



CLEANDHO MARCOS DE SOUZA

**Alagados Flutuantes Construídos: Design do produto, inovações,
eficiência e prestação de Serviços Ecosistêmicos**

São Paulo
2020

CLEANDHO MARCOS DE SOUZA



**Alagados Flutuantes Construídos: Design do produto, inovações,
eficiência e prestação de serviços ecossistêmicos**

Versão original

Dissertação apresentada à Faculdade de Arquitetura
e Urbanismo da Universidade de São Paulo para
obtenção do título de Mestre

Área de concentração: Paisagem e Ambiente.
Sistemas da Paisagem

Orientador: Prof. Dr. Paulo Renato Mesquita
Pellegrino

Coorientador: Prof. Dr. Marcelo Luiz Martins Pompêo

São Paulo

2020

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

Catálogo na Publicação
Serviço Técnico de Biblioteca
Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo

De Souza, Cleandho Marcos

Alagados Flutuantes Construídos: Design do produto, inovações, eficiência e prestação de serviços ecossistêmicos / Cleandho Marcos De Souza; orientador Paulo Renato Mesquita Pellegrino. coorientador Marcelo Luiz Martins Pompêo - São Paulo, 2020.

220 f..

Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo. Área de concentração: Paisagem e Ambiente.

1. Tratamento Biológico de Água. 2. Design de Produtos. 3. Planejamento Urbano. 4. Qualidade da Água. I. Pellegrino, Paulo Renato Mesquita, orient. II. Pompêo, Marcelo Luiz Martins, coorient. III. Título.

DE SOUZA, C.M. Alagados Flutuantes Construídos: Design do produto, eficiência e prestação de serviços ecossistêmicos. 2020. 220 f. Dissertação de Mestrado – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo.

Aprovado em: _____

Banca Examinadora

Prof(a). Dr(a). _____

Instituição: _____

Julgamento: _____

Prof(a). Dr(a). _____

Instituição: _____

Julgamento: _____

Prof(a). Dr(a). _____

Instituição: _____

Julgamento: _____

Dedico este trabalho às Águas, à minha família e à Ciência em sua forma mais elevada e voltada para a construção de um mundo melhor

Agradecimentos

Eu sou grato aos meus pais, Joaquim Pereira de Souza e Nair Alves Souza por todas as contribuições ao longo da pesquisa, desde a concepção até as atividades de campo. Também as minhas irmãs, Ayra Mayone de Souza e Fatima Cristiane de Souza pelo suporte, revisão de textos e na produção de imagens.

Ao Prof. Dr. Paulo Pellegrino e ao Prof. Dr. Marcelo Pompêo por terem me orientado, acreditado e contribuído de forma plena nesta pesquisa.

A Profa. Dra. Vânia Pivello e o Prof. Dr. André Fleury por terem me incentivado e contribuído com sugestões na qualificação e ao longo da pesquisa.

A equipe discente do Laboratório de Limnologia, especialmente a Victor Crocci e a Karen Ferreira por me ajudarem nos procedimentos laboratoriais. Também a Marcelo Kubo do departamento de botânica por me auxiliar na identificação dos materiais coletados.

A equipe gestora da Reserva do Instituto de Biociências, Prof. Dr. Carlos Ribeiro Vilela e da Profa. Dra. Vânia Pivello, bem como ao Prof. Newton Eizo Yamada e a equipe do Pesqueiro do Carmo por concederem a utilização do espaço.

Ao SESC Interlagos na pessoa de Mariano Ribeiro da Silva por cederem gentilmente mudas para realização do projeto.

Aos meus amigos que me apoiaram das mais diversas formas, em especial a João Marcos Sampaio, Guilherme Miranda Costa Azevedo, Rafael Leonel de Oliveira, Emanuel Soares Trindade, Caroline Izabel dos Santos, Laís Padilha Leite, Priscilla Perini, Francisco Azevedo Camargo e Alessandro Camara.

Aos meus primos, Félix Meira Tavares, Marlon Brand Meira Rocha, Abidinak Samarone Meira Rocha por me abrirem portas que me permitem ver o mundo de uma forma mais profunda, significativa a empática e também a Flaubert Meira Rocha Lacerda por me acompanhar e apoiar nesta jornada do mestrado.

A Faculdade de Arquitetura e Urbanismo e ao Instituto de Biociências da USP pela oportunidade de realizar este mestrado.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de mestrado que permitiu a realização desta pesquisa.

Aos meus guias, mentores e companheiros espirituais e ao elemento Água por tanto me ensinarem.

Prólogo

I. Aliando ciência e consciência, razão e sentimento, ideia e ação.

Em julho de 2019 eu estive presente no 10º Congresso da Associação Internacional Ecologia da Paisagem no qual a primeira palestra trouxe um assunto muito crucial na minha percepção: a falta de ligação que existe entre a ciência e a sociedade. A palestrante e pesquisadora Dra. Harini Nagendra trouxe em questão alguns pontos sobre o por que medidas científicas não serem adotadas e dentre eles o destaque não foi a falta de recursos financeiros ou investimentos, mas sim a desconexão que a ciência possui em relação à sociedade e dos seus aspectos humanos mais básicos, como a ligação sentimental e espiritual das pessoas com as soluções científicas que vêm sendo apresentadas. As pessoas são os principais agentes de transformação de uma sociedade, porém boa parte das tecnologias e soluções desenvolvidas dentro de centros de pesquisa como as universidades ainda ficam restritas aos pares acadêmicos.

Em 2019 o Brasil passou por reviravoltas no que tange os aspectos de financiamento de pesquisas científicas e uma das principais respostas dos pesquisadores foi o de buscar o apoio da população. Em uma das manifestações, pesquisadores das mais diversas áreas de conhecimento foram às ruas em posse de pôsteres apresentados em congressos científicos para apresentar aos transeuntes o resultado de suas pesquisas e ampliar o envolvimento da sociedade com a pesquisa. Houve também uma grande intensificação de medidas ligadas à divulgação científica, o chamado terceiro pilar, a cultura e extensão. Estes movimentos demonstram como o papel da população frente a pesquisa científica deve ser intensificado. Desta forma, como proposta, esta dissertação de mestrado ao início de cada capítulo irá apresentar textos de divulgação científica que expliquem de forma simples, direta e efetiva os dados que serão discutidos ao longo do capítulo bem como elementos ficcionais como poemas e músicas relacionadas a fim de que este trabalho possa ultrapassar os limites da área acadêmica e possa se converter também em conhecimento direto e informação para o público não acadêmico.

II. Motivações pessoais para o desenvolvimento desta pesquisa.

Eu amo a água, porém nem sempre foi assim. Quando jovem eu não me sentia à vontade e por mais que gostasse de viagens à praia, eu tinha dificuldades em nadar

e medo de estar neste tipo de ambiente, entretanto o espaço desconhecido que era guardado por este elemento sempre me chamou a atenção. Informações como “o planeta Terra apresenta três quartos da sua superfície coberta por água”, “conhecemos mais sobre a superfície de Marte do que do fundo do oceano”, “a vida no planeta surgiu no mar”, “o corpo humano é constituído aproximadamente de 65% de água” entre muitas outras mensagens e informações deste tipo aguçavam minha curiosidade sobre os ambientes aquáticos. Sem dúvidas é uma dimensão riquíssima.

Outra motivação foi a vontade de utilizar meus conhecimentos e energia para desenvolver soluções ligadas a água, pois sinto que essa é uma demanda urgente dado a maneira como o ser humano vem lidando com os corpos hídricos. Eu moro na zona leste de São Paulo e sempre utilizo a estação de trem Dom Bosco, na qual a passarela de acesso cruza sobre o Córrego Jacú e durante o início da graduação, entre 2011 e 2013, eu também utilizei a estação Cidade Universitária cuja passarela passa sobre o Rio Pinheiros, zona oeste. Por vezes fiquei refletindo e contemplando esses dois cursos de água que sofrem tanto pelos impactos da degradação urbana, o descaso generalizado e a falta de consciência em relação a estes patrimônios tão grandiosos e valiosos. Por muitas vezes chorei de tristeza nesses dois lugares por reconhecer os maus tratos que temos em relação a nossa própria morada.

Em 2014 estava embarcando para um intercâmbio estudantil no Reino Unido pelo programa Ciências sem Fronteiras do governo federal enquanto a cidade de São Paulo estava enfrentando a maior crise hídrica registrada até então. A medida de utilização do volume morto do Reservatório da Cantareira estava em destaque nas mídias, eu estava presenciando casos de conhecidos e amigos tendo problemas de saúde por conta de ingestão de água de qualidade duvidosa. Até mesmo na casa dos meus pais era possível ver a coloração da água e a quantidade de material particulado que estava vindo do sistema de distribuição. Fiz então uma resolução pessoal de que iria utilizar da melhor forma possível os recursos que estivessem ao meu alcance para auxiliar na recuperação da água e no despertar da consciência das pessoas sobre as atitudes ligadas a este recurso tão precioso, tão presente, porém tão esquecido e negligenciado pela maioria.

Desta forma, este trabalho permeará aspectos teóricos, técnicos e científicos lado a lado com elementos psicológicos, artísticos e espirituais, pois ambos dão base a esta pesquisa e ao pesquisador. Será apresentada, portanto, uma ampla discussão de dados científicos embasados e sustentados pela literatura acadêmica e o estado

da arte vigente sobre os tópicos que serão abordados como a maior parte da dissertação, porém haverá espaço para apresentação de elementos poéticos, artísticos, espirituais e psicológicos em certos momentos, dando vida e sabor ao que for aqui apresentado. Tomo a liberdade para fazer isso, pois percebo que o conhecimento não tem fronteiras e pode agir como ferramenta de transformação na vida das pessoas, mas para isso, o conhecimento acadêmico precisa transpor os muros da universidade e chegar as pessoas da melhor, mais rápida e clara forma possível. Parafrazeando uma das mensagens apresentadas pela pesquisadora Harini Nagendra:

“A ciência precisa de emoção, imaginação e entusiasmo para se tornar viva”.

Resumo

DE SOUZA, Cleandho Marcos. **Alagados Flutuantes Construídos: Design do produto, inovações, eficiência e prestação de serviços ecossistêmicos**. 2020. 220 f. Dissertação de Mestrado – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo.

Com o aumento da população em áreas urbanas, os impactos ambientais gerados nos corpos hídricos se tornam mais significativos. Para lidar esse tipo de problema, soluções que permitam adaptações ao longo do tempo de forma como é o caso *Design* são preferíveis. Ferramentas como o *Design Thinking* (DT) e o *Lean Startup* (LS) favorecem a concepção de soluções de forma contextualizada. Aliado a visão do Design, o planejamento urbano tem buscado soluções baseadas na natureza para o tratamento da qualidade da água em conjunto a infraestrutura verde (IV) que busca ampliar a conectividade de áreas verdes através de tipologias de projeto. Os Alagados Flutuantes Construídos (AFC) são uma tipologia de IV composta por plataforma flutuante, vegetação e zona de raízes com microbiota associada. O objetivo desse estudo é construir um AFC para prestação de Serviços Ecossistêmicos utilizando as técnicas de DT e LS. Os métodos tiveram abordagem majoritariamente qualitativa contando com experimentos *in situ* e observações dos efeitos gerados, tendo dois lagos na cidade de São Paulo, SP – Brasil como locais de estudo. Foram feitas etapas de imersão, prototipagem e validação do dispositivo. Foram avaliados os efeitos do AFC no uso pela biodiversidade, a percepção humana e a valoração ambiental. Como principais resultados, foi obtido um produto mínimo viável após seis rodadas de prototipagem com geração de inovações ao longo do processo. A presença da plataforma criou um novo habitat que passou a ser utilizado por vertebrados e invertebrados, incluindo o reaparecimento de uma espécie de cágado que havia deixada de ser observadas nas áreas de estudo devido as influências antrópicas na última década. O AFC teve um plantio inicial misto e foi colonizado ao longo do estudo, quadruplicando sua diversidade vegetal. A percepção das pessoas sobre o AFC foi avaliada, demonstrando aprovação da solução criada e validando o projeto. Como conclusão, a aplicação do AFC em dois lagos urbanos garantiu a provisão de SE através da melhoria paisagística, geração de habitat para a biodiversidade e percepção ambiental das pessoas.

Palavras-chave: Ilhas flutuantes; Infraestrutura Verde; Design Thinking; Lean Startup; Qualidade da água; Ecologia aplicada; Planejamento urbano sustentável

Abstract

DE SOUZA, Cleandho Marcos. **Floating Treatment Wetland: Product design, innovations, efficiency and ecosystem services provision.** 2020. 220 f. Master thesis - Faculty of Architecture and Urbanism, University of São Paulo, Sao Paulo, Brazil.

The increasing of urban population has led to significative changes in waterbodies due to environmental impacts. To cope with this problem, proposal of solutions which allows adaptations over time are desirable such as the Design approach. Design Thinking (DT) and Lean Startup (LS) tools help to develop solutions in a contextualized manner. Allied to the Design perspective, the urban planning has been adopting Nature Based Solutions to enhance the water quality in cooperation to Green Infrastructure (GI) which seeks to improve green area connectiveness using design typologies. The Floating Treatment Wetlands (FTW) is a GI typology composed of floating raft, vegetation and root zone associated with microorganism. This project aims to build a FTW to provide Ecosystem Services through DT and LS methods. The methods have qualitative approach with *in situ* experiments and observations of generated effects with the application in two ponds in Sao Paulo city, SP – Brazil as study sites. It was performed phases of immersion, prototyping and product validation. It was evaluated the effects of FTW over biodiversity, human's perception and environmental valuation. As main results, a Minimum Viable Product (MVP) was created with six rounds of prototyping accounting with innovations during the process. The FTW provided a new habitat which had been used for vertebrate and invertebrate organisms, including the reappearance of a turtle species which was not seen over the past decade. The FTW received a mixed start planting and it was colonized for other plant species four-folding its initial richness. Human's perception about the FTW were assessed and results indicated the solution approval, validating the MVP. In conclusion, the FTW installed in two urban ponds were able to provide ES throughout landscape enhancement, habitat generation and people's environmental perception.

Keywords: Artificial Floating Island; Green Infrastructure; Design Thinking; Lean Startup; Water quality; Applied ecology; Sustainable urban planning.

Lista de abreviações¹

| | |
|---------|--|
| AFC | Alagado Flutuante Construído |
| CA | <i>Cluster Analysis</i> da sigla em inglês para análise de agrupamento |
| CAPES | Comissão de Aperfeiçoamento de Pessoal do Nível Superior |
| CW | <i>Constructed Wetlands</i> do inglês para Alagados Construídos |
| DBO | Demanda bioquímica de oxigênio |
| DQO | Demanda Química de Oxigênio |
| DT | <i>Design Thinking</i> |
| ETE | Estação de tratamento de esgoto |
| EVA | Acetato-vinilo de etileno |
| FAU USP | Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo |
| FTW | <i>Floating Treatment Wetland</i> |
| IPBES | <i>Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services</i> - Plataforma Intergovernamental sobre Biodiversidade e Serviços Ecossistêmicos |
| IV | Infraestrutura Verde |
| LED | <i>Light Emiting Diodes</i> da sigla em inglês para diodo emissor de luz |
| LS | <i>Lean Startup</i> |
| MA | <i>Millennium Ecosystem Assessment</i> do inglês para Avaliação Ecossistêmica do Milênio |
| MCV | Método de Custo de Viagem |
| MVC | Método de Valoração de Contingente |
| MVP | <i>Minimum Viable Product</i> do inglês para Produto Mínimo Viável |
| N | Nitrogênio |
| NBS | <i>Nature-based solutions</i> do inglês para Soluções Baseadas na Natureza |
| NCP | <i>Nature's contribution to people</i> do inglês para Contribuições da Natureza às Pessoas |
| OD | Oxigênio dissolvido |
| P | Fósforo |
| PCA | <i>Principal Component Analysis</i> do inglês para Análise de Componentes Principais |
| PE | Polietileno ou politeno |
| PET | Poli Tereftalato de Etila |
| POV | <i>Point of View</i> da sigla em inglês para Ponto de Vista |
| PP | Polipropileno |
| PU | Poliuretano |
| PVC | Policloreto de Vinila |
| RFIB | Reserva Florestal do Instituto de Biociências |
| RMSP | Região Metropolitana de São Paulo |
| SE | Serviços ecossistêmicos |
| SESC | Serviço Social do Comércio |
| SMVA | Secretaria Municipal do Verde e do Meio Ambiente |
| SNIS | Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento |

¹ Não foram incluídos na tabela as abreviações incluídas no Sistema Internacional de Medidas, como unidades de medidas de massa ou de área.

| | |
|----|---------------------------|
| TN | Nitrogênio Total |
| TP | Fósforo total |
| WC | <i>Wetland</i> Construído |
| WP | <i>Wicked Problems</i> |

Lista de figuras

| | |
|---|-----|
| Figura 1 - Diagrama da sessão transversal de um alagado flutuante natural estudado em Louisiana, Estados Unidos. Fonte: Modificado de Sasser <i>et al.</i> (1991). | 37 |
| Figura 2 - Tipos padrões de alagados construídos para tratamento de efluentes..... | 40 |
| Figura 3 - Corte esquemático de Alagado Flutuante Construído..... | 41 |
| Figura 4 – Exemplos materiais utilizados para construção de alagados flutuantes construídos..... | 55 |
| Figura 5 - Exemplo esquemático de tipos de ancoragem.. | 57 |
| Figura 6 - Exemplos de sistemas de ancoragem de fundo.. | 58 |
| Figura 7 - Elementos adicionais utilizados em Alagados construídos flutuantes..... | 60 |
| Figura 8 – Posicionamento de alagados flutuantes construídos e fluxo hídrico. | 63 |
| Figura 9 – Alagados flutuantes construídos com viés paisagístico, ornamental e de provisão de habitat em diversas escalas..... | 71 |
| Figura 10 – Modelo combinado dos métodos de Design Thinking (DT) e Lean Startup (LS).. | 80 |
| Figura 11 - Mapa do local de estudo: Pesqueiro..... | 86 |
| Figura 12 - Mapa do local de estudo: Reserva Florestal do Instituto de Biociências (RFIB)..... | 87 |
| Figura 13 – Croquis de alagados flutuantes construídos como protótipo de baixa fidelidade..... | 92 |
| Figura 14 - Protótipo #1..... | 93 |
| Figura 15 - Protótipo #2..... | 94 |
| Figura 16 - Colagem de tubos para protótipo #3..... | 96 |
| Figura 17 - Protótipo #4..... | 98 |
| Figura 18 – Planta baixa do alagado flutuante construído.. | 100 |
| Figura 19 - Protótipo #5..... | 101 |
| Figura 20 - Protótipo #6 para teste da gaiola de proteção das raízes..... | 102 |
| Figura 21 - Acompanhamento do desenvolvimento da zona radicular do alagado construído flutuante..... | 103 |
| Figura 22 – Perspectiva expandida do Produto Mínimo Viável do Alagado Flutuante Construído..... | 106 |
| Figura 23 - Alagados flutuantes construídos (AFC) no dia da instalação..... | 107 |
| Figura 24 - Balsa..... | 110 |

| | |
|--|-----|
| Figura 25 – Posicionamento dos alagados flutuantes construídos (AFC) dentro dos lagos estudados. | 114 |
| Figura 26 - Avaliação da durabilidade do protótipo #6 após 8 meses de operação. | 117 |
| Figura 27 - Acompanhamento da performance estrutural do alagado flutuante construído (AFC) instalado no lago da Reserva..... | 121 |
| Figura 28 - Acompanhamento da performance estrutural do alagado flutuante construído (AFC) instalado no lago do Pesqueiro..... | 122 |
| Figura 29 – Evolução da definição de serviços ecossistêmicos e contribuição da natureza para as pessoas..... | 128 |
| Figura 30 - Relação das 18 categorias de contribuição da natureza para as pessoas (NCP) dentro das três categorizações macro..... | 129 |
| Figura 31 - Valores médios mensais de temperatura (°C) e precipitação (mm) para São Paulo durante a operação dos alagados flutuantes construídos instalados nos dois lagos estudados entre os períodos de junho de 2018 e dezembro de 2019.. ... | 134 |
| Figura 32 - Ponto de coleta de água.. | 135 |
| Figura 33 - Análise de Componentes Principais (PCA) de correlação das variáveis limnológicas para os dois lagos estudados..... | 143 |
| Figura 34 - Registros de vertebrados utilizando os AFC.. | 153 |
| Figura 35 - Registro de invertebrados utilizando os AFC.. | 155 |
| Figura 36 - Avaliação da concordância entre as afirmações relacionadas a função dos AFC..... | 165 |
| Figura 37 - Análise de Componentes Principais (PCA) de correlação de variáveis socioeconômicas, percepção ambiental e valoração dos AFC.. | 167 |
| Figura 38 – Registro de boias presas no alagado flutuante construído..... | 171 |
| Figura 39 - Placa informativa do projeto..... | 173 |

Lista de tabelas e quadros

| | |
|---|-----|
| Tabela 1 - Espécies de plantas com formação alagados flutuantes naturais..... | 36 |
| Tabela 2 - Nomenclatura de sistemas de alagados flutuantes construídos em inglês. | 43 |
| Tabela 3 – Relação de espécies de macrófitas emergentes utilizadas em alagados flutuantes construídos e sua finalidade principal. | 48 |
| Tabela 4 – Taxa de cobertura de alagados flutuantes construídos. | 65 |
| Tabela 5 - Lista de adesivos utilizados para colagem das junções. | 95 |
| Tabela 6 - Comparativo do protótipo piloto com análise da funcionalidade do cesto de proteção para raízes.. | 103 |
| Tabela 7 – Espécies de plantas utilizadas para plantio de alagado flutuante construído no lago do Pesqueiro. | 108 |
| Tabela 8 - Espécies de plantas utilizadas para plantio de alagado flutuante construído no lago da Reserva. | 109 |
| Tabela 9 – Custos dos materiais para construção do alagado construído flutuante. | 113 |
| Tabela 10 – Dimensionamento dos dispositivos em relação a área superficial dos lagos estudados.. | 115 |
| Tabela 11 – Parâmetros de água avaliados..... | 136 |
| Tabela 12 - Variáveis analisadas nos locais de estudo..... | 142 |
| Tabela 13 - Espécies de plantas presentes nos alagados construídos flutuantes nos lagos do Pesqueiro (P) e da Reserva (R) ordenadas por nome de família. | 146 |
| Tabela 14 – Acompanhamento comparado da vegetação dos Alagados Flutuantes Construídos instalados nos lagos do Pesqueiro e da Reserva. | 148 |
| Tabela 15 - Podas realizadas no alagado flutuante instalado no Pesqueiro.. | 150 |
| Tabela 16 - Listagem de espécies de aves avistadas interagindo com AFC.. | 152 |
| Tabela 17 - Percepção ambiental geral..... | 158 |
| Tabela 18 - Avaliação do problema ambiental mais importante na visão dos respondentes dentre 5 opções listadas..... | 158 |
| Tabela 19 - Categorias criadas de acordo com opiniões abertas dos entrevistados sobre as justificativas para a presença do dispositivo no lago. | 159 |

| | |
|---|-----|
| Tabela 20 - Valores indicados pelos entrevistados quanto a estarem dispostos a pagar pelo alagado flutuante construído em reais antes e após explicar e dar informações sobre o projeto.. | 166 |
| Tabela 21 – Valores atribuídos pelos entrevistados ao Alagado Flutuante Construído. | 170 |
| Quadro 1 - Resumo de vantagens e limitações na utilização de alagados flutuantes construídos.. | 45 |

SUMÁRIO

| | |
|--|----|
| 1. Contextualização da dissertação | 22 |
| 1.1. Impactos ambientais sobre os recursos hídricos..... | 23 |
| 1.1.1. Soluções Baseadas na Natureza e Infraestrutura Verde | 27 |
| 1.1.2. A água no ambiente urbano, um <i>wicked problem</i> | 29 |
| 1.1.3. Alagados Flutuantes Construídos, um dispositivo com múltiplas funções ... | 30 |
| 1.2. Justificativa..... | 31 |
| 1.3. Objeto e objetivos..... | 32 |
| 2. Revisão sobre estado da arte em Alagados Flutuantes Construídos | 34 |
| 2.1. Alagados Naturais e Flutuantes..... | 35 |
| 2.2. Alagados Construídos ou <i>Constructed Wetlands</i> | 38 |
| 2.3. Alagados Flutuantes Construídos..... | 41 |
| 2.4.1. Nomenclatura..... | 42 |
| 2.4.2. Vantagens e limitações no uso de Alagados Flutuantes Construídos..... | 44 |
| 2.4.3. Elementos presentes nos Alagados Flutuantes Construídos | 46 |
| 2.4.4. Elementos vivos | 47 |
| 2.4.5. Elementos construídos..... | 53 |
| 2.4.6. Dispositivos adicionais | 59 |
| 2.4.7. Custos apresentados na literatura | 61 |
| 2.4.8. Dimensionamento, posição e formato dos Alagados Flutuantes Construídos nos corpos hídricos | 62 |
| 2.4. Exemplos de estudos de caso..... | 66 |
| 2.4.1. Tratamento de esgoto doméstico | 66 |
| 2.4.2. Tratamento de efluentes de pecuária e agricultura | 67 |
| 2.4.3. Aplicação em rios e lagos | 68 |
| 2.4.4. Provisão de habitat e incremento na biodiversidade | 68 |
| 2.4.5. Usos estéticos, ornamentais e paisagísticos e associação ao turismo | 72 |
| 2.4.6. Usos residencial e hoteleiro | 73 |
| 2.4.7. Outros usos e combinações com outros dispositivos..... | 74 |
| 2.4.8. Considerações finais do segundo capítulo..... | 75 |
| 3. Design Thinking e Lean Startup..... | 76 |
| 3.1. Questões ambientais como <i>Wicked Problems</i> | 77 |
| 3.2. Abordagens de Design aplicadas na resolução de <i>Wicked Problems</i> | 78 |

| | |
|---|-----|
| 3.3. Inovação na área ambiental e no planejamento urbano | 80 |
| 3.4. Utilizando Design Thinking e Lean Startup na construção de Alagados Flutuantes Construídos | 82 |
| 3.5. Material e métodos | 83 |
| 3.5.1. Aplicação do Design Thinking e Lean Startup..... | 83 |
| 3.5.2. Local de estudo | 85 |
| 3.6. Resultados e discussão..... | 88 |
| 3.6.1. Compreendendo o problema, identificando as dores e propondo soluções para os clientes | 88 |
| 3.6.2. Ciclos de ideação, planejamento e prototipagem..... | 91 |
| 3.6.3. Custos de construção do Produto Mínimo Viável..... | 112 |
| 3.6.4. Posicionamento das plataformas no lago e dimensionamento | 114 |
| 3.6.5. Avaliação da durabilidade da plataforma ao longo do tempo..... | 116 |
| 3.7. Considerações finais do terceiro capítulo..... | 124 |
| 4. Serviços Ecosistêmicos | 126 |
| 4.1. Serviços ecosistêmicos e as contribuições da natureza para as pessoas | 127 |
| 4.1.1. A importância da valoração das contribuições ambientais..... | 130 |
| 4.1.2. Os Alagados Flutuantes Construídos como prestadores de Serviços Ecosistêmicos..... | 132 |
| 4.2. Métodos..... | 133 |
| 4.2.1. Avaliação da qualidade da água | 133 |
| 4.2.2. Avaliação da fauna..... | 136 |
| 4.2.3. Avaliação da flora, produtividade e biomassa vegetal..... | 137 |
| 4.2.4. Percepção das pessoas e valoração de serviços ecosistêmicos prestados pelo AFC | 139 |
| 4.3. Resultados e discussão..... | 141 |
| 4.3.1. Análise da qualidade da água do pesqueiro | 141 |
| 4.3.2. Desenvolvimento da vegetação, colonização de espécies, biomassa e produtividade..... | 144 |
| 4.3.3. Serviço de provisão de habitat | 151 |
| 4.3.4. Opinião e perspectivas ambientais das pessoas | 155 |
| 4.3.5. Sanando as dores dos usuários reportadas durante as entrevistas..... | 170 |
| 4.4. Considerações finais do quarto capítulo..... | 174 |
| 5. Considerações finais da dissertação | 176 |

| | |
|----------------------------------|-----|
| Epílogo | 181 |
| Referências bibliográficas | 183 |
| Apêndices..... | 201 |

1. CONTEXTUALIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO

*Estamos nesse planeta, viemos para cuidar
Vamos limpar mamãe, vamos limpar
Vamos limpar mamãe água do mar
A água é o elemento da força que vós nos dá
Vamos limpar mamãe água do mar*

O rio é composto pela água que corre e a terra na margem que o delimita. Alguns dizem que a margem oprime o rio que luta para seguir, mas na verdade, a margem e o rio estão em harmonia no caminho com a energia da comunhão. Sem a margem, o rio se perde, sem a água a margem seca. Ambos seguem juntos até o mar. Juntos por todo o caminho, um acolhendo o outro dentro do princípio masculino e feminino.

A terra tem em si a força da materialização que cria a forma e a água a maleabilidade e a receptividade e gera vida. A terra sem a água é infértil, se torna rígida e pueril, mas com a água surge a alquimia da vida. A vida veio do mar, da sopa primordial e preencheu a terra. Esse é o movimento de subida.

Infelizmente estamos poluindo as águas que tem como uma das suas mais conhecidas funções e simbologias a de limpeza e purificação. A natureza tem se esforçado em seu trabalho, mas não está mais suportando e pede por ajuda. Vamos ajudar a mamãe a se limpar e essa limpeza deve vir da fonte, da nascente, ou seja, de dentro de nós mesmos a partir da mudança de nossas consciências, mas também de fora com ações práticas e efetivas.

Desta forma percebesse a correspondência entre o micro e macrocosmo, pois o limpar dos rios ajuda a limpar as águas internas, as más águas, ou mágoas, que criam sombras e dúvidas em nossas vidas. A limpeza vem da fonte para o destino final que é na verdade a fonte de tudo, é a subida-descida-subida, vida-morte-vida.

Estamos seguindo o fluxo.²

² Música “Mar e Movimento” e texto concebidos pelo autor em 2014, na mesma época em que o estado de São Paulo estava passando por uma crise hídrica. Áudio disponível em: <https://soundcloud.com/cleandho/mar-em-movimento/s-rHxSD>

Esse primeiro capítulo consiste na apresentação do contexto amplo no qual se insere a temática e que justifica a realização desta pesquisa. Serão apresentadas inicialmente informações sobre os recursos hídricos, os impactos ambientais advindos da densidade populacional e poluição que estes recebem em áreas urbanas e as medidas tradicionais utilizadas para lidar com a problemática. Na sequência serão abordados os conceitos ligados ao desenvolvimento sustentável com a utilização de soluções baseadas na natureza e de infraestrutura verde que propõem soluções alternativas para lidar com a poluição das águas. Serão apresentados também os conceitos básicos metodológicos que delimitam o escopo de atuação desta pesquisa que se pauta na utilização de técnicas de design para criação de soluções sustentáveis para provisão de serviços ecossistêmicos (SE). Finalmente o capítulo será concluído com a apresentação da justificativa desta pesquisa em conjunto com uma breve apresentação dos alagados flutuantes construídos como objeto de estudo e os objetivos.

1.1. Impactos ambientais sobre os recursos hídricos

O planeta Terra é muitas vezes chamada de “o planeta azul” quando visto do espaço devido à grande extensão de água que corresponde a cerca de 71% da sua superfície, entretanto apenas uma pequena fração estimada em torno de 2,5% corresponde a água doce que está distribuída majoritariamente em regiões congeladas, como topos de montanhas e os polos, ou em aquíferos e dessa forma, indisponível para uso direto. Apenas uma pequena fração desta água doce se encontra de fato disponível para consumo humano, sendo encontradas em rios, lagos, áreas alagadas, na umidade do solo, no vapor atmosférico e como constituinte dos seres vivos (BICUDO; TUNDISI; SCHEUENSTUHL, 2010). A água é um elemento fundamental para a vida e para as atividades humanas como agricultura, indústria, geração de energia, transporte, gerenciamento de resíduos entre muitos outros, sendo este recurso um limitador para o desenvolvimento econômico em diversas instâncias (IPCC, 2001).

Os ambientes aquáticos são responsáveis pela provisão de diversos SE. O conceito de SE refere-se a uma ampla gama de benefícios em forma de bens e serviços exercidos por processos naturais dos ecossistemas, podendo ter sua importância percebida de forma direta ou indireta (COSTANZA et al., 1997). Alguns exemplos dos serviços fornecidos pela água são: provisão direta para ingestão e

preparo de alimentos, produção e irrigação de alimentos, produção de aquacultura, regulação de ciclos hidrológicos, regulação climática, purificação e retenção hídrica além de aspectos como recreação, contemplação e contato com a natureza (GRIZZETTI et al., 2016). Mesmo tendo em vista a sua importância econômica, ambiental e social, a atenção dada aos ambientes aquáticos ainda é ínfima (BICUDO; TUNDISI; SCHEUENSTUHL, 2010, cap. 7)

Os impactos ambientais antrópicos, associado com o aumento populacional e consumo massivo de recursos têm atingido níveis extremos, podendo causar mudanças bruscas ou até mesmo irreversíveis na perspectiva de alguns pesquisadores, sendo a água um dos recursos que mais vem sofrendo pressões (EGGERMONT et al., 2015; JÚNIOR et al., 2016). Relatórios do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPBES da sigla em inglês para *Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services*) tem reportado que os recursos hídricos vem se tornando cada vez mais escassos e frágeis devido a impactos ambientais, afetando sua qualidade e disponibilidade devido à alterações nos ciclos hidrológicos e a poluição, podendo assim gerar implicações socioeconômicas, como migrações massivas, doenças, mortes e até mesmo conflitos armados (IPCC, 2008).

Um estudo publicado por Vörösmarty (2010) destaca que cerca de 80% da população mundial se encontra em áreas de risco em relação a recursos hídricos, sendo estes locais geralmente estão sobrepostos a regiões com altos impactos na biodiversidade e com alta densidade populacional, como as grandes metrópoles, demonstrando uma correlação entre os benefícios da biodiversidade e equilíbrio das funções prestadas pelo ambiente. Aliado as pressões exercidas por seres humanos, as mudanças climáticas tem elevado o número de eventos extremos, com maiores períodos de estiagem em paralelo a eventos com elevadas precipitações com alagamentos e enchentes (IPCC, 2008). Desta forma, é possível perceber que serviços de regulação e manutenção são funções que a natureza é capaz de oferecer, quando em equilíbrio.

Os ambientes naturais possuem também a capacidade de absorver resíduos produzidos localmente e reincorporá-los no sistema em um dado intervalo de tempo, porém as alterações acentuadas dos ecossistemas vêm afetando seus ciclos. Um dos principais agravantes é o processo antrópico que possui uma dinâmica acelerada,

elevada demanda recursos em curtos intervalos de tempo, bem como a degradação ambiental gerada por diversas ações como a compactação e impermeabilização dos solos, pressões sobre a fauna, a flora, a atmosfera e aos corpos hídricos (MOTA, 1999, cap. 3). Dessa forma, agravam-se também os problemas de ordem social, habitacional, logísticos e de saúde pública, pois existe uma conexão intrínseca e holística que geralmente é ignorada a curto prazo (MARTINS, 2006).

A presença humana pode influenciar a qualidade e disponibilidade dos recursos hídricos de múltiplas maneiras. Alguns dos problemas são gerados por gestões que não primam pela sustentabilidade e realizam modificações severas, mal planejadas e insustentáveis na paisagem urbana, como desvios, obras de canalização e retificação de rios, retirada e exploração exacerbada de água, construções de barragens entre outras modificações infra estruturais que não levam em consideração os SE oferecidos pelos corpos hídricos (JÚNIOR et al., 2016).

A deterioração dos corpos hídricos é comum em várias metrópoles pelo mundo por razões econômicas e sociais, tendo sido um dilema desde o surgimento das primeiras cidades, que acentuou-se durante a revolução industrial quando a degradação ambiental e os impactos sociais, econômicos e na saúde se tornaram mais evidentes (BENTON-SHORT; SHORT, 2007). Uma característica comum ao desenvolvimento de áreas urbanas é a proximidade a corpos hídricos como rios, lagos e regiões costeiras. Isso se dá, pois a água é um dos elementos essenciais no desenvolvimento de atividades industriais, comerciais, de habitação (BENTON-SHORT; SHORT, 2007), no escoamento de mercadorias (GAVIOLLI, 2013) entre diversas outras atividades. Entretanto, o adensamento populacional dos grandes centros, sua estruturação e desenvolvimento tornaram-se demasiadamente impactante ao ambiente (LAMPARELLI, 2004) e como exemplo vemos diversas publicações que apontam os rios e lagos brasileiros com qualidade péssima ou ruim, demonstrando os impactos ambientais e a urgente necessidade de atitudes de revitalização (G1, 2011, 2015).

Os corpos hídricos recebem poluentes de maneira direta e indireta, pois além da descarga nos próprios cursos de água, também recebem poluentes vindos dos meios terrestre e atmosférico. A poluição pode ser conceitualmente dividida entre poluição do solo, atmosférica e hídrica (MOTA, 1999, cap. 3), podendo ser de natureza química, física ou biológica (PEREIRA, 2004). A poluição do solo e do ar decorre da

liberação de sólidos e partículas como agentes químicos, resíduos, descarte inapropriado, gases e outros compostos oriundos de atividades industriais e domésticas que ficam acumuladas no ambiente e acabam sendo carregadas por processos de lixiviação e precipitação das partículas (MOTA, 1999, cap. 3), sendo necessário considerar a poluição de maneira integrada a fim de buscar soluções de melhoria (PEREIRA, 2004).

Quanto a fonte dos poluentes, é possível defini-las como pontuais e difusas. A poluição pontual é passível de medição e controle, pois tem origem definida advindo de indústrias, comércios, equipamentos públicos entre outros que possuem sistemas individuais de esgoto (BENTON-SHORT; SHORT, 2007, cap. 8). A poluição difusa surge do escoamento de poluentes acumulados em superfícies impermeabilizadas como ruas e edifícios e de áreas residências que são coletadas em grandes sistemas de esgoto, quando presentes. Dessa forma, não é possível averiguar com precisão a origem, quantidade e composição dos efluentes, que podem contar ainda com variações sazonais expressivas (BENTON-SHORT; SHORT, 2007, cap. 8). Um exemplo de poluição difusa ocorre nos arredores dos reservatórios Guarapiranga e Billings, em São Paulo, onde cerca de 50% da rede de esgoto não recebe tratamento e é descarregada no reservatório juntamente a resíduos de químicos agrícolas e efluentes industriais (LÓPEZ-DOVAL et al., 2017).

Um dos aspectos que permite visualizar o cenário em relação ao tratamento da água é através dos dados ligados a coleta e tratamento de efluentes. O tratamento convencional funciona de maneira centralizada, com captação por redes coletoras, que seguem por coletores-tronco até os interceptores que destinam os efluentes à estação de tratamento e esgoto (ETE), aonde passa por tratamentos de fase líquida e sólida, como o que ocorre na cidade de São Paulo (SABESP, 2019). Este tipo de sistema infelizmente não atende a toda a população, gerando uma defasagem entre os processos de geração e descarga de efluentes, que aliado a problemas de infraestrutura como vazamentos e ligações irregulares prejudicam a qualidade da água. Segundo dados do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS), cerca de 46,3% do esgoto gerado recebeu tratamento em 2018, sendo que do total coletado, pouco mais de três quartos foi tratado, demonstrando que mesmo com a coleta, os processos não são suficientes para atenderem toda a demanda no tratamento (BRASIL, 2019a). Esses índices acabam tendo correlações com aspectos

econômicos e sociais variando de acordo com região, sendo a sudeste a que tem maior índice (83,7%) e o Norte o menor (13,3%) para coleta de esgotos em áreas urbanas (BRASIL, 2019a).

Outro aspecto relacionado a danos nos corpos hídricos está relacionado a drenagem e manejo de águas pluviais, que juntamente ao panorama do tratamento de efluentes, caracteriza o cenário do cuidado com a qualidade da água. De acordo com o Ministério do Desenvolvimento Regional (BRASIL, 2019b), a gestão das águas pluviais são, em sua maioria, responsabilidade das prefeituras municipais, entretanto, boa parte delas carece de recursos e infraestrutura para realizar a gestão da microdrenagem (e.g. sarjetas, canaletas, captações, etc.) e macrodrenagem (e.g. canais abertos ou fechados, galerias, etc.). Este tipo de defasagem no manejo de águas pluviais acaba sendo percebido geralmente em períodos de chuva intensa (BRASIL, 2019b), que vem se tornando cada vez mais frequentes devido a mudanças climáticas (IPCC, 2008). Tendo em vista o cenário de pressões exercidas pelas áreas urbanas sobre os recursos hídricos, a defasagem existente na gestão e no tratamento de efluentes e de águas pluviais e um cenário de aumento populacional em áreas urbanas, se torna claro a necessidade de voltarmos a atenção para medidas que garantam o suprimento dos recursos hídricos.

1.1.1. Soluções Baseadas na Natureza e Infraestrutura Verde

A fim de lidar com a depreciação dos corpos hídricos, é necessária uma visão integrada da paisagem urbana que inclua benefícios ambientais providos pelos ciclos naturais. Para agir de tal modo, existem campos de estudo que auxiliam na compreensão holística do problema e na proposição de soluções adequadas (PELLEGRINO, 2017). Um dos princípios que têm sido adotados é o das soluções baseadas na natureza ou *Nature Based Solutions* (NBS da sigla em inglês). NBS é um termo emergente (EGGERMONT et al., 2015) que têm como definição a inspiração, base ou até mesmo mimetização de estruturas e sistemas encontrados na natureza visando auxiliar de maneira sustentável na resolução de problemas de ambientais, sociais e econômicos de forma holística (LIQUETE et al., 2016; MAES; JACOBS, 2017). As NBS são classificadas em 3 tipos de acordo com o grau de intervenção humana (EGGERMONT et al., 2015). O primeiro faz uso de recursos naturais já presentes no ambiente e tem baixa intervenção, como o que ocorre em áreas de preservação ambiental. O segundo requer maior grau de intervenção e está

presente geralmente em situações como sistemas agrícolas. O terceiro tipo exige maior grau de modificações e reestruturações para implementação de NBS, geralmente sendo necessário para áreas urbanas.

O uso das NBS têm atrelados a si benefícios econômicos, sociais e ambientais dentro do planejamento urbano (KABISCH et al., 2016). O desenvolvimento de tecnologias e processos de baixo impacto e de redução de poluentes auxilia na geração de empregos e desenvolvimento sustentável utilizando os princípios das NBS (LIQUETE et al., 2016). Existem estudos demonstrando a maior eficiência, relação custo-benefício, adaptabilidade e durabilidade de dispositivos de infraestrutura verde (IV) que usam princípios de NBS em relação a dispositivos de infraestrutura cinza (Ver relação de trabalhos em LIQUETE et al., 2016, p. 393). Em um exemplo apontado pela Comissão Europeia, o uso de NSB e IV no manejo de águas pluviais chega a ser mais de 30 vezes mais barato do que o uso de medidas tradicionais baseadas em infraestrutura cinza (EUROPEAN COMMISSION, 2015, p. 6). Com isso, é possível notar que a utilização de soluções que tem como base e inspiração a natureza pode ter benefícios em múltiplas escalas.

As NBS têm recebido destaque frente às mudanças climáticas devido a alterações do regime hídrico em áreas urbanas, pois os eventos extremos criam tanto situações de inundações e alagamentos quanto estiagens (IPCC, 2014). Além disso, é perceptível uma acelerada perda da prestação de SE a nível mundial, sendo que áreas urbanas acabam sendo as mais impactadas (KABISCH et al., 2016). A RMSP, por exemplo, sofreu uma acentuada crise nos anos de 2014 e 2015 ao mesmo tempo que continuava apresentando problemas de alagamentos e inundações em eventos de chuva (DE MACEDO; DO LAGO; MENDIONDO, 2019) e até o presente momento o problema permanece sem uma solução real (G1, 2020). As NBS podem constituir um método eficaz para lidar com eventos extremos e reduzir os riscos de escassez de recursos hídricos, pois auxilia na recomposição de áreas naturais e recuperação das águas (MAES; JACOBS, 2017).

Aliado aos princípios das NBS, arquitetos, paisagistas e urbanistas vêm adotando os conceitos de IV em seus projetos. O termo IV refere-se a uma rede de áreas vegetadas e interconectadas que valorizam as funções e serviços fornecidas por ecossistemas naturais, beneficiando dessa forma a população e mantendo processos ecológicos naturais, muito comumente ignorados no espaço urbano

(BENEDICT; MCMAHON, 2002a). A IV visa melhoria da qualidade de serviços ambientais, manutenção do microclima, controle biológico, despoluição, manutenção da qualidade atmosférica, dos corpos hídricos e encorajamento à fauna e flora considerando a conjunção de aspectos estéticos a funções infra estruturais (CORMIER; PELLEGRINO, 2008; PINHEIRO, 2015; DE SOUZA et al., 2019). A abordagem de IV conta com diversas tipologias que podem ser empregadas em projetos urbanísticos, sendo alguns exemplos os jardins de chuva, canteiros pluviais, biovaletas, lagoas pluviais, tetos verdes, parques lineares e alagados construídos (CORMIER; PELLEGRINO, 2008). Dessa forma, temos que a conjunção entre as NBS e a IV são propícias para a criação de projetos e produtos que integrem os SE com as demandas em áreas urbanas.

1.1.2. A água no ambiente urbano, um *wicked problem*

A questão da água em ambientes urbanos em conjunção com as alterações climáticas tornam o cenário de atuação complexo e pouco previsível, pois envolve múltiplos fatores e escalas, bem como diversos tomadores de decisão (IPCC, 2014; ELMQVIST et al., 2018). Este tipo de contexto é abordado dentro da perspectiva do design como um problema não estruturado, ou *wicked problem* (WP), caracterizadas por situações nas quais a informação é complexa, incompleta ou em constante modificação e envolvem muitos agentes e tomadores de decisão, contendo muitas ramificações possíveis (BUCHANAN, 1992). De acordo com Buchanan (1992), visualizar questões como WP apresentam possibilidades diferenciadas da abordagem científica tradicional como: o potencial de formulação de diversas soluções, sem que estas sejam verdadeiras ou falsas, mas apenas melhores ou piores; sempre existe potencial para novas soluções, sem delimitações ou pontos de parada para tal; estão sujeitas a testes, erros, melhorias e reformulações; entre outros aspectos relativos ao processo de desenvolvimento de soluções. Problemas do tipo *wicked* são comumente abordados por designers e arquitetos, que utilizam procedimentos abduativos, no qual existe uma imersão dentro do contexto em questão, visando entender as dores e propor soluções que sejam eficientes para o problema (MAHER et al., 2018), diferindo dos métodos dedutivos ou indutivos geralmente utilizado por pesquisadores para busca de soluções para problemas que geralmente têm seus pressupostos mais claramente definidos *a priori* (CORREIO; FLEURY, 2019).

Dentro das possibilidades para lidar com WP existem as abordagens de *Design Thinking* (DT) e *Lean Startup* (LS). O DT se vale de princípios, métodos e ferramentas utilizadas por profissionais da área de design que passaram por simplificações e adaptações que permitissem a sua utilização por profissionais de outras áreas (CROSS, 2001) na geração de soluções contextualizadas com base na opinião e necessidades centradas no usuário (CORREIO; FLEURY, 2019). O LS auxilia no desenvolvimento de soluções utilizando a menor quantidade de recursos possíveis, incluindo tempo, materiais e mão de obra (BLANK, 2013), especialmente em condições de elevada incerteza (CORREIO; FLEURY, 2019). O DT e LS em conjunto têm o potencial de auxiliar no desenvolvimento de soluções que levam em consideração a necessidade real frente a um problema não-estruturado, com elaboração de soluções rápidas e de baixo custo, estando assim melhor adaptadas para situações de baixa previsibilidade (MUELLER; THORING, 2012a). Os conceitos de DT e LS serão abordados de forma mais aprofundada no capítulo 3.

1.1.3. Alagados Flutuantes Construídos, um dispositivo com múltiplas funções

Como mencionado anteriormente, a IV conta com diversas tipologias, dentre as quais estão os Alagados Flutuantes Construídos (AFC), que se baseiam em aspectos de NBS para sua construção e funcionamento. Diversos projetos de arquitetura e urbanismo têm utilizado os AFC para melhoria da qualidade da água, na prestação e recuperação de SE pelo mundo (HEADLEY; TANNER, 2006; BILLORE; S.J.; SHARMA, 2008; GILL et al., 2014). A utilização de AFC é caracterizada como uma NBS que se adequa a ambientes com alto grau de modificação ambiental, como é o caso do meio urbano, pois sua aplicação se adapta bem a áreas impactadas com a promoção de melhorias ambientais (EGGERMONT et al., 2015).

O AFC conta com plantas para a remediação dos impactos ambientais, melhoria da qualidade da água e provisão de habitat para fauna associada a uma matriz flutuante construída (KIVAISI, 2001; BILLORE; S.J.; SHARMA, 2008; PINHEIRO, 2017, p. 116). O processo de despoluição se dá pela pelo contato das raízes e microrganismos associados em contato com a água em um processo de fitorremediação (CHANG; ISLAM; WANIELISTA, 2012; PINHEIRO, 2015). Adicionalmente, a vegetação da AFC favorece a fauna de aves, peixes e macroinvertebrados através da provisão de habitats, esconderijo, melhoria das

condições térmicas e alimentares (NAKAMURA; SHIMATANI, 1997; KIVAISI, 2001; CHANG; ISLAM; WANIELISTA, 2012; NING et al., 2014).

Diversos trabalhos têm publicado resultados positivos com o uso de AFC para remoção de poluentes e excesso de nutrientes com estudos demonstrando êxito na redução de contaminantes (KIVAISI, 2001; STEWART et al., 2008; DE STEFANI et al., 2011; CHANG; ISLAM; WANIELISTA, 2012), metais pesados (NING et al., 2014; LADISLAS et al., 2015), material particulado em suspensão (DE STEFANI et al., 2011). Os AFC também têm apresentado resultados na melhoria da concentração de oxigênio dissolvido (BILLORE; S.J.; SHARMA, 2008) e diversos outros parâmetros de qualidade da água (DE STEFANI et al., 2011; PINHEIRO, 2017). Entretanto, por mais que a sua eficácia venha sendo corroborada por inúmeros trabalhos pelo mundo, a tecnologia de AFC ainda é incipiente no Brasil (AACRP, 2017). No capítulo 2 será abordado com mais profundidade as características dos AFC, suas bases, exemplos, vantagens e limitações.

1.2. Justificativa

A presente pesquisa sobre AFC se justifica pelo contexto dos impactos ambientais relacionados aos corpos hídricos, em especial nas áreas urbanas, bem como a necessidade de inovações que auxiliem na proposição de soluções que adotem abordagens mais holísticas e sustentáveis como as bases oferecidas pelos conceitos de NBS e IV. Além disso, a incipiência de estudos que tenham o sistema de AFC como objeto de estudo no Brasil é um aspecto importante, pois dado a abrangência de recursos hídricos que possuímos e dos problemas enfrentados é importante integrar tendências que estão se mostrando promissoras em outros países. Adicionalmente, este estudo se mostra inovador no quesito de integrar a recuperação e geração de valor através SE aliado ao desenvolvimento de um dispositivo utilizando princípios de DT e LS dentro de uma abordagem abdução, que se adequa melhor na proposição de soluções para problemas não estruturados como é o das águas nas regiões urbanas. Finalmente, este projeto se mostra relevante por tratar do tema tanto do ponto de vista teórico quanto prático, pois inclui a realização do projeto experimental *in situ* com condições naturais em dois lagos localizados na cidade de São Paulo.

O escopo dessa pesquisa se limita a abordar o conceito de AFC como uma tipologia de IV a partir da perspectiva teórico-prática do design do produto utilizando

a combinação das metodologias de DT e LS. A delimitação experimental contou com a aplicação em dois lagos em área urbana na cidade de São Paulo, sendo um deles no contexto de empreendimento de lazer e prática de pesca esportiva e o outro de área de preservação permanente utilizada para fins educacionais e de pesquisa. Em relação aos dados, a análise correspondeu majoritariamente a perspectiva qualitativa.

Esse projeto foi realizado junto ao LabVerde da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo na área de Paisagem e Ambiente, sob orientação do Professor Doutor Paulo Renato Mesquita Pellegrino, na linha de Sistemas da Paisagem com coorientação do Professor Doutor Marcelo Luiz Martins Pômpeo do laboratório de Limnologia do Instituto de Biociências, ambos da Universidade de São Paulo.

1.3. Objeto e objetivos

O objeto de estudo da presente dissertação de mestrado é o AFC como tipologia de IV e dispositivo multifuncional com base em NBS sujeito a desenvolvimento de inovações utilizando técnicas de DT e LS abordado de forma teórica a partir de compilação de trabalhos sobre o tema e prática com a construção e avaliação do dispositivo.

São objetivos específicos desta pesquisa:

- a) Compilar trabalhos que representem o estado da arte da tecnologia de AFC e apresentá-los de forma sucinta e abrangente;
- b) Articular os conceitos de DT e LS para projetos ligados a demandas ambientais em corpos hídricos urbanos para criação de produtos;
- c) Projetar, construir e acompanhar protótipos de estruturas flutuantes quanto ao desempenho, flutuabilidade, modularidade e desenvolvimento da vegetação utilizando princípios de DT e LS;
- d) Caracterizar um MVP modular que possa ser aplicado em condições análogas ou receber ajustes para condições diferentes de forma embasada;
- e) Verificar o desenvolvimento, efetividade e funcionalidade *in situ* da vegetação para fins de fitorremediação através de análises da água, remoção de biomassa e produtividade vegetal;

- f) Avaliar a prestação de SE a partir da utilização do dispositivo pela fauna e flora, bem como pela percepção humana quanto a aspectos estéticos, atratividade e valor atribuído com a presença dos AFC.

Espera-se com esse recorte de estudo contribuir socialmente para um reconhecimento mais significativo e positivo sobre as águas urbanas, fazendo com que as pessoas tenham razões para olhar com bons olhos a existência de corpos hídricos tendo os AFC como um objeto de referência para isso.

No próximo capítulo será apresentado uma revisão sobre trabalhos científicos e exemplos práticos de aplicação de alagados flutuantes, buscando analisar cada elemento constituinte da tipologia, tais como: base flutuante, raízes artificiais, sistemas de ancoramento, tipos de materiais e vegetação utilizada. Também será apresentado uma revisão sobre os principais usos ligados a melhoria da qualidade da água, criação de habitat para fauna e fins estéticos. O capítulo 3 apresentará os conceitos de DT e LS com estágios de ideação, criação, rodadas de prototipagem e verificação, criação de um MVP e sua aplicação com o dispositivo de AFC com os resultados do seu desenvolvimento e performance ao longo do estudo. No capítulo 4 será apresentada a conceituação de SE aplicado ao projeto de AFC nos locais estudados correlacionando-os com a qualidade da água, a utilização pela fauna e flora e a perspectiva dos usuários do ponto de vista de benefícios e valores atribuído pela presença do dispositivo. O capítulo final discutirá de forma conjunta os aspectos teóricos e os resultados obtidos ao longo da pesquisa traçando as conclusões percebidas e perspectivas para futuros trabalhos.

2. REVISÃO SOBRE ESTADO DA ARTE EM ALAGADOS FLUTUANTES CONSTRUÍDOS

*Agora na polpa do barco
Quem guia é meu eu divino
Esse leme da minha vida
Vou seguindo meu destino*

*Chego no porto da praia
Dessa ilha encantada
Que se abre para mim
Os trunfos dessa jornada³*

³ Trechos da música “No leme estou” concebida pelo autor. Áudio disponível em:
<https://soundcloud.com/cleandho/59-no-leme-estou/s-SrGoZ>

Antes de apresentar o sistema de AFC, denominação escolhida em português para definir o objeto de estudo e tema principal desta dissertação de mestrado, serão apresentados outros sistemas correlatos que dão subsídios para sua compreensão e comparação, sendo eles as áreas alagadas naturais, em especial as flutuantes, e os sistemas de alagados construídos fixos, ou *constructed wetlands* (CW). Será dado um enfoque nos aspectos que garantam a comparação entre eles, uma vez que não é o objetivo deste trabalho fazer uma revisão sobre os alagados naturais flutuantes e de alagados construídos. Posteriormente serão apresentadas as características dos AFC, discutindo sua nomenclatura, vantagens e limitações, elementos principais da sua constituição e montagem e finalmente alguns exemplos da literatura. Portanto, este capítulo tem como objetivo principal fazer uma revisão e apresentar o estado da arte de AFC a fim de caracterizar e dar base para discussão dos resultados que serão apresentados nos capítulos posteriores.

2.1. Alagados Naturais e Flutuantes

Áreas alagadas, pantanais ou *wetlands*, são ecossistemas repletos de interações nos quais o solo permanece saturado ou coberto por água pelo menos em uma parte do ano, abrigando espécies vegetais capazes de se desenvolverem nestas condições (FONDER; HEADLEY, 2013). São formações naturais que ocorrem por processos livre de influência antrópica na sua gênese e que correspondem a aproximadamente 5% da superfície do planeta (IAMCHATURAPATR; YI; RHEE, 2007) e cerca de 20% do território brasileiro, sendo o Pantanal brasileiro um exemplo icônico deste tipo de ambiente (JUNK et al., 2014).

Juntamente as regiões alagadas que possuem vegetação ancorada no fundo do corpo hídrico, existem formações distintas que também compõem os ecossistemas brejosos chamadas de alagados flutuantes naturais. De acordo com a definição de Sasser e colaboradores (1991) um alagado flutuante natural é um brejo composto de plantas vasculares que formaram um emaranhado de zona de raízes vivas e em estado de decomposição, juntamente a turfa e detritos que flutuam como uma camada acima da coluna livre de água. Esta plataforma brejosa é compacta e grossa o suficiente para suportar o peso de uma pessoa e, por esta razão, flutua e apenas raramente, se não nunca, é inundada.

A flutuabilidade nos alagados flutuantes naturais é garantida graças a vegetação e aos processos físicos, químicos e biológicos envolvidos. Os processos

de decomposição ocasionam a formação e de gases que ficam aprisionados na camada formada, fazendo com que as plataformas flutuem sobre a superfície da água, mantendo-se saturadas por água sem submergirem (HEADLEY; TANNER, 2012a). Além dos gases aprisionados na trama vegetal, outros aspectos que garante a flutuação são a presença de estruturas nos tecidos vegetais como grandes cavidades preenchidas com ar nas raízes e rizomas bem como grandes células do aerênquima (HEADLEY; TANNER, 2012a) e dessa forma, algumas espécies são capazes de garantir a flutuabilidade de sistemas naturais (Tabela 1). Os alagados flutuantes naturais possuem uma infinidade de variações de formas e extensão com alguns chegando a milhares de hectares, como um exemplo em Louisiana, nos Estados Unidos (SASSER; GOSELINK; SHAFFER, 1991), podendo estes serem estacionários ou móveis, contarem com diversas espécies de plantas pioneiras, secundárias e tardias em sua composição e abrigarem rica biodiversidade (HEADLEY; TANNER, 2006; SCHWAMMBERGER; WALKER; LUCKE, 2017).

Tabela 1 - Espécies de plantas com formação alagados flutuantes naturais. São elencados exemplos de plantas cuja formação de emaranhados da zona de raízes torna capaz sua flutuação de forma natural, seja por estrutura interna (e.g. aerênquima abundante) ou por aprisionamento de gases. Fonte: Modificado de Headley e Tanner (2012).

| Espécie | Tipo de ecossistema | Local | Referência |
|---|----------------------------|----------------------------------|---------------------------------------|
| <i>Cyperus giganteus</i> Vahl | Pântano | Lagora Iberá, Argentina | GANTES et al., 2005 |
| <i>Rhynchospora asperula</i> (Nees) Steud. | Pântano | Lagora Iberá, Argentina | GANTES et al., 2005 |
| <i>Schoenoplectus californicus</i> (C.A.Mey.) Soják | Pântano | Lagora Iberá, Argentina | GANTES et al., 2005 |
| <i>Scirpus cubensis</i> Poepp. & Kunth | Pântano | Lagoa Infernã, São Paulo, Brasil | NOGUEIRA; ESTEVES; ENRICH-PRAST, 1996 |
| <i>Thalia multiflor</i> Horkel ex Körn. | Pântano | Lagora Iberá, Argentina | GANTES et al., 2005 |
| <i>Typha latifolia</i> L. | Pântano | Bacia do Rio Paraná, Argentina | BRUQUETAS DE ZOZAYA; NEIFF, 1991 |
| <i>Panicum hemitomom</i> Schult. | Lago | Lago Boeuf, Louisiana, EUA | SASSER; GOSELINK, 1984 |
| <i>Sagittaria falcata</i> Pursh | Lago | Lago Salvador, Louisiana, EUA | SWARZENSKI et al., 1991 |

Dada a complexidade de interações e processos que ocorrem em brejos flutuantes naturais, diversas pesquisas têm sido realizadas sobre o tema. Alguns estudos tem apontado que a camada formada pela zona de decaimento do material orgânico pode variar bastante, embora exista um padrão de estratificação do perfil vertical formado dentro de um alagado flutuante natural conforme abordado por Headley e Tanner (2006) (Figura 1). A porção acima é composta de uma densa trama formada entre matéria orgânica viva e em decomposição, seguida de uma zona de decaimento da turfa, da matéria orgânica e de detritos menos compacta, seguida posteriormente pela zona livre da coluna de água, que geralmente possui água translúcida e limpa. No sedimento abaixo da região do alagado flutuante, há uma camada lodosa, composta em sua maioria por argila rica em matéria orgânica altamente decomposta.

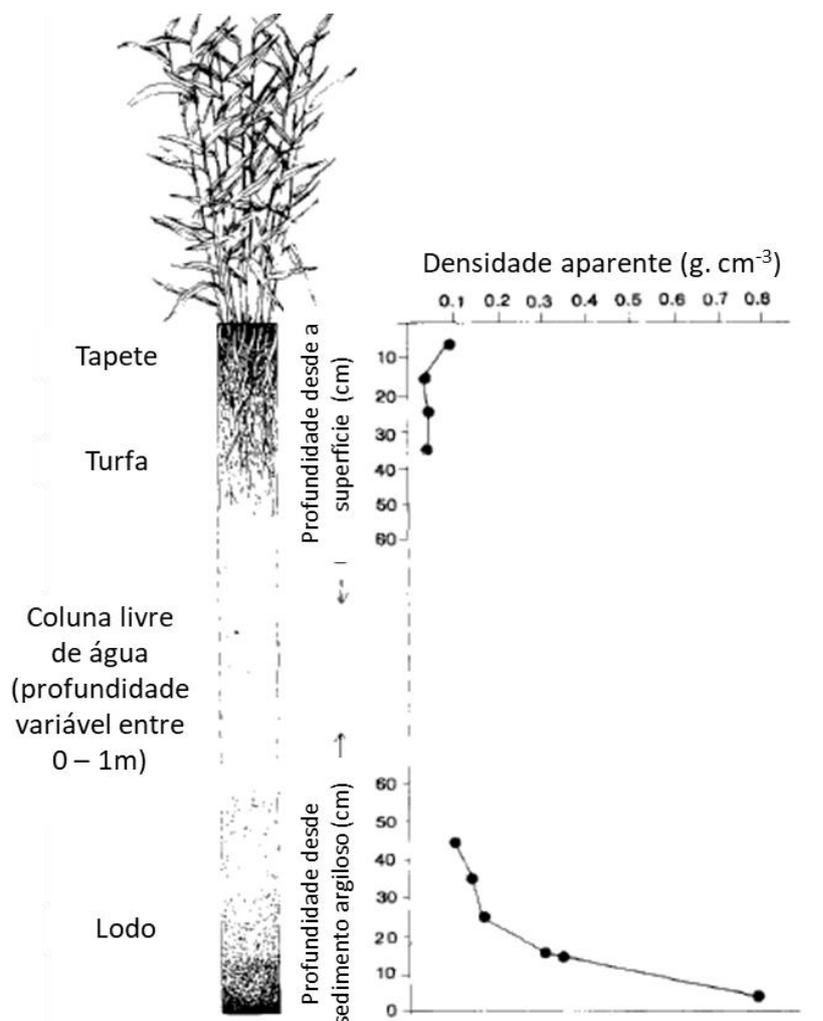


Figura 1 - Diagrama da sessão transversal de um alagado flutuante natural estudado em Louisiana, Estados Unidos. Fonte: Modificado de Sasser *et al.* (1991).

A vegetação obtém nutrientes e interage diretamente com a coluna de água influenciando nas suas características físicas e químicas do meio. A plataforma flutuante impede a troca direta de gases na interface água-ar promovida pela movimentação dos ventos em adição com a atividade de decomposição da matéria orgânica, formando assim uma região anaeróbica abaixo do alagado (HEADLEY; TANNER, 2006). Os nutrientes essenciais para o desenvolvimento da vegetação, como nitrogênio e fósforo, são encontrados em maiores concentrações na região do alagado flutuante do que nas áreas adjacentes. A diferença de concentração ocorrem, pois as plantas realizam a imobilização e translocação dos elementos em direção as partes aéreas do tecido vegetal que os acumula no processo de mineralização e gera uma exportação de nutrientes da coluna de água dos arredores (HEADLEY; TANNER, 2006). De acordo com Sasser (1991), a ciclagem e diferença na concentração dos nutrientes ocorrem também devido ao processo de decomposição através da extração e devolução destes para a coluna de água pela lixiviação da região da plataforma flutuante para a água durante as chuvas ao mesmo passo que outra parcela ao longo do tempo vai sendo depositada no sedimento.

Outro aspecto decorrente das interações em alagados naturais é a redução da presença de patógenos presentes na água. Essa redução ocorre, pois as bactérias patogênicas ficam aderidas na área superficial formada pelas raízes e morrem, seja pelas condições ambientais do local, como o pH, a salinidade e a concentração de oxigênio, ou pela competição direta com outras bactérias presentes no biofilme da zona radicular, sendo posteriormente sedimentadas junto com outros componentes no decaimento da matéria orgânica (HEADLEY; TANNER, 2006). Um estudo realizado na Uganda demonstrou a diminuição de coliformes fecais variando de uma a duas escalas logarítmicas na quantidade quando a água interagia com duas espécies de plantas em áreas de alagados flutuantes naturais, o papiro (*Cyperus papyrus* L.) e o miscanthus (*Miscanthidium violaceum* K. Schum.) (KANSIIME; VAN BRUGGEN, 2001).

2.2. Alagados Construídos ou *Constructed Wetlands*

Partindo do princípio de que a natureza serve de grande inspiração para diversos sistemas criados pelo ser humano, as chamadas NBS, foram desenvolvidos os alagados construídos (LIQUETE et al., 2016). O CW é um sistema projetado comumente utilizado no tratamento de água e efluentes e conta com o papel de

plantas aquáticas, flutuantes ou enraizadas, associada com a microbiota presente na zona de raízes (HEADLEY; TANNER, 2006). Os alagados construídos mimetizam processos naturais ao incorporar aspectos de interação ecológica e prestação de SE (LIQUETE et al., 2016) e fazer uso das capacidades naturais de assimilação e conversão de matéria orgânica e nutrientes de forma similar ao que ocorre nos sistemas naturais (BENASSI, 2018). Um trabalho realizado por Fonder e Headley (2013) classificou os diversos tipos de alagados construídos de acordo com alguns fatores, tais como: I) O tipo de vegetação utilizada (flutuante, emergente, submersa, etc.); II) os aspectos hidrológicos, como o nível da água, período de saturação da água, fluxo, etc. e; III) a forma de entrada de efluentes no sistema.

Dois sistemas principais são caracterizados em relação ao fluxo da água, sendo eles o de fluxo superficial e o de fluxo subsuperficial (FONDER; HEADLEY, 2013). Os alagados construídos de fluxo superficial estão constantemente saturados e a água tem passagem livre através da vegetação, que pode ser macrófitas emergentes⁴ ou flutuante conforme representadas respectivamente pelos itens (a) e (b) na Figura 2. Os alagados de fluxo subsuperficial agrupam os sistemas no qual a água interage com a vegetação para o seu tratamento através de um sedimento poroso, como brita, areia ou cascalho. Neste segundo tipo de sistema, o fluxo de água pode ser constante ou alternado, havendo períodos no qual o substrato não se encontra saturado. Alguns exemplos são apresentados em (c) e (d) da Figura 2.

⁴ Macrófitas emergentes são também chamadas de plantas helófitas (do grego *ἑλῶς*, helos, 'pântano', e *φυτόν*, phyton, 'planta'), bem como limnocriptófitas ou limnófitas é a classificação dada no Sistema de Raunkiær. São plantas que tem como característica o meristema de crescimento enterrado no lodo durante a época desfavorável do ano, típicas de ambientes pantanosos ou de águas rasas.

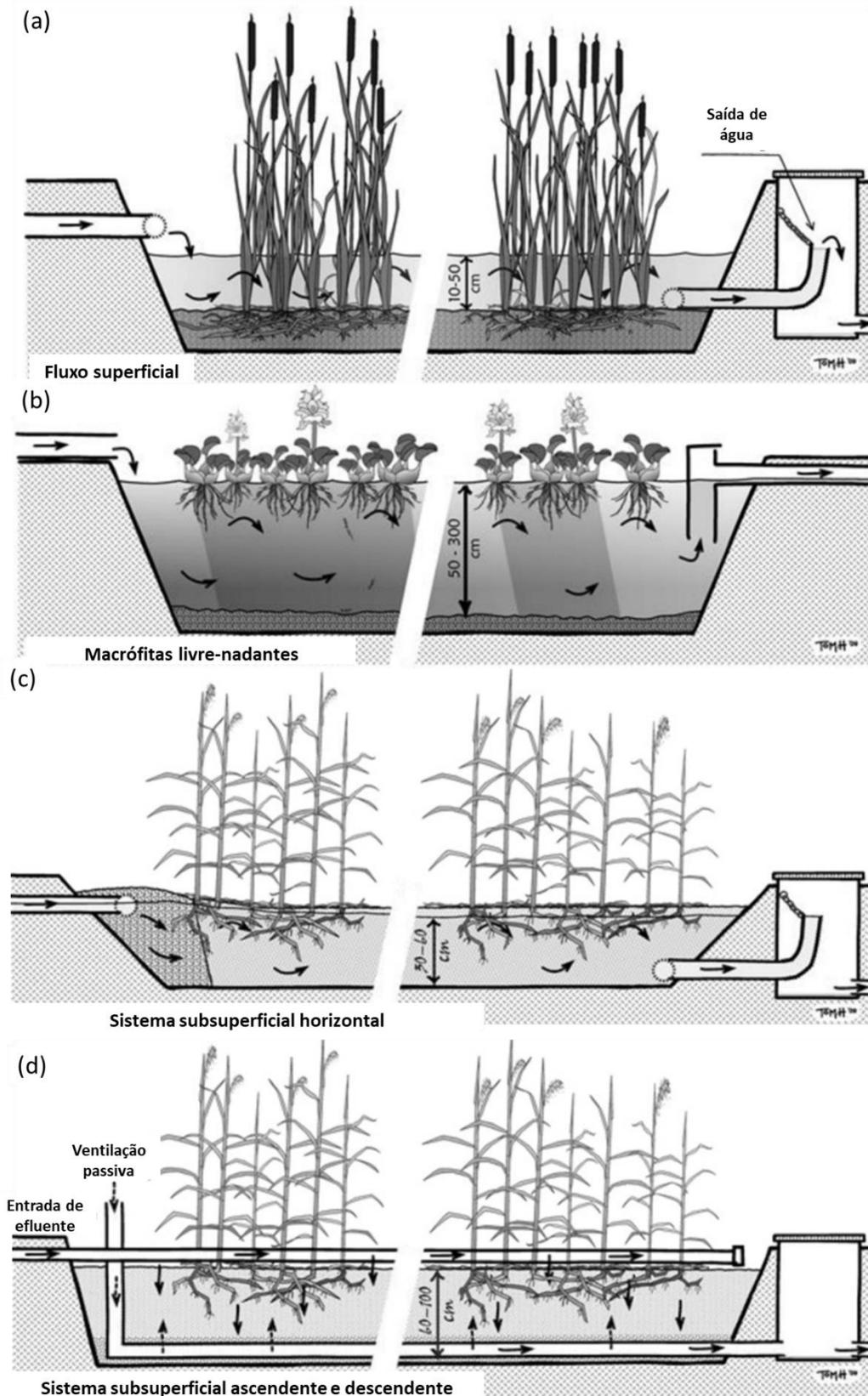


Figura 2 - Tipos padrões de alagados construídos para tratamento de efluentes. Sistemas de fluxo superficial com macrófitas emergentes (a) e flutuantes (b) têm água fluindo diretamente pela vegetação enquanto sistemas de fluxo subsuperficial tem água passando por sedimento poroso em fluxo horizontal (c) e vertical (d). Fonte: Adaptado de Fonder e Headley (2013).

2.3. Alagados Flutuantes Construídos

Os AFC são uma variação dos alagados construídos tradicionais que faz uso de macrófitas aquáticas emergentes que desenvolvem-se sobre uma matriz flutuante ao invés de utilizarem sedimento como substrato e tem como objetivo a melhoria da água e de prestação de diversos SE (HEADLEY; TANNER, 2006). De acordo com a classificação de Fonder e Headley (2013), o AFC possui fluxo superficial horizontal, de saturação constante e com vegetação emergente flutuando sobre uma plataforma. Pode-se então definir que os elementos mínimos para caracterizar um AFC são (I) uma plataforma que flutue sobre uma superfície líquida com (II) vegetação e (III) um sistema de zona de raízes com microbiota associada (PAVLINERI; SKOULIKIDIS; TSIHRINTZIS, 2017) conforme apresentado na (Figura 3). A plataforma geralmente é ancorada ou atracada nas margens a fim de manterem sua posição dentro do corpo hídrico e em alguns casos cobrem todo o espelho de água.

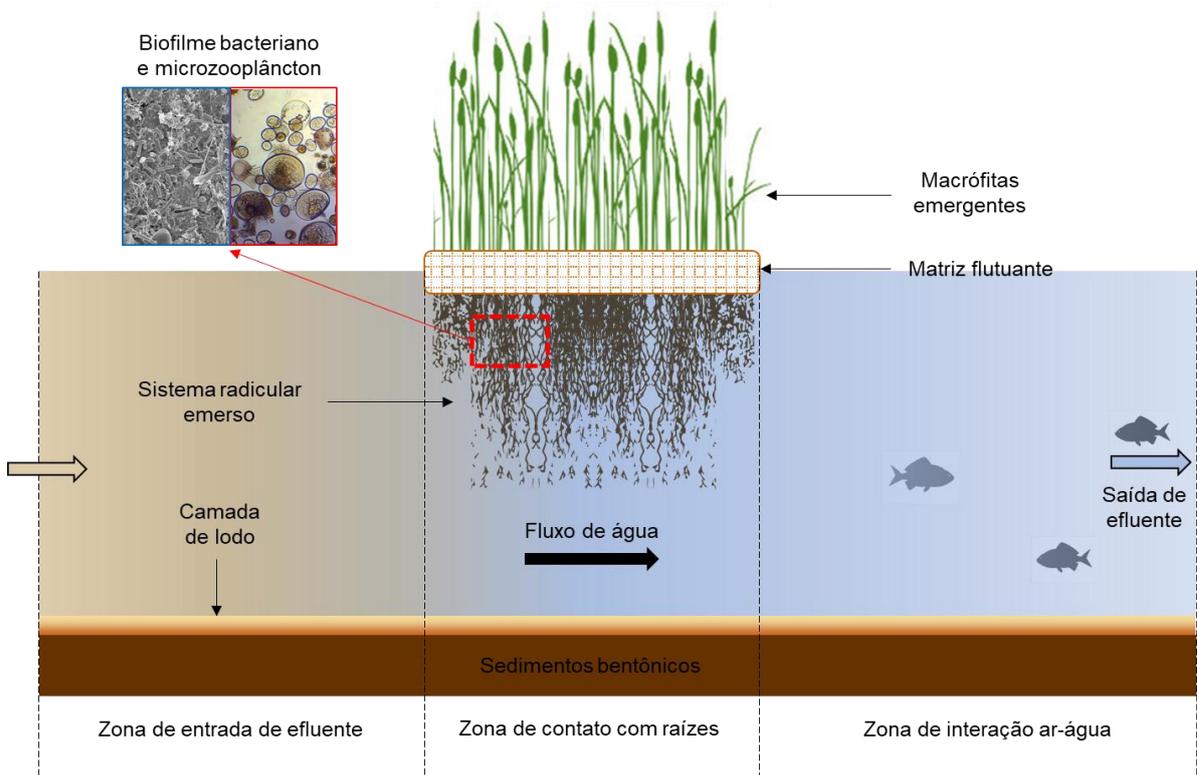


Figura 3 - Corte esquemático de Alagado Flutuante Construído. São indicados o fundo com sedimentos e a camada de lodo formada pela deposição de material particulado e um gradiente de melhoria da qualidade da água com a passagem pelo dispositivo. Em destaque é mostrado a formação de biofilme bacteriano (retângulo azul) e alguns representantes da comunidade de microzooplâncton (retângulo vermelho). Fonte: Elaborado pelo Autor, 2020.

2.4.1. Nomenclatura

Existe um grande número de termos para descrever o sistema de AFC, que varia de acordo com o país ou região de aplicação, utilizações comerciais, bem como traduções feitas em diversos idiomas (HEADLEY; TANNER, 2006, p. 9; BI et al., 2019). A multiplicidade de nomenclaturas torna difícil o levantamento de dados na literatura e estudos de meta-análise ou revisões amplas, uma vez que a busca por palavras-chave é um dos principais veículos para esse tipo de estudo (PAVLINERI; SKOULIKIDIS; TSIHRINTZIS, 2017). Entretanto, conhecer os trabalhos publicados é um dos pontos iniciais para sondar o estado da arte e, portanto, foi feito um levantamento dos principais termos e características dos projetos ligados a AFC. Na Tabela 2 são listados 22 termos diferentes em inglês relacionados com sistemas de AFC. Devido a quantidade de trabalhos sobre o tema ainda ser pequena no Brasil, a terminologia se mantém pouco variada, sendo que muitos dos trabalhos são publicados em inglês e utilizam alguns dos termos citados na Tabela 2 (GOLDONI et al., 2014; BENVENUTI et al., 2018). Quanto a terminologia em português, o trabalho de Rocha (2018) utiliza três termos, sendo eles “jardins flutuantes”, “ilhas flutuantes” e “ilhas artificiais flutuantes” para descrever aspectos mencionados no AFC mínimo.

Muitas das denominações caracterizam os dispositivos que correspondem aos elementos apresentados anteriormente na composição da ilha mínima, dentre os quais estão: *Artificial Floating Island*, *Artificial Floating Vegetated Island* (NAKAMURA; SHIMATANI, 1997), *Constructed Floating Wetland* (PAVLINERI; SKOULIKIDIS; TSIHRINTZIS, 2017) e *Floating Treatment Wetland* (TANNER et al., 2011a; BORNE; FASSMAN; TANNER, 2013; WINSTON et al., 2013a; WANG et al., 2015; OLGUÍN et al., 2017), entretanto, algumas variações de nomenclaturas caracterizam aspectos distintos e/ou incrementais aos sistemas de AFC. A título de exemplificação, o trabalho de Chen e colaboradores (2016) denominou o dispositivo estudado como *Hydroponic Root Mats*, que era constituído de um entrelaçamento de raízes e rizomas, no qual a própria vegetação formava a matriz flutuante, sendo um sistema construído pelo homem, porém análogo aos alagados flutuantes naturais por não utilizar uma plataforma artificial.

Outros sistemas acrescentam dispositivos adicionais a fim de aumentar o potencial de tratamento e melhoria da qualidade da água. Um exemplo é a utilização de aeradores que obtém energia utilizando painéis fotovoltaicos instalados na própria

plataforma e que aumentam a circulação e o contato da água com as raízes. Esses sistemas foram denominados *Solar-powered Artificial Floating Island* (SAFI) (LU; KU; CHANG, 2015) ou *Green-energy Artificial Floating Island* (GAFI) (YEH; YEH; CHANG, 2015). Outro exemplo chamado *Integrated Ecological Floating Bed* (IEFB) utiliza incrementos para aumentar a interação ecológica com meios de cultivo bacteriano, promovendo a proliferação e colonização da microbiota, e com bivalves filtradores, que aumentam a captura de material particulado em suspensão (LI et al., 2010).

Tabela 2 - Nomenclatura de sistemas de alagados flutuantes construídos em inglês. São apresentadas 22 nomenclaturas diferentes encontradas na literatura. Fonte: Elaborado pelo Autor, 2020.

| Nomenclatura utilizada | Sigla | Publicação |
|---|--------------|---|
| <i>Artificial Floating Island</i> | AFI | NAKAMURA; SHIMATANI, 1993; BILLORE; S.J.; SHARMA, 2008; LU; KU; CHANG, 2015; YEH; YEH; CHANG, 2015 |
| <i>Artificial Floating Reed Beds</i> | AFRB | BILLORE; S.J.; SHARMA, 2008 |
| <i>Artificial Floating Vegetated Island</i> | AFVI | NAKAMURA; TSUKIDATE; SHIMATANI, 1997 |
| <i>Constructed Floating Wetlands</i> | CFW | PAVLINERI; SKOULIKIDIS; TSIHRINTZIS, 2017 |
| <i>Ecological Floating Bed</i> | EFB | LI et al., 2010; CAO; ZHANG, 2014; PAVLINERI; SKOULIKIDIS; TSIHRINTZIS, 2017 |
| <i>Ecological Sludge Floating-Bed</i> | ESFB | HU et al., 2010 |
| <i>Floating Emergent Macrophyte Treatment Wetlands</i> | FEMTW | PAVLINERI; SKOULIKIDIS; TSIHRINTZIS, 2017 |
| <i>Floating Emergent Macrophyte Wetlands</i> | FEMW | TANNER; HEADLEY, 2011; PAVLINERI; SKOULIKIDIS; TSIHRINTZIS, 2017 |
| <i>Floating Emergent Treatment Wetland</i> | FETW | FONDER; HEADLEY, 2013 |
| <i>Floating Phyto-Bed</i> | FPB | KADAM et al., 2018 |
| <i>Floating Treatment Wetland</i> | FTW | TANNER et al., 2011; BORNE; FASSMAN; TANNER, 2013; WINSTON et al., 2013; WANG et al., 2015; OLGUÍN et al., 2017 |
| <i>Green Energy Artificial Floating Island</i> | GAFI | LU; KU; CHANG, 2015 |
| <i>Hydroponic Root Mats</i> | HRM | CHEN et al., 2016 |
| <i>Integrated Ecological Floating Bed</i> | IEFB | LI et al., 2010 |
| <i>Planted Floating Bed</i> | PFB | LI et al., 2010 |
| <i>Planted Floating System Beds</i> | PFSB | PAVLINERI; SKOULIKIDIS; TSIHRINTZIS, 2017 |
| <i>Planted Plataforma</i> | PP | PAVLINERI; SKOULIKIDIS; TSIHRINTZIS, 2017 |
| <i>Solar-Powered Artificial Floating Island</i> | SAFI | YEH; YEH; CHANG, 2015 |
| <i>Vegetated Floating Islands</i> | VFI | PAVLINERI; SKOULIKIDIS; TSIHRINTZIS, 2017 |
| <i>Vegetated Floating System</i> | VFS | BARTUCCA et al., 2016 |
| <i>Vertical Free Surface-Flow Floating Emergent Macrophyte Filter</i> | VFS | IAMCHATURAPATR; YI; RHEE, 2007 |
| | FMF | GOLDONI et al., 2014 |

2.4.2. Vantagens e limitações no uso de Alagados Flutuantes Construídos

O sistema de AFC tem sido considerado uma alternativa inovadora para o tratamento e melhoria da qualidade da água quando comparado com outros sistemas tradicionais e sistemas de CW (TANNER; HEADLEY, 2011), porém existem vantagens e limitações para o seu uso (Quadro 1), não podendo este ser visto como uma panaceia. Em alguns casos, projetos mais simples como o plantio e recuperação de vegetação ciliar de corpos hídricos pode ser uma alternativa mais viável do que a instalação de AFC por exemplo enquanto em outros o uso combinado de AFC a outras técnicas é recomendado (ZHAO et al., 2012). Portanto, é válido avaliar o sistema de AFC e tê-lo como uma alternativa e ser considerada em diversas aplicações de acordo com cada contexto, levando em consideração que este sistema possui funções múltiplas e que vão além da melhoria da qualidade da água e tratamento de efluentes.

A principal vantagem dos AFC é de conseguir operar independente da variação do nível da água sem impactar o desenvolvimento da vegetação, o que é interessante especialmente em situações que passam constantemente por variações de volume, por exemplo, o caso de tratamentos para águas pluviais (YEH; YEH; CHANG, 2015). Há registros de operação de alagados flutuantes com profundidades que variam de 0,3m até 3,6m (GREEN FUTURES LAB, 2013a; CHEN et al., 2016) enquanto os alagados construídos fixos operam no máximo a 0,5m de coluna de água, requerendo controle do volume tratado (CHEN et al., 2016).

Outras vantagens é o tratamento passivo, natural, com baixos custos de operação e manutenção (HEADLEY; TANNER, 2006, p. 6). Quando comparado com os alagados construídos, os custos acabam sendo reduzidos por não necessitar de substrato ou infraestruturas construídas para alocar a vegetação (CHEN et al., 2016) e por permitir a utilização de materiais recicláveis em seu processo construtivo (DAVID J; CHIH-YU; LAURIE J, 2013).

O uso de alagados flutuantes também auxilia no controle de odores, especialmente importante em casos de tratamento de efluentes domésticos e agropecuários (HUBBARD; GASCHO; NEWTON, 2004), além de resultar em melhorias ambientais e estética simultaneamente (HEADLEY; TANNER, 2006, p. 6).

A presença da plataforma faz com que a movimentação da coluna de água ocasionadas por vento, ondas, correnteza ou por mudanças de temperatura seja reduzida, promovendo um aumento na taxa de sedimentação, o que é particularmente

interessante em processos de *retrofit* de lagoas de sedimentação utilizadas para redução de materiais particulados e poluentes em suspensão (HEADLEY; TANNER, 2006, p. 6). Comparando o sistema com lagoas de sedimentação é possível perceber que partículas finas e contaminantes dissolvidos ficam aderidos na zona de raízes enquanto nas lagoas, apenas materiais particulados grande acabam sedimentando (HEADLEY; TANNER, 2012b).

Quadro 1 - Resumo de vantagens e limitações na utilização de alagados flutuantes construídos. Fonte: Elaborado pelo Autor, 2020.

| Vantagens |
|---|
| <ul style="list-style-type: none"> · Tolerância a variações no nível da água · Melhoria estética, aumentando apelo visual e interesse das pessoas pelos corpos hídricos · Provisão de sistema sustentável na remoção de poluentes · Provisão de habitat para biodiversidade · Flexibilidade no design, permitindo que seu tamanho e formato seja adaptado de acordo com a necessidade · Não gera disputa por uso de espaço e ocupação de solo · Baixo custo de operação e manutenção · Não requer uso de energia para sua operação (funcionamento passivo) · A instalação pode ocorrer em lagos, lagoas, tanques e outros corpos hídricos existentes sem necessidade de modificações estruturais · Controle de odores · <i>Retrofit</i> de lagoas de sedimentação · Reciclagem de nutrientes · Ausência de vibração e/ou ruídos · Melhor controle no desenvolvimento e área de ocupação da vegetação quando comparado com sistemas naturais · Potencial utilização da vegetação para alimentação de animais, biofertilizantes e uso para artesanato e outros fins comerciais · Potencial reuso e reciclagem da água |
| Potenciais limitações |
| <ul style="list-style-type: none"> · Adequação do sistema de ancoramento · Remoção periódica de matéria orgânica através de poda · Redução da área superficial de lagos e lagoas utilizadas para recreação · Ancoramento da vegetação no substrato durante a época de estiagem, o que pode causar afundamento da estrutura durante a época chuvosa · A presença de herbicidas ou carga de poluentes difusos ser muito elevada, levando a mortalidade da vegetação e impacto na comunidade microbológica da zona de raízes · Uso de espécies invasoras e/ou não nativas · Sombreamento de grandes áreas com depleção de oxigênio nas porções centrais da ilha |

A presença da plataforma também inibe o crescimento de algas por bloquear a penetração de radiação solar na coluna de água e também pelo papel exercido pela vegetação e os microrganismos associados ao sistema, que competem pelo uso de

nutrientes, que de outra forma poderiam ficar totalmente disponíveis e ocasionar eventos de floração (WEST et al., 2017).

Os AFC oferecem algumas vantagens frente ao território urbano quanto a disponibilidade de espaço e de valor agregado. É comum em áreas urbanas, devido ao descaso com os rios e córregos, que estes sejam canalizados, estreitando suas margens ou tamponá-los para ocultar seus vestígios e dar outros usos ao espaço (BROCANELI; STUERMER, 2009; BARTALINI, 2010). A tipologia de AFC oferece uma opção para reintegração das áreas urbanas azuis, agregando valor e dirimindo conflitos com usos do espaço ao ressignificá-lo (PELLEGRINO, 2017). Outro aspecto dos AFC é que eles realizam a função de tratamento das águas *in situ*, sem a necessidade de criação e ocupação de outras áreas para construção de estações de tratamento, sejam tradicionais ou de WC (LI et al., 2010). Muito embora, existem situações com as quais os AFC podem gerar conflitos pelo uso do espaço, como casos que existam atividades recreativas ou de navegação, sendo necessário articular a coexistência de ambos os sistemas (MALLISON; STOCKER; CICHRA, 2001; DAVID J; CHIH-YU; LAURIE J, 2013).

Os alagados construídos tradicionais possuem problemas devido a colmatação⁵ (ROCHA, 2018), que é causado por materiais filtrantes, acúmulo de sólidos e pelo desenvolvimento de biofilmes e da zona de raízes, o que inviabiliza aumenta a necessidade de manutenções expressivas após um certo período de operação (BENASSI, 2018, cap. 9), enquanto os AFC conseguem contornar este problema devido ao sistema radicular estar emerso na água, ou seja, quanto maior e expressivo for o seu desenvolvimento, melhor e mais efetivo para o sistema.

2.4.3. Elementos presentes nos Alagados Flutuantes Construídos

Conforme mencionado anteriormente, os alagados construídos flutuantes são compostos por basicamente três elementos, sendo eles a plataforma flutuante, a vegetação e a zona de raízes com organismos associados. Esta seção apresentará esses elementos com maior detalhamento e para tal será dividida em três partes, sendo elas: I) os elementos vivos utilizados para prestação de SE, como plantas, bactérias e organismos filtradores; II) os elementos construtivos e de estabilização da

⁵ Preenchimento dos poros, aterramento ou entupimento devido ao crescimento das raízes e acúmulo de material sólido durante o processo de tratamento de efluentes em alagados construídos.

plataforma e por fim; III) os elementos adicionais que tem sido utilizados em AFC para finalidades específicas ou para a ampliação de alguns efeitos desejados de acordo com a necessidade ou local de aplicação.

2.4.4. Elementos vivos

2.4.4.1. *Macrófitas emergentes*

O principal elemento para o funcionamento do AFC são as macrófitas emergentes. A vegetação cria uma zona de intensa interação ecológica com outros organismos promovendo a ciclagem de nutrientes, alterações em aspectos físicos e químicos da água (POMPÊO, 2008). As macrófitas aquáticas emergentes utilizadas em AFC são encontradas geralmente em bancos de sedimento nas margens de rios e lagos, aonde o sistema radicular se desenvolve dentro do substrato saturado com a porção fotossintética exposta acima da superfície (POMPEO, 2017). Alguns exemplos de vegetação utilizadas em AFC e o objetivo principal dos projetos são apresentadas na Tabela 3.

Estudos reportam a redução de DBO, nitrogênio e fósforo (WANG; SAMPLE, 2014; YEH; YEH; CHANG, 2015), remoção de poluentes (WHITE; COUSINS, 2013; BENVENUTI et al., 2018; KADAM et al., 2018), de metais pesados (LI et al., 2012a), eliminação de patógenos (KANSIIME; VAN BRUGGEN, 2001), tratamento de efluentes agrícolas e agropecuários (LI et al., 2012a), poluição difusa (SCHWAMMBERGER; WALKER; LUCKE, 2017), combate a eutrofização (JONES et al., 2017; WEST et al., 2017) entre diversas outras funções realizadas pelas macrófitas emergentes (DHOTE; DIXIT, 2009). Por contar com o desenvolvimento da zona radicular de forma livre e emersa dentro do meio aquático abaixo da plataforma flutuante, a vegetação é capaz de assimilar nutrientes, poluentes, metais pesados e outras substâncias diretamente da coluna de água a partir do crescimento hidropônico para incremento da sua biomassa ao invés de obtê-los do sedimento como acontece no desenvolvimento natural das macrófitas emergentes e em sistemas de WC tradicionais (TANNER et al., 2011a).

As plantas servem como alternativa mais econômica e ecologicamente amigável quando comparada com outros sistemas que requerem o uso de produtos químicos (QUEIROZ; BOEIRA; NICOLELLA, 2016) ou equipamentos que consomem energia elétrica para remover poluentes (GARRELL et al., 1977; FAST, 1978), pois

utilizam nutrientes disponíveis na água e energia solar para seu desenvolvimento. Adicionalmente a não requerer insumos adicionais, a biomassa acumulada pela vegetação durante o seu crescimento pode se tornar um recurso ao ser utilizada na geração de alimento animal, biogás, adubo, confecção artesanal de produtos entre outros e assim aumentar ainda mais a vantagem econômica na utilização de plantas (LI et al., 2010).

Tabela 3 – Relação de espécies de macrófitas emergentes utilizadas em alagados flutuantes construídos e sua finalidade principal. Fonte: Elaborado pelo Autor, 2020.

| Espécie | Objetivo principal do estudo | Referência |
|--|--|---|
| <i>Canna flaccida</i> Roscoe <i>Juncus effusus</i> L. | Remoção de nutrientes | WHITE; COUSINS, 2013 |
| <i>Iris pseudacorus</i> L. <i>Juncus effusus</i> L. <i>Phragmites australis</i> (Cav.) Steud | Inibição de proliferação de fitoplâncton | JONES et al., 2017; WEST et al. 2017 |
| <i>Carex appressa</i> R.Br. | Poluentes pluviais | SCHWAMMBERGER et al., 2017 |
| <i>Geophila herbacea</i> Kuntze <i>Lolium perenne</i> L. <i>Cyperus papyrus</i> L. <i>Gypsophila</i> sp. | Quebra de hidrocarbonetos | LI et al. 2012 |
| <i>Miscanthidium violaceus</i> K. Schum. <i>Oenanthe javanica</i> DC. <i>Pontederia cordata</i> L. <i>Salix babylonica</i> L. | Remoção de nutrientes | WANG; SAMPLE, 2014; YEH; YEH; CHANG, 2015 |
| <i>Cyperus papyrus</i> L. <i>Miscanthidium violaceus</i> K. Schum. | Remoção de patógenos | KANSIIME; VAN BRUGGEN, 2001 |
| <i>Chrysopogon zizanioides</i> (L.) Roberty <i>Typha angustifolia</i> L. <i>Typha domingensis</i> Pers. | Tratamento de efluentes | BENVENUTI et al., 2018; KADAM et al. 2018 |
| <i>Cynodon dactylon</i> (L.) Pers. <i>Panicum dichotomiflorum</i> Michx. | Tratamento de efluentes agropecuário | YEH; YEH; CHANG, 2015 |

Além do papel realizado diretamente pelas plantas, a vegetação cria uma extensa área superficial na zona de raízes, servindo de substrato para a colonização de microrganismos (URAKAWA; DETTMAR; THOMAS, 2017), protozoários (e.g. ciliados e flagelados), metazoários (e.g. rotíferos e oligoquetos) e organismos filtradores diversos (HEADLEY; TANNER, 2012b; OLGUÍN et al., 2017). A formação deste ecossistema complexo na rizosfera promove um ambiente propício para transformações bioquímicas dos contaminantes, filtragem, acúmulo de materiais

particulados e de sólidos em suspensão, criando condições para o tratamento da água que entra em contato com esta região (HEADLEY; TANNER, 2012b).

2.4.4.2. Seleção e manutenção das espécies

A escolha das espécies utilizadas nos projetos com AFC é um aspecto crítico pois deve levar em consideração tanto os aspectos biológicos e autoecológicos⁶ da planta (POMPEO, 2017) quanto a integridade ecossistêmica do local de aplicação (PAVLINERI; SKOULIKIDIS; TSIHRINTZIS, 2017). Wang e Sample (2014) listam cinco critérios importantes que devem ser atendidos do ponto de vista funcional e ecológico, devendo ser: 1) espécies nativas ou não invasoras; 2) plantas perenes; 3) macrófitas emergentes ou terrestres; 4) ter habilidade de desenvolver-se de forma hidropônica e; 5) plantas com aerênquima. Espécies invasoras por vezes podem gerar impactos ambientais nos quais os custos para a restauração do habitat seriam superiores aos benefícios gerados pelo AFC. O uso de macrófitas emergentes e/ou terrestres que tolerem crescimento hidropônico facilita o controle populacional e área de abrangência da vegetação quando comparado com macrófitas flutuantes livres (WANG; SAMPLE, 2014; POMPÊO et al., 2018). A presença de aerênquima nas plantas auxilia na flutuação da plataforma juntamente a estrutura construída e permitem o transporte de oxigênio da atmosfera para a coluna de água (CRONK; FENNESSY, 2001 *apud* WANG; SAMPLE, 2014). O uso de espécies com apelo estético, como a presença de flores auxilia na aproximação das pessoas pelo dispositivo (WANG; SAMPLE, 2014).

Analisando do ponto de vista econômico, outros fatores também podem ser levados em consideração para a escolha das espécies. Benassi (2018) ressalta que deve analisado a adaptabilidade da vegetação para a região, a disponibilidade e facilidade de obtenção, a atratividade estética e se existe a possibilidade de geração de subprodutos economicamente rentáveis (e.g. matéria prima para produção de artesanato).

Sob a ótica da manutenção da porção aérea das plantas, é importante analisar os objetivos principais desejados e o desempenho da mesma. Quando a prioridade do AFC foi voltado principalmente melhoria de parâmetros da água, a recomendação

⁶ Ramo da ecologia que estuda como cada espécie responde frente a aspectos ambientais de forma individual, enquanto ecologia estuda a composição entre as espécies interagindo entre si e com o ambiente.

é de que a vegetação se mantenha em fase de crescimento vegetativo, pois isso garante que os processos fisiológicos estejam voltados para o crescimento e extração de nutrientes e poluentes e desta forma evita-se que as plantas atinjam estágios de floração e/ou frutificação (CHANG; ISLAM; WANIELISTA, 2012). Em contrapartida, ao permitir que a vegetação atinja estágios de floração e frutificação podem gerar efeitos benéficos para outros fins como o de maior atratividade paisagística com a apresentação de padrões e cores (WANG; SAMPLE, 2014), e o suprimento de néctar, pólen e outras fontes de alimentos que podem ser utilizados pela fauna, aumentando a biodiversidade local, a prestação de SE de provisão e culturais entre outros aspectos (BENVENUTI et al., 2018). A manutenção da porção aérea também pode incluir aspectos do controle populacional, pois em alguns casos a vegetação pode ter sua abundância diminuída pela predação por herbívoros (POMPÊO, 2008; WINSTON et al., 2013a; SOUZA et al., 2014) ou apresentar aumento acentuado devido a condições ambientais favoráveis, podendo sobrecarregar a estrutura da plataforma (POMPEO, 2017) ou oferecer resistência ao vento, deixando as plataformas susceptíveis a tombamentos (HEADLEY; TANNER, 2006).

A utilização de determinadas espécies também implica em quanto elas são capazes de suportar a carga do efluente, os tipos poluentes a serem tratados ou removidos. Algumas espécies possuem graus de tolerância diferenciado para certos tipos de poluentes, carga de efluentes e adaptação a propriedades físico-químicas da água (ABU BAKAR et al., 2013; BENASSI, 2018, cap. 5).

Por fim, além da porção aérea das plantas, é importante levar em consideração a zona radicular. Uma vez que os alagados flutuantes têm a melhoria da água como finalidade na maioria dos casos, a amplitude e tipo de sistema radicular deve ser analisada, pois uma maior área de contato e secreção de exudatos permitem a promoção da colonização por microrganismos e formação de biofilme que é um dos elementos cruciais na quebra do material orgânico e poluentes (HEADLEY; TANNER, 2006; CHEN et al., 2016) e será abordado no próximo tópico.

Tendo em vista os aspectos citados acima, fica explícito a necessidade de tratar a tecnologia de AFC como um dispositivo vivo, que diferentemente de infraestruturas artificiais, possui aspectos que geram variações operacionais e de performance, mas que se levados em consideração, permitem sua plena funcionalidade de maneira

autosustentável e ecologicamente amigável contando com o atendimento de múltiplas funções como outros dispositivos de IV e de NBS.

2.4.4.3. *Biofilme bacteriano*

Muitos dos processos que levam a melhoria da qualidade da água são realizados por microrganismos associados a zona de raízes dos AFC (HEADLEY; TANNER, 2006). Bactérias, fungos e leveduras presentes nos dispositivos utilizam a matéria orgânica em decomposição como fonte de energia e substrato em seus ciclos celulares e crescimento (BENASSI, 2018, cap. 5). A presença desses microrganismos é estimulada graças a estrutura física da zona radicular que promove uma extensa área superficial de adesão, bem como pela secreção de exudatos pela rizosfera, induzindo a formação de biofilmes (URAKAWA; DETTMAR; THOMAS, 2017). Adicionalmente, os AFC criam diferentes microambientes, contando com zonas aeróbicas e anaeróbicas com diferentes gradientes de luminosidade dentro do meio aquático, gerando assim uma grande diversidade de habitats quando comparado com a coluna de água (URAKAWA; DETTMAR; THOMAS, 2017).

Urakawa e colaboradores (2017) demonstraram uma elevada complexidade na composição ecológica das comunidades microbianas na zona de raízes de AFC. Pôde-se notar com os resultados do estudo três áreas distintas na porção submersa dos AFC, sendo elas as raízes, caracterizadas pela liberação de exudatos, o biofilme formado sobre partes artificiais da plataforma (*i.e.* células polietileno para plantio, espuma e material flutuante) e a água circundante a plataforma, sendo que a região das raízes apresentou a maior quantidade e diversidade de microrganismos. Em relação as funções metabólicas, a microbiota pertencia apresentou sete grupos diferentes, sendo eles: redutores de sulfato; oxidação aeróbica de enxofre; oxidação anaeróbica de enxofre; metanotróficas; metilotróficas; nitrificantes e desnitrificantes e; fotoautotróficas distribuídos filogeneticamente em 56 gêneros diferentes, sendo os mais abundantes do gênero *Anabaema*, *Rhizobium* e *Rhodobacter*. Isso demonstra a riqueza de funções exercida pela microbiota, reforçando seu papel para a funcionalidade dos AFC.

Apenas a título de exemplificação, pois não faz parte dos objetivos desta dissertação abordar em profundidade o papel exercido pela microbiota em AFC, podemos analisar o ciclo do nitrogênio. O nitrogênio é um dos elementos que precisam de maior controle para manutenção da qualidade da água em corpos hídricos, pois

quando em elevadas concentrações pode oferecer riscos à saúde humana (URAKAWA; DETTMAR; THOMAS, 2017) e é um dos principais elementos causadores da eutrofização (LI et al., 2010). Ocorrem processos de amonificação com a transformação de nitrogênio orgânico em amônia por bactérias aeróbicas e anaeróbicas associadas a zona de raízes, posteriormente a amônia é convertida em nitrito e nitrato por bactérias nitrificantes e finalmente a redução de nitrato por bactérias desnitrificantes, convertendo em nitrogênio gasoso anaeróbicas (BENASSI, 2018, cap. 5; THAKUR; MEDHI, 2019). Dessa forma é possível ressaltar que o uso de AFC auxilia na criação de um rico ambiente para desenvolvimento de microrganismos que auxiliam no processo de melhoria da água de forma aditiva a vegetação.

2.4.4.4. Protozoários, micrometazoários e filtradores

Além da comunidade microbiológica, outros organismos que compõem a comunidade da zona de raízes em alagados flutuantes auxiliam no papel de remoção de material particulado, controle populacional de microrganismos e na predação de patógenos dentro das cadeias tróficas aquáticas (MEIRA et al., 2018). Alguns protozoários como amebas tecadas (e.g. *Arcella* sp.), ciliados (e.g. *Paramecium* sp., *Aspidisca* sp. e *Vorticella* sp.) e pequenos crustáceos (e.g. *Daphnia* sp.) demonstram um importante papel no tratamento de efluentes (SHINY et al., 2005; HEADLEY; TANNER, 2006; BENASSI, 2018, cap. 5). Um estudo apresentado por Song e colaboradores (2009) reportou a diversidade de 12 gêneros de protozoários e 4 grupos de metazoários componentes do microzooplâncton na redução de algas responsáveis por afloramentos em lagos eutrofizados. A título de exemplificação, protozoários como *Paramecium caudatum* tem papel reconhecido na eliminação de bactérias patogênicas como as causadoras de difteria, febre tifóide, cólera e de bactérias fecais como *Escherichia coli*, enquanto a *Daphnia magna*, um organismo zooplânctônico, auxilia na ciclagem de matéria orgânica em suspensão e na predação e controle populacional de algas (SHINY et al., 2005).

Além dos organismos microscópicos, animais filtradores também auxiliam na remoção de material particulado em alagados construídos. Reconhecendo o papel de organismos filtradores no processo de melhoria da qualidade da água, Li e colaboradores (2010) incrementaram o sistema de AFC utilizando bivalves da espécie *Corbicula fluminea* no processo de melhoria da água em associação com a vegetação

e microrganismos, acelerando o processo de degradação e remoção de poluentes em águas eutrofizadas.

Em conclusão sobre os elementos vivos presentes nos AFC, os estudos apresentados demonstram que a vegetação é um elemento importante para aspectos estéticos e na melhoria da qualidade, tanto de forma direta com acumulação e transformação de poluentes em biomassa, quanto para dar suporte a outros organismos como bactérias e plâncton. Os organismos microscópicos auxiliam múltiplas funções e a sua diversidade aumenta a complexidade metabólica na zona de raízes. Além disso, os dispositivos podem contar com animais filtradores para elevar a sua eficiência. A seguir serão apresentados os elementos construídos que compõem os AFC.

2.4.5. Elementos construídos

Sendo os alagados flutuantes um tipo de dispositivo que associa elementos biológicos e construtivos, serão apresentados neste item da dissertação os dois elementos principais para o seu funcionamento, sendo eles os materiais que garantem a flutuação e os elementos de ancoramento. Existem alguns projetos que utilizam materiais biológicos para flutuação (e.g. bambu) ou que dependem apenas da flutuabilidade gerada pelo aerênquima da própria vegetação. Também há casos nos quais não há necessidade de ancoramento, seja por contar com uma total cobertura do corpo hídrico, por ser realizado em escala laboratorial ou por permitir sua movimentação livre na superfície da água. Entretanto, a maior parte dos projetos utiliza pelo menos materiais que garantam a flutuabilidade das plataformas.

2.4.5.1. Materiais para flutuação das plataformas

Diversos materiais têm sido utilizados para a construção de plataformas que deve basicamente garantir a flutuabilidade do sistema, servir como base para o crescimento da vegetação e ter suporte para ancoragem quando necessário (HEADLEY; TANNER, 2006). A escolha dos materiais deve atender requisitos básicos como durabilidade, maleabilidade, disponibilidade do material, custo e a degradação ao longo do tempo a fim de atender aos objetivos e evitar oferecer problemas para o corpo hídrico ou para a biodiversidade presente (KERR-UPAL; SEASONS; MULAMOOTTIL, 2000). Um exemplo de como o tipo de material pode interferir no ambiente foi demonstrado através de um projeto em escala de campo realizado no

aeroporto de Heathrow, na Inglaterra, no qual o uso de plataforma metálica pode ter influenciado nos resultados de remoção de zinco e outros metais em um projeto que tinha como finalidade tratar o escoamento superficial (HEADLEY; TANNER, 2006), sendo que o problema poderia ter sido contornado com o uso de metal de sacrifício que sofreria a oxidação⁷ ou utilizando outros materiais que não sofressem significativa oxidação.

A flutuabilidade da plataforma pode ser obtida tanto de forma artificial, que é a mais comum entre os projetos ou de forma natural (Figura 4). Para as plataformas artificiais, são utilizados materiais como tubos (PVC, PE, PP, etc.), recipientes fechados (barris, toneis, galões, garrafas PET, etc.), placas (isopor, poliestireno extrudado, EVA, etc.), ou aplicação através de aplicação de poliestireno expandido ou outros tipos de espuma de baixa densidade (HEADLEY; TANNER, 2006; PAVLINERI; SKOULIKIDIS; TSIHRINTZIS, 2017). Estes materiais podem ser combinados e fixos entre si utilizando materiais como cordas, fios, chapas, estruturas metálicas ou outras amarrações diversas, sendo que existem tanto dispositivos de produção artesanal quanto industrial (HEADLEY; TANNER, 2006; GREEN FUTURES LAB, 2013a). Em relação as plataformas que utilizam materiais naturais, a flutuação pode ser obtida através de plantas ricas em aerênquimas e contar com o aprisionamento de gases (PAVLINERI; SKOULIKIDIS; TSIHRINTZIS, 2017) ou a partir do uso de materiais como madeira, bambu ou fibras de plantas (HEADLEY; TANNER, 2006), sendo um exemplo desta aplicação as ilhas flutuantes dos Uros, no lago Titicaca distribuídos entre o Peru e a Bolívia (Figura 4-L).

Com o aumento do interesse e validação da funcionalidade dos AFC, diversas empresas têm desenvolvido industrialmente seus próprios dispositivos. Um exemplo é o da empresa escocesa Biomatrix Water que utiliza módulos feitos com tubos de elevada resistência e conexões de aço-inox que podem ser combinadas na criação de diversos padrões e formatos e sendo capazes de resistir a choques contra embarcações e eventos naturais severos como tufões (BIOMATRIX WATER, 2019a). Outras empresas como a alemã Bestmann Green System e a inglesa A.G.A. Group também possuem plataformas modulares de fácil instalação e transporte dado a sua modularidade (HEADLEY; TANNER, 2006; GREEN FUTURES LAB, 2013a).

⁷ Metal de sacrifício é qualquer metal utilizado em estruturas submetidas a ambientes oxidantes, com o objetivo de ser oxidado em seu lugar. Esse metal deve possuir menor poder de redução do que o material utilizado na estrutura a fim e protegê-la.

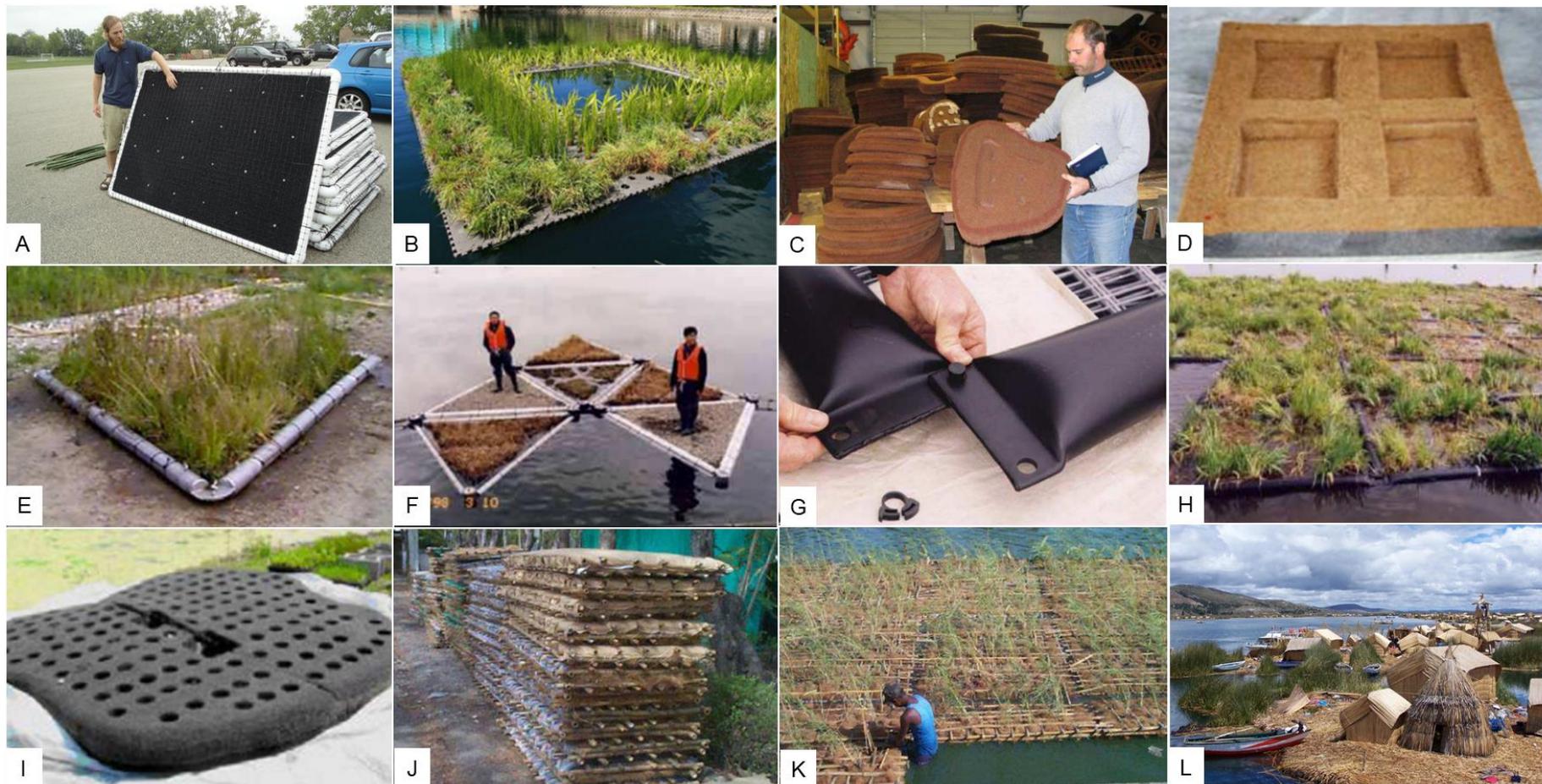


Figura 4 – Exemplos materiais utilizados para construção de alagados flutuantes construídos. A) Estrutura em PVC e telas plásticas da Grassroots Ecological Design (2012); B) placas de EVA com nicho para plástico para plantio da Beemats Floating Wetlands; (C e D) fibra orgânica (HEADLEY; TANNER, 2006; GREEN FUTURES LAB, 2013a); plataformas industriais com estrutura metálica triangular (E) com módulos instalados (F) da Bestmann Green System (HEADLEY; TANNER, 2006); I) matriz feita com garrafas PET triturada e espuma expandida da BlueWing Floating Treatment Wetlands (GREEN FUTURES LAB, 2013a); plataformas feitas com bambu e fibra de coco (J) instaladas no rio Kshipra na Índia (K) (HEADLEY; TANNER, 2006); L) Ilhas flutuantes de Uros, no lago Titicaca, fronteira entre Bolívia e Peru, feita com fibra de totora (*Schoenoplectus californicus* subsp. *tatora*) (PORRAS, 2007).

2.4.5.2. *Meio de cultivo*

O sistema de AFC possui o princípio de crescimento hidropônico da vegetação, que obtém os nutrientes diretamente da coluna da água, porém diversos projetos incluem meio de cultivo como elemento em sua construção. Diversos materiais tem sido aplicados para o estabelecimento das plantas, tais como fibra de coco, solo, areia, turfa, composto, fibras de plantas, bambu, pedra-pomes⁸ e perlite⁹ (PAVLINERI; SKOULIKIDIS; TSIHRINTZIS, 2017). O meio de cultivo serve para o estabelecimento inicial das plantas na fase em que estas estão desenvolvendo o sistema radicular sobre as plataformas e para a colonização por microrganismos que se aderem as superfícies do material.

Por mais que ainda não seja um dos elementos mais estudados, o meio de cultivo pode gerar diferenças nos resultados obtidos na remoção de nutrientes. Cao e Zhang (2014) realizaram um estudo utilizando três sistemas comparando o uso de palha de arroz, preenchimento de aparas plásticas e um modelo controle. Os resultados indicaram que os AFC que utilizaram palha de arroz como meio de cultura apresentaram melhores resultados na remoção de amônio e TN, devido a maior colonização de bactérias nitrificantes e desnitrificantes.

2.4.5.3. *Ancoramento*

Sistemas de ancoramento são elementos cruciais quando se considera o posicionamento de dispositivos alocados dentro de um corpo hídrico. A fim de evitar que sejam arrastados por eventos diversos ou sofrerem danos ao chocarem-se com outras estruturas, as plataformas requerem tipos de ancoragem específicos de acordo com sua natureza e necessidades de fundeio (OLIVEIRA, 2013). No caso dos alagados construídos flutuantes é possível considerar duas categorias de ancoragem, sendo elas as de borda e as de fundo conforme ilustrado na Figura 5.

Sistemas de ancoramento de borda são formados pelo ponto de ancoragem na margem e um ponto de fixação na plataforma que pode ser feito por hastes, cabos, cordas ou outros elementos de amarração. Este sistema possui a característica de ser flexível e é idealmente utilizado quando a plataforma é posicionada próxima as margens ou em leitos de rios caudalosos, nos quais o ancoramento de fundo poderia

⁸ Pedra-pomes é um tipo de rocha vulcânica gerado na fase de ejeção de gases contidos na lama formando uma rocha esponjosa de baixa densidade.

⁹ Perlite é vidro vulcânico com alto teor de água formado geralmente pela hidratação da obsidiana.

ser arrastado pela correnteza. Uma possível desvantagem desse tipo de ancoramento está na quantidade de material utilizado nos casos em que a ilha esteja posicionada distante da margem ou na criação de um obstáculo dentro do corpo hídrico entre o ponto de fixação na margem e a plataforma.

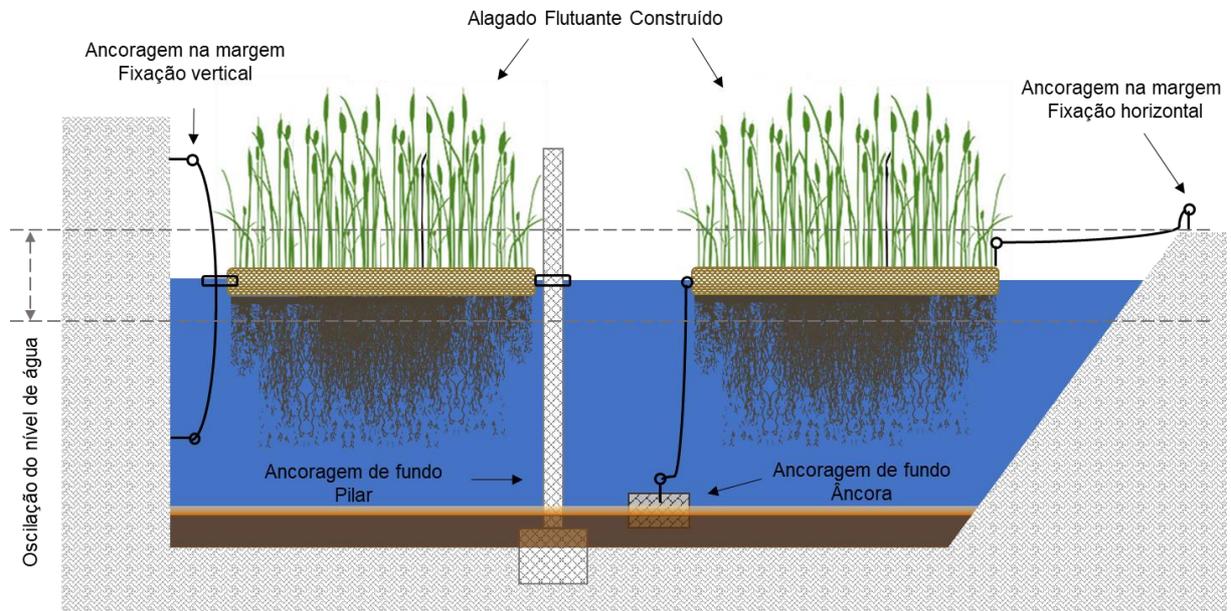


Figura 5 - Exemplo esquemático de tipos de ancoramento. Ilustra pontos de fixação na margem, preso ao solo horizontalmente ou em alguma parede lateral na vertical e no fundo com amarração na plataforma flutuante e ancoragem com pilar. Detalhe para o grau de penetração no substrato para as ancoragens de fundo, onde a âncora fica presa ao sedimento enquanto as pilastras costumam penetrar mais profundamente. Linhas tracejadas indicam o nível de oscilação da água. Todos os sistemas de ancoramento possuem sistemas que permitem acompanhar a flutuação do nível da água. Fonte: Elaborado pelo Autor, 2020.

Sistemas de ancoramento de borda são formados pelo ponto de ancoragem na margem e um ponto de fixação na plataforma que pode ser feito por hastes, cabos, cordas ou outros elementos de amarração. Este sistema possui a característica de ser flexível e é idealmente utilizado quando o AFC é posicionado próxima as margens ou em leitos de rios caudalosos. Uma possível desvantagem desse tipo de ancoramento está na quantidade de material utilizado nos casos em que a plataforma esteja posicionada distante da margem ou na criação de um obstáculo dentro do corpo hídrico entre o ponto de fixação na margem e a plataforma.

O ancoramento de fundo é feito utilizando estruturas aptas a se fixarem ao sedimento utilizando âncoras. De acordo com Oliveira (2013), âncoras devem ser capazes de cravar-se rápida e firmemente ao sedimento, impedindo que a embarcação se movimente. Para estruturas que permaneçam paradas dentro do corpo hídrico, como é o caso das plataformas flutuantes de AFC, são indicadas

âncoras do tipo cogumelo, que possuem esse nome devido ao seu aspecto em forma de cogumelo, e as poitas, constituídas de blocos de ferro ou concreto com peso e formato variado (Figura 6A-B). Este tipo de ancoramento é indicado para o posicionamento de estruturas em qualquer local dentro do corpo hídrico, incluindo próximo as margens sendo que geralmente são utilizadas mais de uma âncora para manter a estabilidade sem que haja rotação da plataforma. Um exemplo da aplicação do sistema de poita foi utilizado por Wiston e colaboradores (2013a) feito com blocos de concreto e cabos de metal para fixação de ilhas instaladas em lagoas de retenção.

Outra possibilidade de ancoragem é feita utilizando pilares. A fixação da plataforma em um pilar é a que permite menor mobilidade entre todos os tipos de ancoragem, pois o alicerce da coluna ou pilar é feito no fundo do reservatório, porém é um dos sistemas que pode vir a garantir maior estabilidade. Podem ser utilizados pilares de madeira, estrutura metálica ou de alvenaria fixos no fundo do reservatório nos quais os AFC se ancoram pelas porções laterais ou no centro de forma a permitir movimentação na vertical de acordo com a variação do nível da água (Figura 6C-D). Este tipo de sistema ancoramento apresenta algumas desvantagens como ter maior custo, limitar a possibilidade de posicionamentos das plataformas dentro do corpo hídrico e em casos nos quais a profundidade do reservatório ou rio seja muito grande, a sua instalação pode requerer equipamentos mais sofisticados ou de maior porte.

Vale ressaltar que os sistemas de ancoramento podem ser utilizados em conjunto para adicionar seus potenciais de fixação, por exemplo, fixando na margem com cabos em uma extremidade do dispositivo e ancorando com uma poita no fundo para manter a orientação em relação a direção do fluxo hidráulico.

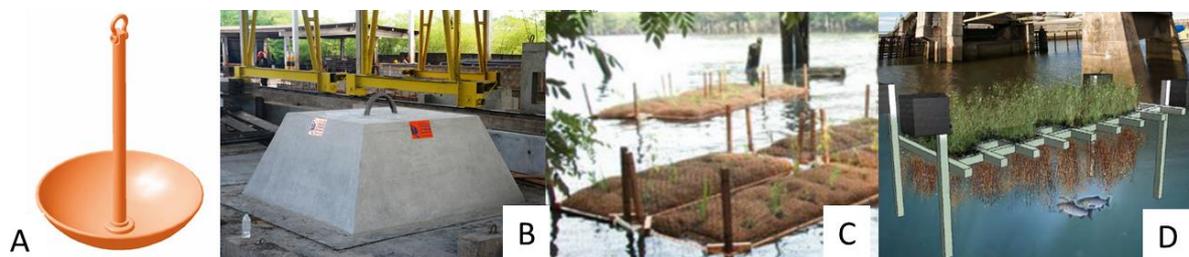


Figura 6 - Exemplos de sistemas de ancoragem de fundo. Âncora do tipo cogumelo (A) e do tipo poita (B). Ancoragem por pilar fixo ao fundo com exemplo real utilizando poste de madeira (C) e desenho conceitual (D). Fonte: A) DLM (2020), B)IBPC (2020); (C e D) Green Futures Lab (2013a, 2013b).

2.4.6. Dispositivos adicionais

Além dos elementos básicos que constituem um sistema de alagados construídos mencionados anteriormente, diversos projetos tem incrementado o sistema a fim de aumentar a sua eficiência. Um resumo de alguns dos elementos adicionais encontrados na literatura é listado abaixo (HEADLEY; TANNER, 2006; LU; KU; CHANG, 2015; YEH; YEH; CHANG, 2015; PAVLINERI; SKOULIKIDIS; TSIHRINTZIS, 2017) e são apresentados de forma conjunta na Figura 7.

Painéis solares permitem a geração de energia *in situ* nas plataformas flutuantes. Os painéis servem de base para a utilização de outros dispositivos que aumentem a eficiência na melhoria da qualidade da água ou atendam a outras funções, como uso de sensores ou iluminação, abrindo um grande leque de possibilidades. É necessário apenas levar em consideração o desenvolvimento da vegetação para que não haja o bloqueio das placas impedindo a captação da radiação solar.

Aeradores são dispositivos comumente utilizados em lagos e lagoas e também têm sido associados a plataformas flutuantes. Seu uso pode aumentar a concentração de oxigênio dissolvido, auxiliar em processos de oxidação de poluentes e de nitrificação, movimentar a massa de água em direção à zona de raízes e assim aumentar o contato e interações biológicas, químicas e físicas. Podem ser utilizados tanto próximo a superfície quanto em zonas abaixo da plataforma na coluna de água em modelos que produzem pequenas bolhas de ar para aeração.

Sistemas de iluminação associadas aos AFC tem sido reportada em algumas publicações. As **lâmpadas de LED** de alto brilho também fazem parte do arcabouço de dispositivos adicionais, promovendo aumento na produção de biomassa pela proliferação de cianobactérias em regiões sombreadas ou em águas com alta turbidez. É importante ressaltar, contudo, que este tipo de dispositivo deve levar em consideração efeitos como floração exagerada de algas, que pode gerar picos de produtividade e depleção de oxigênio dissolvido. **Lâmpadas UV** são usadas em diversos sistemas para tratamento de água e eliminação de patógenos, e podem estar associadas a AFC para exercer esta função. Entretanto, a presença de radiação UV pode impactar o desenvolvimento de biofilmes, que são benéficos para processos de melhoria da água. Tanto as lâmpadas LED quanto UV devem estar de acordo com a

finalidade desejada para o projeto, devendo haver uma avaliação das limitações e vantagens em cada aplicação.

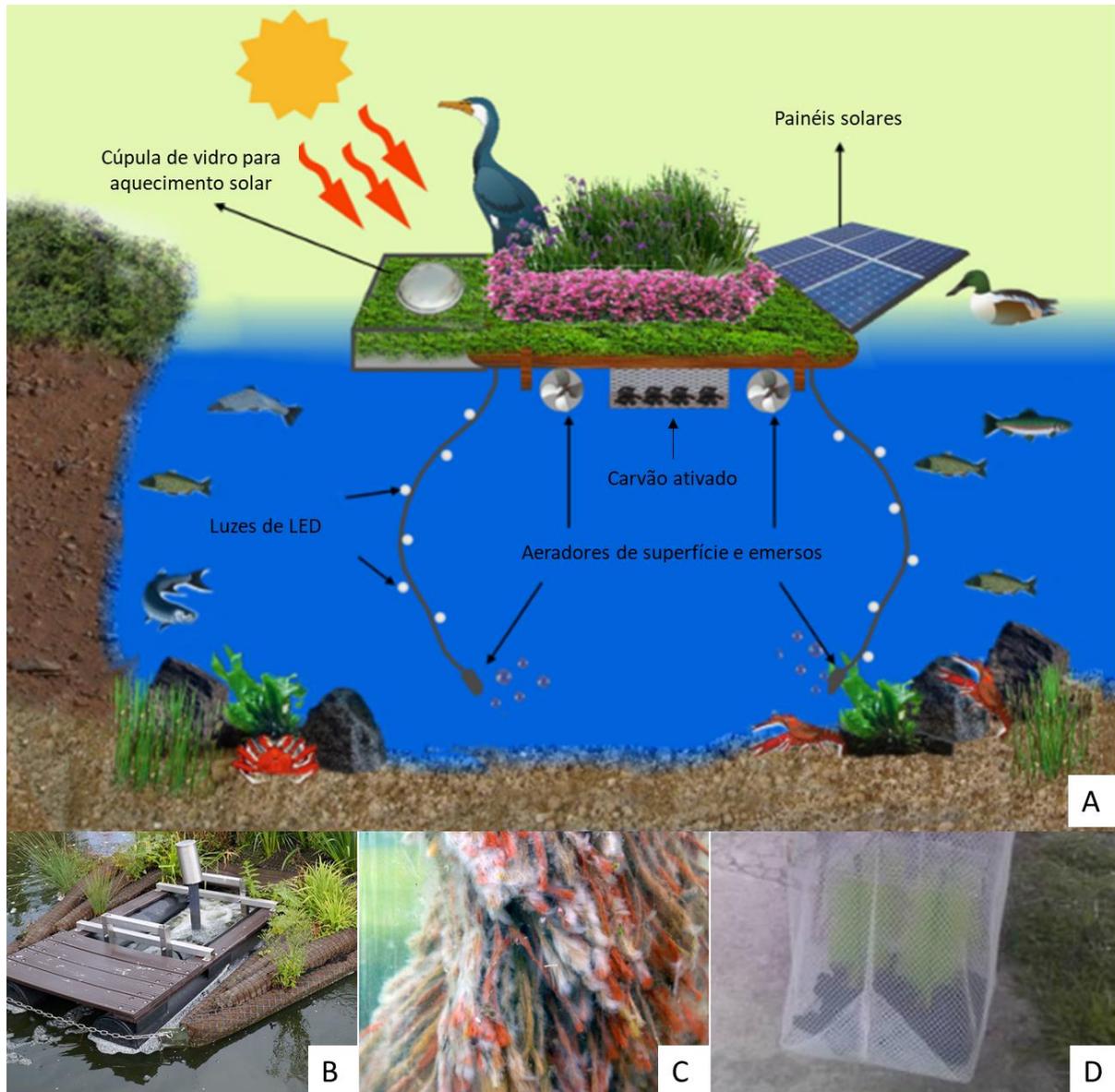


Figura 7 - Elementos adicionais utilizados em Alagados Flutuantes Construídos. A) Esquema geral apresentando diversos dispositivos modificado de Yeh, Yeh e Chang (2015). B) Aerador fixado a plataforma flutuante e (C) raiz artificial utilizado pela empresa Biomatrix Water (2019a). D) Cesto contendo carvão ativado e raiz artificial (LU; KU; CHANG, 2015).

Alguns sistemas fazem também o uso de **aquecedores**, que podem ser tanto elétricos, associados a painéis solares, quanto sistemas do tipo estufa formados por estruturas que permitem a passagem de radiação como cúpulas de vidro ou outros materiais transparentes. Este tipo de dispositivo é especialmente interessante durante épocas frias para auxiliar espécies sensíveis a temperatura.

Outros dispositivos adicionais promovem o aumento da superfície de contato, melhorando a captura de impurezas, sólidos em suspensão e na colonização de bactérias. Nesta categoria temos o uso de **carvão ativado** que auxilia na remoção de impurezas dissolvidas devido a sua elevada porosidade e que é comumente utilizado em processos de filtração de água e as **raízes artificiais** feitas de diversos materiais, como cortinas de tecido têxtil sintético, que funcionam tanto no aumento da superfície de contato como no direcionamento do fluxo de água.

2.4.7. Custos apresentados na literatura

Finalizando o tópico de elementos construtivos, um dos elementos que tornam os AFC atrativos frente a outros sistemas são os custos construtivos e operacionais (HEADLEY; TANNER, 2006). Alguns dos fatores que são levados em consideração na avaliação de custo-benefício entre os alagados flutuantes e outros sistemas de tratamento de efluentes, melhoria ambiental e provisão de habitat são: os custos dos materiais de produção; as alterações e obras necessárias para colocar o sistema em operação e; o manejo e manutenção do sistema (WANG; SAMPLE, 2014).

De modo geral, os custos estão atrelados principalmente ao tipo de matéria prima utilizada, que pode variar de matéria prima natural (BILLORE; S.J.; SHARMA, 2008), reciclável (FAULWETTER et al., 2011), até a utilização de elementos inoxidáveis e resistentes a catástrofes naturais (BIOMATRIX WATER, 2019a). Outros custos estão associados com a preparação dos locais, que no caso dos AFC geralmente não existe, uma vez que muitos projetos realizam o *retrofit* de corpos hídricos já existentes (TANNER et al., 2011b; BORNE; FASSMAN; TANNER, 2013). Algumas estimativas reportam custos de produção de AFC variando entre R\$ 44 por metro quadrado para produções com matéria prima reciclável e produção artesanal até cerca de mil reais para produções industriais por empresas do segmento de saneamento ambiental (DAVID J; CHIH-YU; LAURIE J, 2013). Outros autores tiveram custos de produção de aproximadamente R\$140/m² (WANG; SAMPLE, 2014) e entre R\$130 e R\$180/m² (DESORBO et al., 2008).

A utilização de AFC pode ser realizada em lagoas de retenção já existentes em processos de *retrofitting*, bem como em diversos pontos de lagos, lagoas e rios sem necessidade de obras de engenharia o que reduz consideravelmente seu custo de implementação (KERR-UPAL; SEASONS; MULAMOOTTIL, 2000; TANNER et al., 2011b; WANG; SAMPLE, 2014).

Os custos de manutenção também costumam ser pouco significativos, dado que a frequência de podas, quando existentes, podem ser feitas em períodos que variam de meses a anos (WHITE; COUSINS, 2013).

2.4.8. Dimensionamento, posição e formato dos Alagados Flutuantes Construídos nos corpos hídricos

Além dos aspectos construtivos dos alagados flutuantes, o desenho do projeto pode influenciar a eficiência e variar de acordo com o objetivo principal de cada aplicação. De modo geral, quanto mais tempo de contato existir entre as raízes e a coluna de água, maiores serão os processos de fitorremediação, absorção de nutrientes e quebras metabólicas pelos microrganismos associados. Dessa forma, a recomendação geral é que a instalação de AFC ocorra em ambientes lânticos, como lagos, lagoas e lagoas de retenção, trechos calmos de rios ou em desvios feitos no curso de água principal, chamados de sistemas “*offline*” (WINSTON et al., 2013a; LUCKE; WALKER; BEECHAM, 2019). Entretanto, a instalação realizada em ambientes lóticos também pode ser realizada desde que planejada adequadamente, considerando os aspectos de ancoragem adequados, formato das plataformas e/ou materiais construtivos que sejam capazes de resistir a fluxos de água mais intensos (SHENG et al., 2013).

A instalação de plataformas flutuantes também gera modificações no fluxo das massas de água dentro do corpo hídrico como demonstrado na Figura 8. A plataforma, a zona de raízes e as raízes artificiais, quando utilizadas, alteram a velocidade, o fluxo e o caminho percorrido pela água dentro do corpo hídrico, o que pode apresentar vantagens projetuais quando bem aproveitadas, permitindo o direcionamento e aumentando o tempo de contato e residência (LUCKE; WALKER; BEECHAM, 2019). Um exemplo de modificação do fluxo é visto na aplicação de AFC em lagoas de estabilização de efluentes de avicultura em uma fazenda em Maryland, Estados Unidos (Figura 8 D-E) (HEADLEY; TANNER, 2006). Um modo que garante a passagem de água através da zona de raízes é o preenchimento total da largura do corpo hídrico com AFC (Figura 8 B-C)(LUCKE; WALKER; BEECHAM, 2019), servindo como barreira e podendo auxiliar no controle do pico de vazão em eventos de chuva como outras tipologias de IV (PINHEIRO, 2015). Com o posicionamento dos alagados, busca-se evitar áreas de água parada ou de ‘curto-circuito’, no qual o fluxo segue preferencialmente pelas laterais das plataformas, reduzindo o contato com a

zona de raízes (Figura 8 A). Isso pode diminuir os resultados no tratamento da água, sendo que alguns autores recomendam a montagem das plataformas como barreiras dentro do corpo hídrico ou a criação de sistemas com cortinas e boias para direcionar o fluxo em direção aos alagados flutuantes (LUCKE; WALKER; BEECHAM, 2019). Ainda que existam estudos em relação aos padrões de montagem, muitos projetos *in situ* utilizam apenas uma ou poucas unidades de AFC, geralmente espaçados e distribuídos ao longo da superfície (GREEN FUTURES LAB, 2013a)

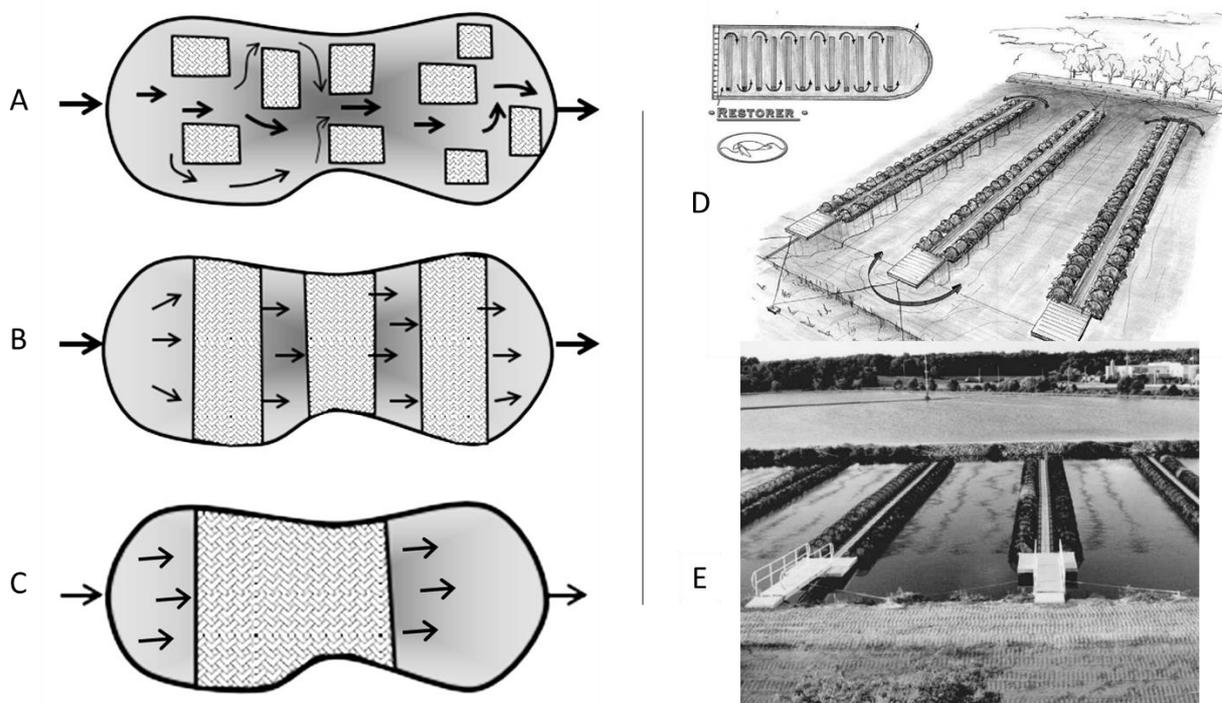


Figura 8 – Posicionamento de alagados flutuantes construídos e fluxo hídrico. Setas indicam o fluxo preferencial da água, áreas hachuradas indicam os alagados flutuantes e áreas claras representam regiões abertas de água. A) Padrão de distribuição com ilhas individuais espalhadas no reservatório com priorização de áreas de troca de gases e penetração de luz, mas com potencial de criação de áreas de água parada ou de curto circuito; B) padrão construtivo que ocupa toda a largura do reservatório com áreas abertas para troca de gases entre atmosfera e a água e fluxo distribuído homoganeamente; C) montagem com cobertura de uma grande área, gerando regiões com baixa concentração de oxigênio e penetração de luminosidade abaixo das plataformas. D-E) Exemplo de alteração do fluxo hídrico para tratamento de efluentes de avicultura apresentando diagrama esquemático do fluxo de água entre as fileiras de alagados flutuantes (D) e fotografia mostrando quatro das 12 fileiras de alagados flutuantes construídos (E). Fonte: Modificado de Tanner e Headley (2006).

Áreas muito extensas cobertas por plataformas flutuantes podem ocasionar regiões centrais escuras e anóxicas (HEADLEY; TANNER, 2006) bem como alteração no grau de remoção de nutrientes, de sólidos em suspensão e na concentração de oxigênio dissolvido (LUCKE; WALKER; BEECHAM, 2019). Regiões

anóxicas ou com baixas concentrações de oxigênio são favoráveis para a imobilização de metais pesados com a formação de grânulos que precipitam na coluna de água e também no processo de desnitrificação realizado por bactérias heterotróficas (Figura 8 C), como as dos gêneros *Pseudomonas*, *Agrobacterium*, *Acinetobacter* e *Paracoccus*, realizando a conversão de nitrito e nitrato em nitrogênio gasoso (THAKUR; MEDHI, 2019). Por outro lado, a ausência de áreas de reoxigenação podem deixar a concentração de gases em níveis baixos, o que gera regiões nas quais alguns grupos de organismos como peixes e outros membros da fauna aquática apresentam dificuldade de sobrevivência, necessitando regiões que elevem a concentração de oxigênio (HEADLEY; TANNER, 2006). A reoxigenação também garante a ocorrência de outros processos bioquímicos como a decomposição de matéria orgânica por bactérias aeróbicas e a nitrificação com a conversão de amônia em nitrito e nitrato por gêneros como *Nitrosomonas*, *Nitrosococcus*, *Nitrospira* e *Nitrobacter* (THAKUR; MEDHI, 2019). Devido a importância da concentração de oxigênio dissolvido, os sistemas de alagados flutuantes geralmente incluem estratégias para reoxigenação da água (Figura 8 A-B), seja de forma passiva com a presença de áreas de livre interação da superfície com a atmosfera ou com geração de turbulência com quedas ou de forma ativa com utilização de aeradores ou difusores de ar com formação de bolhas (HEADLEY; TANNER, 2006). Nota-se, portanto, que cada modelo pode oferecer vantagens de acordo com sua finalidade, sendo que áreas anóxicas podem privilegiar a remoção de metais pesados enquanto alagados com distribuição espaçada e áreas abertas para troca de ar favoreça a biodiversidade aquática.

A profundidade do corpo hídrico no qual o AFC será instalado deve ser considerada em paralelo com as espécies escolhidas para garantir o seu funcionamento adequado. Isso se dá pois caso o leito do corpo hídrico permaneça baixo por longos períodos ou a profundidade seja pequena, é possível que as raízes da vegetação se fixem ao fundo do leito. Caso as raízes se fixem ao sedimento, eventos de elevações do nível da água podem submergir o dispositivo gerando perda de uma de suas vantagens que é a de operar em diferentes níveis da coluna de água, podendo danificar a plataforma ou gerar morte de algumas plantas que não sejam tolerantes a submersão (PAVLINERI; SKOULIKIDIS; TSIHRINTZIS, 2017). A profundidade mínima de instalação dependerá, portanto, das espécies selecionadas para o plantio e da oscilação do nível de água no reservatório. Headley e Tanner

(2012a) apresentaram em seu trabalho um levantamento com várias espécies, sendo que a raiz mais comprida registrada no período de estudo foi da espécie *Juncus edgariae* com 87 cm e a menor de *Typha angustifolia* com 39 cm. Um aspecto que pode ser levado em consideração para instalações em locais rasos é a poda da parte submersa que também garante a remoção de grandes quantidades de biomassa (PAVLINERI; SKOULIKIDIS; TSIHRINTZIS, 2017).

Apesar do crescente número de pesquisas sendo realizadas com AFC, ainda não existe uma base precisa quanto ao dimensionamento e cobertura para obter taxas de remoção de poluentes de forma objetiva (HEADLEY; TANNER, 2006). Alguns trabalhos, especialmente de *retrofit* de bacias de retenção chegam a cobrir 100% da área superficial do corpo hídrico com a instalação de AFC, como o estudo de Revitt e colaboradores (1997) para tratamento de escoamento superficial no aeroporto de Heatrow, Reino Unido. Uma revisão sobre desenho projetual de AFC realizada por Lucke e colaboradores (2019) apresentou que a taxa de cobertura coberta entre 2 e 18% em bacias de retenção, mas não teve como objetivo da pesquisa discutir taxas de cobertura recomendadas.

Tabela 4 – Taxa de cobertura de alagados flutuantes construídos. São apresentados exemplos de trabalhos publicados com percentual superficial ocupado pelas plataformas, o contexto de tratamento de água e a forma de controle para evitar curto-circuito. Fonte: Elaborado pelo Autor com base em Headley e Tanner (2006), Lucke et al. (2019) e Rocha (2018).

| Taxa de cobertura | Contexto | Controle de “curto-circuito” | Referência |
|-------------------|------------------------|---|------------------------------|
| 100% | Escoamento superficial | Fechamento completo entre as bordas | REVITT et al., 1997 |
| Entre 9% e 18% | Bacia de retenção | Não | WINSTON et al., 2013 |
| 8,70% | Bacia de retenção | Não | CHANG et al., 2013 |
| Entre 5% e 7% | Bacia de retenção | Não | HARTSHORN et al., 2016 |
| 50% | Lagoa de tratamento | Fechamento completo entre as bordas | BORNE; FASSMAN; TANNER, 2013 |
| 2% | Bacia de retenção | Flexível com cortinas de raízes artificiais | WALKER; TONDERA; LUCKE, 2017 |
| 10% | Bacia de retenção | Não | ROCHA, 2018 |

Neste item foram apresentadas recomendações gerais coletadas a partir de experiências em diversos estudos utilizando AFC. Existem dados consistentes na literatura em relação ao padrão de montagem e as vantagens e desvantagens tanto para ilhas espaçadas quanto com a formação de barreiras. Em relação a taxa de

cobertura, ainda existe uma defasagem de trabalhos discutam ou busquem proporções recomendadas de acordo com as aplicações, porém este fator talvez seja influenciado principalmente pelos custos e orçamento disponível para cada projeto.

2.4. Exemplos de estudos de caso

Projetos utilizando AFC possui amplo espectro de utilização, sendo os principais voltados para fins de tratamento de efluentes e melhoria da qualidade da água, porém usos ornamentais, de incentivo a biodiversidade e outros usos diversos também vem sendo apresentados na literatura. Em uma revisão realizada por Yeh e colaboradores (2015), são elencados diversos processos que tem utilizado AFC dentre eles: tratamento de efluentes domésticos e esgoto, purificação de lodo de dragagem (HU et al., 2010), efluentes e dejetos de pecuária, suinocultura, avicultura (HEADLEY; TANNER, 2006, p. 2), efluentes da indústria alimentícia (VAN OOSTROM, 1995), tratamento de resíduos petrolíferos (LI et al., 2012b), aquacultura (NDUWIMANA; XIANG-LONG; WANG, 2007), provisão de habitat e recursos a biodiversidade (NAKAMURA; MUELLER, 2008) e fins paisagísticos e ornamentais (GREEN FUTURES LAB, 2013a). A seguir, será apresentado uma seleção de exemplos que ilustram a diversidade de projetos que utilizam alagados flutuantes construídos ou sistemas análogos a fim de ilustrar o potencial uso deste tipo de dispositivo que envolve princípios de IV, NBS e ecotecnologia.

2.4.1. Tratamento de esgoto doméstico

Esgoto doméstico é um tipo de efluente passível de tratamento utilizando AFC. Este tipo de tratamento pode ser realizado em diversas escalas, sendo que os princípios visam reduzir a DBO e DQO, concentrações de N, P e sais, além de melhorar padrões gerais da qualidade da água como transparência e odor (FAULWETTER et al., 2011). Um estudo realizado em escala laboratorial comparou o tratamento utilizando AFC comercial contra tanques preenchidos com cascalho fino e controle apenas com água (FAULWETTER et al., 2011). Foi demonstrado uma eficiência de mais de 90% na remoção de DQO, e cerca de 50% na remoção de compostos nitrogenados (nitrito e amônio), além do desenvolvimento de uma rica comunidade bacteriana ao longo de três meses de acompanhamento. Foi percebido neste estudo que o gradeamento do efluente doméstico seria um procedimento importante. Um outro exemplo de aplicação do sistema em escala de campo realizado

em Porto Alegre - RS, Brasil fez o *retrofit*¹⁰ de um tanque existente em uma estação de tratamento de esgoto municipal para a aplicação de um alagado construído flutuante (BENVENUTI et al., 2018). Neste projeto, houve uma etapa de gradeamento antes da aplicação do efluente bruto para ser tratado pelos alagados construídos flutuantes. O tanque com volume de 722,5m³ e dimensões de 17x17x2,5m (largura, comprimento e profundidade) foi totalmente coberto utilizando taboa (*Typha dominguensis* Pers.), apresentando percentuais de remoção de 78% para Sólidos Totais em Suspensão, 41%, Nitrogênio total (TKN) e 37% Fósforo total ao longo de 12 meses.

2.4.2. Tratamento de efluentes de pecuária e agricultura

Diversos trabalhos tem abordado o uso de AFC para o tratamento de efluentes advindos de produção de gado, suínos, aves e de aquacultura, que geralmente são ricos em matéria orgânica, com forte odor e quando em contato com os corpos hídricos alteram drasticamente os parâmetros da água (YEH; YEH; CHANG, 2015; PAVLINERI; SKOULIKIDIS; TSIHRINTZIS, 2017).

Hubbard e colaboradores (2004) realizaram um trabalho utilizando alagados flutuantes construídos para tratamento de efluentes advindos de suinocultura. Plataformas de 1m² foram construídas utilizando tubos de PVC, telas plásticas e material fibroso, sendo instaladas em tanques de 2.13 m², correspondendo a cobertura de 46% da área superficial. Foram utilizadas 3 espécies de plantas: Taboa (*Typha latifolia*), junco (*Juncus effuses*) e a gramínea *Panicum hematomon* em tratamentos aleatoriamente dispostos, aplicando 3 diferentes concentrações de efluentes. A vegetação era podada periodicamente, deixando 5 cm de altura acima da base e o material foi analisado quanto a biomassa, concentração de N, P e K, apresentando resultados significativos. Foi demonstrado que o junco não se mostrou resistente a carga de material orgânico e constituintes de efluentes de suinocultura aplicada, ressaltando a importância de testes preliminares para a escolha de espécies de acordo com o projeto a ser executado.

Nduwimana e colaboradores (2007) realizaram um trabalho visando remover nutrientes e metais pesados de efluentes utilizados na criação de tartarugas utilizando a planta azevém-perene (*Lolium perenne* Lam.) como biofiltro. O sistema conseguiu

¹⁰ Retrofit é um termo utilizado principalmente em engenharia para designar o processo de modernização de algum equipamento já considerado ultrapassado ou fora de norma

reduzir 82,7% de nitrogênio total, 82% de nitrito e 60,5% de nitrato, além de auxiliar na redução de metais pesados. Com a melhoria significativa da qualidade da água, foi possível utilizá-la para irrigação de cultivos agrícolas de amaranço (*Amaranthus viridis* L.).

2.4.3. Aplicação em rios e lagos

Mesmo que a maior parte dos estudos que utilizam os AFC sendo realizados em escala de laboratório ou em lagoas de retenção, alguns projetos tem se proposto a aplicação em corpos naturais como rios e lagos.

Um estudo realizado por Zhao e colaboradores (2012) aliou dois sistemas, sendo um deles o de AFC e o outro com plantio de macrófitas aquáticas em um banco nas margens de um rio na China. Ao longo de 10 meses, foram acompanhados os dados de TN, TP, clorofila-a, nitrito, nitrato e amônio, sólidos em suspensão, alguns metais pesados e concentrações de *Escherichia coli*, medindo em pontos antes e depois da aplicação dos dispositivos no fluxo do rio. De maneira geral, os resultados foram mostrando-se mais efetivos de acordo com o estabelecimento e crescimento da vegetação, indicando que projetos que utilizam organismos vivos como as macrófitas e a formação de biofilme na zona de raízes podem operar melhor após um período de aclimação e desenvolvimento.

Um exemplo brasileiro de aplicação em açude foi realizado em Campina Grande, Paraíba dentro de um campus universitário por Rocha (2018). Foram analisados parâmetros como turbidez, pH, temperatura, condutividade elétrica, nitrogênio, fósforo entre outros, com alguns resultados significativos, especialmente quanto a redução da turbidez. Foram aplicadas diversos AFC espalhados no corpo hídrico correspondendo a 10% de área de cobertura da superfície do lago.

2.4.4. Provisão de habitat e incremento na biodiversidade

Ambientes aquáticos que possuem grande influência antrópica geralmente possuem pouca diversidade de micro-habitats, altos graus de interferência, de impacto ambiental entre outros fatores que desestimulam o uso pela fauna e colonização pela flora. Os AFC têm demonstrado potencial para geração de habitat para diversos grupos organismos, sendo um tipo de dispositivo capaz de criar novos ambientes com características que garantam as necessidades mínimas para a existência de algumas espécies e coexistência com seres humanos (Figura 9 C e I).

Diversos trabalhos utilizando AFC na melhoria e provisão de habitat tem sido realizados (NAKAMURA; SHIMATANI, 1997; NAKAMURA; TSUKIDATE; SHIMATANI, 1997; PIPER et al., 2002; DESORBO et al., 2008; NAKAMURA; MUELLER, 2008). Alguns dos aspectos que influenciam a criação de habitat e melhoria ambiental estão ligados com a qualidade da água, provisão de abrigo, local para reprodução e escape de predadores e de influências antrópicas, redução de florescimento de algas como opção de micro-habitat nos casos de modificações constantes e erosão das margens (NAKAMURA; MUELLER, 2008).

Um trabalho de Nakamura e Shimatani (1997) apresentou resultados de sobre diversidade da fauna bentônica acompanhando AFC ao longo de 3 anos diferenças significativas entre o número de espécies encontradas abaixo das plataformas (5 espécies) quando comparadas com grupo controle (2 espécies), bem como tamanho populacional com 96 indivíduos abaixo dos alagados contra 11 na região controle. Os pesquisadores atribuíram o tipo de sedimento formado abaixo da plataforma e a amortecimento de oscilações na água como dois fatores que podem ter contribuído para maior diversidade. No mesmo experimento também avaliou que a quantidade de biomassa da espécie dominante nas plataformas (*Phragmites australis*) foi quatro vezes maior do que as comunidades naturais encontradas no entorno da área de estudo.

Outros estudos também realizados por Nakamura e colaboradores (1997) analisou a diversidade de peixes, aracnídeos e invertebrados terrestres e aquáticos. No caso dos peixes, o número de espécies e abundância na região das plataformas (6 espécies, 267 indivíduos) foi maior do que no controle (2 espécies, 2 indivíduos) utilizando rede de pesca. Foi coletado também uma espécie de camarão em ambos os locais, porém a abundância também foi maior na região dos alagados (16 indivíduos nas plataformas contra 1 indivíduo de *Macrobrachium niponense*). A riqueza e abundância de aracnídeos e outros invertebrados terrestres foi menor na plataforma do que nas áreas controle, enquanto a de invertebrados aquáticos foi maior na área com os alagados flutuantes. Os pesquisadores apontaram que a criação de diferentes micro-habitats com os AFC promoveu melhores condições para a fauna aquática, gerando variações no sedimento abaixo da plataforma e fornecendo abrigo e alimento. Para os invertebrados terrestres, a presença de menor diversidade e abundância foi atribuída ao tamanho e ao tempo de instalação das plataformas, na qual a comunidade poderia não ter atingido a capacidade máxima de suporte na

época do estudo. Em relação a vegetação, seis espécies foram plantadas no início dos experimentos em 1993, sendo que duas tornaram-se dominantes (*Phragmites communis* T. e *Zizania latifolia* T.) e as outras quatro (*Typha latifolia* L., *Scirpus triangulatus* Roxb, *Scirpus triangulatus* Roxb e *Iris pseudacorus* L.) tiveram sua abundância grandemente diminuída. Após 4 anos de experimento outras 20 espécies colonizaram a plataforma, além das iniciais, sendo que a *P. communis* ocupava 75% da área da plataforma, sendo a espécie dominante.

Aves são animais que geralmente despertam grande interesse das pessoas, movimentando grandes quantidades financeiras pelo mundo para sua observação. Algumas espécies como a melha-grande (*Gavia immer*) são símbolos da fauna silvestre e nos Estados Unidos teve sua reprodução afetada por diversos fatores ligados a alterações ambientais, distúrbios antrópicos e perda de habitat ao mesmo passo que este animal está presente na vida da população tanto na sua observação direta na natureza quanto como em moedas, marcas, estampas de camisetas, placas entre outros (PIPER et al., 2002). Piper e colaboradores (2002) reportaram que a população de melha-grande passou a utilizar de forma progressiva plataformas de AFC ao longo de três anos, apresentando também aumento na taxa de eclosão e sobrevivência dos filhotes. Também foi demonstrado uma maior taxa de ovoposição de gaivinha-preta (*Chlidonias niger*) em lagos em Wisconsin, EUA (SHEALER; BUZZELL; HEIAR, 2006). Um estudo conduzido por DeSorbo e colaboradores (2008) realizou uma revisão sobre a utilização de AFC para reprodução de melha-grande, indicando fatores que podem influenciar a sua efetividade, dentre elas o posicionamento das plataformas, camuflagem e a proteção com cobertura para evitar predação dos ovos e filhotes por aves de rapina. No Japão, estudos também verificaram a presença de aves utilizando as plataformas como habitat, como a galinha-d'água (*Gallinula chloropus*), galeirão-comum (*Fulica atra*), mergulhão-pequeno (*Tachybaptus ruficollis*) entre outros (NAKAMURA; MUELLER, 2008). Alguns fatores de sucesso apontados em relação ao uso de AFC para aves foram o escape de predadores (terrestres e aéreos), menor taxa de abandono de ninhos e perda dos locais de nidificação por flutuações no nível da água, e habitat de qualidade equiparável aos naturais usualmente utilizado pelas aves (PIPER et al., 2002; NAKAMURA; MUELLER, 2008; YEH; YEH; CHANG, 2015) sendo que a área requerida para uso não fosse grande, com presença registrada em plataformas de cerca de 1m² (DESORBO et al., 2008).



Figura 9 – Alagados flutuantes construídos com viés paisagístico, ornamental e de provisão de habitat em diversas escalas. A) Projeto de larga escala no lago Rotorua na Nova Zelândia com cerca de 8 mil m² com nome da cidade que serve como cartão postal e ponto turístico. Projetos ornamentais de pequeno porte feitos em sistemas de vasos flutuantes utilizado em lagos de jardins com plantio de pequenos arbustos (B) ou flores permitindo a interação com peixes (C); Restauração de canal urbano na cidade de Fuzhou, China com aplicação de plataformas como passarela e para o plantio de plantas ornamentais (D -E); Projeto conceitual (F-G) e aplicação (H) em Singapura com área equivalente à metade de um campo de futebol com detalhe para algumas espécies de aves e invertebrados que passaram a ser vistos no local. Fonte: Modificado de Green Futures Lab (2013a).

Em suma, os AFC tem grande potencial na provisão de habitat e favorecimento à biodiversidade em diversos grupos taxonômicos, contrabalanceando potenciais impactos antrópicos e favorecendo a manutenção e aumento de populações silvestres. No capítulo 4 desta dissertação serão apresentados resultados obtidos em relação a prestação de SE voltados para provisão de habitat e recursos para a biodiversidade, contribuindo para este seguimento de estudos em AFC.

2.4.5. Usos estéticos, ornamentais e paisagísticos e associação ao turismo

Dentro das possibilidades de aplicação, o emprego estético e de atração turística também vem sendo associado aos AFC. De acordo com Dodkins (2014), aplicações voltadas para a interação humana são geralmente projetadas incluindo passarelas, áreas de descanso e parada, pontos de observação da fauna e flora, bem como centros de educação conforme ilustrado na Figura 9.

Um projeto de larga escala no lago Rotorua, Nova Zelândia com custo de 900 mil dólares com área de aproximadamente 8 mil metros quadrados foi realizado a fim de melhorar a qualidade da água, evitar perdas ambientais pela construção de um aeroporto, prover habitat para a biodiversidade e servir como atrativo turístico (Figura 9 A). A matriz flutuante construída utilizando cerca de 400 mil garrafas plásticas combinadas com cabos de aço e revestidas com fibra de coco recebeu o plantio de 20 mil mudas de plantas nativas. A vista aérea do alagado flutuante serve como cartão postal para a região (GREEN FUTURES LAB, 2013a).

Outros projetos aliaram a biodiversidade com a atratividade paisagística como é o caso dos AFC instalados em área alagada na cidade de Sengkang, em Singapura e em um canal na cidade de Fuzhou, China (GREEN FUTURES LAB, 2013a). O projeto de Sengkang faz parte da agência nacional de água dentro do projeto *Active, Beautiful and Cleaning* (Atividade, Beleza e Limpeza em tradução livre) com o intuito de aproximar a população das áreas alagadas, gerando áreas de lazer e atividade ao ar livre, de provisão de habitat para peixes, aves e espécies de plantas nativas e auxiliando na manutenção da qualidade da água. O projeto em Fuzhou fez parte da restauração de canais urbanos que recebia o equivalente a 3.000m³ de esgoto doméstico sem tratamento por dia. Foram instalados 500 metros lineares de AFC e plantadas 12 mil mudas de 20 plantas nativas, tornando o local um espaço de convivência e atingindo os objetivos de eliminação do odor, de sólidos em suspensão, melhorando aspectos estéticos e reduzindo impactos ambientais ao longo da bacia.



Figura 9 – Projetos de alagados flutuantes construídos com viés residencial. São apresentados os projetos *Spiral Island* construído no México (A-D) e das Ilhas Maldivas (E-F). Estão representados o rascunho da vista aérea (A), a ilha pronta (B), da estrutura de suporte e flutuação (C) e da casa (D) da *Spiral Island*. Estão representados os *renderings* da alagado flutuante em vista aérea (E) e em detalhe (F) demonstrando o enfoque hoteleiro de alto padrão. Fonte: modificado de Green Future Labs (2013a) e Owano (2012).

2.4.6. Usos residencial e hoteleiro

Os AFC também têm inspirado e servido de base para projetos residenciais e hoteleiros. Um exemplo é o *Spiral Island* feito no México que utilizou uma estrutura de bambu com compensados de madeira como base e garrafas PET de diversos formatos fechadas e presas em sacos de nylon como material flutuante dando suporte para uma residência e árvores de mangue em porte natural (GREEN FUTURES LAB, 2013a). O projeto durou entre os anos de 1998 e 2005, quando foi afetado pelo furacão Emily. Outro projeto mais ambicioso sendo idealizado pelo governo das ilhas Maldivas com o escritório *Dutch Docklands International* tem o interesse de utilizar os princípios de AFC visando se antecipar frente as mudanças do nível do mar e perda de regiões costeiras. O projeto tem um enfoque diferente da maioria dos projetos de

AFC, priorizando o turismo de alto padrão, mas também se baseia em elementos básicos como a criação de plataformas flutuantes com sistema de ancoramento que suportem vegetação (OWANO, 2012)

2.4.7. Outros usos e combinações com outros dispositivos

Além dos usos mencionados acima, alguns projetos fazem usos combinados ou modificações de AFC para fins diferenciados. Com o intuito dar destino a rejeitos sólidos retirados de fundos de lagos através de dragagem, Hu e colaboradores (2010) estudaram proporções de sólidos para utilização como meio de suporte nos AFC. Neste projeto, o objetivo principal foi de encontrar proporções entre rejeitos sólidos de dragagem, argila expandida e entulho industrial que desse estabilidade para a plataforma e servisse meio de suporte para a vegetação e colonização de microrganismos, uma vez que este tipo de material geralmente não tem utilidade.

A presença de grande variedade de metabolismos dos microrganismos colonizadores da zona de raízes dos AFC gera diferenças entre zonas no meio aquático. Essas micro alterações dos parâmetros da água foram utilizadas por pesquisadores na geração de corrente elétrica utilizando a diferença de potencial (KADAM et al., 2018). Foram plantados capim vetiver (*Chrysopogon zizanioides* (L.) Roberty) e taboa (*Typha angustifolia* L.) no AFC com instalação de cátodos próximo da zona de raízes e ânodos ¹¹ no fundo do reservatório, sendo estes separados por uma placa de PVC que bloqueava a condutividade elétrica entre os dois compartimentos formados no tanque. Foram avaliados o potencial elétrico e a corrente gerada, além dos efeitos de remoção de nutrientes buscando aliar processos de fitorremediação com geração de energia. Infelizmente a geração de energia não foi significativa, embora o estudo abra potencial para outras finalidades.

Outro uso que foge dos padrões costumeiramente empregados para os AFC é o apresentado pela empresa Unit Parktech (UNIT PARKTECH, 2018). A empresa do ramo de esportes radicais aquáticos criou diversos dispositivos utilizando os

¹¹ Cátodos é o eletrodo que sofre processo de redução, recebendo elétrons e caracterizado como polo positivo de pilhas e baterias. Ânodo é o eletrodo que sofre oxidação e é caracterizado como polo negativo. Os elétrons saem do ânodo (polo negativo) e entram no cátodo (polo positivo) gerando corrente elétrica por diferença de potencial

princípios de AFC para impedir a formação de ondas indevidas e proporcionar passarelas para locomoção de praticantes de wakeboard ¹².

2.4.8. Considerações finais do segundo capítulo

No segundo capítulo desta dissertação, foram apresentados os sistemas que inspiraram a tecnologia de AFC, os alagados flutuantes naturais e os alagados construídos fixos. Apresentou-se a amplitude de nomenclaturas que este tipo de dispositivo recebe em projetos pelo mundo e potenciais implicações dessa variação. Foram discutidos os elementos básicos que caracterizam uma ilha mínima, apresentando os elementos vivos e construtivos, bem como sistemas de ancoramento e dispositivos adicionais, dando enfoque para os elementos que foram mais explorados ao longo da pesquisa de mestrado, a vegetação e a construção da plataforma. Foram apresentados ainda os dados da literatura relacionados com o desenho construtivo e dimensionamento, sendo esse último aspecto ainda carente de estudo. Também foram apresentados diversos exemplos e usos dos AFC com a intenção de demonstrar as possibilidades de utilização desta tecnologia, deixando explícito aqui que outros usos não reportados e combinações com outros dispositivos podem ser feitas. Em suma, os AFC apresentam grande versatilidade e multiplicidade de funções, sendo indicado para uso individual ou e conjunto com outros dispositivos.

Com a apresentação dos aspectos apresentados neste capítulo, fica explicitado que a utilização do termo **Alagado Flutuante Construído** e o acrônimo **AFC** foram adotados nesta pesquisa por abarcar a multiplicidade de projetos correlatos, incluindo tanto os quais a vegetação é empregada, que correspondem a maioria das pesquisas na área, quanto à situações nas quais seu emprego é opcional ou secundário, como em alguns exemplos apresentados. Essa denominação também ilustra que os AFC se distinguem dos alagados flutuantes naturais por serem construídos por seres humanos mesmo quando utilizam apenas elementos naturais.

Nos próximos capítulos serão apresentados os resultados obtidos a partir da presente pesquisa de mestrado, buscando correlacioná-los com os estudos apresentados neste projeto.

¹² Wakeboard é uma modalidade de esporte radical aquático no qual o praticante é puxado por cabos enquanto se mantém em pé sobre pranchas e realiza manobras aéreas.

3. DESIGN THINKING E LEAN STARTUP

*A água chama para nos ensinar
Na profundidade está o meu libertar
Se me conheço então posso crescer
Confio e Sou, Eu Sou, confio e Sou*

*Sigo meu rumo com nova direção
Minha consciência está expansão
Imaginar, crer e co-criar
Nesse universo que eu chamo de lar¹³*

¹³ Trechos da música “Mergulho” concebida pelo autor. Áudio disponível em: <https://soundcloud.com/cleandho/mergulho/s-o60AF>

Neste capítulo será apresentado uma perspectiva de como as questões ambientais podem ser beneficiadas quando analisadas da perspectiva de problemas complexos tendo como recorte a questão da água em áreas urbanas. Dentro disso, como a visão do da área de Design pode oferecer ferramentas para propor soluções contextualizadas e que apresentem benefícios múltiplos, tendo os AFC como um exemplo prático dessa possibilidade. Será demonstrado a aplicação desses conceitos com base nos resultados obtidos ao longo da pesquisa e discutidos os benefícios desse tipo de interação.

3.1. QUESTÕES AMBIENTAIS COMO *WICKED PROBLEMS*

De acordo com o relatório do IPCC (2014), o cenário ambiental atual é caracterizado por elevado grau de incerteza e complexidade (IPCC, 2008; ELMQVIST et al., 2018). Alterações ligadas a água influenciam os mais diversos âmbitos humanos, como economia, cultura, saúde, desenvolvimento tecnológico, agricultura e ambientais, como a biodiversidade e manutenção de SE (IPCC, 2010). Também envolve diversos ramos do conhecimento, como as ciências sociais, economia, ecologia bem como tomadores de decisão com diferentes perspectivas e interesses (IPCC, 2014). As recomendações são de que os problemas ligados a água dentro do cenário de mudanças globais sejam abordados como problemas complexos, caracterizados como *wicked problems* (WP) (IPCC, 2014).

Analisar questões ambientais do ponto de vista dos WP é uma das abordagens que tem sido utilizadas frente ao cenário dos recursos hídricos em áreas urbanas atualmente (IPCC, 2014; ELMQVIST et al., 2018; MAHER et al., 2018). De acordo com Rittel (1973), WP são caracterizados por terem elevado grau de incerteza, não possuírem formulação de soluções definitivas, explorando múltiplas soluções e necessitando de experimentação, avaliação e criação de novas soluções de forma constante e adaptativa. Áreas como arquitetura e design costumemente lidam com contextos de busca por opções e soluções sobre aspectos complexos e não lineares, ou seja, que não possuem soluções únicas dentro de um escopo bem delimitado como as abordadas pelos métodos indutivos e/ou dedutivos (LIEDTKA, 2015; MAHER et al., 2018). Outro aspecto que torna a perspectiva de utilizar o design como abordagem de pesquisa para WP é o seu método abduutivo, que permite avaliar, agir, reavaliar e responder as mudanças de acordo com os eventos e novas informações

que sejam apresentadas (BUCHANAN, 1992; IPCC, 2014; CORREIO; FLEURY, 2019).

3.2. Abordagens de Design aplicadas na resolução de *Wicked Problems*

A perspectiva de atuação do design permite lidar com WP, porém a proposição de soluções necessita que outros agentes além dos designers estejam envolvidos e possam usar os conhecimentos relacionados a este tipo de abordagem, que é a ramificação do DT. Entretanto, é importante ressaltar que dentro da área do design, existe uma ampla discussão literária entre a forma de agir e pensar do profissional *designer* e o DT. De modo sumário, os profissionais com formação em design combinam teoria e prática através de habilidades, modo de pensar e de articular ideias de forma singular em sua área de atuação, chamado comumente de *designerly thinking*, enquanto o DT pode ser visto como uma simplificação desses conceitos e modos de atuação utilizados por profissionais de outras áreas, podendo ser agrupados como uma caixa de ferramentas, porém permitindo a sua utilização por diversos outros praticantes das mais variadas áreas de atuação (JOHANSSON-SKÖLDBERG; WOODILLA, 2013).

O DT advém de uma linha de pensamento da disciplina do design que constitui diversos métodos e ferramentas de criação sensíveis as necessidades humanas (DORST, 2011). As definições de DT ainda são amplamente discutidas e não há um consenso entre os autores e praticantes (JOHANSSON-SKÖLDBERG; WOODILLA, 2013), porém pode ser entendida de forma geral como um método que alia a percepção das necessidades humanas e a tecnologia disponível dentro de estratégias para a criação soluções inovadoras como requerido para lidar com WP (BROWN, 2011; CORREIO; FLEURY, 2019). Entre as suas principais características estão a abordagem centrada na perspectiva humana, a experimentação, colaboração e articulação interdisciplinar e visão holística de problemas complexos (CORREIO; FLEURY, 2019). A centralização na perspectiva humana está inclusive alinhada com a concepção mais atual de SE (DÍAZ et al., 2018a), como será discutido no capítulo 4. Geralmente o método do DT é descrito como contendo seis etapas que são: compreensão; observação; definição ou ponto de vista; ideação; prototipagem e; validação (MUELLER; THORING, 2012a; CORREIO; FLEURY, 2019).

Outra metodologia que pode ser articulada dentro do cenário de WP é o do LS. O conceito do LS existe há apenas alguns anos e tem sido uma opção para criação

de ideias e projetos, porém seus princípios surgiram dentro de montadora japonesa Toyota (CORREIO; FLEURY, 2019). O LS consiste em fazer um processo enxuto, no qual uma menor quantidade de informações, recursos e custos seja necessário a fim de desenvolver a um produto ou serviço pronto para testar com o público alvo (CORREIO; FLEURY, 2019). O LS também teve aplicação para lidar com o problema do grande número de projetos de inovação que não obtinham sucesso no mercado e que vinham a colapsar nos anos iniciais após seu lançamento (BLANK, 2013). Através do LS, o desenvolvimento do produto segue um processo cíclico entre aprender, construir e medir baseado em teste de hipótese visando criar produto mínimo viável (do inglês *Minimum Viable Product*, abreviado como MVP) (MUELLER; THORING, 2012a; FARIAS, 2017).

Os métodos de DT e LS existem separadamente e com características distintas (MUELLER; THORING, 2012a), porém a combinação de suas abordagens pode oferecer vantagens e agilidade no processo de proposição e aplicação de soluções para WP (MUELLER; THORING, 2012a; DE PAULA; ARAUJO, 2016). A abordagem do DT envolve principalmente processos iniciais visando compreender, observar, empatizar-se e propor ideias frente a uma questão, enquanto o LS envolve majoritariamente a verificação da solução que melhor se encaixa com uma dada necessidade, propor protótipos, testá-los, avalia-los e realizar ajustes para novos testes em um processo cíclico de pivotagem até atingir um MVP que possa ser testado e validado pelo cliente conforme representado no esquema da Figura 10 (MUELLER; THORING, 2012a; CORREIO; FLEURY, 2019). Unificando as técnicas de DT e LS, é possível criar produtos e soluções que atendam necessidades reais com base em hipóteses testáveis, contando com rodadas de prototipagem e com a opinião dos consumidores, economizando tempo, recursos e diminuindo riscos de falha no processo de inovação (MUELLER; THORING, 2012a).

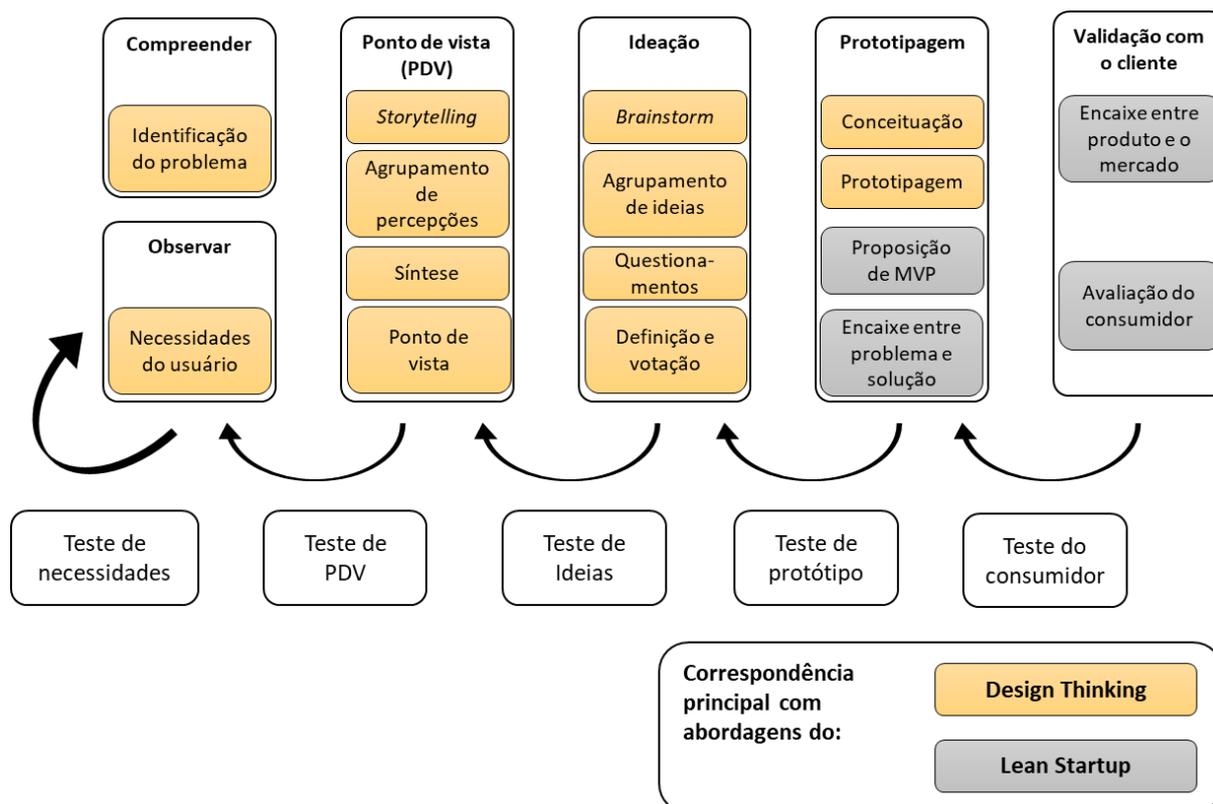


Figura 10 – Modelo combinado dos métodos de *Design Thinking* (DT) e *Lean Startup* (LS). Quadros em laranja correspondem a abordagens advindas principalmente do DT e quadros em cinza vindas principalmente do LS. São representadas as seis fases combinadas da metodologia (retângulos superiores). As setas indicam que o processo pode ser retomado ao longo do projeto. Fonte: Elaborado pelo autor com base em Mueller e Thoring (2012a).

3.3. Inovação na área ambiental e no planejamento urbano

Apesar das estratégias de DT e LS se mostrarem muito promissoras no desenvolvimento de projetos e empreendimentos em diversos ramos (FLEURY; STABLE; CARVALHO, 2016), especialmente na área de tecnologia (LINDBERG; MEINEL; WAGNER, ; DE PAULA; ARAUJO, 2016), elas ainda não são usualmente empregadas na área de sustentabilidade, desenvolvimento de produtos e serviços ambientais ou no planejamento urbano (ELMQVIST et al., 2018; MAHER et al., 2018). De acordo com Elmqvist e colaboradores (2018), uma das possíveis explicações para a desconexão entre iniciativas inovadoras e abordagens de design e trabalhos com viés ambiental está na falta de comunicação, diferenças na formação e práticas, bem como disparidade no vocabulário utilizado. Apesar disso, a perspectiva na qual ambas se propõem a atuar possuem características compatíveis como os cenários de complexidade e multiplicidade de fatores envolvidos (MAHER et al., 2018).

Projetos ligados a sustentabilidade geralmente são bem elaborados, porém enfrentam dificuldades em sua implementação, tendendo a ter baixa efetividade por

não atuar dentro da perspectiva de cenários complexos e se basear principalmente no ponto de vista dos tomadores de decisão, desconsiderando os atores mais próximos do problema a ser resolvido (LIEDTKA, 2015; MAHER et al., 2018). Desse ponto de vista, as abordagens de DT e LS podem ser úteis, pois permitem a adoção de um ponto de vista mais empático e contextualizado e contar com um arcabouço que permite aprender com as falhas e desenvolver novas ideias em processos de melhoria contínua na busca de soluções pertinentes (MUELLER; THORING, 2012a).

Abordar questões ambientais como o contexto da qualidade da água em áreas urbanas dentro da perspectiva das ferramentas do design pode oferecer diversas vantagens (QUIGLEY et al., 2018). A pesquisa através do design permite que haja uma concepção holística da situação, agrupando o contexto, tecnologia, necessidades humanas, empatia com a visão dos usuários e tomadores de decisão a fim de criar soluções e produtos que atinjam diferentes objetivos de forma simultânea (MAHER et al., 2018). Neste ponto, o design se alinha bem com a proposta de NBS e de SE, pois sua inspiração e embasamento na natureza se vale da concepção de que as funções exercidas pelos seres vivos possuem finalidades múltiplas, buscando maior eficiência, ou seja, melhor custo-benefício na solução de problemas complexos (KABISCH et al., 2016), sendo que este ponto foi discutido na parte introdutória do capítulo 2.

Além das conexões com as NBS, a abordagem do design também possui paralelos com as aplicações de IV. Indo em sua concepção inicial, a IV surge para lidar com problemas complexos em áreas urbanas na recuperação e fornecimento de SE em associação com o ambiente construído, a infraestrutura cinza (BENEDICT; MCMAHON, 2002a). Indo além da presença de áreas verdes, a IV é vista como uma rede complexa que requer manutenção e está sujeita a adaptações e renovações ao longo do tempo (BENEDICT; MCMAHON, 2002b), permitindo ajustes de forma similar aos processos de DT e LS (MUELLER; THORING, 2012a). A IV visa atender múltiplas finalidades com projetos que possuam alta eficiência, sejam adaptados a contextos específicos e possuam custo-benefício positivo para atender demandas sociais, econômicas e ambientais (EUROPEAN COMMISSION, 2015). O uso de tipologias de IV, assim como o DT e LS também é centrada nas necessidades humanas aliando adicionalmente criação e conectividade de espaços para a biodiversidade (BENEDICT; MCMAHON, 2002a).

3.4. Utilizando Design Thinking e Lean Startup na construção de Alagados Flutuantes Construídos

Tendo em vista o que foi apresentado nos tópicos anteriores deste capítulo, a abordagem a visão do design e as ferramentas do DT e LS podem ser associadas a criação de NBS e tipologias de IV. Tipologias já existentes como os AFC podem ser melhorados e adequados a situações específicas através de ferramentas de inovação como DT e LS, sendo necessário verificar quais aspectos que são passíveis de inovação. Conforme mencionado no capítulo 2, o AFC possui alguns elementos mínimos, sendo eles a plataforma flutuante, a vegetação e o sistema de raízes com a microbiota associada. Também existem os elementos de ancoramento, dispositivos adicionais, dimensionamento e padrões de montagem que podem ser adequados de acordo com as necessidades específicas de cada projeto. Além disso, o dispositivo se estende ao atendimento de múltiplas funções que podem estar de acordo com uma ou outra necessidade específica dos usuários e ainda assim gerar benefícios múltiplos.

Para o presente trabalho, a combinação de técnicas foi utilizada principalmente na etapa de desenvolvimento da plataforma flutuante. A construção da base flutuante oferece um desafio técnico devido aos requisitos para a funcionalidade do sistema (HEADLEY; TANNER, 2006). É necessário que a estrutura atenda diversos requisitos de flutuabilidade, ter baixo custo, ser esteticamente atrativo, ser modular para permitir o transporte, montagem e conexão entre as partes da ilha e visar uma construção ecologicamente amigável.

Dentre os objetivos desta dissertação que serão apresentados neste capítulo estão: 1) Aplicar os conceitos e ferramentas de DT e LS para o desenvolvimento de um produto que atenda demandas ambientais relacionadas a qualidade da água de corpos hídricos em áreas urbanas; 2) Projetar, construir e testar protótipos de AFC, avaliando-os quanto ao desempenho, flutuabilidade, modularidade e desenvolvimento da vegetação; 3) Aprender com os resultados de cada ciclo de prototipagem a fim de desenvolver um MVP modular que possa ser aplicado em condições análogas ou receber ajustes para condições diferentes de forma embasada e; 4) Verificar a efetividade e funcionalidade *in situ* ao longo do tempo.

3.5. Material e métodos

Os métodos utilizados neste estudo são de natureza principalmente qualitativa e, portanto, os resultados apresentados tem como base observações realizadas com caráter exploratório. Como mencionado anteriormente, por se tratar do âmbito de problemas não estruturados, não se busca uma resposta única para as questões propostas, mas soluções que melhor se adequem aos problemas percebidos com a utilização das técnicas.

3.5.1. Aplicação do Design Thinking e Lean Startup

As técnicas de DT e LS possuem fases de imersão para compreender o problema de forma contextualizada; observar as necessidades dos usuários; verificar o ponto de vista; criar (ideação) e planejar; realizar rodadas de prototipagem até a construção de um MVP; implementar e acompanhar e finalmente; coleta de feedbacks dos usuários a fim de validar a aplicação.

3.5.1.1. Imersão, observação e verificação do ponto de vista

A imersão visa compreender identificar os problemas de forma contextualizada para propor soluções. Foram realizadas conversas com dois tipos de clientes¹⁴, sendo um de segmento comercial e outro de segmento acadêmico que tiveram duração aproximada de 1h. Foram levantados pontos e identificado problemas que cada cliente possuía em relação a lagos gerenciados por eles.

Foram então observadas as dores e necessidades que os clientes possuem e de forma qualitativa dentro da mesma conversa.

Posteriormente, o que corresponde a fase de verificação, foram apresentados alguns conceitos ligados aos AFC com demonstração de esquemas e imagens de projetos já existentes, bem como os princípios básicos e suas funcionalidades adaptando o discurso de acordo para o ponto de vista e contexto cotidiano de cada cliente. Com base na reação de cada cliente, foi verificado se eles estariam dispostos a participarem da pesquisa e ceder o uso do lago para instalação dos dispositivos uma vez que estivessem prontos até o período mínimo da duração do mestrado, estimado para março de 2020.

¹⁴ Será utilizado o termo 'cliente' a fim de simplificar a nomenclatura das pessoas que foram abordadas e convidadas para participarem do projeto de pesquisa, uma vez que essa é a terminologia mais utilizada em artigos que tratem de DT e LS.

Esta abordagem integrou as três etapas iniciais correspondentes ao DT e LS em um mesmo momento, divergindo de outros trabalhos que realizam cada etapa em momentos distintos.

3.5.1.2. *Ideação e planejamento, prototipagem e construção do MVP*

A fase de ideação e planejamento consistiu em estudar projetos existentes a partir de levantamento bibliográfico, buscando compreender os princípios básicos para o funcionamento da AFC (apresentados no Capítulo 2) e listar materiais e mão de obra previstos. Foi priorizada a utilização de materiais de baixo ou nenhum custo, com viés sustentável, especialmente resíduos destinados a descarte a fim de tornar o processo ecologicamente amigável.

A fase de prototipagem consistiu de rodadas para criação de plataformas do dispositivo e testes práticos para validação da funcionalidade. Em diversos projetos são estipuladas a quantidade de rodadas de prototipagem, mas neste caso foram realizadas até suprir todas as demandas exigidas para o funcionamento de um AFC, o que correspondeu a seis rodadas. O objetivo nesta fase era de criar uma plataforma que atendesse as funções básicas de um AFC, ou seja, flutuasse adequadamente, permitisse o pleno desenvolvimento da vegetação, fosse durável e estável ao mesmo tempo que tivesse o menor custo e tempo de produção possível.

O teste dos protótipos consistiu na construção e avaliados referente a seus pontos fortes e pontos de melhoria a fim de aprimorar os modelos subsequentes. Os cinco modelos iniciais tiveram enfoque na construção da plataforma e fluidez da plataforma, e o sexto modelo teve enfoque na verificação do plantio e o desenvolvimento das partes aéreas e radiculares da vegetação.

A partir dos dados coletados pelos protótipos, desenvolveu-se o MVP, ou seja, o dispositivo que combina todos os pontos fortes das versões anteriores e que estaria pronto para instalação e acompanhamento.

3.5.1.3. *Implementação, acompanhamento, coleta de feedbacks e validação*

A fase de implementação constituiu-se da instalação dos AFC nos locais definidos para estudo, sendo realizado o acompanhamento do funcionamento com a finalidade de avaliar o desempenho, a estabilidade e outros fatores ao longo do período de estudo. O acompanhamento dos dispositivos foi feito através de registro fotográfico e anotações em caderno de campo ao longo de todo o período da

pesquisa, que teve início com a instalação das plataformas nos dias 3 e 5 de agosto de 2018, respectivamente no Pesqueiro e na Reserva.

A fase de coleta de feedbacks e validação foi realizada concomitantemente a fase de acompanhamento e consistiu no levantamento de dados de forma não estruturada, através de opiniões abertas e espontâneas, e estruturada utilizando questionários. Os resultados desta etapa serão apresentados no capítulo 4, voltado a SE.

3.5.2. Local de estudo

Uma vez determinado quais seriam os clientes envolvidos no projeto através da aceitação dos mesmos, foram definidos os locais de estudo. O presente trabalho foi desenvolvido em dois lagos na cidade de São Paulo, SP. O primeiro lago se encontra no Pesqueiro do Carmo¹⁵ (1998) e é utilizado para pesca esportiva (Figura 11). Está localizado na subprefeitura de Itaquera, distrito do Parque do Carmo na zona leste de São Paulo. A água do lago é captada no córrego Yamato que nasce cerca de 800 metros a montante, porém, devido a adição de ração, iscas utilizadas pelos frequentadores e suplementos alimentares para os peixes, a água tem um elevado índice de eutrofização. A água retorna ao córrego por um extravasor e desagua no Rio Jacú, afluente do Tiête.

O lago do Pesqueiro do Carmo, doravante denominado 'Pesqueiro' tem formato aproximadamente circular e possui 3481 m² de área, com perímetro de 216 m, comprimento máximo de 76 m, largura máxima de 63,2 m e profundidade máxima aferida de 2,95 m.

¹⁵ Para mais informações sobre o Pesqueiro do Carmo, vide <https://www.pesqueirodocarmo.com.br/nossa-hist%C3%B3ria>

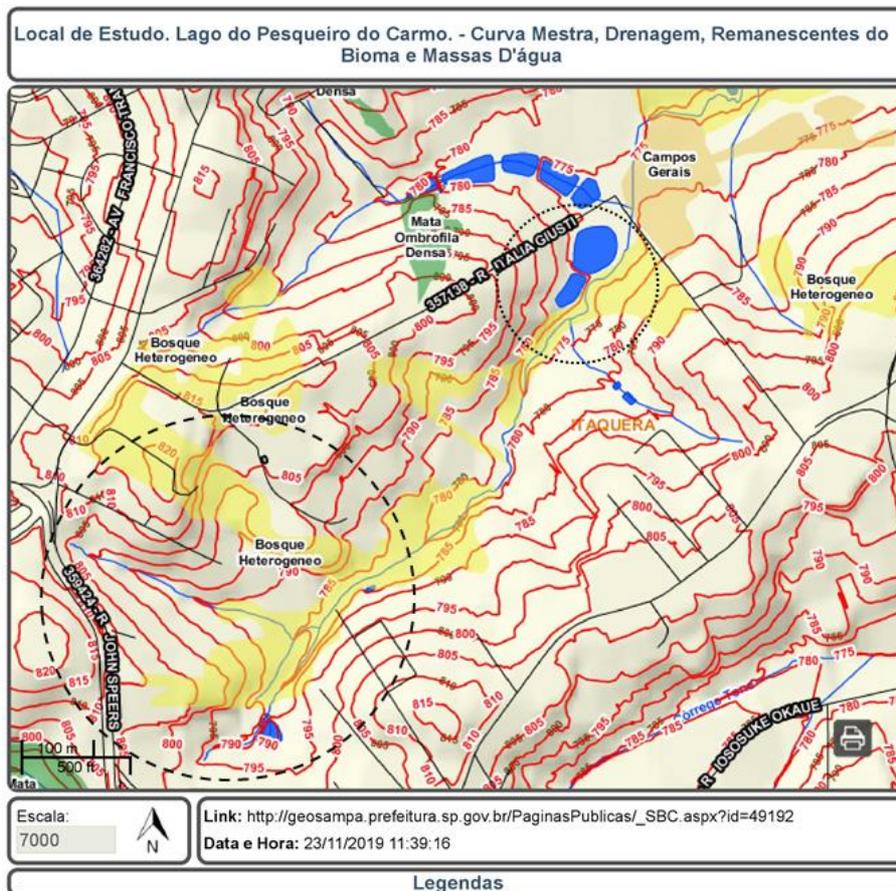


Figura 11 - Mapa do local de estudo: Pesqueiro. A figura mostra os afluentes à montante (círculo tracejado) e dois lagos sequenciais do pesqueiro (círculo pontilhado), sendo o lago a jusante utilizado no estudo. A água flui no sentido sudoeste-nordeste. Escala 1:7000. Fonte: GeoSampa (2019).

O segundo lago se encontra dentro da Reserva Florestal do Instituto de Biociências (RFIB)¹⁶ no campus Cidade Universitária da Universidade de São Paulo, doravante denominado 'Reserva' (Figura 12). Esse lago conta com entorno protegido e baixo índice de eutrofização. A água que flui para o lago nasce dentro da área da reserva e extravasa em períodos de cheia no córrego Pirajussara, afluente do Rio Pinheiros.

O lago da RFIB possui 806 m² de área, com perímetro de 211,5m, comprimento máximo de 82,5 m, largura máxima de 43,34 m, profundidade máxima de 2,20 m e volume de 894,12m³ (CARVALHO, 2006).

¹⁶ Para mais informações sobre a RFIB, vide <https://www.ib.usp.br/reserva-florestal/a-reserva.html>

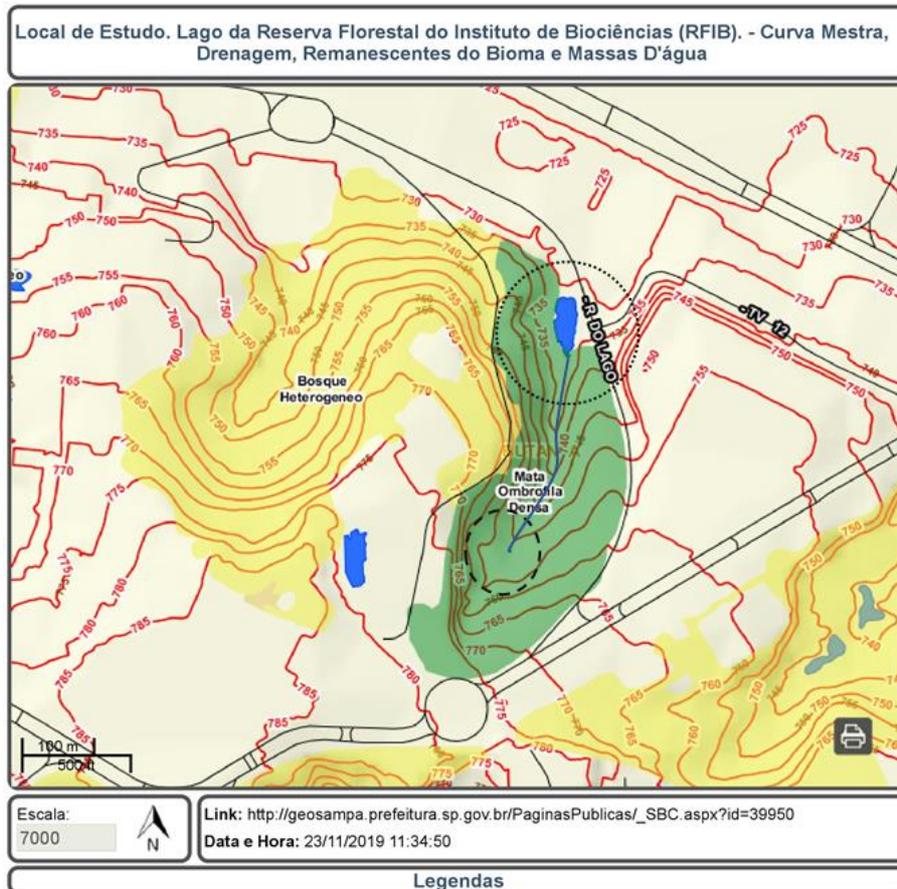


Figura 12 - Mapa do local de estudo: Reserva Florestal do Instituto de Biociências (RFIB). A figura mostra a região do afluente à montante (círculo tracejado) e do lago (círculo pontilhado). A água flui no sentido sul-norte. Escala: 1:7000. Fonte: Modificado de GeoSampa (2019) com base em Groppo e Pirani (2005).

O lago do Pesqueiro foi selecionado com a intenção de verificar o efeito dos AFC na qualidade da água, na percepção dos usuários e como aceitação de um produto de inovação ambiental e na prestação de SE por se tratar de um espaço de lazer e acesso público. O lago da Reserva foi escolhido com o intuito de melhor acompanhar as interações da fauna silvestre com o dispositivo, por se tratar de um local com pouca interferência antrópica e pela proximidade com o instituto de pesquisa. Adicionalmente, a escolha de dois locais com usos distintos, sendo um com uso científico, educacional e de preservação e o outro com uso comercial poderia gerar discussões interessantes sobre os potenciais e espectros de utilização desta tipologia de IV.

3.6. Resultados e discussão

3.6.1. Compreendendo o problema, identificando as dores e propondo soluções para os clientes

As percepções obtidas com a aplicação do DT e LS em combinação permitiram abordar a proposta do projeto a partir de uma perspectiva centrada nos usuários e desenvolvê-la de forma incremental contando com as necessidades apresentadas nas três fases iniciais: compreensão, observação e verificação do ponto de vista. Ao se propor utilizar a visão do cliente, as propostas puderam ser contextualizadas de acordo com as necessidades dos mesmos, aumentando o grau de aceitação.

No caso do Pesqueiro, foi identificado que proprietário enfrentava problemas com a coloração esverdeada da água devido a elevada concentração de algas com afloramentos sazonais e odor elevado, especialmente no verão, que é uma característica comum a muitos pesqueiros devido a eutrofização (MERCANTE et al., 2004). Outro problema relatado era o de reclamações e conflitos entre os usuários gerado quando anzóis se cruzavam no meio do lago, por arremessos de longa distância. Também foi reportado como problema o consumo de energia elétrica pelo uso de aeradores usados para oxigenar a água para combater o afloramento de algas e o uso de probióticos como suplemento alimentar para os peixes, que se trata de um produto caro¹⁷.

As dores percebidas, portanto, foram: os aspectos estéticos negativos do lago e odor que influenciavam o público e afetavam o empreendimento; conflitos entre usuários relacionados ao entrelaçamento de anzóis durante a pescaria que geravam reclamações constantes, sendo que o proprietário tinha interesse de adicionar algum tipo de barreira física, como corda com boias, que impusesse um limite a distância do arremesso; custos para manter a qualidade da água e saúde dos peixes.

Com a abordagem de *storytelling*¹⁸, foi apresentada a proposta da instalação do AFC que se mostrou interessante, pois o dispositivo serviria como uma barreira

¹⁷ Um dos produtos mencionados foi o “Prébiotico e probiótico DB Aqua” de 10kg da empresa Aquatropic Aquacultura & Meio Ambiente que se propõem a contribuir para redução de compostos nitrogenados e combate da eutrofização por competição com cianobactérias com função prébiotica e servir como suplemento de aminoácidos e vitaminas para o metabolismo de peixes (AQUATROPIC, 2020). 10 kg do produto custa cerca de R\$1.520.

¹⁸ *Storytelling* é uma técnica que compõem o arcabouço de ferramentas do DT para obter percepções, criar empatia e se conectar emocionalmente com os clientes. A técnica se vale da criação de cenários a fim de explicitar conceitos de forma contextualizada.

contra o cruzamento dos anzóis entre usuários com um adicional paisagístico, além do potencial de auxiliar na redução do afloramento de algas pela competição por nutrientes gerada pelas macrófitas emergentes instaladas no AFC e redução de odor, conforme ressaltado em pesquisas com o uso de plantas para melhoria de água em aquacultura (NDUWIMANA; XIANG-LONG; WANG, 2007). Adicionalmente, o biofilme bacteriano formado na zona de raízes teria o potencial de servir como suplemento alimentar para os peixes e competir com as algas na obtenção de nutrientes (WEST et al., 2017).

No caso do lago da Reserva, a proposta foi apresentada a equipe de coordenadores responsáveis pela gestão da RFIB. O lago em si não apresentava problemas significativos relacionados a qualidade da água, exceto em casos de elevada precipitação quando óleos e materiais particulados presentes rua adjacente a área de estudo eram lavados para dentro do lago. Entretanto, por se tratar de uma área destinada a conservação, pesquisa e educação, havia um interesse dos coordenadores de que mais trabalhos científicos fossem realizados na área e assim destacar sua importância acadêmica e educacional. A área é fechada no entorno e o acesso é feito apenas para pessoas autorizadas com fins de pesquisa e/ou ensino. As dores percebidas, portanto, envolviam basicamente o uso ativo para fins acadêmicos e educacionais.

A apresentação da proposta de instalação do AFC supriria a dor apresentada por se tornar mais um trabalho de pesquisa a realizado no local. Os coordenadores, entretanto, determinaram que por se tratar de uma área de reserva florestal, seria necessário que a vegetação utilizada fosse obtida diretamente do local, evitando problemas ambientais por invasão de espécies.

Sendo a abordagem conjunta de DT e LS centradas no usuário, a etapa de imersão permite o desenvolvimento de empatia com o usuário na busca de soluções que estejam associadas com suas necessidades e desejos, chamando de “*problem-solution fit*” (MUELLER; THORING, 2012b; FLEURY; STABILE; CARVALHO, 2016). Por mais que soluções prévias e sistemas utilizados em outros contextos possam apresentar resultados satisfatórios, a abordagem de capturar o interesse dos clientes partindo da perspectiva dos mesmos favorece a aceitação e engajamento (STANFORD D.SCHOOL, 2010). Para adotar esse tipo de abordagem, o método abduutivo se mostra mais adequado, pois ao invés de buscar respostas para um

problema específico e bem definido, ele opera dentro de dimensões abertas e complexas com o intuito de geração de valor (DORST, 2011).

O uso das técnicas de imersão com entrevistas para entender as dores dos usuários de forma contextualizada e interpretá-las do ponto de vista dos mesmos para então apresentar a proposta do projeto. Conforme apresentado no *toolkit* da IDEO (2012), a aproximação com o usuário e com o contexto permite interpretar e definir, dentro das frustrações, motivações, interesses e necessidades, quais podem ser abordadas de forma sistematizada para a proposição de alternativas que seja adequadas e assim permitir o desenvolvimento de ideias e de um plano de ação.

Ao propor soluções que atendam as necessidades é importante demonstração de forma visual, criando analogias e trazendo elementos de contextualização, aumentando o grau de empatia e interação entre as partes (STANFORD D.SCHOOL, 2010). O uso de ferramentas como o *storytelling* é uma das formas que tem sido utilizadas para encorajar tomadores de decisão a compreender e visualizar a aplicabilidade de soluções de forma mais concreta (STANFORD D.SCHOOL, 2010; LIEDTKA, 2015).

Ao compreender e observar contexto o público alvo, a forma de apresentação foi adaptada, ou seja, adotou-se o Ponto de Vista dos clientes (POV da sigla em inglês para *Point of View*). O POV permite definir a necessidade a partir do ponto de vista do usuário para a formação de *insights* (STANFORD D.SCHOOL, 2010). Ao proprietário do Pesqueiro, foram apresentados esquemas visuais sobre o funcionamento do dispositivo, em especial sobre como peixes poderiam se beneficiar disto e conseqüentemente, influenciar nos resultados do empreendimento. Também foram apresentadas montagens nas quais a disposição dos AFC formava barreiras ou separações que compartimentalizavam os locais de aplicação, o que despertou o interesse por atender uma demanda reportada. Para a equipe de coordenadores da Reserva, foram apresentados elementos visuais falando do funcionamento, tipos de benefício e dados advindos de artigos científicos demonstrando eficiência e benefícios gerados pelos AFC. Por se tratar de uma área de reserva ambiental, foi ressaltado que muitos estudos primam pela utilização de espécies nativas para evitar potenciais problemas de invasão e beneficiar a fauna e flora local. A utilização do local permitiria verificar esses resultados aplicados ao contexto da RFIB, o que também despertou o interesse e viu-se no projeto o suprimento das demandas apresentadas. Dessa forma, a questão “como nós podemos...?” permitiu sair de um

contexto amplo da problemática e delimitar as informações para avançar para as etapas de criação. Para o Pesqueiro, obteve-se “como nós podemos criar uma barreira dentro do lago que diminua o conflito entre usuários, seja esteticamente atraente e possa ajudar no controle de algas e do odor?” e para a Reserva, “como nós podemos aumentar o número de trabalhos científicos na RFIB?”.

Em suma, as duas entrevistas realizadas conseguiram identificar os problemas, levantar dores dos clientes e verificar que estas poderiam ser sanadas com a aplicação de AFC. Ao utilizar a perspectiva do usuário como ponto de partida verificou-se que a proposta gerava valor o que influenciou a aprovação e aceitação de ambos os clientes em participarem da pesquisa. Também foi verificado que as ferramentas permitiram empatizar com o cliente e chegar a perguntas passíveis de serem respondidas.

3.6.2. Ciclos de ideação, planejamento e prototipagem

Após confirmar a perspectiva dos clientes e o interesse, foram realizados seis ciclos de prototipagem antes de chegar ao MVP que estão apresentados a seguir. As ideias eram elaboradas com desenhos e rascunhos como protótipos de baixa fidelidade para elencar os elementos básicos e coletar feedbacks (LIEDTKA, 2015). Posteriormente foram feitos protótipos de fidelidade média para visualizar os processos de montagem, dimensionamento e materiais necessários e de alta fidelidade para testes práticos, sendo que cada rodada de prototipagem permitiu melhorar e refinar a ideia. Devido a extensão desta seção, os resultados serão discutidos de forma sumária ao longo do texto e de forma conjunta no item 3.8.2.11.

3.6.2.1. *Prototipagem de baixa fidelidade*

Inicialmente foram feitos diversos desenhos e croquis como protótipos de baixa fidelidade que tiveram como base trabalhos publicados, informações levantadas durante as interações com os clientes e de inspirações pessoais. Os desenhos serviram para perceber detalhes importantes para a construção dos protótipos e dar início ao dimensionamento, a seleção de materiais e suas quantificações.

Na figura Figura 13 são apresentados dois croquis que fizeram parte da fase inicial de prototipagem. Outros desenhos estão apresentados na seção de apêndices.

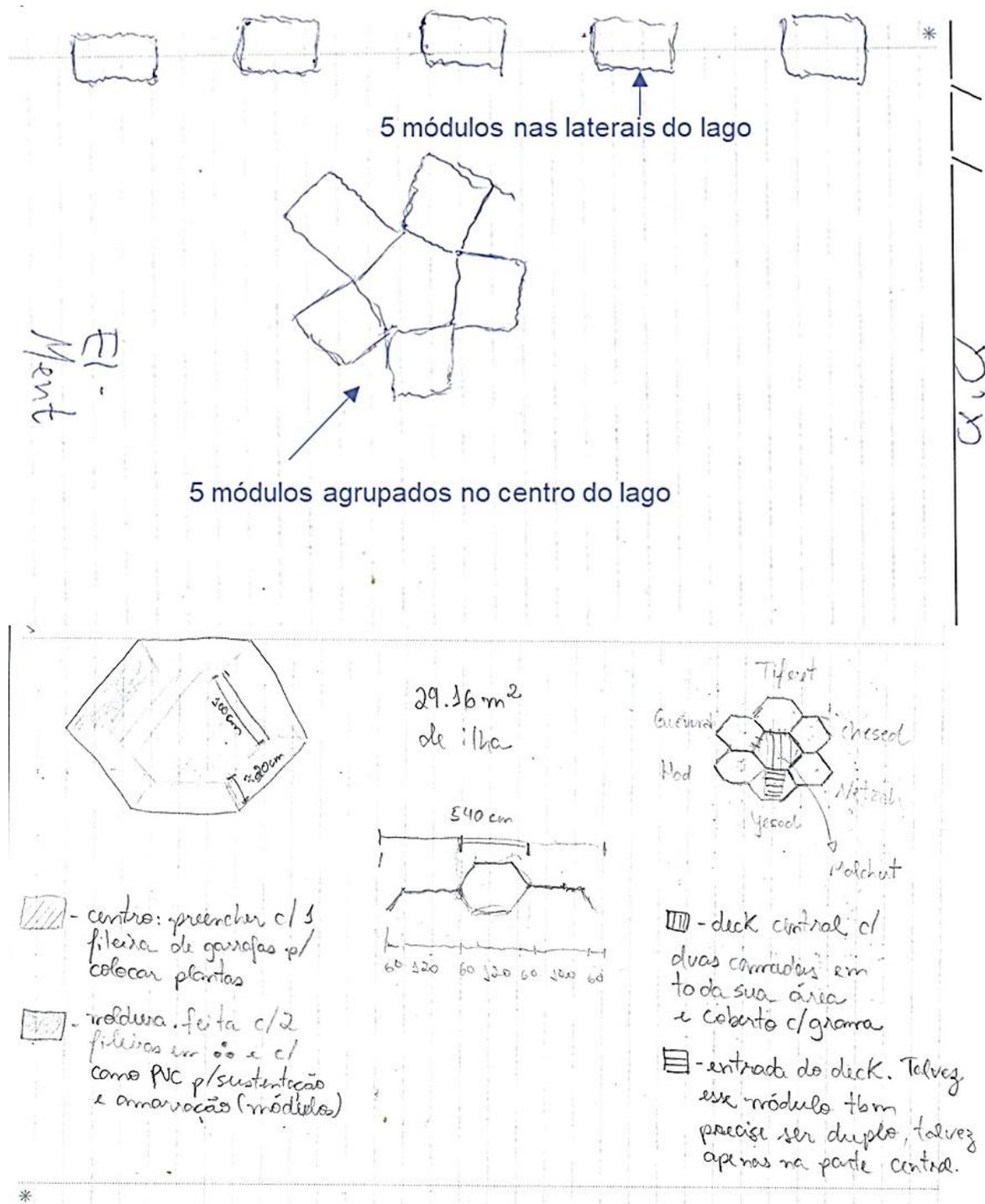


Figura 13 – Croquis de alagados flutuantes construídos como protótipo de baixa fidelidade. Na parte superior está demonstrado a vista aérea de plataformas flutuantes que seriam modulares, permitindo montagem em diversos padrões e posicionamento dentro do lago tanto próximo as margens quanto em regiões centrais. Na parte inferior estão demonstrados a direita um conjunto formado por sete módulos em formato de hexágono, representando cinco unidades que teriam plantio de vegetação, uma unidade central como deck e outra unidade de acesso. No centro abaixo está representado uma ideia das medidas e da dimensão lateral dos módulos agrupados e no centro a esquerda um único módulo indicando as dimensões internas. Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

3.6.2.2. Protótipo #1 – Média/alta fidelidade

O protótipo #1 foi composto de garrafas PET, fibra de coco, tela plástica e amarrações (Figura 14). Foram utilizadas garrafas de 2L (34,5 x 9,5 cm, altura x diâmetro) de mesmo modelo, *i.e.* garrafas lisas e sem detalhes ou rugosidades na parede, alinhadas entre si, sendo 3 garrafas inteiras e 2 cortadas nas extremidades para servirem como elemento de conexão. O encaixe entre as garrafas foi planejado visando à criação de tubos que mantivessem a estruturação e alinhamento ao longo do tempo, o que requeria que as garrafas fossem de modelos iguais para permitir o encaixe entre as unidades. As garrafas foram revestidas por manta de fibra de coco (1,2 m de largura com espessura de 5 mm) e tela plástica do tipo galinheiro (1 m largura e abertura da malha 2,5 cm), formando tubos com comprimento aproximado de 1,08 m. Foram conectados 12 tubos em sentido horizontal utilizando abraçadeiras plásticas para fixação, formando uma plataforma nas dimensões de 1,08 x 1,20 x 0,10m (comprimento, largura e altura) com área de 1,30 m² por plataforma. O dimensionamento foi feito considerando o tamanho máximo comumente encontrado para rolos de fibra de coco e de telas plásticas.

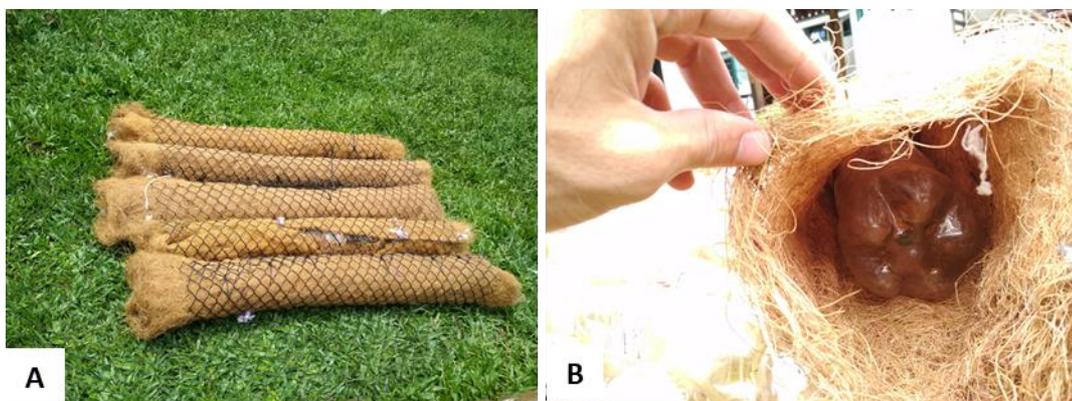


Figura 14 - Protótipo #1. Em (a) é apresentado os tubos formados pelas garrafas conectados entre si em sentido horizontal e em (b) é apresentado o detalhe da parte interna e a fibra de coco. Fonte: Elaborado pelo Autor, 2018

O teste prático apontou que a plataforma se mostrava muito flexível, com pouca estabilidade e com a água adentrando facilmente entre as conexões dos tubos feitas pelas garrafas cortadas, mesmo utilizando um modelo uniforme. A entrada de água entre as conexões faz com que uma parcela da plataforma destinada a servir como flutuação pelo preenchimento com ar começasse a perder função. Este modelo utilizava muita de fibra de coco e tela plástica para a formação dos tubos individuais, o que poderia elevar o custo e trabalho na construção do dispositivo. Não se constituiu

uma unidade integrada com este modelo, pois os tubos ficaram flexíveis entre si, o que exigiria melhor fixação entre as unidades e consequente maior uso de materiais.

3.6.2.3. Protótipo #2 – Média/alta fidelidade

Protótipo #2 utilizou os mesmos materiais que o modelo #1 com a adição de mangueiras de bombeiro de refugio com dimensões diversas (Figura 15). Os tubos foram formados por garrafas PET de mesmo modelo utilizando 4 garrafas inteiras e 3 conexões. Foram entrelaçados 8 tubos utilizando tiras de mangueira de bombeiro. A fibra de coco e a tela plástica foram utilizadas para revestimento externo dos tubos, sendo “costuradas” utilizando fitilho plástico. As dimensões da plataforma corresponderam a 1,20 x 1,00 x 0,10m (comprimento, largura e altura) com área de 1,20m² por plataforma.

Este modelo apresentou maior estabilidade, porém a água continuou penetrando nas garrafas utilizadas como conexão. Houve menor uso de fibra de coco e tela plástica, reduzindo o consumo de material. O sistema formou uma unidade estrutural, porém continuou se mostrando flácida, especialmente nas extremidades, o que poderia apresentar problemas durante o desenvolvimento da vegetação.



Figura 15 - Protótipo #2. A) Tubos compostos por 4 garrafas PET inteiras e 3 garrafas cortadas servindo como encaixe, amarrados com mangueira de bombeiro; B) Detalhe de amarração da fibra de coco e tela plástica envolvendo os tubos; C) Croqui de possibilidades de fixação final das mangueiras de bombeiro. Fonte: Elaborado pelo Autor, 2018.

Os dois primeiros modelos apresentaram algumas limitações e problemas a serem sanados nas etapas seguintes de prototipação, sendo eles:

- Limitação do uso de garrafas de mesmo modelo, o que dificultava a obtenção de materiais e escapava do princípio de dar um uso para resíduos diversos;
- Dificuldade na formação de uma unidade e estruturação da plataforma;

- Entrada de água nas garrafas utilizadas como conexão nos tubos;
- Uso elevado de material como fibra de coco e tela plástica.

O uso de fibras naturais e material biodegradável na construção de AFC tem sido utilizado em diversos outros projetos, sendo as funções principais reportadas como meio de cultivo para vegetação, acabamento e substrato para colonização de microrganismos (HEADLEY; TANNER, 2006; GREEN FUTURES LAB, 2013a; PAVLINERI; SKOULIKIDIS; TSIHRINTZIS, 2017). Garrafas PET também tem sido utilizadas como elemento flutuante em muitos projetos, em especial por se tratar de um material que muitas vezes acaba se tornando um problema na natureza elevado tempo de decomposição, o que na natureza é um problema, mas em um AFC se torna uma vantagem, garantindo a durabilidade do dispositivo (HEADLEY; TANNER, 2006; PAVLINERI; SKOULIKIDIS; TSIHRINTZIS, 2017). Com a prototipagem de média fidelidade notou-se que ambos os materiais seriam apropriados, entretanto, era necessário considerar formas mais eficientes em sua construção. Para isso, um ponto crucial percebido foi a conectividade entre os elementos que utilizou abraçadeiras plásticas e mangueiras de bombeiro, porém não aparentaram ser materiais promissores.

3.6.2.4. Protótipo #3 – Média/alta fidelidade

O protótipo #3 teve foi planejado para a utilização de adesivos nas conexões, além dos materiais usados nos modelos anteriores (Figura 16). Foram utilizados diversos tipos e marcas de adesivos (Tabela 5) a fim de avaliar: custo; facilidade na colagem; vedação das conexões para impedimento da entrada de água e; melhoria na estrutura dos tubos e da plataforma. Foram feitos tubos utilizando a colagem com apenas um tipo de adesivo e colagem combinadas utilizando fitas e colas (e.g. fita *silver tape* + cola de poliuretano). Os tubos foram entrelaçados utilizando mangueira de bombeiro e revestidos com fibra de coco e tela plástica de forma idêntica ao protótipo 2 e com as mesmas dimensões finais.

Tabela 5 - Lista de adesivos utilizados para colagem das junções. Valores de referência para o ano de 2018. Fonte: Autor (2018).

| Tipo | Marca | Custo por unidade (R\$) |
|--------------------------------------|----------------------|--------------------------------|
| Fita <i>silver tape</i> (10 m) | 3M / Starfer | 29,15 / 13,90 |
| Adesivo plástico para PVC (850 g) | Tigre | 33,24 |
| Cola de poliuretano (PU) (pote) | Mastertec / TEK Bond | 78,70 / 28,95 |
| Adesivo vedante Veda Calha (bisnaga) | TEK Bond | 15,60 |



Figura 16 - Colagem de tubos para protótipo #3. Em (A) e (B) são apresentadas colagens dos tubos utilizando respectivamente fita *silver tape* e cola de poliuretano. Em (C) são apresentados os tubos formados com os diversos tipos de adesivo e suas combinações. Fonte: Elaborado pelo Autor, 2018.

Os diferentes tipos de adesivo mostraram resultados variados quanto a colagem. O adesivo para PVC não preencheu bem os espaços, permitindo a entrada de água nas garrafas utilizadas como conexões. Houve diferença na qualidade de vedação entre as marcas de fita *silver tape*, sendo que a marca 3M apresentou melhores resultados de vedação e maior facilidade na aplicação. As duas marcas de cola PU e o adesivo *Veda Calha* apresentaram resultados satisfatórios quando ao preenchimento dos espaços entre as conexões e os tubos, porém demandaram maior esforço na aplicação e necessitaram de tempo de secagem variando entre cerca de

20 minutos (Veda Calha) a algumas horas (cola PU). A combinação entre fita *silver tape* e colas combinou as vantagens dos dispositivos, porém adicionava no consumo de material.

A utilização de adesivos resolveu os problemas de estruturação e entrada de água entre as conexões, ao menos no primeiro momento, requerendo testes de longo tempo para confirmar eficiência. Um detalhe percebido neste momento foi de que as garrafas sofriam contração e expansão de acordo com a condição climática e exposição ao sol, o que poderia comprometer a conexão dos tubos ao longo do tempo, embora o efeito pudesse ser atenuado após a cobertura com a vegetação e por estar constantemente em contato com a água. Todavia, a colagem das conexões aumentou drasticamente o tempo e o custo para construção das plataformas, além de adicionar muitos elementos obtidos fora do ciclo de reaproveitamento de resíduos e com composições químicas diversas, que poderia acarretar em problemas ambientais em caso de degradação na água. Quanto a esses aspectos, o custo e tempo de produção são dois elementos destacados em diversos do AFC (WANG; SAMPLE, 2014), bem como nos métodos de DT e LS (IDEO, 2012), permitindo sua escalabilidade e sustentabilidade na produção (BLANK, 2013). O uso de matérias que sejam ambientalmente amigáveis também é discutido em outros projetos (KERR-UPAL; SEASONS; MULAMOOTTIL, 2000), pois a intenção é de que seja uma solução inspirada na natureza e portanto, cíclica (EUROPEAN COMMISSION, 2015). Ressaltasse, entretanto, que não foram realizadas pesquisas de potenciais problemas ambientais que os adesivos pudessem oferecer, sendo apenas uma reflexão que surgiu durante o processo de prototipagem.

3.6.2.5. *Protótipo #4 – Média/alta fidelidade*

Percebendo que a construção da plataforma flutuante utilizando apenas garrafas PET como elemento de flutuação e de estruturação estava gerando desafios adicionais, elevando o consumo de materiais e insumos para colagem e fixação e ainda assim atendendo de forma insatisfatória a criação de uma unidade estrutural robusta no dispositivo, foi proposta a utilização de tubos e conexões de PVC. Uma moldura externa foi montada utilizando canos e conexões de 100 mm (4") com uma divisão no centro também feita com tubo PVC coladas com adesivo plástico (Figura 17). Os espaços foram preenchidos por garrafas PET de mesmo modelo formando tubos com 4 peças inteiras e 3 conexões sem colagem, presas a moldura de PVC

com fitilho plástico e organizadas no sentido do comprimento da moldura. Foram dispostas 4 fileiras com tubos feitos de garrafa PET, afixados na moldura de PVC utilizando fitilho plástico. A fibra de coco foi substituída por tecido de juta para acabamento por questões de custo e disponibilidade. A plataforma apresentou dimensões de 2,42 x 1,16 x 0,10 m (comprimento, largura e altura) e área de 2,80 m². O dimensionamento da moldura foi estipulado considerando o aspecto logístico para o transporte de módulos em cima de veículos comuns no bagageiro superior, em reboques de carros e caminhões de pequeno porte.



Figura 17 - Protótipo #4. A) Moldura de tubos PVC com uma divisão central (dimensões 2,42 x 1,16 x 0,10 m) e o posicionamento dos tubos formados por garrafas PET com 4 peças inteiras e 3 cortadas como conexão; B) Revestimento externo com tecido de juta; C) Posicionamento de mudas simulando a posição do plantio de macrófitas emergentes. Fonte: Elaborado pelo Autor, 2018.

A moldura feita de PVC resolveu diversos problemas dos modelos anteriores, dentre os quais estão: a melhoria da estabilidade e união da plataforma, eliminando o problema de flacidez nas extremidades apresentado anteriormente; a criação de pontos para fixação entre diversos módulos da plataforma e amarração para a âncora; maior facilidade e menor tempo de construção. O uso de tubos PVC abriu a possibilidade de diversificação dos formatos da plataforma flutuante, permitindo a criação de formatos triangulares, quadrados entre outros e que quando agrupados poderiam formar designs de acordo com o interesse na instalação e posterior alteração dos padrões, se liberadas as amarrações entre os módulos. Entretanto, o protótipo ainda apresentava a necessidade do uso de garrafas de mesmo modelo para conexão e ao não utilizar adesivos entre as garrafas, a água continuou entrando

nas garrafas utilizadas como elemento de conexão, mesmo com uma moldura mais rígida no entorno.

Outros projetos também fazem utilização de tubos de PVC como um dos elementos construtivos, sendo este um aspecto recorrente na literatura (HEADLEY; TANNER, 2006; WINSTON et al., 2013a; PAVLINERI; SKOULIKIDIS; TSIHRINTZIS, 2017). Como foi ressaltado, a utilização da moldura de PVC permitiu a criação de módulos mais estáveis e resistentes, bem como a montagem de unidades que tivessem aspectos de fácil transporte, que é um dos itens vislumbrados na criação de AFC fácil (HEADLEY; TANNER, 2006; GREEN FUTURES LAB, 2013a).

3.6.2.6. *Protótipo #5 – Média/alta fidelidade*

O quinto protótipo foi criado com a demanda de eliminar a necessidade de conexão feita com garrafas PET. Foi então acrescentado o uso de fios de aço galvanizados para amarração das garrafas e auxílio na sustentação (Figura 19). Foi utilizado arame fio N12 (2,77mm) para formar um “X” que conectasse os vértices da moldura para reforçar a estrutura e para criar a área de fixação e posicionamento das garrafas, com 3 fios para cada fileira, sendo 2 por cima e 1 por baixo. Toda a moldura foi preenchida por garrafas, diferentemente do protótipo 4, que foram amarradas em dois pontos, um próximo ao gargalho e outro na porção central do recipiente utilizando arame fio N18 (espessura 1,24mm) prendendo aos 3 fios N12. As dimensões da plataforma permaneceram iguais ao protótipo #4.

Os fios de arame galvanizado substituíram a necessidade de conexão entre as garrafas e também permitiu a utilização de garrafas de diversos modelos, formatos e tamanhos. Percebeu-se que era mais apropriado preencher toda a moldura com garrafas PET, aumentando a quantidade de elementos flutuantes. Neste modelo as plantas seriam posicionadas sobre o tapete formado por garrafas PET e as raízes das plantas penetrariam nos espaços existentes entre as garrafas.

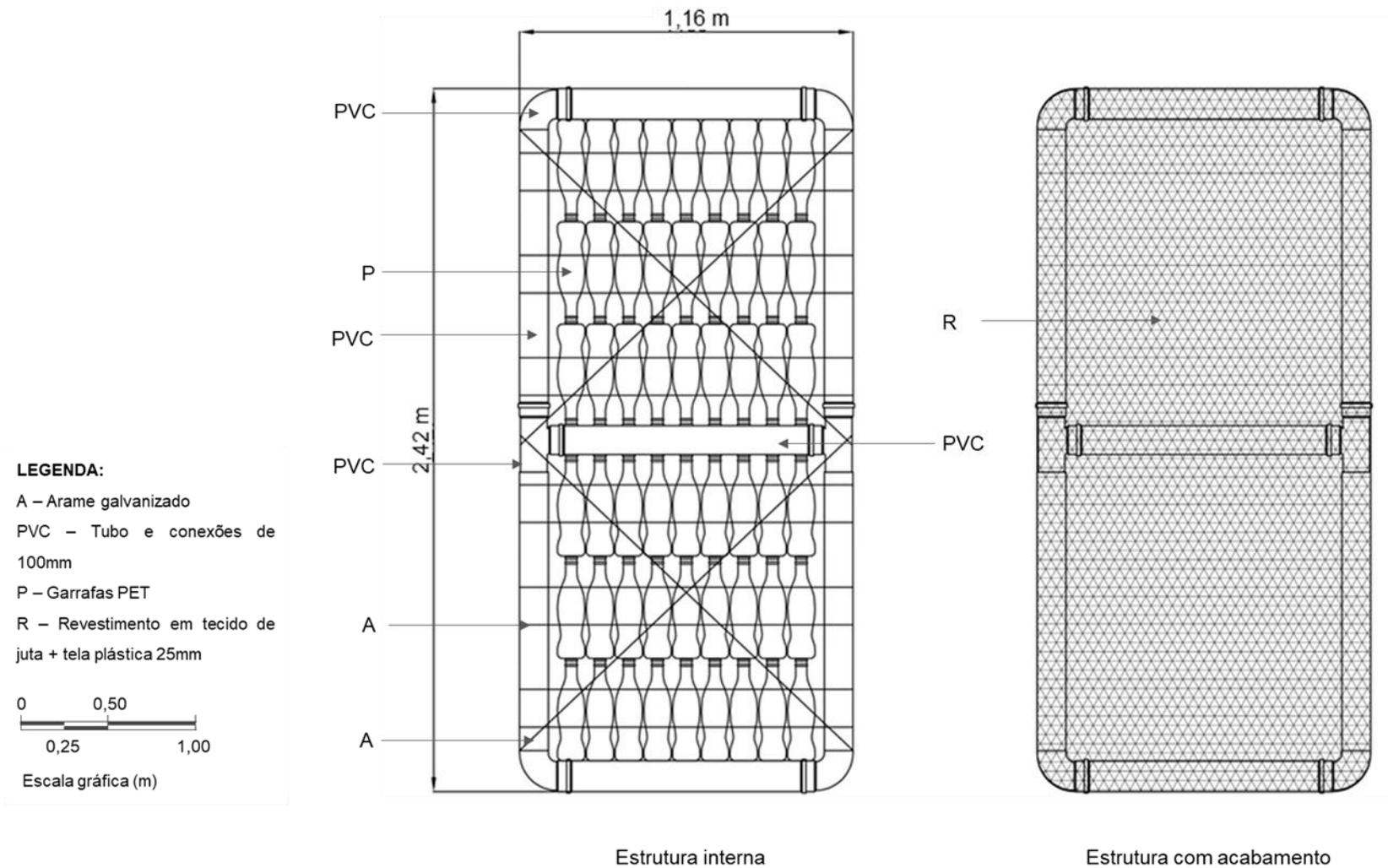


Figura 18 – Planta baixa do alagado flutuante construído. Estrutura interna (a esquerda) com dimensão de 2,42m x 1,16m x 0,10m (comprimento, largura, altura) apresentando posicionamento das garrafas PET (P) fixadas com a utilização de arame galvanizado (A) dentro da moldura de tubos PVC. A direita está representada a estrutura com revestimento final externo feito com uma camada de tecido de fibra de juta sobreposta por tela plástica de malha de 25mm em toda sua extensão: Fonte: Projeto do Autor, desenho de Ayra M. de Souza, 2020.



Figura 19 - Protótipo #5. A) Moldura de tubos PVC com uma divisão central (dimensões 2,42 x 1,16 x 0,10 m), fios de arame galvanizado de 2,7mm (setas vermelhas) e preenchimento com 54 garrafas PET; B) Alagado flutuante construído com acabamento externo com tecido de juta e tela plástica com malha de 25mm, mostrando garrafas utilizadas no preenchimento. Note em (B) que este protótipo permite a utilização de garrafas de diferentes formatos e tamanhos, pois não depende de encaixe formado entre garrafas de mesmo modelo. Fonte: Elaborado pelo Autor, 2018.

3.6.2.7. Protótipo #6 - Plataforma para teste de hipóteses – alta fidelidade

Com base no quinto protótipo foi planejado a elaboração de um teste piloto para verificar o desenvolvimento da vegetação. Dado que um dos locais de instalação das ilhas se tratava de um lago de pesqueiro e que algumas espécies de peixe se alimentam também de plantas, como a tilápia (*Tilapia* sp.) que é onívora. Surgiu a necessidade de testar se haveria predação das raízes das macrófitas e, caso houvesse, se isso geraria danos significativos que impediriam o desenvolvimento pleno da vegetação e da formação de zona de raízes, elemento crucial para o funcionamento do AFC.

Foi construído então um protótipo menor, com dimensões de 1,16 x 0,90 x 0,10m (CxLxA) e área de 1,04 m² que permitisse ser levantado corriqueiramente para o acompanhamento do desenvolvimento da zona de raízes (Figura 20). Metade da plataforma recebeu um cesto feito de tela plástica fixado na moldura de PVC para proteção das raízes nas dimensões de 0,58 x 0,90 x 0,45m (CxLxA) e malha de 25mm enquanto a outra parte permaneceu sem proteção como controle para o experimento. Foram plantadas de 9 mudas de taboa (*Typha angustifolia* L.) e 2 mudas de junco (*Juncus effusus* L.) em cada um dos lados da plataforma com aproximadamente o

mesmo tamanho e estágio de desenvolvimento. O protótipo foi instalado em 12/07/2018 com ancoramento na margem para facilitar o acompanhamento frequente.



Figura 20 - Protótipo #6 para teste da gaiola de proteção das raízes. A) Plataforma construída (1,16 x 0,90 x 0,10m) ainda revelando a estrutura interna e a divisão central e posicionamento da vegetação. B) Cesto para proteção das raízes (0,58 x 0,90 x 0,45m) C) Posicionamento homogêneo das mudas de taboa (*Typha angustifolia* L.) e junco (*Juncus effusus* L.) em ambos os lados da plataforma após adição de substrato. D) Ilha logo após instalação. E) Demonstração do acompanhamento do desenvolvimento da zona de raízes com levantamento do alagado flutuante com vegetação desenvolvida. Fonte: Elaborado pelo Autor, 2020.

Foi constatado que a vegetação se desenvolveu de forma abundante, preenchendo completamente a área da metade ilha correspondente ao lado com o cesto de proteção, com a zona de raízes igualmente abundante e altamente ramificada. A metade utilizada como controle apresentou mortalidade das mudas localizadas na região central, sendo que apenas as mudas posicionadas próximas a moldura de PVC sobreviveram e se desenvolveram (Tabela 6). Fotografias da porção inferior indicaram que moldura juntamente com a tela plástica serviu de proteção para as raízes. As plantas do lado controle que conseguiram sobreviver apresentaram crescimento da porção aérea equivalente a vegetação do lado com proteção, porém a zona de raízes foi consideravelmente menor e com poucas ramificações (Figura 21).

A utilização de um cesto feito de tela plástica na porção submersa do AFC se mostrou como um aspecto inovador do projeto e que atendeu múltiplos fins. Como sistema de proteção contra herbivoria de peixes não foi encontrado nenhum trabalho, entretanto, um projeto feito por Wiston e colaboradores (WINSTON et al., 2013a) utilizou telas de proteção na parte aérea do AFC para prevenir a predação da

vegetação pela população de gansos no local de instalação. Além disso, a tela plástica aumentou a área superficial para colonização por microrganismos de forma similar a raízes artificiais presentes em outros projetos (YEH; YEH; CHANG, 2015; BIOMATRIX WATER, 2019a). O uso de redes na parte submersa da plataforma também foi verificada no trabalho de Lu *et al.* (2015) como cesto para adição de carvão ativado, indicando que essa também seria uma possibilidade no dispositivo projetado.

Tabela 6 - Comparativo do protótipo piloto com análise da funcionalidade do cesto de proteção para raízes. Escala de desenvolvimento: 0 – nenhum; + pouco, ++; intermediário; +++ amplo. pleno. Fonte: Elaborado pelo Autor, 2020.

| Fator analisado | Com proteção | Sem proteção (controle) |
|-----------------------------------|--|--|
| Desenvolvimento parte aérea | +++ | +++ |
| Desenvolvimento da zona de raízes | +++ | + |
| Mortalidade de vegetação | Não | Sim, mas parte das mudas prosperaram |
| Observações | Presença de raízes em toda a área; Ramificação terciárias e quaternárias; Ampla massa radicular. | Concentração das raízes nos cantos, próximo da moldura de PVC; Ramificação primária e poucas ramificações secundárias; Evidências de herbivoria. |



Figura 21 - Acompanhamento do desenvolvimento da zona radicular do alagado construído flutuante (AFC) com cesto de proteção (A e C) e com controle experimental (B e D). A e B) Desenvolvimento 15

dias após a instalação do AFC. C e D) desenvolvimento 30 dias após a instalação. Fonte: Elaborado pelo Autor, 2018.

3.6.2.8. *Produto Mínimo Viável – Alta fidelidade*

O MVP incorporou todos os elementos que apresentaram resultados satisfatórios nas rodadas de prototipagem. Foram adicionadas no MVP garrafas PET de 1,5L no interior dos tubos de PVC, a fim de garantir que a moldura se tornasse compartimentalizada e mantivesse sua flutuação mesmo em caso de danos na estrutura (e.g. queda de árvore sobre a plataforma, penetração de água por falha na colagem, etc.) tornando o sistema mais robusto. Desta forma, o MVP se constituiu por moldura de PVC preenchida com garrafas PET de 1,5L, garrafas PET preenchendo a moldura e garantindo a flutuabilidade fixadas utilizando fios de arame galvanizado N18 e N12, tecido de fibra de juta e tela plástica para acabamento e mudas de plantas com solo como substrato para crescimento inicial e sustentação (Figura 22). O sistema também contou com uma cesto de tela plástica para proteção das raízes, que se mostrou crucial com base no teste piloto (Figura 21), e âncora do tipo poita (Figura 6).

O tempo médio para a construção de uma unidade foi de 4h com mão de obra de 2 pessoas, sendo necessário a segunda pessoa apenas em situações esporádicas para amarração.

As dimensões finais de cada unidade flutuante foi de 2,42 x 1,16 x 0,10 m (CxLxA) e área de 2,80 m². As unidades seguiram esse tamanho por questões de praticidade logística, que é um elemento importante na criação de um produto, bem como considerando a estabilidade deste na água. O dimensionamento de capacidade de suporte calculando o empuxo foi de 100 kg/m² e cada unidade pesava 12 kg, excluindo-se a vegetação e substrato para plantio.

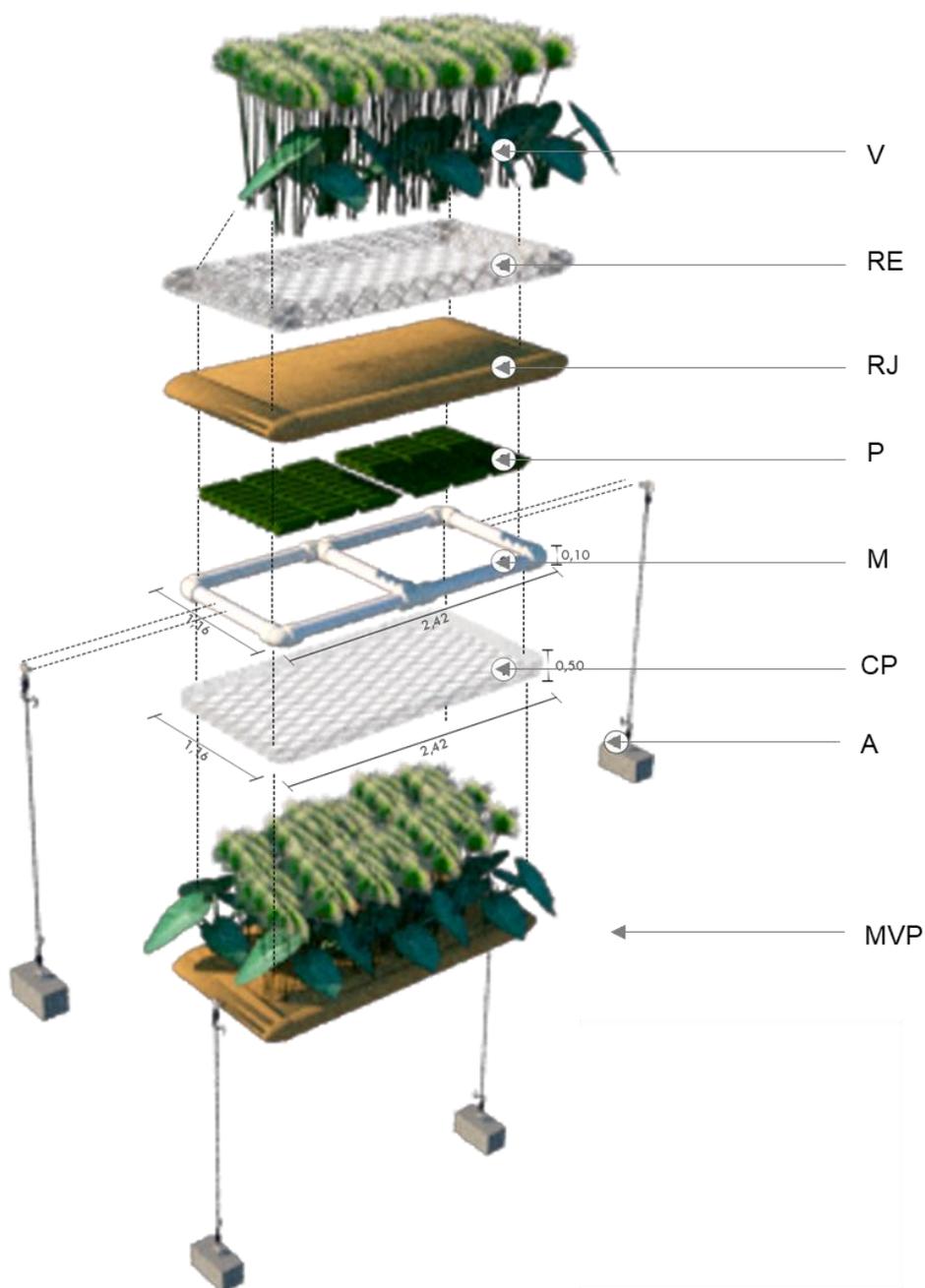
A instalação foi feita com duas unidades conectadas em sentido longitudinal, formando uma ilha composta nas dimensões de 4,90x 1,16 x 0,10 m (CxLxA), fixadas entre si utilizando arame galvanizado N18. O AFC composto de duas unidades apresentou área de 5,61 m² e suporte para 561 kg, com peso final da estrutura de 24kg, excluindo-se a camada de solo de suporte para as mudas e a vegetação.

Sistema de ancoramento consistiu de duas âncoras do tipo poita posicionadas nas extremidades no sentido longitudinal presas na plataforma utilizando corda náutica. Foi feita utilizando bloco de concreto (19 x 19 x 39 cm) com haste galvanizada

e anete¹⁹ para amarração da corda fixada com preenchimento de concreto (mistura de cimento, areia e brita número 0 nas proporções de 1:2:3) e peso aproximado de 45 kg cada.

É ressaltado que a abordagem de adotar o ponto de vista do usuário, de observar e realizar a imersão no contexto permitiu ajustes em cada uma das etapas (LIEDTKA, 2015; CORREIO; FLEURY, 2019). A ideia de adicionar garrafas PET no interior da moldura de PVC surgiu ao refletir que impactos dentro do corpo hídrico poderiam acontecer e caso a estrutura externa apresentasse perfurações, um volume considerável de elementos flutuantes poderia ser afetado. Pensou-se então em sistemas utilizados por barcos para garantir sua flutuabilidade mesmo após danos na carcaça de embarcações e notou-se que são utilizados tantos elementos flutuantes quanto possíveis, bem como a compartimentalização das estruturas a fim de reduzir impactos em todo o sistema. A adição de cesto de proteção para as raízes surgiu ao apresentar a ideia para pessoas que trabalham com desenvolvimento de vegetação em reservatórios com peixes, que gerava impactos significativos, e que peixes são utilizados como um dos métodos de controle populacional da vegetação em reservatórios (POMPEO, 2017).

¹⁹ **Haste** é uma parte da âncora feita por uma barra de ferro ou outro material robusto que se projeta além da porção de fixação no fundo e possui um **anete**, que é uma manilha por onde o cabo, corrente ou corda é passado para conectar a âncora com a embarcação.



LEGENDA:

A – Ancora do tipo poita

CP – Cesto submerso para proteção das raízes com tela plástica com malha 25mm

M – Moldura de PVC + conexões de 100mm

MVP – Modelo do produto mínimo viável do AFC

P – Garrafas PET

RE – Revestimento externo de tela plástica com malha 25mm

RJ – Revestimento de tecido de juta

V - Vegetação

Figura 22 – Perspectiva expandida do Produto Mínimo Viável do Alagado Flutuante Construído. São apresentadas em camadas com os elementos constituintes. Vegetação ilustrativa. As dimensões da plataforma e da gaiola de proteção para raízes são apresentadas na figura em metros. Imagem sem escala. Fonte: Elaborado pelo Autor, 2020.



Figura 23 - Alagados flutuantes construídos (AFC) no dia da instalação. A e B apresentam o AFC sendo instalado no lago do Pesqueiro e C e D no lago da Reserva. A) Posicionamento da plataforma dentro da água e ajuste das mudas de plantas plantadas previamente. B) AFC pronto para ser rebocado até local de ancoramento no centro do lago. C) Plataformas posicionadas dentro do lago da Reserva ao lado da balsa e antes de iniciar o plantio da vegetação. D) AFC já ancorado e posicionado no lago da Reserva. Fonte: Elaborado pelo Autor, 2018.

3.6.2.9. Vegetação utilizada e plantio na plataforma flutuante

Em relação a vegetação, houve uma diferença nas espécies utilizadas em cada local de aplicação, porém a quantidade de espécies, número de mudas e variação do porte médio das espécies foi mantido o mais próximo possível entre as aplicações.

As mudas utilizadas no Pesqueiro foram obtidas como doação pelo SESC Interlagos solicitada através de ofício emitido pela FAU USP. Foi solicitado a listagem de espécies de macrófitas emergentes existentes na unidade do SESC, sendo selecionadas entre elas as que se adequassem ao projeto, que possuíssem referencial teórico dando suporte para o potencial fitorremediador e com aspecto paisagístico atrativo (Tabela 7). As mudas foram coletadas e podadas, sendo transportadas até o espaço de montagem dos AFC, sendo realizado o plantio e adição de substrato para fixação e desenvolvimento inicial das mudas. O transporte para o local de aplicação foi feito após o plantio, recebendo apenas alguns ajustes antes da colocação da plataforma na água. Este cuidado foi tomado para evitar atrapalhar o funcionamento comercial do pesqueiro. O intervalo de tempo entre a retirada das mudas e instalação do AFC na água foi de 36 horas.

Tabela 7 – Espécies de plantas utilizadas para plantio de alagado flutuante construído no lago do Pesqueiro. São listadas a quantidade e densidade de mudas para cada espécie e total. Fonte: Autor, 2018.

| Nome popular | Espécie | Família | Qntd. mudas | Densidade (muda/m ²) |
|----------------------------|--|-------------------|-------------|----------------------------------|
| Cana-do-brejo | <i>Costus spiralis</i> (Jacq.) Roscoe | Costaceae | 8 | 1,4 |
| Helicônia bico-de-papagaio | <i>Heliconia psittacorum</i> L.f. | Heliconiaceae | 6 | 1,1 |
| Maranta-cinza | <i>Ctenanthe setosa</i> (Roscoe) Eichler | Marantaceae | 12 | 2,1 |
| Papiro | <i>Cyperus</i> sp. | Cyperaceae | 12 | 2,1 |
| Taboa | <i>Typha angustifolia</i> L. | Typhaceae | 4 | 0,7 |
| Taioba | <i>Xanthosoma sagittifolium</i> (L.) Schott | Araceae | 6 | 1,1 |
| | 6 espécies | 5 famílias | 48 | 8,6 |

Para a vegetação utilizada no lago da Reserva, foi feita uma visita de campo pra levantamento florístico prévio e consulta na literatura de estudos botânicos para a área (GROPPO; PIRANI, 2005) a fim de definir as espécies adequadas para o plantio no AFC (Tabela 8). As plataformas foram levadas até a Reserva e colocadas na água, atracadas próxima a borda. A vegetação foi retirada e colocada diretamente na

plataforma, utilizando solo retirado de próximo das margens para dar sustentação e servir como substrato para desenvolvimento inicial das mudas. O tempo entre posicionamento da plataforma na água, o plantio da vegetação e ancoragem no local definido foi de 7h.

Tabela 8 - Espécies de plantas utilizadas para plantio de alagado flutuante construído no lago da Reserva. São listadas a quantidade e densidade de mudas para cada espécie e total. Fonte: Autor, 2018.

| Nome popular | Espécie | Família | Qty. mudas | Densidade (muda/m ²) |
|-------------------|--|-------------------|------------|----------------------------------|
| Bananeira-do-mato | <i>Heliconia farinosa</i> Raddi | Heliconiaceae | 12 | 2,1 |
| Cana-do-brejo | <i>Costus spiralis</i> (Jacq.) Roscoe | Costaceae | 16 | 2,9 |
| Maranta | <i>Goepertia monophylla</i> (Vell.) Borchs. & S.Suárez | Marantaceae | 16 | 2,9 |
| Maranta-cinza | <i>Ctenanthe setosa</i> (Roscoe) Eichler | Marantaceae | 6 | 1,1 |
| | 4 espécies | 3 famílias | 50 | 8,9 |

A disponibilidade dos recursos na construção de AFC é um dos aspectos ressaltados por muitos autores (HEADLEY; TANNER, 2006; GREEN FUTURES LAB, 2013b), o que inclui também os elementos vegetais. Benassi (2018) aponta que a escolha deva considerar aspectos estéticos, funcionais, a facilidade de obtenção e capacidade de adaptação. Para esse projeto, foi solicitado ao SESC a doação de mudas por ser uma instituição que apoia projetos socioambientais e também possui plantas adequadas para o cultivo hidropônico na unidade de Interlagos, São Paulo. No caso da Reserva, foi utilizada a abordagem de verificação da vegetação do local para a utilização, que também foi reportado no trabalho de Van Kaick e colaboradores (2007) que fez um levantamento em campo para identificar plantas nativas em uma ilha no estado do Paraná para utilização na construção de alagado construído.

3.6.2.10. Balsa de coleta

Aliando os aspectos de redução de custos para implementação do projeto com o desenvolvimento de técnicas construtivas de plataformas flutuantes, foi elaborado também uma balsa²⁰ que foi utilizada para coletas de água (vide métodos do capítulo 4), instalação, manutenção e acompanhamento *in situ* dos AFC. Foram feitas algumas

²⁰ **Balsa** é um tipo de embarcação de fundo chato e com pequeno calado, que permite a sua operação próximo a margens e em águas rasas. Geralmente é utilizada para transporte de materiais, pessoas ou veículos.

adaptações no dispositivo que permitiram alguns aspectos importantes para a finalidade como embarcação, sendo eles: I) adição de uma superfície rígida que permitisse a locomoção sobre a plataforma, uma vez que não seriam necessários espaços para plantio da vegetação e adição de solo para desenvolvimento inicial; II) alças laterais que permitisse a amarração das plataformas durante seu transporte e posicionamento no local de instalação, de equipamentos para uso durante as manutenções e entre outras; III) banco para maior conforto (Figura 24).

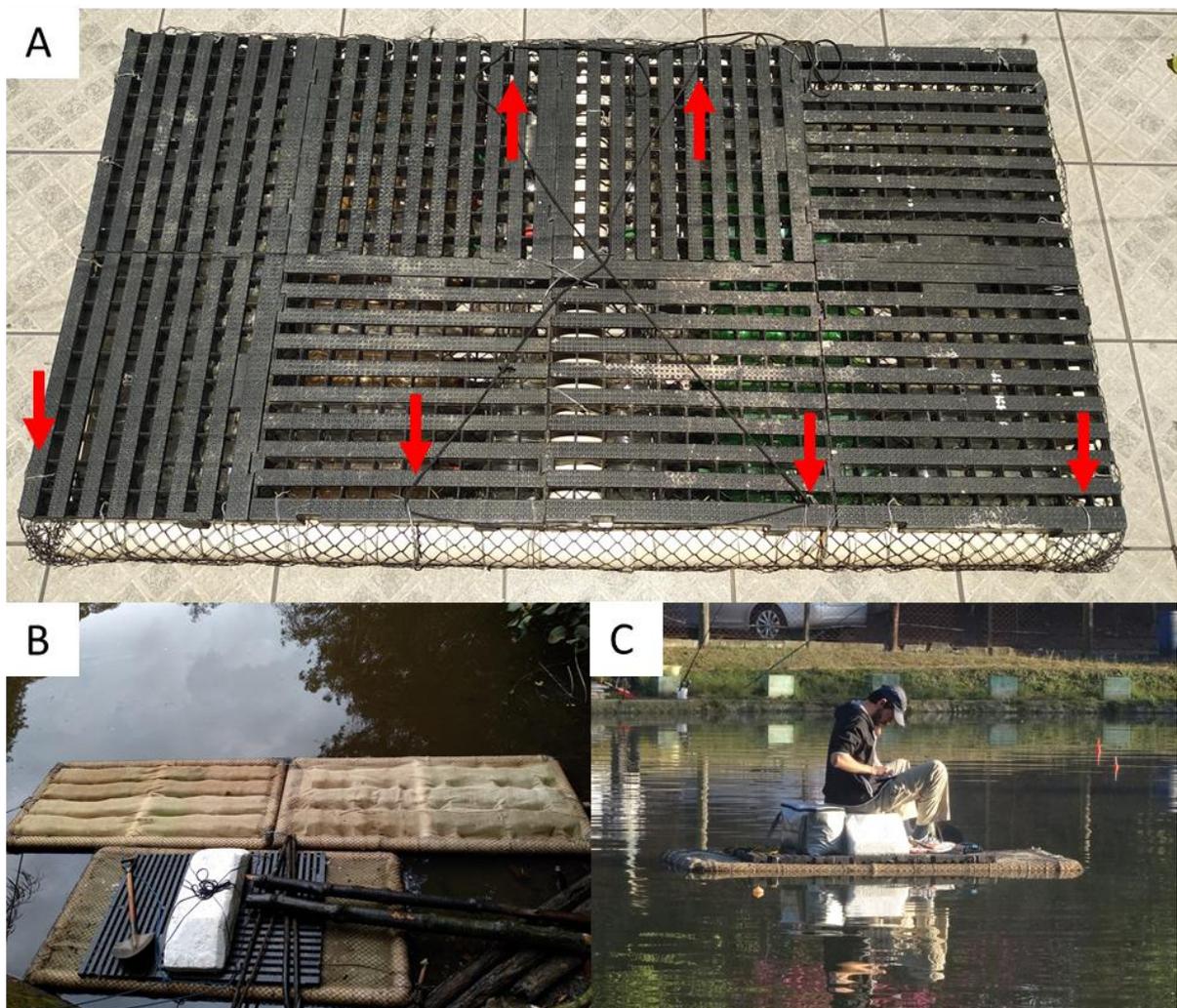


Figura 24 - Balsa. A) Balsa vista de cima ressaltando estrado plástico modular que cobre toda a superfície da plataforma e dá suporte para movimentação com setas em vermelho indicando a posição de algumas das alças de amarração. B) Balsa ao lado da plataforma sendo usada para plantio de vegetação e instalação do AFC. C) Balsa em uso para coleta de amostras de água. Fonte: Autor.

O sistema de construção e materiais utilizados seguiu o mesmo modelo básico para a plataforma do MVP. Foi adicionado sobre a plataforma placas de estrado plástico modular com dimensões de 0,50 x 0,50 x 0,045m (CxLxA), afixadas utilizando

arame galvanizado N18 (1,18mm) trançados, *i.e.* com 3 fios enrolados entre si para maior resistência. Foram posicionadas 4 alças na região central da plataforma, com 30cm de distância entre si para fixar o banco feito com bloco de isopor em formato de trapézio com dimensão de 0,95 x 0,35 x 0,25m (CxLxA) na base maior e 0,65m na base menor, que era amarrado apenas quando a balsa estava posicionada as margens do lago para facilitar o transporte e manuseio da plataforma. As dimensões da balsa foram de 2,10 x 1,16 x 0,15m (CxLxA) com peso de 27kg.

Ao criar uma balsa utilizando os mesmos elementos do AFC mostrou que o produto desenvolvido atende de forma satisfatória o quesito de modularidade abordado por muitos autores (GREEN FUTURES LAB, 2013b, 2013a), não apenas no que tange a montagem dos projetos, mas também quanto a sua utilização. Esse tipo de abordagem incremental, na qual um dado dispositivo pode receber modificações para atender a outras demandas é um dos princípios discutidos no design (CROSS, 2001; FLEURY; STABILE; CARVALHO, 2016) e abre margem para novas perspectivas como alguns exemplos apresentados na seção 2.5 desta dissertação.

3.6.2.11. Discussão conjunta sobre os ciclos de ideação, planejamento e prototipagem

A combinação do DT e LS visou o desenvolvimento de ideias em processos cíclicos, aonde um dos pressupostos é o de “errar rápido e de forma barata” (STANFORD D.SCHOOL, 2010). Essa abordagem permitiu testar o maior número de ideias, utilizando a menor quantidade de recursos quanto possíveis e obtendo o maior número de informações com as interações (IDEO, 2012). Desta forma, o uso de protótipos de diferentes graus de fidelidade permitem apresentar ideias, coletar *feedbacks* e aprimorar ideias iniciais (LIEDTKA, 2015) o que foi percebido ao longo do desenvolvimento dos AFC. Esse tipo de abordagem também permite realizar ajustes ao contexto e ir eliminando as incertezas de forma gradual ao longo dos ciclos, até chegar a um MVP que atenda ao problema de forma satisfatória (CORREIO; FLEURY, 2019). Diversos métodos de avaliação e coleta de *feedbacks* podem ser adotados durante os ciclos de ideação e prototipagem, sendo eles mais ou menos estruturados.

Ao longo do processo, foi necessário ir adequando as necessidades funcionais e operacionais do produto mencionadas nos itens 2.4 desta dissertação e destacada

por diversos autores, (HEADLEY; TANNER, 2006; TANNER; HEADLEY, 2011; PAVLINERI; SKOULIKIDIS; TSIHRINTZIS, 2017) como durabilidade, custo e disponibilidade de forma criativa a fim de chegar a um MVP que estivesse de acordo com o contexto abordado e atendesse as expectativas dos clientes conforme indicado pelas metodologias do DT e LS (VIANNA et al., 2012). Em suma, a utilização dos princípios de ideação, planejamento, prototipagem e construção do MVP se mostrou adequada para o desenvolvimento de AFC.

3.6.3. Custos de construção do Produto Mínimo Viável

As mudas utilizadas para o plantio do AFC no lago do pesqueiro foram obtidas através de doação com a unidade do SESC Interlagos, enquanto as mudas utilizadas no lago da Reserva foram obtidas na região de estudo. Parte das garrafas PET utilizadas foram obtidas a partir de coleta pelo pesquisador, por doação através de divulgação online e entre círculo de conhecidos enquanto outra parte foi comprada em cooperativas de material de reciclagem próximas da área de montagem.

Na Tabela 9 estão listados apenas os valores para a obtenção dos materiais utilizados na construção do MVP, sendo excluído os valores em materiais utilizados na construção dos protótipos de 1 a 6, dado que muitos dos materiais eram os mesmos ao longo dos ciclos de prototipagem. Também não estão incluídos custos relacionados a despesas com: transporte para pesquisa, obtenção e retirada de materiais e mudas; mão de obra para construção, transporte, instalação, manutenção dos dispositivos entre outros gastos. Desta forma obteve-se a produção de 1m² de AFC ao custo de R\$ 54,86 considerando os valores na época da construção do dispositivo em julho de 2018.

A balsa de coleta teve o uso de materiais para construção equivalentes ao de um módulo com o acréscimo da utilização de estrado plástico modular que também foi obtido por doação, portanto, com custo final de R\$153,62.

Os custos para construção de um AFC variam de acordo com o tipo de material utilizado, sua origem, localidade de obtenção, disponibilidade entre outros fatores (BILLORE; S.J.; SHARMA, 2008; FAULWETTER et al., 2011; BIOMATRIX WATER, 2019a) Ao realizar a construção do MVP foi considerado a obtenção de materiais de forma a diminuir os custos de produção e viabilizar a realização do projeto (WANG; SAMPLE, 2014). Dessa forma, boa parte dos materiais utilizados foram obtidos com

base em doação ou em compra por atacado, tendo sido necessária pesquisa para levantamento de preços prévio a obtenção

Tabela 9 – Custos dos materiais para construção do alagado construído flutuante. Valores referentes a época da construção do dispositivo, julho de 2018. Fonte: Autor.

| Quantidade utilizada por módulo | Unidade | Valor por módulo (R\$) | Material | Especificação/Obs. |
|---------------------------------|----------------|------------------------|---------------------------|------------------------------|
| 54 | Un. | 10,80 | PETs de preenchimento | 2L |
| 29 | Un. | 5,80 | PETs de enchimento | 1.5L |
| 1 | Un. | 41,47 | Tubo PVC | Barra 100mm p/esgoto |
| 2 | Un. | 8,85 | Tee | 100mm |
| 4 | Un. | 7,17 | Cotovelo | 100mm |
| 2,23 | m ² | 3,75 | Tela plástica para fundo | Tipo galinheiro |
| 3,72 | m ² | 6,25 | Tela plástica para gaiola | Tipo galinheiro |
| 4,46 | m ² | 35,67 | Juta | Para acabamento |
| 0,28 | Kg | 2,55 | Arame galvanizado N18 | 1,18mm |
| 1,39 | Kg | 10,84 | Arame galvanizado N12 | 2,77mm |
| 1 | Un. | 20,48 | Adesivo plástico p/ PVC | - |
| 50 | Un. | 0,00 | Mudas de plantas | Doação ou coleta local |
| Custo por módulo | | 153,62 | | Módulo de 2,80m ² |
| Custo por ilha (2 módulos) | | 307,24 | | Ilha com 5,61m ² |
| Custo por m ² | | 54,86 | | |

O custo final de R\$ 54,86/m² correspondeu majoritariamente aos elementos construtivos, dado que uma parcela dos materiais foi obtida como doações. Estes valores estão dentro do levantamento feito por David e colaboradores (2013) que reportam que o custo de produção varia entre R\$ 43,59/m² para produções artesanais, como o desta dissertação, até cerca de R\$ 1046,38/m² quando produzido em escala comercial por empresas de segmentos de saneamento ambiental²¹. Um projeto realizado em uma baía em Las Vegas, EUA pelo governo apresentou custos de R\$1.002,79/m² utilizando estruturas de aço soldado e polietileno de alta densidade como material flutuante. Outro projeto reportou o custo de R\$243,03/m² para produção de AFC de baixo custo aplicado no rio Kshipra na Índia (BILLORE; PRASHANT;

²¹ No trabalho original, os autores citam custos entre 1 a 24 dólares por pé quadrado (*square foot*). Foi então feita uma conversão da medida de área de pés quadrados para metro quadrado e o valor em dólares foi convertido utilizando cotação de julho de 2018 de 4,0505 reais para 1 dólar. Para maiores informações, vide referência de David et. al (2013).

SHARMA, 2009). Nota-se, portanto, que a produção artesanal é de fato mais barata, porém possui custos ocultos, especialmente ligados a mão de obra que geralmente são explicitados por empresas para garantir a viabilidade do negócio. Quanto aos materiais, o reaproveitamento permite reduzir drasticamente os custos de produção.

3.6.4. Posicionamento das plataformas no lago e dimensionamento

O posicionamento dos dispositivos dentro do lago seguiu padrões diferenciados de acordo com os objetivos da pesquisa e do interesse dos clientes (Figura 25). No caso do lago do Pesqueiro, havia o interesse dos proprietários de que o AFC funcionasse como uma barreira e ponto de referência na região central, portanto, o sentido longitudinal do dispositivo foi orientado de acordo com o eixo de maior comprimento no centro. No caso da Reserva, não houve requisito quanto ao posicionamento por parte dos clientes, porém buscou seguir um padrão de montagem similar em ambos os lagos e então a alocação do dispositivo foi feita em uma seção do lago que possuía menor distância entre as margens, entre a porção central e da jusante, com o intuito de atuar como barreira para a maior parte do fluxo de água.

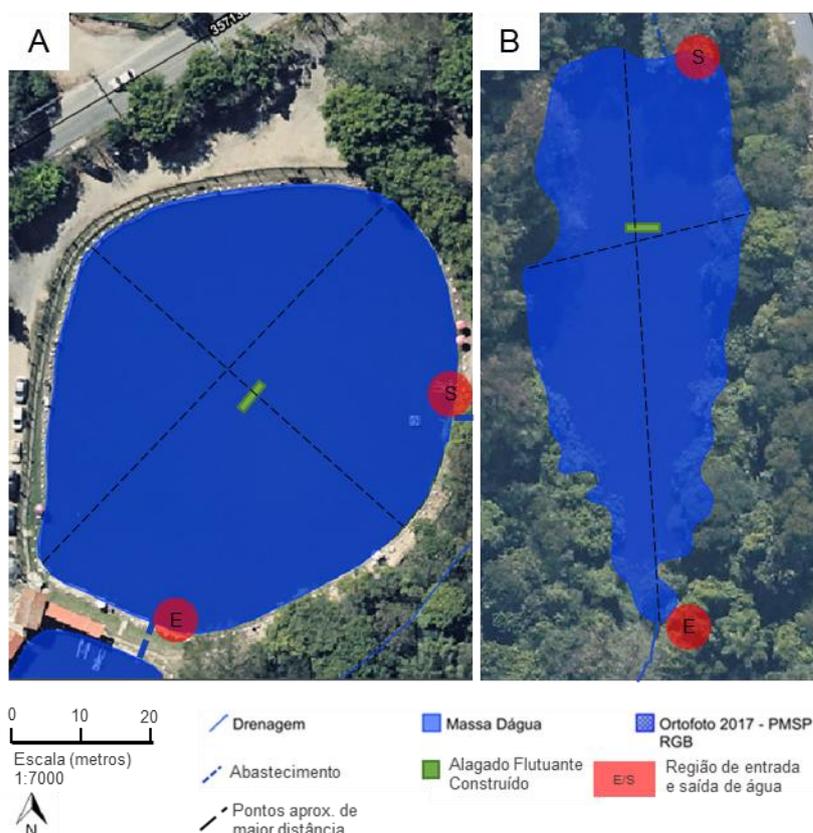


Figura 25 – Posicionamento dos alagados flutuantes construídos (AFC) dentro dos lagos estudados. A) Posicionamento central com sentido do comprimento alinhado com as margens mais distantes. B) Lago da Reserva com posicionamento na porção entre o centro e a jusante com orientação do comprimento

em um trecho mais estreito entre as margens. Linhas tracejadas indicam os pontos de maior distância entre as margens no sentido do comprimento e largura dos lagos. Círculos vermelhos indicam as regiões de entrada e saída de água. Fonte: Elaborado pelo Autor, 2020.

O dimensionamento do projeto em cada lago se restringiu as condições logísticas e orçamentárias da pesquisa. A área de instalação de AFC em ambos os lagos foi a mesma (5,61 m²), porém por se tratarem de lagos com diferentes dimensões, a taxa de cobertura variou entre os locais de estudo, correspondendo a 0,17% e 0,7% para o Pesqueiro e Reserva respectivamente (Tabela 10). O tamanho das plataformas foi estabelecido de acordo com limitações orçamentárias do projeto.

Tabela 10 – Dimensionamento dos dispositivos em relação a área superficial dos lagos estudados. Fonte: Elaborado pelo Autor (2020).

| Local de estudo | Área do lago (m²) | Área do AFC (m²) | Taxa de cobertura |
|------------------------|-------------------------------------|------------------------------------|--------------------------|
| Pesqueiro | 3.481 | 5,61 | 0,17% |
| Reserva | 806 | 5,61 | 0,70% |

Dado que o tamanho do dispositivo em relação a superfície de ambos os lagos ser bastante reduzida, não seria possível evitar que a água seguisse o fluxo contornando a plataforma conforme destacado por Headley e Tanner (2006) ou que fosse interceptada de forma completa como uma barreira estando na porção central do reservatório como indicado por Lucke e colaboradores (2019). Dessa forma, o contato entre as raízes e a coluna de água deve ter se dado principalmente pela movimentação da água gerada pelo vento, ou no caso do Pesqueiro, pelos aeradores. Se o intuito fosse voltado para maximizar o tratamento da água, o melhor posicionamento pela quantidade de AFC disponível teria sido próximo ao ponto de entrada ou de saída da água dos lagos.

Outro estudo apresentou situação similar ao ter um AFC com dimensão de 50m² dentro de um lago com 7.100m², correspondendo a taxa de cobertura de 0,07% (LUCKE; WALKER; BEECHAM, 2019). Neste estudo foi demonstrado que não foi possível verificar mudanças significativas entre o ponto de entrada e saída de água. Como mencionado no capítulo 2 na seção 2.4.8 sobre dimensionamento, não existem estudos que definam de forma clara qual deve ser a proporção de cobertura de um alagado flutuante em relação a superfície do lago, embora para alagados construídos fixos a taxa recomendada seja entre 4% e 8% (LUCKE; WALKER; BEECHAM, 2019) que pode servir como parâmetro projetual.

3.6.5. Avaliação da durabilidade da plataforma ao longo do tempo

3.6.5.1. Avaliação do protótipo #6

O protótipo #6 serviu como teste para o desenvolvimento da vegetação, da zona de raízes e também para análise da durabilidade dos materiais com aplicação *in situ*. O protótipo foi instalado em 12/07/2018 e retirado em 12/03/2019, permanecendo em funcionamento pelo período de 243 dias (aprox. 8 meses). Após a sua remoção, foi realizado uma análise minuciosa de cada um dos elementos (Figura 26).

Como mencionado anteriormente, a gaiola de proteção atendeu o papel de proteção das raízes, garantindo a formação da zona de raízes e a vegetação pode desenvolver-se (vide Tabela 6). Em relação aos materiais utilizados, os fios de arame galvanizado mostraram-se oxidados (Figura 26 A), embora continuassem fixando as garrafas de forma firme e mantendo-as no posicionamento original da época da montagem (Figura 26 A-B). As garrafas utilizadas como elemento flutuante e preenchimento da moldura permaneceram em sua maioria isentas da entrada de água, com apenas 1 demonstrando a penetração de um pequeno volume (Figura 26 C). A moldura foi desmontada e também não apresentava sinais de entrada de água, indicando que a colagem foi realizada de maneira apropriada e não sofreu deslocamento ao longo dos oito meses de operação. A vegetação pode desenvolver-se bem e as raízes penetraram e se entrelaçaram durante seu desenvolvimento com todos os elementos da plataforma (garrafas, tela plástica, fios de arame)(Figura 26 D-F). Percebeu-se também a existência de biofilme bacteriano em todos os elementos na porção submersa dos elementos construídos da plataforma, especialmente na tela plástica e em torno das raízes.

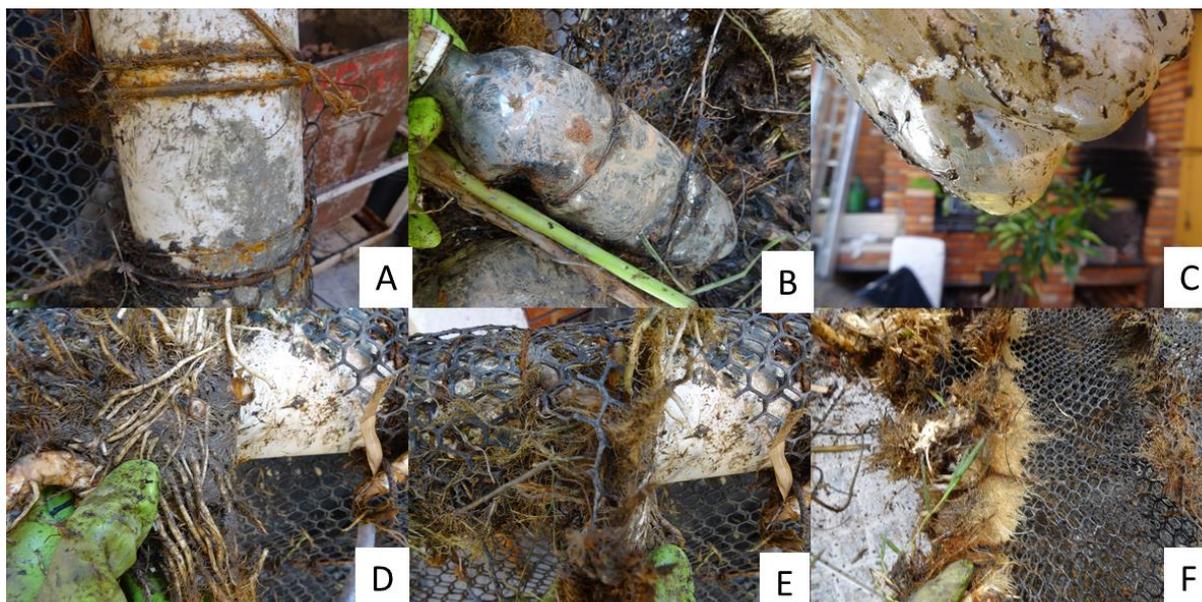


Figura 26 - Avaliação da durabilidade do protótipo #6 após 8 meses de operação (instalado em 12/07/2018 e retirado em 12/03/2019). Arames com sinais de oxidação (A) e garrafas presas nas posições originais (A e B). Em C é demonstrado a quantidade de água que penetrou em uma das garrafas durante a operação. É demonstrado o entrelaçamento das raízes com a tela plástica (D-F). Fonte: Elaborado pelo Autor (2020).

3.6.5.2. Avaliação da versão final do Produto Mínimo Viável

Os AFC foram avaliados ao longo de 510 dias, com instalação no início de agosto e finalização do acompanhamento em 28 de dezembro de 2019. As plataformas não foram retiradas dos lagos para análise interna das estruturas, como foi realizado com o protótipo #6, portanto a avaliação se deu com base em registros fotográficos e observações de campo. Houveram diferenças significativas entre os dispositivos instalados no lago da Reserva e do Pesqueiro. Para análise visual e comparação, vide Figura 27 e Figura 28. Foram avaliados os aspectos estruturais, estéticos e funcionais de cada plataforma e dos elementos adicionais. A parte estrutural foi composta por: moldura de PVC; garrafas PET; tela plástica e fios de arame galvanizado. O aspecto estético foi composto basicamente do acabamento em juta associado a tela plástica. Os elementos adicionais foram o cesto de proteção para as raízes e o sistema de ancoramento.

Para ambos os AFC, as estruturas de PVC mantiveram-se em excelente estado de preservação e funcionamento, atendendo seu objetivo de servir como formatação da plataforma, auxiliar na flutuação e ser a base para amarração entre os módulos e com as âncoras. As garrafas PET utilizadas como elementos flutuantes também não

apresentaram problemas ao longo de todo o projeto. Portanto esses dois elementos foram considerados satisfatórios e indicados para futuros projetos.

Quanto a tela plástica, o projeto inicial levou em consideração o revestimento apenas na parte inferior das plataformas. Esta medida foi tomada pensando na tela plástica como uma estrutura que auxiliaria na alocação das garrafas PET sobre o espaço formado, permitindo a amarração e associação com a tela de juta. Não foi adotado o uso de tela plástica na parte superior da plataforma, pois acreditou-se que isto iria atrapalhar o plantio e estabelecimento da vegetação. Entretanto, ao longo do projeto verificou-se que as plantas teriam se adaptado bem a tela também na parte superficial e talvez algo que fosse necessário neste caso seria o uso adicional de mais substrato para o plantio. Percebeu-se também ao longo do projeto que o uso de tela plástica na parte superior teria auxiliado de forma significativa na agregação dos elementos flutuantes, por se tratar de um material resistente a degradação na água e com o qual o sistema de raízes teria grande afinidade ao longo do seu desenvolvimento. A tela plástica também apresentou resultados positivos quanto a promoção de superfície de contato adicional para a formação de biofilme.

Em relação aos fios de arame galvanizado utilizados, houveram aspectos a serem sanados. Os fios foram utilizados com o intuito de fixação e posicionamento dos elementos flutuantes, bem como de aumentar a sustentação e estruturação da plataforma. Foram utilizados também para a amarração entre os módulos na região central que os unia e como alça na qual os cabos das âncoras seriam presos. Entretanto, o arame galvanizado apresentou oxidação ao longo do projeto de forma diferente nos dois locais estudados. Para a Reserva, os fios de arame galvanizado começaram a apresentar sinais de corrosão após um ano de instalação (07/08/2019), porém mantiveram seu papel de sustentar todos os elementos presos e posicionados durante toda a fase de acompanhamento. No caso do AFC instalado no Pesqueiro, alguns fios na região central da plataforma mostraram-se rompidos e em outras partes haviam sinais de corrosão com mudança na coloração dos fios após 221 desde a instalação. No decorrer do projeto, outros dois pontos da plataforma apresentaram rompimento dos fios, sendo eles nas extremidades no sentido longitudinal, próximos aos pontos de fixação das âncoras. Este rompimento fez com que as garrafas se movimentassem em relação a moldura de PVC da plataforma e por mais que as

garrafas não tenham se desprendido por estarem envolvidas pela vegetação, houve um deslocamento em relação a moldura e influenciou na fluabilidade da plataforma.

O arame galvanizado foi escolhido dentre as opções que ofereciam um bom custo benefício e por acreditar-se que seriam robustos o suficiente para as condições experimentais. Entretanto, verificou-se elevado grau de corrosão que conforme aponta na literatura, pode ser influenciada por aspectos ambientais, características físico-químicas da água (SILVA, 2004; PETERS, 2008) e pela presença de certos grupos de microrganismos (BOLTON et al., 2010). Quando comparado a degradação dos fios nos AFC de ambos os locais, percebe-se diferenças significativas quanto ao grau de corrosão (vide Figura 27 e Figura 28). Essa diferença é provável que advinha dos aspectos físico-químicos da água, uma vez que o tempo de acompanhamento foi o mesmo e ambos os locais estavam em São Paulo e, portanto, com condições sazonais similares.

As estruturas plásticas (tela, tubos PVC e garrafas PET) por outro lado não apresentaram sinais de degradação durante o tempo de acompanhamento. Sabe-se que materiais plásticos chegam a levar centenas ou milhares de anos para se decomporem (LEBLANC, 2019), o que é um aspecto positivo considerando garantir a durabilidade do produto. Tendo esse aspecto em vista, uma alternativa seria utilizar materiais plásticos para a estrutura. Outras alternativas seriam a utilização de corda náutica ou materiais inoxidáveis, como fios de aço (URSANU et al., s.d.), entretanto isso elevaria os custos de produção. Este é um ponto que permite futuras explorações dentro do processo de DT e LS.

Quanto ao quesito de acabamento constituído da tela plástica e do tecido de juta também houve diferença entre os locais estudados. A tela plástica, como mencionado anteriormente, manteve-se intacta e não sofreu degradação e, portanto, continuou como elemento externo presente ao longo de todo o processo. O tecido de juta tinha inicialmente a função de servir como acabamento externo que ocultasse os elementos flutuantes (tubos de PVC e garrafas PET) na fase inicial do projeto, mas que fosse sendo biodegradado ao longo do projeto, dando espaço e servindo como base para colonização de microrganismos.

Na Reserva, a juta se manteve presente revestindo toda a plataforma por cerca de sete meses e após este período começou a se decompor mais rapidamente, como é possível ver na Figura 27 em 04/05/19 com alguns fragmentos ainda presentes 272

dias depois da instalação e havia sido decomposto quase em sua totalidade após um ano (07/08/19). Entretanto a forma como a vegetação se desenvolveu não cobriu a plataforma ao longo do processo, deixando os elementos estruturais visíveis. No caso do Pesqueiro, o tecido de juta foi praticamente todo degradado dentro de cinco meses, entretanto o crescimento da vegetação foi muito expressivo e já cobria toda a plataforma dentro de 3 meses de operação, ocultando os elementos estruturais rapidamente e mantendo o aspecto estético de um jardim natural. Durante os períodos subsequentes as podas, entretanto, a parte estrutural voltava a ficar exposta, mas pela velocidade de crescimento da vegetação, era recoberta de forma breve.



Figura 27 - Acompanhamento da performance estrutural do alagado flutuante construído (AFC) instalado no lago da Reserva. A data do registro fotográfico está indicada no canto das figuras. É possível acompanhar a degradação da cobertura de juta, que começou a soltar fragmentos em 04/05/2019 (272 dias após instalação). Setas vermelhas apontam para fios de arame, que até 07/08/19 (367 dias após a instalação) se apresentavam com pequenos indícios de oxidação em alguns pontos, porém com fios íntegros e mantendo as estruturas fixas. Imagem em 29/10/2019 demonstrando AFC em pleno funcionamento. Fonte: Imagens do acervo pessoal do Autor.



Figura 28 - Acompanhamento da performance estrutural do alagado flutuante construído (AFC) instalado no lago do Pesqueiro. A data do registro fotográfico está indicada no canto das figuras. É possível verificar aspectos estruturais com o avanço temporal da pesquisa. A partir de 12/03/2019 (221 dias após instalação) foi verificado que o arame galvanizado havia oxidado e algumas garrafas começaram a se desprender. As fotos de 03/06 e 09/08 mostram garrafas sem fixação do arame, deslocadas da moldura, porém na mesma posição inicial, provavelmente mantidas pela vegetação. Mesmo com a liberação de algumas garrafas, o AFC manteve-se flutuando e com vegetação se desenvolvendo como demonstrado em 24/10/2019. Fonte: Imagens do acervo pessoal do Autor.

Quanto ao cesto de proteção, a sua verificação ao longo do processo foi de difícil registro e acompanhamento. Pode-se afirmar que o sistema permaneceu preso a plataforma ao longo de todo o projeto e que com base no teste piloto realizado com o protótipo #6, sua função foi provavelmente cumprida, pois a vegetação na parte superficial apresentou desenvolvimento homogêneo e pleno desde o início da implantação do dispositivo.

Em relação ao sistema de ancoramento, percebeu-se potenciais de melhoria. Primeiramente, a amarração das âncoras na plataforma foi feita através de alças feitas de arame galvanizado, que como mencionado anteriormente, mostrou sinais de oxidação. Esse fato fez com que a ilha apresentasse o risco de se desprender das âncoras, em especial no caso do pesqueiro, no qual anzóis dos pescadores ficavam ocasionalmente presos a plataforma e que no processo de tentativa de remoção, puxavam as plataformas. As plataformas mostraram oscilações na superfície de acordo com movimentação do vento ou, como mencionado, por puxões dos pescadores, entretanto esse fato era esperado, pois as cordas não ficaram totalmente esticadas entre a plataforma e a âncora para permitir flexibilidade de acordo com possíveis oscilações no nível da água. Este tipo de situação foi registrado na Reserva, pois no período correspondente a época de chuvas, o nível do reservatório subiu cerca de 40 cm e a plataforma manteve-se fixa sem submergir. Desta forma, o sistema de ancoragem mostrou-se funcional, mas deveria ser fixado a plataforma por um material mais robusto e resistente a corrosão, podendo ser até mesma a corda náutica utilizada no sistema de ancoragem.

Como mencionado anteriormente, os pescadores ocasionalmente prendiam anzóis na plataforma. Essa situação levou a danos do AFC, em especial na vegetação, que apresentava folhas arrancadas total ou parcialmente, mas também na parte estrutural. As linhas utilizadas pelos pescadores geralmente conseguem apresentar tração entre 10kg a 15kg²² antes de romperem e esta força exercida fazia com que o sistema de ancoragem e alguns elementos estruturais sofressem pressões.

Em suma, a maior parte dos elementos construtivos se mostrou eficiente e foram bem avaliados para projetos posteriores, exceto o arame galvanizado que poderia ser substituído por outro tipo de amarração. Foi verificado que a tela plástica

²² Em pesqueiros é comum a utilização de linhas entre 0,37mm e 0,47mm, com força de tração entre 10 e 18kg.

deveria ter sido utilizada recobrando toda a plataforma, e não apenas a porção inferior. A juta cumpriu o papel determinado de servir de base inicial para colonização de microrganismos e acabamento nas fases iniciais, sendo recomendada para usos futuros. O sistema de ancoragem funcionou bem, mas sentiu-se a necessidade de utilizar três ou mais pontos de fixação e ao invés de contar apenas com dois nas extremidades. Por mais que os danos com anzóis na plataforma tenham sido significativos sobre a vegetação, eles serviram bem como teste de resistência para a plataforma que se manteve funcional até o período de acompanhamento final, em 28/12/2019.

3.7. Considerações finais do terceiro capítulo

Tendo em vista os conteúdos apresentados neste capítulo, percebe-se que propor ideias e soluções para melhorias ambientais realmente pode ser caracterizado como um WP (IPCC, 2014; ELMQVIST et al., 2018; MAHER et al., 2018), em especial quando se busca desenvolvê-las de forma contextualizada e a partir da perspectiva dos usuários, como abordado pelo DT e LS (CORREIO; FLEURY, 2019). Com isso, percebe-se que utilizar o design como método de pesquisa permite atender a objetivos múltiplos de forma articulada, sendo um método interessante para se trabalhar em cenários complexos (MAHER et al., 2018). É necessário em um cenário de mudanças globais que a proposição de ideias seja feita dentro dos próprios contextos, como afirmado por Blank (2013), é necessário *'get out of the building'* para validar as ideias. Dessa forma, projetos voltados a sustentabilidade poderão ser elaborados de forma melhor contextualizadas e levar em consideração a perspectiva de múltiplos atores a fim de propor soluções que possam evoluir e se adaptar ao longo do tempo e assim terem maiores chances de sucesso (ELMQVIST et al., 2018)

Com base na extensa apresentação dos resultados, foi possível notar que os métodos de DT e LS possuem um arcabouço ferramental que auxiliou no processo de evolução da ideia dos AFC (IDEO, 2012). As múltiplas formas de interação, imersão, prototipagem e desenvolvimento do MVP abriu campo para abordagens de diversas frentes e possibilidades de aplicação em relação a este tipo de dispositivo (MUELLER; THORING, 2012a). Entretanto, o AFC é apenas uma das tipologias de IV que existem, então é possível vislumbrar que muitas outras inovações e aplicações possam surgir com a aplicação desses métodos para outras tipologias e soluções baseadas em elementos naturais.

Conclui-se essa seção em resposta aos objetivos mencionados no início do capítulo foram atingidos, sendo que: 1) O MVP se mostrou viável e desempenho papel digno de destaque quanto a funcionalidade, ao atender os critérios de fluabilidade mesmo com desenvolvimento pleno e vigoroso da vegetação e modularidade; 2) os resultados em cada rodada serviram para aprimoramento do dispositivo, trazendo elementos inovadores, como é o caso do cesto de proteção para as raízes e permitindo ajustes e aprendizados, como a reflexão sobre materiais a serem utilizados e melhorias no sistema de ancoramento e finalmente; 3) o dispositivo se mostrou efetivo e funcional nas condições ambientais aos quais foi imposto durante o período de estudo de aproximadamente um ano e cinco meses.

O próximo capítulo fará conexões com alguns dos resultados e conceitos apresentados até agora, porém voltando-se a perspectiva das contribuições que são obtidas através da prestação de SE.

4. SERVIÇOS ECOSISTÊMICOS

*Todas águas tem sua origem
Mas seu destino é um só
É no grande mar sagrado
Que se encontram em união*

*A sabedoria das águas
É seguir em humildade
Contornando obstáculos
Pouco a pouco seguem seu rumo²³*

²³ Trechos da música “Sabedoria das Águas” concebida pelo autor. Áudio disponível em: <https://soundcloud.com/cleandho/sabedoria-das-aguas/s-Ypyj2>

Esse capítulo irá abordar a dimensão dos benefícios ambientais gerados pelos alagados flutuantes. Será apresentado a conceituação de SE e suas atualizações passando a integrar as contribuições geradas para as pessoas. A seguir será apresentado a perspectiva de valoração ambiental e sua importância e encerrando com a junção desses aspectos com a tipologia dos AFC. Serão abordados aspectos de qualidade da água, desenvolvimento da vegetação, provisão de habitat, percepções ambientais e valoração pelas pessoas que tiveram contato com o projeto. Por fim, será feita uma síntese dos múltiplos benefícios gerados com a utilização dos AFC nos contextos de aplicação, oferecendo potenciais perspectivas a serem exploradas.

4.1. SERVIÇOS ECOSISTÊMICOS E AS CONTRIBUIÇÕES DA NATUREZA PARA AS PESSOAS

Os SE são importantes componentes para manutenção e qualidade da vida humana. Originalmente, o termo SE era definido como os benefícios que seres humanos obtinham a partir de funções ecossistêmicas, sendo divididos em quatro categorias: provisão (e.g. alimento, água, combustível, etc.); regulação (e.g. controle de doenças, ciclos hidrológicos, clima, etc.); cultural (e.g. espiritual, estético, recreação, educação, etc.) e; de suporte (e.g. produção primária, formação do solo, etc.) (MA, 2005). A geração desses serviços poderiam envolver diferentes escalas espaciais, indo da local até a global de acordo com disponibilidade, efeito ou influência de um dado serviço, bem como a escala temporal dos mesmos, considerando seus efeitos, influência e disponibilidade de curto a longo prazo (MA, 2005).

O conceito passou por atualizações ao longo dos anos (Figura 29) em reuniões da Plataforma Intergovernamental sobre Biodiversidade e Serviços Ecossistêmicos (IPBES da sigla em inglês) e a definição mais atual de SE se baseia nas contribuições da natureza para as pessoas (em tradução livre do termo em inglês *Nature's Contribution to People* ou NCP) (DÍAZ et al., 2018a). O conceito de NCP traz a perspectiva de que os processos evolutivos dos seres vivos podem contribuir tanto beneficemente para a qualidade de vida humana como na conceituação original quanto negativamente, como exemplo a transmissão de doenças, predação de lavouras ou danos a bens. A conceituação anterior incluía principalmente, mas não exclusivamente os conhecimentos de economia e ecologia e passou a agregar perspectivas de áreas das ciências sociais, o que cria adicionalmente aspectos

culturais para classificar se uma dada contribuição é positiva ou negativa dependendo do contexto analisado (DÍAZ et al., 2018a).

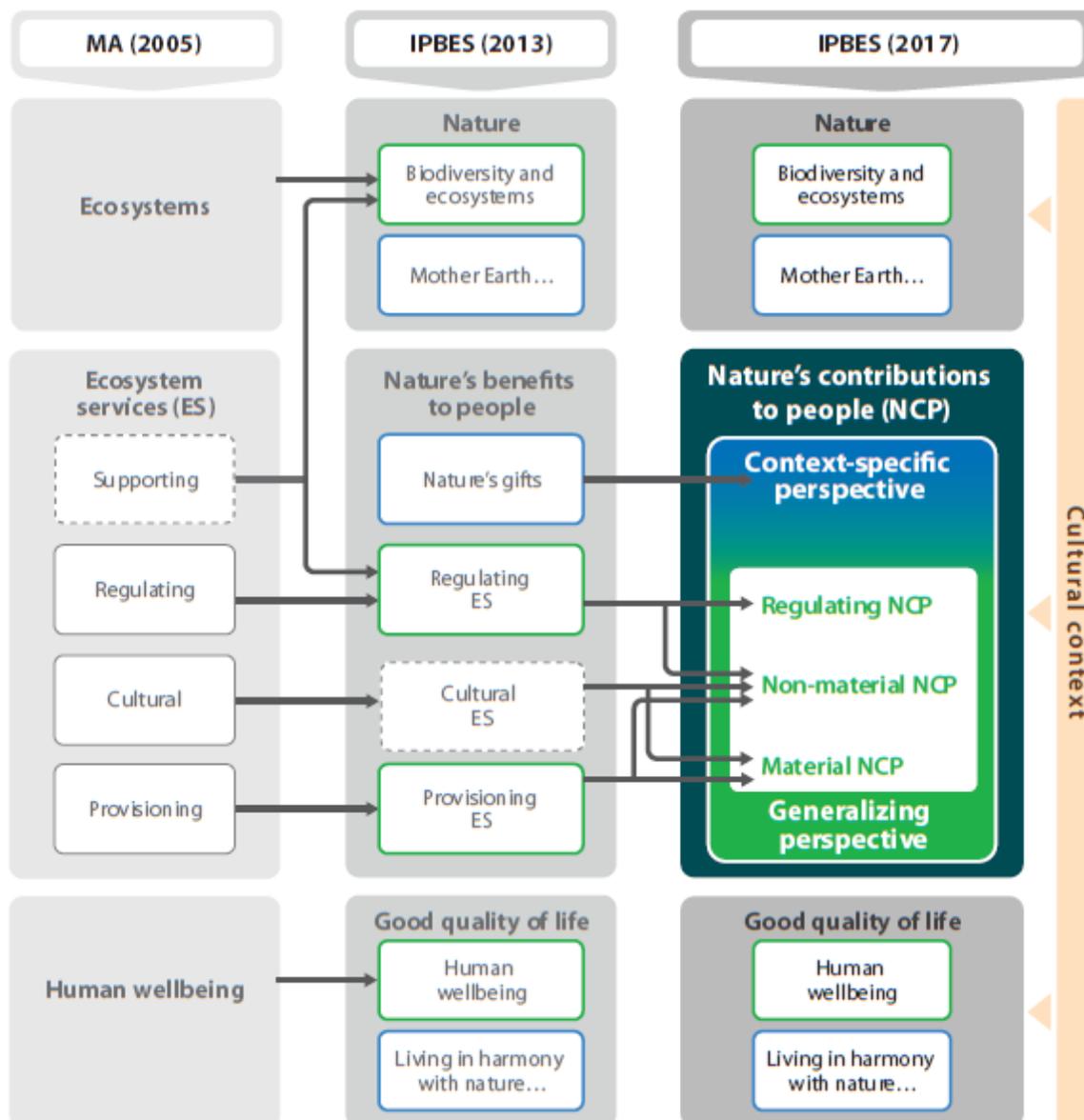


Figura 29 – Evolução da definição de serviços ecossistêmicos e contribuição da natureza para as pessoas. Fonte: DÍAZ et al. (2018b).

Díaz e colaboradores (2018a, 2018b) elaboraram um trabalho que fornece um resumo sobre a categorização dos SE mais atual, que passou a compor 3 categorias, sendo elas: i) contribuições de regulação; ii) contribuições materiais e; iii) contribuições não-materiais conforme ilustrado na Figura 29. As contribuições de regulação estão relacionadas com aspectos funcionais e estruturais dos organismos e de ecossistemas que alteram condições experimentadas pelas pessoas e que

podem regular e geração das contribuições materiais e não materiais. As contribuições materiais estão ligadas a substâncias, objetos e matérias primas que sustentam a existência humana como geração de alimento, energia e materiais ornamentais; Por fim, as contribuições não materiais são efeitos ligados a aspectos subjetivos e psicológicos que influenciam a qualidade de vida humana, tanto individual como coletivamente, como atividades recreativas e inspiradoras realizadas ao se visitar áreas florestais por exemplo. As contribuições culturais deixaram de existir como uma categoria individualizada e passou a permear todas as três categorias, pois um exemplo disso é o alimento, que primariamente se trata de um bem material, porém está intimamente relacionado com aspectos culturais e simbólicos.

O mesmo artigo de Díaz (2018b) traz uma elaboração mais específica que define 18 subcategorias dentre as NCP (Figura 30)

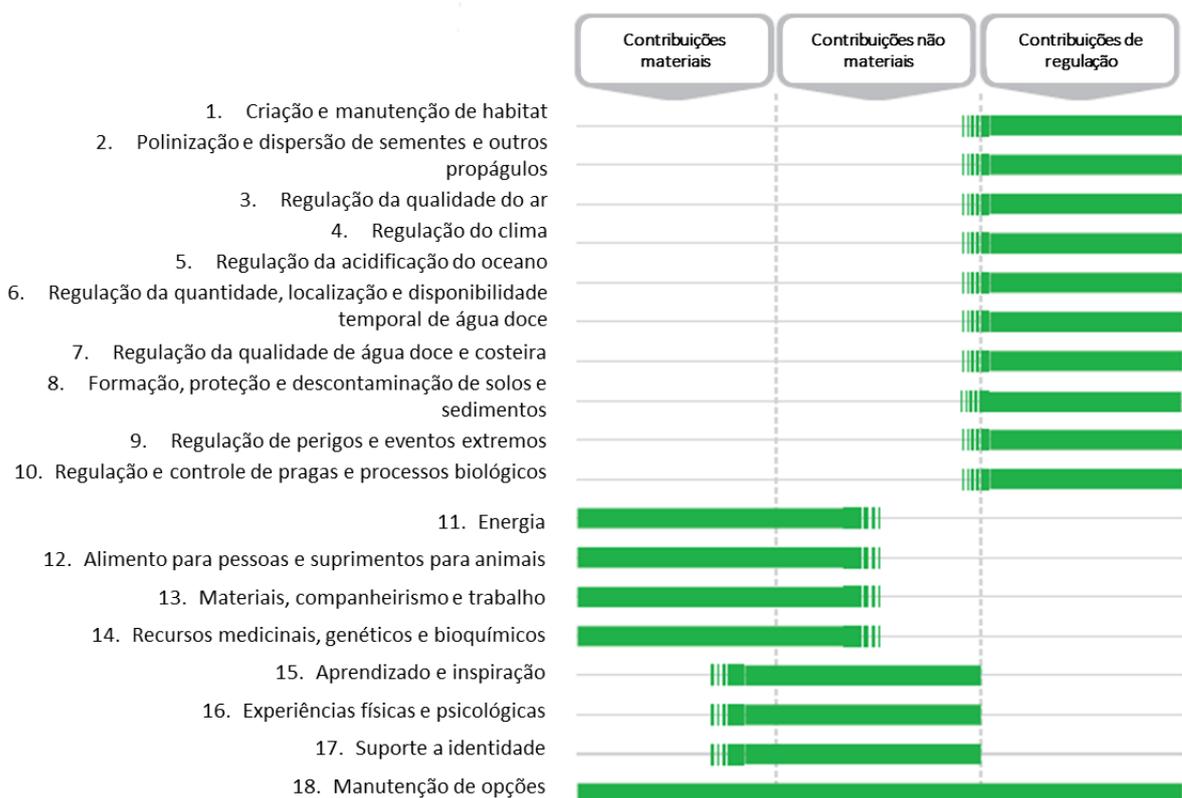


Figura 30 - Relação das 18 categorias de contribuição da natureza para as pessoas (NCP) dentro das três categorizações macro. Barras verdes indicam a qual categoria macro cada categoria corresponde, havendo extensão das barras quando uma categoria corresponder a mais de uma dimensão. A categoria de manutenção de opções se estende por todas as dimensões, pois prevê benefícios futuros e portanto, com potencial de atender a todas as categorias macro. Fonte: Modificado de Díaz et al.(2018b)

Diversos trabalhos na literatura têm apontado os benefícios gerados pela biodiversidade e os SE para o bem-estar humano em muitos âmbitos (MA, 2005;

KENIGER et al., 2013; SANDIFER; SUTTON-GRIER; WARD, 2015; DÍAZ et al., 2018a, 2018b). A fim de ilustrar alguns exemplos conectando com os capítulos 2 e 3 desta dissertação, serão elencadas as categorias 1, 10 e 15. A categoria 1 corresponde a criação e manutenção de habitats, gerando condições ambientais para que seres vivos possam subsistir independente de oferecer benefícios diretos ou indiretos aos seres humanos, como locais de abrigo, alimentação e reprodução de aves, insetos e peixes fornecidos pelos AFC (NAKAMURA; TSUKIDATE; SHIMATANI, 1997). A categoria 10 corresponde a regulação e controle de pragas e processos biológicos nocivos, como a redução na concentração de cianobactérias que podem ser tóxicas para seres humanos caso ingeridas (CODD, 2000; SILVA, 2005), mas que podem ser combatidas através da competição por nutrientes (WEST et al., 2017). A categoria 15 está ligada a inspiração e aprendizado, como os providos por paisagens, seres vivos e sistemas que possam servir de inspiração, bem-estar pessoal, desenvolvimento cognitivo, aprendizado e conhecimento (KENIGER et al., 2013). Neste aspecto a inspiração na natureza também permite desenvolver novos produtos e tecnologias a partir de biomimetização ou na busca de NBS, que associadas com ferramentas de DT e LS podem gerar produtos (ELMQVIST et al., 2018) como os AFC.

4.1.1. A importância da valoração das contribuições ambientais

Entretanto, reconhecer os benefícios que a natureza nos oferece não é o suficiente, sendo importante também atribuir dimensões de valores monetários. Uma vez percebendo que o estoque de recursos naturais é limitado e que seu repositório segue padrões similares aos de oferta e demanda como no mercado de capitais, tornou-se ainda mais importante definir e atribuir valor pelos SE providos (COSTANZA et al., 1997). Entretanto, ainda é um grande desafio estipular monetariamente quanto cada SE vale dado a complexidade e a dificuldade em integrar aspectos subjetivos (PEDERSEN; WEISNER; JOHANSSON, 2019), sendo este um cenário de problemas complexos (BUCHANAN, 1992).

A valoração ambiental é um importante meio de atribuir dimensões financeiras aos recursos ambientais. Segundo Motta (1997), este processo é feito através da comparação com outros bens e serviços disponíveis na economia a fim capturar todas as dimensões das NCP, uma vez que elas geralmente recebem pouca atenção ou são subestimados (COSTANZA et al., 1997). Dado que os recursos ambientais não

possuem valores predefinidos no mercado, é importante avaliar os potenciais ganhos de bem-estar social e econômico, ou por outro lado, os problemas ocasionados pela perda destes fatores quanto um recurso ou serviço se extingue ou se torna fragilizado no ambiente (VANTINE, 2010) como ressaltado na definição de NCP (DÍAZ et al., 2018b).

De acordo com Motta (1997), existem quatro categorias de valores econômicos de recursos ambientais, sendo três de valores de uso e uma de não uso. A primeira categoria chamada de valor de uso direto é atribuída quando um SE pode ser utilizado de forma direta no presente, seja pela visitação, extração ou outro uso. A segunda categoria é a de valor de uso indireto, no qual os benefícios são usufruídos no presente, mas de maneira indireta, como é o caso do equilíbrio climático e regulação dos ciclos hidrológicos gerado pela presença de florestas. O terceiro tipo é o valor de opção no qual os benefícios podem advir no futuro de forma direta ou indireta, caso um dado ambiente seja mantido, sendo um exemplo a exploração de potenciais fármacos que podem vir a ser descobertos caso uma dada região florestal seja preservada. Este último pode ser bem visualizado dentro da categoria de manutenção de opções como definido por Díaz e colaboradores (DÍAZ et al., 2018b). A última categoria ligada ao valor de não-uso, valor intrínseco ou de existência está relacionado com o aspecto moral, cultural ou ético atrelado a manutenção de um dado bem natural mesmo que não haja usufruto da existência deste recurso na natureza, como é o caso da preservação de ursos polares para a maioria das pessoas que não tem intenção de visitar regiões árticas.

Além das categorias de valores, existem diversos modelos que buscam mensurar o valor da existência de recursos ambientais. Vantine (2010) apresenta em seu trabalho um apanhado de modelos e aqui são apresentados dois deles como exemplo, o Método de Custo de Viagem (MCV) e o Método de Valoração de contingente (MVC). O MCV está ligado a atividades recreativas e considera a disposição dos usuários em pagar pelos serviços ambientais que utiliza a frequência, custos da viagem e ingresso em um dado local com a prestação de serviços ambientais, distância entre o sítio e a residência e outras informações socioeconômicas. O MVC busca medir monetariamente o impacto gerado pela presença ou ausência de uma dada função a partir do bem-estar dos indivíduos, sendo que este método oferece a vantagem de permitir captar o valor de existência, por

exemplo, estimar a preservação de espécies ou a estética de um ambiente. O MVC usa a disposição a pagar como um dos meios de valorar os SE através de pesquisas com questionários, que podem inclusive auxiliar na verificação do preço de bens que ainda não existem no mercado ou não possuem estimativas anteriores, como é o caso dos AFC no Brasil.

Os cursos de água e as áreas alagadas construídas estão conectadas com todas as categorias das NCP - materiais, não materiais e regulatórias - (OLGUÍN et al., 2017), influenciando a sociedade, o meio ambiente, as ciências naturais e sociais, bem como gerenciamento e economia em diversas instâncias e escalas (MALTBY; ACREMAN, 2011). Além disso, a interação com a natureza pode influenciar o bem estar através do aumento e melhoria da autoestima e humor, redução de estresse, melhoria de bem-estar psicológico com efeitos positivos sobre as emoções e comportamentos até outras instâncias como redução de níveis de mortalidade, integração social e facilidade de socialização, além de redução de criminalidade e violência em áreas urbanas (KENIGER et al., 2013). Outros estudos demonstram que a percepção do papel ecológico das espécies, a riqueza e abundância de seres vivos tem aumentado a perspectiva de valor que as pessoas atribuem a certos ambientes, ou em contra partida, menosprezando os que não oferecem essas funções (MONTGOMERY, 2002; SCHIPPERIJN et al., 2010; QIU; LINDBERG; NIELSEN, 2013). Portanto, além de reconhecer os SE prestados por um dado local ou dispositivo, é relevante avaliar quais incentivos e investimentos devem ser realizados para a criação e manutenção de áreas verdes como os alagados construídos a fim de gerar valor (VANTINE, 2010).

4.1.2. Os Alagados Flutuantes Construídos como prestadores de Serviços Ecosistêmicos

A presença dos AFC podem gerar benefícios e ganhos, bem como reduzir demandas econômicas como no caso do controle de eutrofização e da remoção de nutrientes em corpos hídricos e melhorias ambientais e estéticas dos mesmos (CODD, 2000). Como efeito da eutrofização, há o aumento de cianobactérias, algas e biomassa vegetal acarretando em diversos problemas como o aumento da turbidez, da quantidade de material particulado, na redução da qualidade da água, na alteração de odor entre outros efeitos negativos (CODD, 2000). Níveis críticos de eutrofização podem acarretar diversos danos a fauna e aos seres humanos, incluindo casos de

intoxicação de peixes e pessoas (CODD, 2000; SILVA, 2005), irritação de pele, problemas respiratórios e até mesmo morte em casos de ingestão de água com elevado nível de cianobactérias (VIAGGIU et al., 2004). Outro fator negativo da eutrofização é a alteração do gosto dos peixes e a consequente depreciação do valor econômico da produção (QUEIROZ; BOEIRA; NICOLELLA, 2016). A vegetação serve como reservatório de carbono pela fixação de CO₂, auxiliando no conforto térmico, melhoria do ar e em última instância, reduzindo a acidez das águas por reduzir a formação de ácido carbônico (OLGUÍN et al., 2017). Desta forma é perceptível que os AFC podem prestar praticamente cada uma das 18 categorias de NCP (DÍAZ et al., 2018b).

Tendo em vista as relações feitas entre o conceito de SE e NCP e a valoração ambiental associando-as com os AFC, este capítulo tem como objetivo identificar e avaliar a prestação de SE, permitindo atribuir um valor pela presença do dispositivo e; verificar o desenvolvimento, efetividade e funcionalidade *in situ* do dispositivo através do papel da vegetação para fins de remediação de biomassa e como provisão de recursos e habitat para a fauna e flora dos locais estudados. A justificativa para isso se dá pelo aumento do conhecimento acerca do uso de AFC no contexto brasileiro, em especial para dois tipos de ambientes que não são usualmente reportados na literatura fazendo uso de AFC: uma área de reserva ambiental e um empreendimento comercial de pesca esportiva. Adicionalmente, esta perspectiva se justifica pelo potencial que a análise da percepção humana, os benefícios percebidos e avaliação das pessoas podem influenciar na aceitação de mais projetos como este, compreendendo sua importância.

4.2. Métodos

4.2.1. Avaliação da qualidade da água

Foram realizadas 10 coletas de água em cada reservatório em um intervalo de 160 dias (19/06/2018 e 26/11/2018) correspondente ao período do início do inverno a segunda metade da primavera. O intervalo médio entre a 1ª e a 4ª coleta foi de 15 dias e após a instalação das plataformas (coletas 5 a 10) passou a ser de 30 dias. O intervalo foi diferenciado, pois buscou-se obter o maior número de coletas possível antes de instalar os dispositivos, que haviam sido agendadas para agosto de 2018.

Os valores de temperatura e pluviosidade estão apresentados na Figura 31. A temperatura máxima durante o período de amostragem de água ocorreu em novembro (33,6°C) e a mínima em julho (6,9°C) e a precipitação máxima em novembro (191,1mm) e mínima em junho (12,7mm).

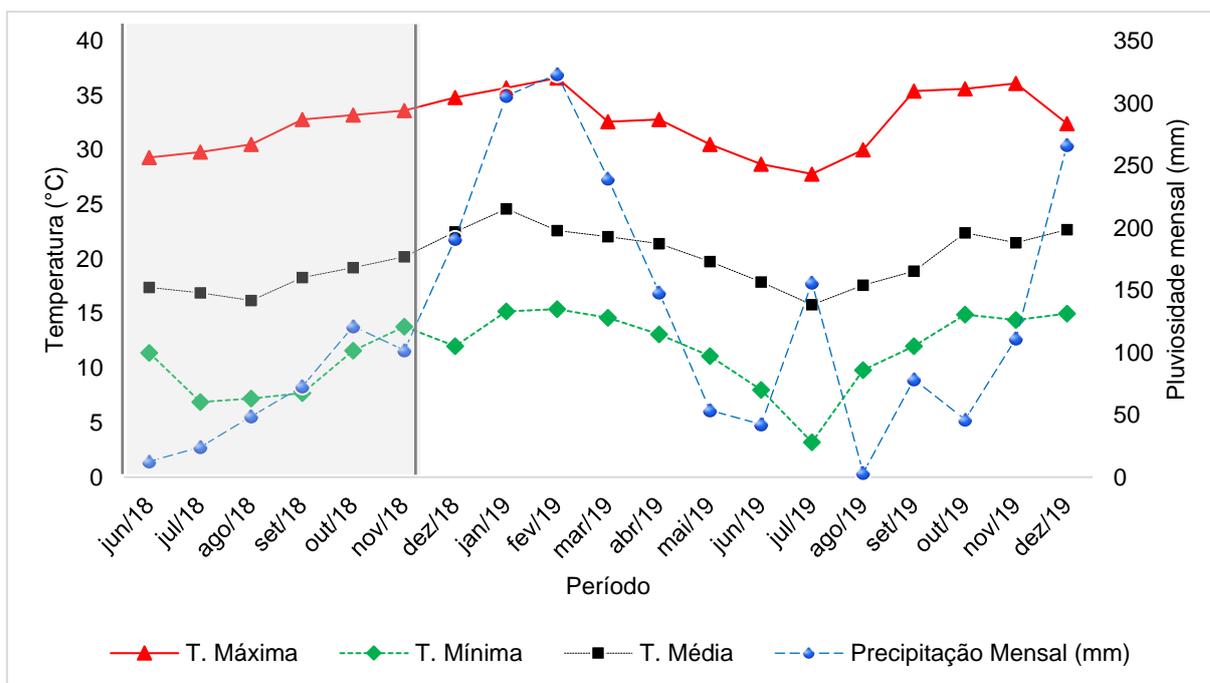


Figura 31 - Valores médios mensais de temperatura (°C) e precipitação (mm) para São Paulo durante a operação dos alagados flutuantes construídos instalados nos dois lagos estuados entre os períodos de junho de 2018 e dezembro de 2019. O período correspondente a coleta de águas se resume entre junho e novembro de 2018 (entre as linhas verticais em cinza). Fonte: INMET (2020).

As amostras foram coletadas em 3 pontos em cada lago, sendo o ponto 1 próximo à entrada de água, o ponto 2 na região central do reservatório e após a instalação do dispositivo, adjacente a plataforma na parte voltada para o extravasor e o ponto 3 na região do extravasor (Figura 32). A água era coletada na porção superficial (<5cm) do lago em recipientes de 1L lavados previamente com ácido hidrocloreto (10%, v/v) e enxaguados em campo com água do local, sendo posteriormente preenchidos até o volume máximo e armazenadas em bolsa térmica para manter resfriada e ao abrigo de luz até processamento em laboratório. A temperatura da água era medida no recipiente utilizando termômetro laboratorial. A transparência da coluna de água foi determinada *in situ* utilizando disco de Secchi e a zona eufótica foi estimada multiplicando o valor medido no disco de Secchi pelo fator 2,7 de acordo com Cole (1979).

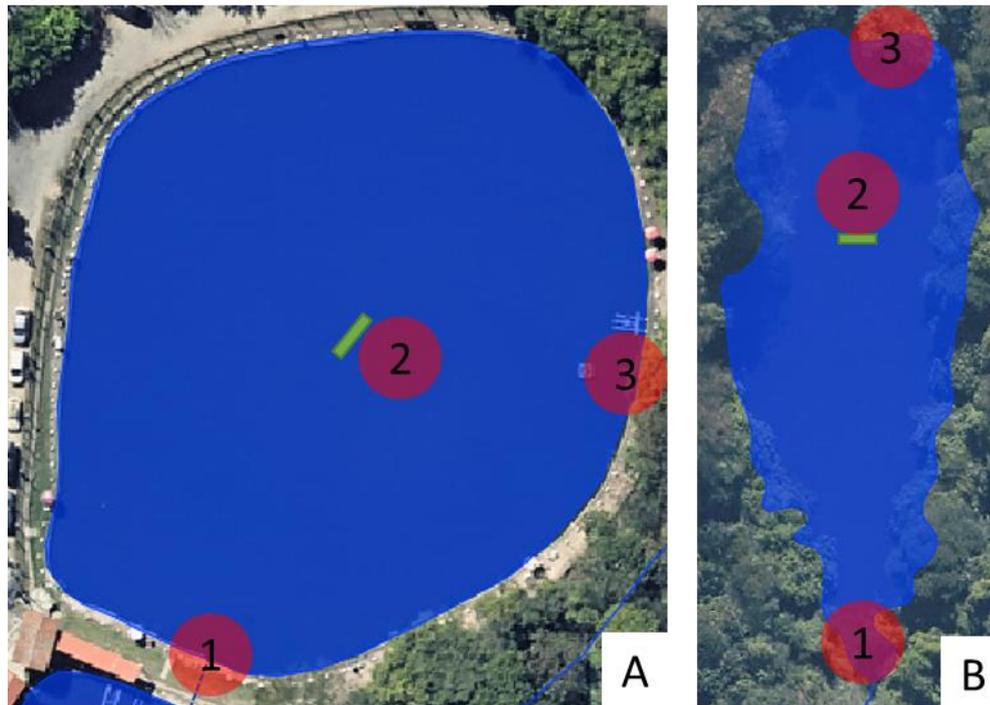


Figura 32 - Ponto de coleta de água. Lago A: Pesqueiro do Carmo; Lago B: RFIB. Pontos 1, 2 e 3 referem-se a entrada, a jusante da ilha e saída respectivamente. Antes da instalação dos dispositivos, a coleta do ponto 2 era realizada em região próxima ao ponto de instalação planejado. Fonte: Elaborado pelo Autor com base no GeoSampa (2019).

As amostras eram processadas ao chegar no laboratório, sendo obtido dados de oxigênio dissolvido (OD), potencial hidrogeniônico (pH) e condutividade elétrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$) utilizando sonda multiparâmetro (marca AKSO, modelo AK88). Foram feitas filtragens de duas alíquotas de 125 ml, sendo uma para avaliação da clorofila-a e feopigmentos (WETZEL; LIKENS, 2000) usando filtro de fibra de vidro (porosidade de $0,7\mu\text{m}$, Merck Millipore) e outra para material em suspensão (WETZEL; LIKENS, 2000) com filtro calcinado de mesmo modelo. Posteriormente, os 250 ml de água filtrados eram armazenados para posterior medições de nitrito (MACKERETH; HERON; TALLING, 1978), amônio (KOROLEFF, 1976) e ortofosfato (STRICKLAND; PARSONS, 1960). Foram armazenadas também alíquotas de 250 ml de água bruta para eventuais usos. Todas as amostras de água foram mantidas congeladas a -10°C entre experimentos. A Tabela 11 apresenta um resumo dos parâmetros avaliados.

Tabela 11 – Parâmetros avaliados, limites de detecção (L.D., quando aplicável), unidades, métodos e referências utilizados para análise da qualidade da água. N.D. Não definido. Fonte: Elaborado pelo Autor, 2020.

| Parâmetro | L.D. | Unid. | Método | Referências |
|--|--------|--------------------|--|---------------------------------|
| Transparência da coluna de água (DS) e zona eufótica (ZE) | - | m | Disco de Secchi | COLE, 1979 |
| Profundidade (Prof) | - | m | Método instrumental – fita métrica | - |
| Temperatura (T) | - | °C | Método instrumental – termômetro | - |
| Oxigênio dissolvido (OD) | - | mg.L ⁻¹ | Método instrumental – sonda multiparâmetro | - |
| pH | - | | Método instrumental – sonda multiparâmetro | - |
| Condutividade elétrica (CE) | - | µS/cm | Método instrumental – sonda multiparâmetro | - |
| Material em suspensão total (MST), orgânico (MSO) e inorgânico (MSI) | - | mg.L ⁻¹ | Gravimetria | WETZEL; LIKENS, 2000 |
| Clorofila-a (Cl-a) e feopigmentos (Feo) | - | µg.L ⁻¹ | Espectofotometria | WETZEL; LIKENS, 2000 |
| Nitrito (NO ₂ ⁻) | N.D. | µg.L ⁻¹ | Espectofotometria | MACKERETH; HERON; TALLING, 1978 |
| Amônio (NH ₄ ⁺) | <17,87 | µg.L ⁻¹ | Espectofotometria | KOROLEFF, 1976 |
| Ortofosfato (Pi) | < 8,37 | µg.L ⁻¹ | Espectofotometria | STRICKLAND; PARSONS, 1960 |

4.2.1.1. Análises estatísticas dos parâmetros da água

Os dados foram analisados utilizando análise de agrupamento (CA da sigla em inglês para *cluster analysis*) e análise de componentes principais (PCA da sigla em inglês para *principal component analysis*) com o programa estatístico Past 3.24 (HAMMER; HARPER; RYAN, 2001) com a intenção de identificar padrões entre os parâmetros ambientais entre os locais, coletas e pontos amostrais. Os dados foram normalizados utilizando escala logarítmica de base 10. As análises de CA e PCA foram realizadas utilizando os valores normalizados das 15 variáveis mencionadas na Tabela 11.

4.2.2. Avaliação da fauna

A avaliação da fauna consistiu em verificar a utilização do habitat criado com a instalação dos AFC. Não fez parte do escopo do estudo avaliar possíveis modificações na biodiversidade dos lagos estudados ou comparar com outros locais próximos como

controle a fim de avaliar índices de riqueza e abundância de espécies, sendo esta uma avaliação qualitativa.

A fauna foi avaliada em 3 grupos e métodos distintos, sendo eles 1) aves; 2) outros vertebrados e; 3) invertebrados, sendo que cada grupo teve métodos de registro e graus de aprofundamento na identificação distintos.

4.2.2.1. *Avifauna*

O avistamento de avifauna seguiu dois procedimentos, sendo um padronizado e contínuo. O método padronizado consistia em observar qualquer interação da avifauna que ocorresse com a ilha a partir de um ponto na margem do lago em silêncio durante 15 minutos antes de realizar qualquer outro procedimento no local de estudo. Este cuidado foi tomado, pois algumas aves poderiam se esconder ou se afastar com a aproximação da plataforma. As interações eram registradas através de câmera fotográfica (Sony, modelo semiprofissional HX-20 e smartphone Xiaomi, modelo MiA1), bem como e em caderno de campo. Após o período inicial em silêncio na margem, seguiam-se registros fotográficos e anotações em caderno de campo de forma contínua para casos de interações diversas durante atividades de coleta de água, acompanhamento da vegetação e manutenção das plataformas.

4.2.2.2. *Outros vertebrados e invertebrados*

Durante as visitas de campo, eram observadas a presença e tipos de interação de animais na plataforma, sobre a vegetação e no entorno próximo da plataforma. Essas interações eram registradas através de fotografia e em caderno de campo utilizando os mesmos equipamentos do acompanhamento da avifauna.

4.2.3. Avaliação da flora, produtividade e biomassa vegetal

Foram definidas espécies de plantas que seriam plantadas em cada um dos AFC na fase de instalação, sendo feito plantio misto cinco espécies com densidade de 8,6 mudas/m² para o lago do Pesqueiro e quatro espécies com densidade de 8,9 mudas/m² para o lago da Reserva. Foi realizado o acompanhamento do crescimento das plantas e desenvolvimento da comunidade vegetal. Para mais detalhes sobre o plantio inicial, consultar Tabela 7 e Tabela 8 na seção 3.6.2.8. Produto Mínimo Viável desta dissertação.

4.2.3.1. *Avaliação da matéria orgânica e produtividade*

Sendo o papel de remoção e controle do excesso de nutrientes um dos objetivos principais da instalação dos AFC, foi avaliado ao longo do tempo a produção de matéria orgânica, através da realização de podas quando o crescimento se mostrasse acentuado, ou seja, atingisse fase de desenvolvimento quando fosse necessário devido ao crescimento acentuado, o que aconteceu apenas na plataforma do lago do Pesqueiro.

A vegetação passou por um período de aclimatação inicial e posteriormente foram realizadas 4 podas, sendo elas realizadas em: 22/01/2019, 12/03/2019, 13/05/2019 e 24/10/2019. A biomassa obtida com as podas da parte aérea foi recolhida e pesada para obtenção dos valores de massa úmida. O material foi deixado secar em local seco e arejado 120h, com insolação direta no período diurno, sendo pesada novamente para obtenção do valor de massa seca.

Os valores de biomassa foram convertidos em produtividade utilizando a quantidade de dias entre as amostragens seguindo Olguín e colaboradores (2017). O cálculo foi realizado ao converter os valores de kg/m^2 para $\text{ton}\cdot\text{ha}^{-1}$ obtido dentro do intervalo de 226 dias transcorridos entre 22/01/19 e 24/10/19. Obtinha-se, portanto, o valor da produtividade diária média ao dividir a massa total pela quantidade de dias com $\text{ton}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{dia}^{-1}$ e multiplicando por 365, o valor em $\text{ton}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{ano}^{-1}$. Esse procedimento foi necessário para permitir a comparação com outros estudos que analisam a produtividade vegetação em alagados construídos fixos (MATOS; FREITAS; MONACO, 2014; LOPES et al., 2019).

4.2.3.2. *Colonização de espécies vegetais na plataforma*

A plataforma também se caracterizava como um novo ambiente e, portanto, existia o potencial de colonização por outras espécies que estivessem nos arredores, portanto, foram feitas coletas de plantas em ambos os alagados flutuantes no período entre janeiro e maio de 2019. Foram coletadas estruturas vegetativas e reprodutivas (e.g. flores, inflorescências e/ou frutos), sendo realizados registros fotográficos em campo, montagem e secagem de material em laboratório (60°C por 72h) para preparo de exsicatas e posterior identificação botânica até nível de espécie sempre que possível.

Foi avaliado também o nível de dominância, ou seja, área de ocupação da plataforma a fim de determinar o potencial de aclimatação de cada espécie ao tipo de ambiente criado através da instalação das plataformas, bem como potencial competição com as espécies plantadas inicialmente.

4.2.4. Percepção das pessoas e valoração de serviços ecossistêmicos prestados pelo AFC

Com o intuito de avaliar a percepção sobre os SE gerados a partir dos AFC, foi idealizado um questionário de opinião. O público alvo voltou-se para os visitantes do Pesqueiro, que é um local que possuía público visitante e um dispositivo instalado. A Reserva não foi incluída nesta etapa, pois a RFIB é uma unidade de conservação e com acesso restrito, não permitindo a presença de usuários que pudessem apresentar suas perspectivas em relação ao dispositivo.

Inicialmente foi realizado um levantamento junto a administração do pesqueiro a fim de determinar os dias da semana, épocas e condições ambientais que favorecessem a coleta de dados. Foi elaborado quatro modelos de questionários piloto visando analisar coerência do discurso, tempo médio de resposta por participante, escalas de valores, formato do questionário e no caso das questões sobre valoração ambiental, sobre os formatos de resposta com jogo de ofertas ou lance livre (VANTINE, 2010). As entrevistas do piloto foram realizadas em 09/06/2019 no Pesqueiro.

A partir dos dados do questionário piloto, foi elaborado o questionário oficial com o intuito de coletar resposta de 50 participantes. As entrevistas foram realizadas no final de semana dos dias 15 e 16 de junho de 2019. Foram feitas 20 questões separadas em 5 blocos que incluíam dados socioeconômicos, visitação, percepção ambiental geral, percepção ambiental voltada para o projeto dos alagados flutuantes e valoração do dispositivo com base nos SE prestados (questionário disponível no item A da seção Apêndices).

As questões de valoração utilizaram conjuntamente os métodos de “artifício de jogos de oferta” e de “lances livres” de acordo com Vantine (2010). No jogo de ofertas, o entrevistador fornece ao entrevistado um valor pré-estabelecido para o bem ou serviço, no qual ele informa se concorda ou não com aquele valor. Caso o participante concorde com o valor, este é aumentado e caso rejeite a oferta, o valor é diminuído seguindo uma escala com intervalos de R\$ 200, podendo chegar ao nível em que o

entrevistado diz que não pagaria nada. O lance livre era feito com a pergunta “quanto você estaria disposto a pagar?” caso a opinião do entrevistado atingisse a escala máxima estabelecida no questionário, que foi de R\$1.600 (mil e seiscentos reais).

Os participantes foram esclarecidos antes do início da entrevista sobre os objetivos do estudo, deixando claro que eram livres para recusarem a responder sem que isso implicasse em prejuízo algum, que não haveria envolvimento de custo financeiro, que não havia nenhum dano previsto e que eles poderiam abandonar a entrevista a qualquer momento caso desejassem, sem necessidade de explicações conforme constou no termo de consentimento livre e esclarecido (TCLE) (Apêndice A) de acordo com a resolução nº 196/96 do Conselho Nacional de Saúde (BRASIL, 1996). Os participantes também foram assegurados de que a identificação dos mesmos seria mantida em anonimato e que os dados seriam utilizados apenas para fins acadêmicos.

4.2.4.1. Análises estatísticas do questionário

Os dados foram analisados quanto a frequências, mediana com faixa de variação, 1º e 3º quartil para variáveis quantitativas que não possuíam distribuição normal (análise univariada). Foi utilizado teste de Qui-Quadrado para comparar proporções com significância de $P < 0,05$ (teste bicaudal). Foi utilizado também a análise PCA para as variáveis de idade, escolaridade, renda, percepção ambiental com base na questão 15, e valoração ambiental com base nas questões 19 e 20 com a intenção de identificar padrões entre os dados socioeconômicos, a percepção e a valoração ambiental dos entrevistados. Os dados foram normalizados utilizando escala logarítmica de base 10 (\log_{10}) e as análises foram feitas utilizando os softwares Past 3.24 (HAMMER; HARPER; RYAN, 2001), SPSS IBM versão 23 e aplicativo Excel (pacote office 2016).

4.3. Resultados e discussão

4.3.1. Análise da qualidade da água do pesqueiro

A Tabela 12 apresenta uma síntese dos resultados obtidos para cada um dos parâmetros da água avaliados para os lagos do Pesqueiro e da Reserva antes e após a instalação dos AFC. Para consultar os dados gerais, vide Apêndice N no final desta dissertação.

Analisando a Tabela 12, é possível perceber diferenças significativas nas características e parâmetros de físicos, químicos e biológicos da água para a maior parte dos fatores. Quanto as similaridades, a temperatura da água na coleta seguiu de forma similar por condições climáticas e sazonais (conforme Figura 31); o pH também apresentou valores próximos e; a concentração de oxigênio (OD) teve faixas próximas, embora tenha sido valores menores para o Pesqueiro. Quanto as diferenças, nota-se que a profundidade do lago do Pesqueiro (max 2.95m) é maior que o da Reserva (max 1,23m). A transparência da água e a zona eufótica foi menor no lago do Pesqueiro (DS 0,38m, ZE 0,65m) do que no da Reserva (DS 0,75m, ZE 1,28m). Valores de CE, MST, MSI, MSO, Cl-a, Feo, Pi, NO₂⁻ e NH₄⁺ foram maiores no lago do Pesqueiro do que na Reserva.

A transparência da água está associada com a quantidade de material particulado, seja ele matéria em suspensão ou de concentração do plâncton (LAMPARELLI, 2004). Adotar a transparência como indicadora do estado trófico está associada a estudos que correlacionam o aumento da densidade fitoplanctônica com a diminuição da penetração de luz por um processo de sombreamento. Locais com elevada concentração fitoplanctônica, avaliada através da concentração de Cl-a e de material em suspensão (MST, MSO e MSI) tendem a ter a transparência da água menor, como é o caso do Pesqueiro quando comparado com o lago da Reserva.

Através da concentração de Cl-a também é possível avaliar o grau de estado trófico de corpos hídricos, sendo geralmente avaliado ao longo de um ano completo (LAMPARELLI, 2004). A concentração média de clorofila-a foi de 212,2 µg.L⁻¹ para o Pesqueiro e 57,8 µg.L⁻¹ para a Reserva, podendo estes serem considerados em estado hipereutrófico e mesotrófico respectivamente considerando o período de estudo (160 dias) (CARDOSO-SILVA et al., 2014). O estado mesotrófico apresenta características que suportam a biodiversidade aquática de modo saudável, com características positivas, geralmente livre de odores e crescimento moderado e

equilibrado de plâncton e medidas, quando tomadas, são geralmente para a manutenção deste estado. Dessa forma, o uso de AFC poderia servir como estratégia de manutenção. Já o lago do Pesqueiro apresentou estado hipereutrófico, indicando a necessidade de intervenção humana para controle e recuperação da qualidade da água. É registrado na literatura que lagos de pesqueiros com frequência se encontram em grau hipereutrófico (MERCANTE et al., 2004; CARVALHO; MENEZES, 2011). Quanto a este aspecto, é reportado na literatura o uso de vegetação para auxiliar na prevenção e controle de elevados níveis de eutrofização em lagos com pesca (LI; YANG, 1995; HENRY-SILVA; CAMARGO, 2006), entretanto não foi encontrado pesquisas que usam sistemas flutuantes como o AFC.

Tabela 12 - Variáveis analisadas nos locais de estudo. Valores máximos (max), mínimos (min), médios (med) e desvio padrão (D.P.) para Temperatura (T), transparência da coluna de água (DS), zona eufótica; profundidade no ponto de coleta (Prof), condutividade elétrica (CE), pH, oxigênio dissolvido (OD), material em suspensão total (MST), material em suspensão orgânico (MSO), material em suspensão inorgânico (MSI), clorofila-a (Cl), feopigmentos (Feo), ortofosfato (Pi), nitrito (NO_2^-) e amônio (NH_4^+). Notas: Valores abaixo do limite de detecção do método indicados por <L.D., sendo eles de $8,37 \mu\text{g.L}^{-1}$ para ortofostato e $17,87 \mu\text{g.L}^{-1}$ para nitrito de acordo com parâmetros do laboratório. Fonte: Elaborado pelo Autor, 2020.

| Parâmetro | | Pesqueiro | | | | Reserva | | | |
|-----------------|-----------------------|-----------|-------|-------|-------|---------|-------|-------|-------|
| | | Max | Min | Média | D.P. | Max | Min | Média | D.P. |
| T | °C | 26 | 17 | 20,23 | 3,08 | 24 | 17 | 20,50 | 2,32 |
| DS | m | 0,38 | 0,25 | 0,31 | 0,04 | 0,75 | 0,5 | 0,63 | 0,06 |
| ZE | m | 0,65 | 0,43 | 0,53 | 0,07 | 1,28 | 0,85 | 1,08 | 0,10 |
| Prof | m | 2,95 | 1,2 | 1,81 | 0,63 | 1,23 | 0,57 | 0,92 | 0,21 |
| CE | $\mu\text{S.cm}^{-1}$ | 251 | 187,4 | 203,8 | 18 | 82 | 43 | 52,7 | 9,37 |
| pH | | 7,5 | 6,7 | 7,1 | 0,18 | 7,7 | 6,5 | 6,8 | 0,24 |
| OD | mg.L^{-1} | 7,0 | 3,0 | 4,8 | 1,07 | 8,3 | 3,4 | 5,6 | 1,51 |
| MST | mg.L^{-1} | 77,8 | 28,7 | 54,7 | 11,80 | 23,7 | 1,6 | 11,9 | 5,41 |
| MSO | mg.L^{-1} | 63,6 | 28,7 | 43,3 | 8,17 | 16,7 | 1,6 | 11,1 | 4,40 |
| MSI | mg.L^{-1} | 26,9 | 0,0 | 11,4 | 6,39 | 7,9 | 0,0 | 0,8 | 1,80 |
| Cl-a | $\mu\text{g.L}^{-1}$ | 676,3 | 15,4 | 212,2 | 150,6 | 186,6 | 0,0 | 57,8 | 46,8 |
| Feo | $\mu\text{g.L}^{-1}$ | 1149,7 | 26,2 | 360,7 | 255,9 | 317,3 | 0,0 | 98,2 | 79,6 |
| Pi | $\mu\text{g.L}^{-1}$ | 41,5 | <L.D. | 10,1 | 12,1 | 36,5 | <L.D. | 5,5 | 6,0 |
| NO_2^- | $\mu\text{g.L}^{-1}$ | 34,83 | 0,54 | 9,22 | 9,02 | 5,35 | 0,47 | 2,52 | 1,48 |
| NH_4^+ | $\mu\text{g.L}^{-1}$ | 402,38 | <L.D. | 89,31 | 91,95 | 56,41 | <L.D. | 21,82 | 15,49 |

Quanto aos nutrientes, o amônio é uma das formas de nitrogênio assimiladas mais facilmente pelo fitoplâncton (CARDOSO-SILVA et al., 2014) enquanto o nitrito é uma fase intermediária entre amônia e nitrato, sendo absorvido principalmente na falta desses dois últimos (ESTEVES, 1998). A concentração desses dois parâmetros foi de

89,31 $\mu\text{g.L}^{-1}$ e 9,22 $\mu\text{g.L}^{-1}$ no lago do Pesqueiro e de 21,82 $\mu\text{g.L}^{-1}$ e 2,52 $\mu\text{g.L}^{-1}$ para a Reserva para amônio e nitrito respectivamente. O íon amônio costuma ser encontrado em menores concentrações quando há grande concentração de fitoplâncton e o nitrito em locais com elevada concentração de oxigênio, enquanto ambos os elementos aparecem em maior concentrações quando há elevada concentração de nutrientes, como ocorre em lagos poluídos (ESTEVES, 1998). Considerando os valores médios durante obtidos com as coletas, aparentemente nenhum dos locais estudados apresentam limitações para essas moléculas.

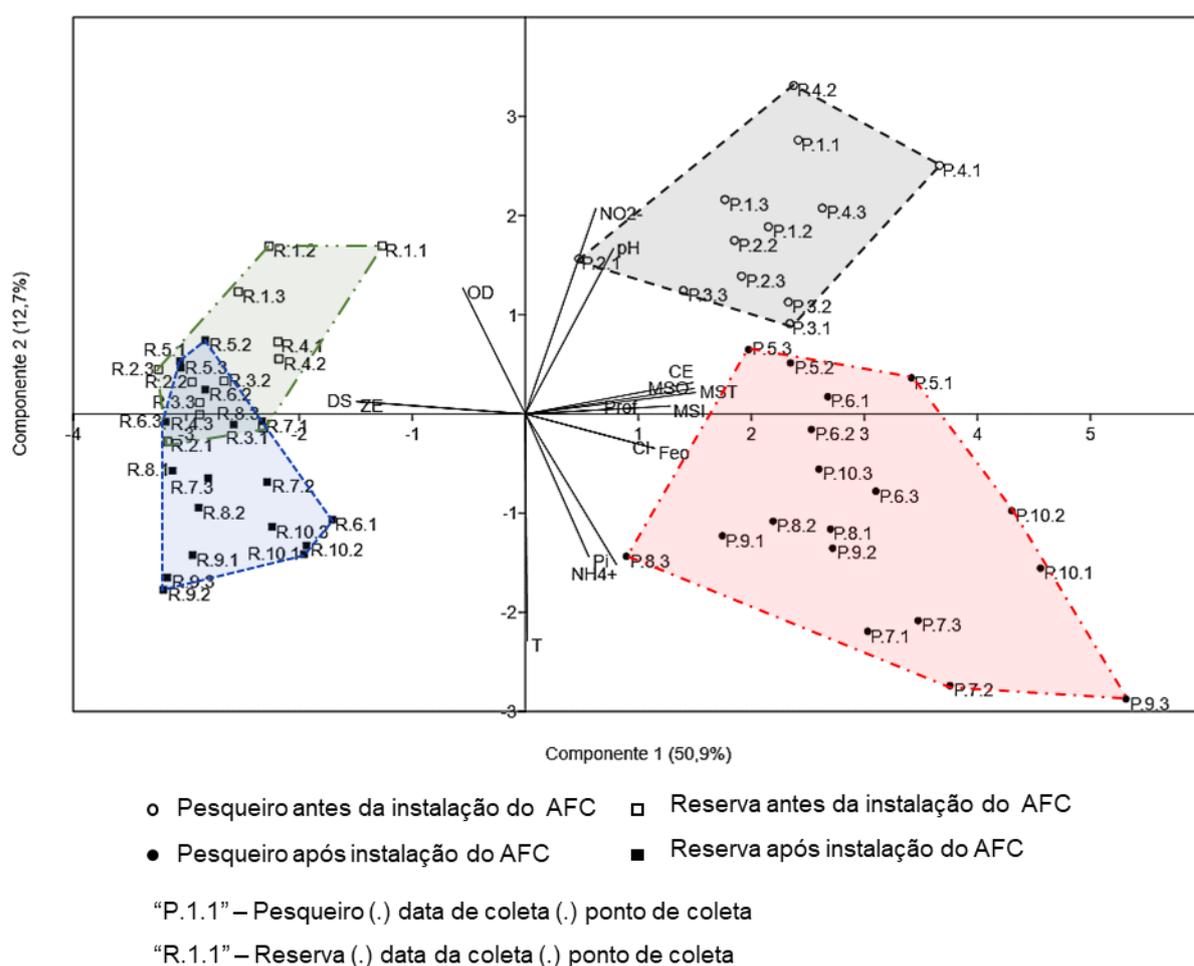


Figura 33 - Análise de Componentes Principais (PCA) de correlação das variáveis limnológicas para os dois lagos estudados. Círculos representam lago do Pesqueiro e quadrados representam lago do Reserva. Símbolos vazios representam antes da instalação dos AFC e preenchidos representam após instalação. Valores dos parâmetros transformados utilizando Z-score com para variáveis de temperatura (T), transparência da coluna de água (DS), zona eufótica (ZE); profundidade no ponto de coleta (Prof), condutividade elétrica (CE), pH, oxigênio dissolvido (OD), material em suspensão total (MST), material em suspensão orgânico (MSO), material em suspensão inorgânico (MSI), clorofila-a (Cl), feopigmentos (Feo), ortofosfato (Pi), nitrito (NO_2^-) e amônio (NH_4^+). Componentes 1 e 2 sintetizam juntos 63,6% da variância dos dados. Fonte: Elaborado pelo Autor, 2020.

A PCA realizada demonstrou uma segregação pelos valores das variáveis analisadas com o pesqueiro se concentrando em um lado do eixo e a Reserva no lado oposto demonstrando características distintas entre os locais estudados.

O agrupamento formado pelas coletas antes e após a instalação dos AFC se mostrou evidente no Pesqueiro e embora os dados tenham apresentado a mesma tendência para os parâmetros analisados no lago da Reserva, houve uma sobreposição entre as coletas antes e após a instalação do AFC que pode estar associado com a variação dos dados não ter sido tão expressiva.

Outro fator demonstrado pela PCA é a correlação que existe entre a concentração de ortofosfato e de amônio dissolvido na coluna de água antes e após a instalação dos AFC. Uma vez que a forma destes dois nutrientes são as formas químicas mais fáceis de serem absorvidas pelos organismos fotossintetizantes, é possível que a vegetação presente nas ilhas esteja competindo com a absorção pelas cianobactérias, dado que o efeito demonstrado pela concentração da clorofila no eixo do componente 2 é contribui pouco (-0,079) quando comparado com os valores de contribuição do nitrito (0,478), do amônio (-0,35) e do ortofosfato (-0,33) (para consultar tabela completa com valores de contribuição, verificar item Apêndice O).

4.3.2. Desenvolvimento da vegetação, colonização de espécies, biomassa e produtividade

A vegetação se desenvolveu de forma plena ao longo de todo o período de aplicação nos alagados instalados em ambos os lagos, porém o crescimento no lago do Pesqueiro foi mais expressivo, passando a ocupar toda a área da ilha dentro do período de 90 dias, enquanto a ilha da Reserva apresentou uma cobertura total da plataforma por volta de 150 dias. O crescimento ocorreu durante as estações de final de inverno até meados do outono, que é um período do ano de maior insolação e maior desenvolvimento vegetal.

Ao longo do estudo, foi notado que espécies que não foram introduzidas inicialmente começaram a colonizar a plataforma. Como não havia nenhum pressuposto inicial adotado de que seriam mantidas apenas as espécies escolhidas, foi permitido que esse processo se desse de forma espontânea a fim de garantir SE de provisão através do novo habitat criado. Com isso, foi possível notar que o AFC se tornou um novo habitat passível de colonização pela flora dos arredores.

Ao final da fase de acompanhamento, havia sido registrado a presença de 20 espécies/morfoespécies de plantas no AFC do Pesqueiro, sendo 14 colonizadoras além das 6 iniciais, contabilizando um total de 14 famílias. No AFC da Reserva foram registradas 22 espécies/morfoespécies, sendo 18 colonizadoras e 4 iniciais distribuídas entre 15 famílias. Das famílias presentes, 5 estiveram exclusivamente no Pesqueiro (Araceae, Begoniaceae, Commelinaceae, Malvaceae e Typhaceae) e 6 estiveram exclusivamente na Reserva (Euphorbiaceae, Melastomataceae, Phyllanthaceae, Urticaceae, Zingiberaceae e uma samambaia da classe Polypodiopsida).

Houveram quatro espécies encontradas em ambos os AFC, sendo elas: *C. spiralis* (Costaceae), *Ctenanthe setosa* (Marantaceae) que foram plantadas inicialmente e, portanto, com influência antrópica e duas colonizadoras, *Ludwigia alternifolia* e *L. grandiflora*, ambas da família Onagraceae. As quatro espécies prevaleceram ao longo de todo o estudo, indicando serem boas candidatas no uso de plantios de AFC para a região de São Paulo. O fato de duas espécies do gênero *Ludwigia* terem colonizado ambas as plataformas se mostrou um fato interessante, pois, primeiramente, elas estavam presentes nos dois locais, indicando que possa ser uma espécie comum no entorno de lagos em São Paulo e segundo, que conseguiram se adaptar em locais águas diferentes. Foi realizada uma busca na literatura em relação ao uso dessas espécies para o tratamento de efluentes, porém existem apenas estudos em espécies do mesmo gênero (KAMAL, 2004; ABU BAKAR et al., 2013; PALMA-CRUZ et al., 2016), entretanto, possuem floração vistosa de cor amarelada, que é um atributo válido para efeitos ornamentais.

Quanto a diversidade, a família Cyperaceae foi a que apresentou maior quantidade de espécies (5 spp.), seguida das famílias Asteraceae e Marantaceae, com 4 espécies cada e Heliconiaceae e Poaceae com 3 espécies cada. Todas essas famílias possuem espécies adaptadas a condições brejosas, sendo comumente encontradas em margens de corpos hídricos. Espécies da família Cyperaceae, Poaceae e Marantaceae aparecem com frequência em trabalhos de fitorremediação (KANSIIME; VAN BRUGGEN, 2001; WANG; SAMPLE, 2014; YEH; YEH; CHANG, 2015; KADAM et al., 2018) e não geralmente não possuem estruturas florais vistosas. Em contrapartida, as famílias Heliconiaceae e Asteraceae possuem uma grande diversidade de flores e inflorescências, muitas delas utilizadas para fins ornamentais.

Tabela 13 - Espécies de plantas presentes nos alagados construídos flutuantes nos lagos do Pesqueiro (P) e da Reserva (R) ordenadas por nome de família. As colunas com a localidade marcam a presença da espécie incluindo o plantio inicial (I) e colonização (C). No caso de espécies não identificadas, está informado o nível taxonômico mais próximo possível. Fonte: Elaborado pelo Autor, 2020.

| Família | Espécie | P | R |
|---------------------------------|--|----------|----------|
| Araceae | <i>Xanthosoma sagittifolium</i> (L.) Schott | I | |
| Asteraceae | <i>Acmella uliginosa</i> (Sw.) Cass. | C | |
| Asteraceae | Morfoespécie #2 | C | |
| Asteraceae | <i>Sphagneticola trilobata</i> (L.) Pruski | C | |
| Asteraceae | Morfoespécie #1 | | C |
| Begoniaceae | <i>Begonia cucullata</i> Willd. | C | |
| Commelinaceae | <i>Commelina erecta</i> L. | C | |
| Commelinaceae | <i>Tradescantia fluminensis</i> Vell. | C | |
| Costaceae | <i>Costus spiralis</i> (Jacq.) Roscoe | I | I |
| Cyperaceae | <i>Cyperus alternifolius</i> L. | I | |
| Cyperaceae | <i>Cyperus prolifer</i> | C | |
| Cyperaceae | <i>Cyperus</i> sp. #1 | | C |
| Cyperaceae | <i>Cyperus</i> sp. #2 | | C |
| Cyperaceae | <i>Cyperus</i> sp. #3 | | C |
| Euphorbiaceae | Morfoespécie #3 | | C |
| Heliconiaceae | <i>Heliconia psittacorum</i> L.f. | I | |
| Heliconiaceae | <i>Heliconia</i> sp. | | C |
| Heliconiaceae | <i>Heliconia farinosa</i> Raddi | | I |
| Malvaceae | Morfoespécie #4 | C | |
| Marantaceae | <i>Ctenanthe setosa</i> (Roscoe) Eichler | I | I |
| Marantaceae | <i>Maranta</i> sp. | C | |
| Marantaceae | <i>Thalia</i> sp. | | C |
| Marantaceae | <i>Goepertia monophylla</i> (Vell.) Borchs. & S.Suárez | | I |
| Melastomataceae | Morfoespécie #5 | | C |
| Onagraceae | <i>Ludwigia alternifolia</i> L. | C | C |
| Onagraceae | <i>Ludwigia grandiflora</i> (Michx.) Greuter & Burdet | C | C |
| Phyllanthaceae | <i>Phyllanthus</i> sp. | | C |
| Poaceae | Morfoespécie #6 | C | |
| Poaceae | Morfoespécie #7 | | C |
| Poaceae | Morfoespécie #8 | | C |
| Polygonaceae | <i>Persicaria hydropiper</i> (L.) Delarbre | C | |
| Polygonaceae | <i>Persicaria punctata</i> (Elliott) Small | | C |
| Solanaceae | <i>Solanum americanum</i> Mill. | C | |
| Solanaceae | Morfoespécie #9 | | C |
| Typhaceae | <i>Typha angustifolia</i> L. | I | |
| Urticacia | Morfoespécie #10 | | C |
| Zingiberaceae | <i>Hedychium coronarium</i> J.Koenig | | C |
| Polypodiopsida (Classe) | Morfoespécie #11 | | C |
| Total de espécies/morfoespécies | | 20 | 22 |
| Total de colonizadoras | | 14 | 18 |
| Não identificadas | | 3 | 7 |

Foi acompanhado o desenvolvimento da comunidade vegetal na plataforma de maneira qualitativa, fazendo algumas estimativas em relação a ocupação das principais espécies e alturas aferidas através de análise de proporções com base nas fotos. No AFC do Pesqueiro, a es *C. alternifolius* chegou a dominar cerca de 70 a 80% da área em alguns momentos. A dominância entre as espécies no AFC da Reserva variou, sendo que em alguns períodos a espécie *G. monophylla* era predominante, chegando a cerca de 55% da área e em outros dividiu a dominância com *H. farinosa* e *C. setosa*.

O AFC instalado na Reserva apresentou maior número de espécies colonizadoras do que no Pesqueiro. Algumas das razões são atribuídas a maior diversidade presente nos arredores do lago da Reserva, mas também devido ao tempo que levou para a ocupação da plataforma. No Pesqueiro, a plataforma foi totalmente preenchida mais rapidamente, deixando menos espaço para outras espécies se desenvolverem no local. Era possível notar que o porte das espécies colonizadoras no AFC do Pesqueiro era maior, o que permitia a competição por luz com o *C. alternifolius*. No caso da Reserva, espécies de porte diferentes, inclusive pequeno, passaram a fazer parte da comunidade vegetal da plataforma e também havia uma maior distribuição de novas espécies em todas as partes da plataforma e não apenas nas bordas como acontecia majoritariamente no AFC do Pesqueiro.

Não é comum ver na literatura experimentos utilizando AFC que permitam ou mencionem a colonização por plantas que não foram estipuladas no início dos projetos. Algumas razões para isso advir da montagem em locais com baixa diversidade, tendo assim menores chances de colonização ou então plantios iniciais com maior densidade de plantas por m². Pode ser também realização em escala laboratorial com maior controle (HUBBARD; GASCHO; NEWTON, 2004; BARTUCCA et al., 2016), ou com cobertura total a área experimental (BENVENUTI et al., 2018), deixando menos espaço para colonização por outras espécies.

Tabela 14 – Acompanhamento comparado da vegetação dos Alagados Flutuantes Construídos instalados nos lagos do Pesqueiro e da Reserva. (P) Pesqueiro; (R) Reserva. Elaborado pelo Autor, 2020.

| Pesqueiro | Reserva | Observações |
|---|--|---|
|  |  | <p>Cerca de 10 dias após a instalação. Algumas mudas murcharam dentro desse período em ambos os locais.</p> |
| <p>14/09/18</p>  | <p>14/09/18</p>  | <p>3 meses após instalação. Ainda é possível perceber um aspecto de aclimação das espécies ao novo ambiente.</p> |
| <p>01/10/18</p>  | <p>01/10/18</p>  | <p>Possível notar diferenciação no crescimento da vegetação entre P e R. Vegetação começa a ocupar toda a área da plataforma em P com novos brotos aparecendo.</p> |
| <p>19/10/18</p>  | <p>19/10/18</p>  | <p>Pesqueiro: Vegetação com altura média de 1,27m e máxima de 1,44m. Predominância de <i>C. alternifolius</i>. Reserva: Vegetação com altura média de 0,87m com altura máxima de 2,11m das mudas iniciais. Muitos brotos novos de espécies distintas.</p> |
| <p>27/11/18</p> | <p>26/11/18</p> | |

(Continua)

(Continuação)

| Pesqueiro | Reserva | Observações |
|---|--|--|
|  |  | <p>P: Altura média de 2,22m com algumas plantas chegando a 3,10m (<i>Typha</i> sp.). Vegetação indo além dos limites laterais da plataforma. Predominância de <i>C. alternifolius</i>. R: Altura média 1,2m com algumas plantas chegando a 1,8m (<i>H. farinosa</i>). Predominância de <i>G. monophylla</i>. Plataformas completamente cobertas.</p> |
| 22/01/19 – Poda | 24/01/19 | <p>P: 1 mês após última poda e a vegetação já se encontra em aprox. na mesma altura média. Folhas de <i>X. sagittifolium</i> danificadas. R: Desenvolvimento predominante de <i>G. monophylla</i>, <i>H. farinosa</i> e <i>C. setosa</i>.</p> |
| 16/04/19 – Poda em 12/03/19 | 30/04/19 | <p>Final da temporada de inverno. Vegetação em ambos os locais não apresentou muita variação neste período. P: Altura média 1,10m devido a poda 2 meses antes. R: Altura média 1,20m com comunidade similar a 30/04/19.</p> |
| 09/08/19 – Poda em 03/06/19 | 07/08/19 | <p>Período de entrada da primavera. P: Crescimento expressivo. Vegetação média com 2m se estendendo além da plataforma. R: Composição e altura similar a 07/08/19.</p> |
| 24/10/19 - Poda | 29/10/19 | |

A poda para remoção da biomassa não foi realizada no AFC do lago da Reserva, pois a vegetação neste local não demonstrou crescimento tão expressivo, mantendo-se basicamente estável após atingir um clímax aproximadamente 7 após a instalação. Desta forma, foram feitas apenas coletas da vegetação para identificação, sem realizar podas para análise de biomassa.

Por outro lado, a vegetação presente na plataforma instalado no Pesqueiro se desenvolveu rapidamente, atingindo alturas de cerca de 2,35m, o que gerava maior resistência o que começou a oferecer resistência a ventos e desta forma optou-se por realizar podas a fim de evitar risco de tombamento, o que é recomendado por alguns autores (HEADLEY; TANNER, 2006).

As duas primeiras podas visaram manter o aspecto paisagístico e, portanto, foram menores, enquanto a terceira e quarta poda foram realizadas visando maximizar a remoção de biomassa, deixando a vegetação com 25cm de altura. As 3 primeiras podas tiveram intervalo médio de 2 meses entre si, enquanto houve um intervalo de cerca de 5 meses entre a terceira e a quarta poda, devido ao crescimento reduzido durante o período de inverno.

Tabela 15 - Podas realizadas no alagado flutuante instalado no Pesqueiro. São apresentados valores de massa úmida e seca para toda a plataforma e a proporção de massa seca. Os valores foram convertidos para kg/m² considerando a área da plataforma. Elaborado pelo Autor, 2020.

| Área do alagado: 5,6 m² | | | | | | |
|---|-------------------------|------------------------|------------------|-------------------------------|------------------------------|--|
| Data | Massa úmida (kg) | Massa seca (kg) | Proporção | kg/m² úmido | kg/m² seco | |
| 22/01/2019 | 17,5 | 6 | 34,3% | 3,13 | 1,07 | |
| 12/03/2019 | 18,4 | 6 | 32,6% | 3,29 | 1,07 | |
| 13/05/2019 | 144 | 54 | 37,5% | 25,71 | 9,64 | |
| 24/10/2019 | 42,5 | 15,3 | 36,0% | 7,59 | 2,73 | |
| Total | 222,4 | 81,3 | 36,6% | 39,71 | 14,52 | |

Dado que a maior parte das macrófitas emergentes são herbáceas, caracterizadas por não possuírem crescimento secundário, salvo raras condições e dependendo da idade da planta, sua massa de água é maior, podendo chegar a cerca de 80 a 90% do peso fresco (DIAS, 2008).

Com base nos valores obtidos em kg/m² de massa seca é possível fazer conversões como explicitadas na seção de métodos para estimar a taxa de remoção de matéria orgânica obtida no estudo. Obteve-se os valores de 590,93 ton.ha⁻¹.ano⁻¹ para massa fresca e 217,17 ton.ha⁻¹.ano⁻¹ para massa seca. Os valores de massa

seca obtidos foram aproximadamente 2 vezes maiores do que outros estudos que realizaram tratamento de água com alagados construídos com substrato e macrófitas aquáticas em experimentos de monocultivo no Brasil (MATOS; FREITAS; MONACO, 2014; LOPES et al., 2019), que apresentaram valores médios de 67,45 Mg ha⁻¹ ano⁻¹ matéria seca para *Cana indica* recebendo efluentes de esgoto doméstico (LOPES et al., 2019), e de 70 Mg ha⁻¹ ano⁻¹ para *Typha sp.* tratando efluentes de suinocultura (MATOS; FREITAS; MONACO, 2014).

Mesmo que o tamanho do AFC, com área de 5,61m² tenha correspondido a apenas 0,17% da área do lago conforme mencionado na Tabela 10, na seção 3.6.4 desta dissertação e por isso não ter refletido em mudanças significativas na qualidade da água como demonstrado pelas análises estatísticas apresentadas na seção 4.2.1.1, foi possível demonstrar que este tipo de plantio e taxa de crescimento teriam significado valores expressivos de remoção, caso o seu dimensionamento tivesse sido maior. De toda forma, a remoção de biomassa pela vegetação do AFC pode ter auxiliado no controle de biomassa fitoplanctônica através da competição por nutrientes na coluna de água como reportado por West e colaboradores (2017).

4.3.3. Serviço de provisão de habitat

Oito espécies de aves foram avistadas utilizando os AFC de forma ativa para atividades de pouso e caça. Estas espécies já se mostravam presentes nos locais de estudo antes da instalação do dispositivo, portanto, o alagado se tornou um habitat adicional podendo servir como aumento de pontos de caça, como área de descanso de travessia, de nidificação e para se alimentarem de frutos ou néctar das plantas no AFC. Adicionalmente, a posição do alagado afastada das margens garantia um local com menor influência antrópica.

Foram observados diversos registros de aves sobre a plataforma e a vegetação. Aves pequenas tinham maior facilidade para pouso sobre a vegetação e estiveram presentes principalmente na plataforma da Reserva (Figura 34 A). As aves grandes utilizaram toda a plataforma na fase em que a vegetação ainda não era tão densa ou logo após a poda (Figura 34 C), porém com o crescimento e dominância da vegetação, estas aves passaram a usar principalmente as bordas (Figura 34 B). Garças estiveram presentes em maior quantidade no alagado instalado no Pesqueiro, muito provavelmente devido a quantidade de peixes disponível para alimentação, usando a plataforma como ponto de caça (Figura 34 B-C).

O uso de AFC por aves é reportado em diversos outros trabalhos (PIPER et al., 2002; DESORBO et al., 2008; NAKAMURA; MUELLER, 2008; YEH; YEH; CHANG, 2015). Como mencionado no item 2.5.4 desta dissertação, os alagados flutuantes tem ajudado na manutenção de comunidades de aves, garantindo abrigo contra predadores e locais para nidificação (PIPER et al., 2002; SHEALER; BUZZELL; HEIAR, 2006).

De Sorbo e colaboradores (2008) aponta que é possível realizar incrementos nas plataformas como coberturas para evitar predação por aves de rapina, trazendo elementos incrementais para favorecer a fauna. Quanto a este aspecto, observou-se que algumas aves, em especial as de grande porte, apresentaram dificuldade para pousar sobre a vegetação em certos momentos. Foi levado em consideração a possibilidade da criação de elementos como poleiros, galhos ou adição de vegetação lenhosa sobre as plataformas, caso o intuito da construção do dispositivo seja de priorizar o uso pela avifauna, trazendo também a perspectiva do DT e LS com a observação, reflexão e adaptação ao longo do processo (MUELLER; THORING, 2012a; CORREIO; FLEURY, 2019). Outro tipo de abordagem para incentivo da avifauna seria a manutenção da vegetação sempre baixa ou o plantio de gramíneas (DESORBO et al., 2008).

Tabela 16 - Listagem de espécies de aves avistadas interagindo com AFC. É indicado o local de estudo no qual foi avistada e principal atividade (quando possível de identificação). P - Pesqueiro, R – Reserva. Fonte: Elaborado pelo Autor, 2020.

| Nome popular | Nome científico | Local | Ação principal |
|----------------------|---|-------|-----------------------------------|
| Bem-te-vi | <i>Pitangus sulphuratus argentinus</i> (Linnaeus, 1766) | R | Pousado sobre vegetação |
| Socozinho | <i>Butorides striata</i> (Linnaeus, 1758) | P | Pousado sobre plataforma; caçando |
| Sábia-laranjeira | <i>Turdus rufiventris</i> (Vieillot, 1818) | R | Pousado sobre vegetação |
| Lavadeira-mascarada | <i>Fluvicola nengeta nengeta</i> (Linnaeus, 1766) | P | Pousada sobre plataforma |
| Pé-vermelho | <i>Amazonetta brasiliensis</i> (Gmelin, 1789) | R | Pousada sobre plataforma; nadando |
| Garça-branca-pequena | <i>Egretta thula</i> (Molina, 1782) | P | Pousada sobre plataforma |
| Garça-branca-grande | <i>Ardea alba</i> (Linnaeus, 1758) | P | Pousada sobre plataforma |
| Garça-moura | <i>Ardea cocoi</i> (Linnaeus, 1766) | P/R | Pousada sobre plataforma; caçando |

Foi encontrado também um espécime de cágado-pescoço-de-cobra (*Hydromedusa tectifera* Cope, 1869) utilizando o AFC como ninho entre a vegetação

no Pesqueiro. Embora não tenham sido encontrados registros de trabalhos científicos da espécie na região, funcionários e frequentadores reportaram que este tipo de cágado não era avistado no local há mais de 10 anos que passou a ser avistado um período após a instalação do dispositivo, indicando que o dispositivo pode ter auxiliado no retorno deste animal para o lago por garantir uma área de habitação. Este tipo de ambiente e tamanho da plataforma condizem com locais utilizados pela espécie para nidificação conforme trabalhos publicados, demonstrando que existe o potencial para habitação e reprodução da espécie no local (FAGUNDES; BAGER, 2007; BAGER; ROSADO, 2010).



Figura 34 - Registros de vertebrados utilizando os AFC. A) Bem-te-vi (*Pitangus sulphuratus*) pousado sobre vegetação; B) Socozinho (*Butorides striata*) pousado sobre a plataforma; C) Garça-moura (*Ardea cocoi*) usando plataforma como área de caça e; D) Cágado-pescoço. Fonte: Elaborado pelo Autor, 2020.

O novo habitat formado pelo AFC também se mostrou promissor como local para desenvolvimento de juvenis de animais aquáticos. Foi registrada a presença de alevinos de peixes nadando entre a estrutura e nas proximidades da plataforma em diversas datas de amostragem no Pesqueiro e na Reserva. Em outubro de 2018 também se notou que girinos se encontravam em concentrações maiores no entorno da plataforma do que em outros pontos do lago da Reserva.

No lago do Pesqueiro foi reportado um aumento na preferência dos usuários pelo lançamento de anzóis na proximidade da plataforma, pois de acordo com dados

levantados com o questionário de opinião e de maneira não estruturada durante as visitas, os peixes aparentemente passaram a se concentrar próximo do AFC, criando um ponto estratégico para pesca. A maior concentração de peixes e outros animais aquáticos no entorno de AFC também é reportada em outros trabalhos (NAKAMURA; TSUKIDATE; SHIMATANI, 1997; BI et al., 2019)

Em relação aos invertebrados, foi registrado a presença de espécimes de oito ordens taxonômicas diferentes, sendo elas: Araneae, Coleoptera, Diptera, Hemiptera, Hymenoptera, Lepidoptera, Odonata e Pulmonata (classe Gastropoda) dentre os quais, foram encontrados indivíduos em vários estágios reprodutivos e tipos de atividade (Figura 35), demonstrando o desenvolvimento de processos ecológicos diversos e formações de cadeias tróficas entre eles. Um detalhe em relação a presença dos invertebrados é que estes começaram a ser observados em maior abundância dois meses após a instalação, o que indica que levou um período para que eles colonizassem o novo habitat, seja por migração das margens, por eclosão de ovos que poderiam estar presentes na vegetação utilizada no plantio das plataformas ou presente no solo utilizado como substrato inicial. Nakamura e colaboradores (1997) reportaram em um estudo no Japão a presença de invertebrados das ordens Araneae, Coleoptera, Diptera, Hemiptera e Hymenoptera, também reportadas neste trabalho, com a verificação da presença de três ordens a mais, Lepidoptera, Odonata e Pulmonata. É provável que a taxa de colonização por invertebrados terrestres seria mais rápida, bem como a quantidade de organismos, caso o posicionamento das plataformas fosse mais próximo das margens.

Os AFC se mostraram eficientes na criação de habitat (contribuição de regulação) com o fornecimento de local de alimentação (caça e herbivoria), nidificação e reprodução para grupos de vertebrados e invertebrados

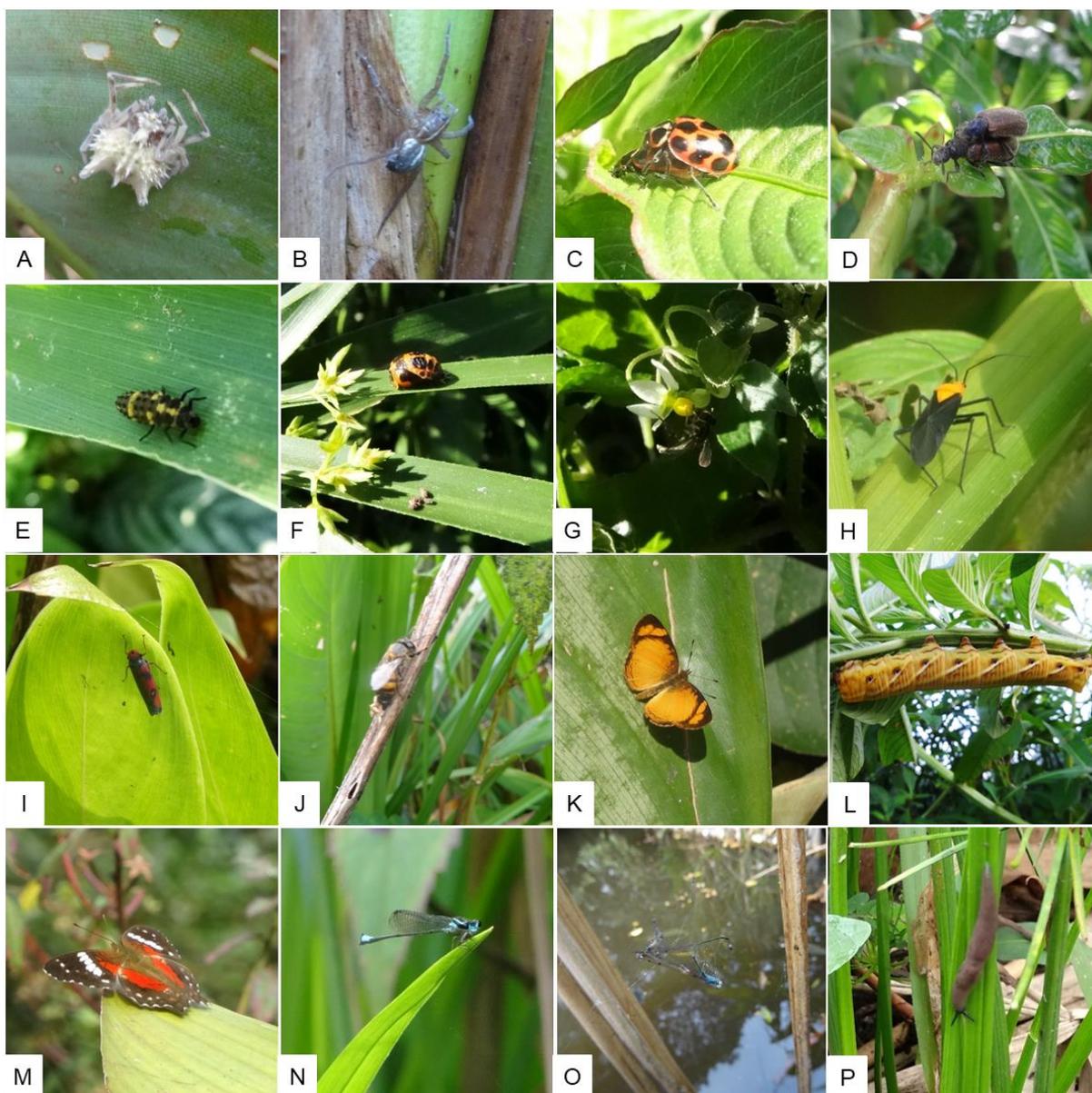


Figura 35 - Registro de invertebrados utilizando os AFC. Fotos representativas de indivíduos das ordens taxonômicas Araneae (A-B), Coleoptera (C-F), Diptera (G), Hemiptera (H-I), Hymenoptera (J), Lepidoptera (K-M), Odonata (N-O) e Pulmonata (classe: Gastropoda) (P). São representados estágios de vida diversos como reprodução (C e D), juvenil com ninfa (E) e eclosão da pupa de coleóptero e larva de lepidoptera (K). O espécime de libélula (Odonata) preso em teia aranha (Araneae). Fonte: Elaborado pelo Autor, 2020.

4.3.4. Opinião e perspectivas ambientais das pessoas

4.3.4.1. Dados de visitação e validação do questionário

Com base em dados cedidos para fins exclusivos de pesquisa pela administração do pesqueiro, verificou-se que o público médio diário de visitantes é de 70 pessoas (visitação máxima 137, mínima 6, mediana 75 e desvio padrão ± 38). A maior concentração de pessoas se dá aos finais de semana com um total de 59% do

número total (22% aos sábados e 37% aos domingos). Foi reportado pelos funcionários que feriados podem chegar a ter público similar aos dias de final de semana.

O teste piloto foi elaborado com quatro modelos diferentes de questionário aplicados com 12 participantes, sendo que cada um dos modelos foi respondido por três participantes. Verificou-se que o tempo médio de resposta foi de 11min 35s (Máx. 20min55s, Mín. 07min39s).

Para as entrevistas oficiais, foi selecionado, portanto os dias de final de semana e utilizou-se como base o modelo do questionário que apresentou menor tempo de resposta visando diminuir o esforço amostral e tempo por entrevista disponibilizado pelos participantes.

4.3.4.2. *Quantidade de pessoas entrevistadas*

Foram abordadas 54 pessoas para a realização da pesquisa, sendo que 50 concordaram em participar, correspondendo a uma taxa de aceitação de 93%. Da amostra, 42 (84%) entrevistados eram do gênero masculino e 8 (16%) feminino, com idade mediana de 38 anos (18-72 anos, Q1: 26,5; Q3: 51,25). Em relação a escolaridade, 1 (2%) respondente não teve acesso à educação formal, 8 (16%) cursaram o ensino fundamental total ou parcialmente, 25 (50%) cursaram ensino médio total ou parcialmente e 16 (32%) cursaram ensino superior total ou parcialmente.

Em relação a renda familiar, 3 (6%) respondentes reportaram receber menos de 1 salário mínimo²⁴, 18 (36%) recebiam entre 1 e 3, 16 (32%) recebiam entre 3 e 6, 7 (14%) entrevistados tinham faixa de renda entre 6 e 9 salários e 2 (4%) entrevistados afirmaram receber acima de 9 salários mínimos. 4 (8%) os entrevistados não quiseram ou não souberam opinar a respeito da renda familiar. A mediana de residentes na mesma casa era de 3 (1-6 residentes, Q1: 2, Q3:4) e a mediana de contribuintes na residência foi de 2 pessoas (1-4 contribuintes, Q1: 1; Q3: 2).

Dessa forma, foi possível verificar que a maior parte do público entrevistado eram do gênero masculino, com idade aproximada de 38 anos, com formação educacional de nível de ensino fundamental e com média salarial de variando entre 1 e 6 salários mínimos.

²⁴ Foi considerado o salário mínimo de R\$ 1.163,55 para o ano de 2019 para o estado de São Paulo.

4.3.4.3. *Visitação ao pesqueiro*

Foi também questionado aos entrevistados sobre a visitação a pesqueiros com a finalidade de saber o tipo de contato, frequência e esforço de deslocamento até a área estudada.

Em relação ao histórico de visitas, a mediana da frequência de visitas dos entrevistados ao local foi de 12 meses (0-240 meses, Q1: 2; Q3: 42), com mediana de 1 visita mensal (0-5 vezes ao mês, Q1: 1; Q3: 2). Dentre os entrevistados, 33 (66%) frequentam outros pesqueiros enquanto 17 (34%) tem o Pesqueiro do Carmo como único local para prática de pesca esportiva.

O tempo mediano gasto no deslocamento foi de 20 min (7-150 minutos, Q1: 15; Q3: 30) e mediana de 10 km percorridos (2-31 km, Q1: 6; Q3: 15). Quanto a forma de transporte, 29 (58%) dos entrevistados vai até o local dirigindo, 17 (34%) de carona e 2 (4%) utilizando taxi, Uber ou similares, totalizando 96% dos usuários utilizando transporte privativo, enquanto 2 (4%) utilizavam transporte público. Nenhum respondente utilizava bicicleta ou caminhada como forma de locomoção até o local.

Considerando o esforço de visitação, 10km que é a distância que a maior parte dos entrevistados percorre para visitar o Pesqueiro é algo elevado comparando com áreas de lazer na natureza de acordo com um estudo realizado em Curitiba (HILDEBRAND; GRAÇA; MILANO, 2001). Muito embora, pesqueiros não são um tipo de empreendimento que se encontra distribuído homoganeamente na RMS (CARVALHO; MENEZES, 2011), havendo uma maior concentração nas áreas periféricas.

4.3.4.4. *Percepção ambiental*

Sobre a percepção ambiental, os entrevistados responderam duas perguntas gerais e duas perguntas sobre os AFC com seis opções utilizando escala Likert entre 0 e 5, sendo 0 discordo plenamente e 5 concordo plenamente. Esse tipo de variação diferente das escalas tradicionais (MONTGOMERY, 2002), uma vez que seis graus evita o viés da imparcialidade, na qual respondentes que não querem se comprometer com uma resposta optam pela um valor central.

A primeira questão geral pedia para o respondente dizer o grau de concordância com a seguinte frase com base no trabalho de Palma (2005): *“Atualmente, vivemos uma grave crise ambiental com sérios problemas ligados à*

poluição, à escassez de recursos e à extinção de espécies vegetais e animais que comprometem a qualidade de vida do homem". Os resultados (Tabela 17) mostraram que 72% dos entrevistados concordam com a afirmação em seu grau máximo (mediana 5; Q1: 4, Q3: 5), mostrando que existe uma percepção de que os problemas ambientais comprometem a qualidade de vida humana.

Tabela 17 - Percepção ambiental geral avaliando concordância com a frase "Atualmente, vivemos uma grave crise ambiental com sérios problemas ligados à poluição, à escassez de recursos e à extinção de espécies vegetais e animais que comprometem a qualidade de vida do homem". Escala Likert de 0 a 5, sendo 0 discordo plenamente e 5 concordo plenamente. Elaborado pelo Autor, 2020.

| Valores da escala Likert | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | Total |
|--------------------------|----|----|----|----|-----|-----|-------------|
| Frequência | 1 | 0 | 1 | 4 | 8 | 36 | 50 |
| Porcentagem | 2% | 0% | 2% | 8% | 16% | 72% | 100% |

A segunda pedia para os respondentes avaliarem entre cinco opções, qual era o problema ambiental que ele julgava necessitar maior atenção. Esta questão foi adaptada de Palma (2005), visando agilizar o tempo de resposta. No trabalho da autora, era solicitado aos entrevistados que ordenassem em grau de importância todos os problemas listados na Tabela 18. A poluição das águas foi a mais importante (34%), seguida pela geração de lixo e resíduos (22%). Existe a possibilidade de o maior número de respondentes ter indicado a poluição das águas como a questão ambiental de maior urgência por conta do tipo de atividade de lazer que os respondentes praticam estar ligada a qualidade da água, no caso, a pesca esportiva.

Tabela 18 - Avaliação do problema ambiental mais importante na visão dos respondentes dentre 5 opções listadas. Elaborado pelo Autor, 2020.

| Problema ambiental mencionado | Frequência | Porcentagem |
|-----------------------------------|------------|-------------|
| A poluição das águas | 17 | 34% |
| O lixo e os resíduos gerados | 11 | 22% |
| O aquecimento do clima do planeta | 10 | 20% |
| A extinção de animais e plantas | 7 | 14% |
| A poluição do ar | 5 | 10% |
| Total Geral | 50 | 100% |

Estas foram as questões gerais de percepção ambiental. A seguir estão as respostas da percepção ambiental voltada aos AFC.

Foi realizada uma questão aberta perguntando aos entrevistados quais os benefícios que eles acreditavam que o AFC poderia gerar, em outras palavras, qual

era a justificativa para a presença daquele dispositivo no centro do lago. Esta pergunta foi feita sem dar informações sobre o funcionamento ou propósito do AFC, sendo este o primeiro momento da entrevista no qual o dispositivo foi mencionado. As respostas foram anotadas nos formulários de resposta e posteriormente categorizadas. Foram elaboradas 10 categorias, sendo oito delas consideradas positivas, uma com aspecto negativo e uma classificada como neutra. A menção das categorias está apresentada em percentual uma vez que foram destacadas 99 frases dos registros dos entrevistados (Tabela 19). As categorias elaboradas com base nas respostas foram correlacionadas com as categorias das NCP de acordo com a publicação de Díaz e colaboradores (2018b), traçando paralelos entre as percepções dos usuários sobre o AFC com os SE prestados por ele.

Tabela 19 - Categorias criadas de acordo com opiniões abertas dos entrevistados sobre as justificativas para a presença do dispositivo no lago. As justificativas foram listadas de acordo com o sentido indicado pelos entrevistados com base em trechos das respostas. As NCP estão listadas de acordo com os números mencionados por Díaz et al. (2018b) elencados na Figura 30. Fonte: Elaborado pelo Autor, 2020.

| Categoria | Justificativa | Aspecto | Percentual | NCP |
|---|--|----------------|-------------------|---------------|
| Uso pelos peixes | Servir como abrigo, local para reprodução ou como alimento | + | 32% | 1 |
| Função de referência física e/ou barreira | Evitar que anzóis se cruzem dentro do lago, diminuindo conflitos entre os usuários | + | 19% | 17 |
| Melhoria da água | Através da purificação pelas plantas e melhoria de parâmetros de qualidade de forma geral | + | 18% | 6, 7 |
| Embelezamento estético | AFC funcionaria como um jardim ornamental na região central do lago, com apresentação de flores ao longo das estações, atrair pessoas para o local | + | 9% | 13, 16, 17 |
| Atração dos peixes | Garantir benefícios ao pescador com a criação de ponto estratégico para pesca | + | 6% | 12, 16 |
| Simular um ambiente natural | Auxiliar na qualidade de vida dos peixes e outros animais; beneficiar os usuários através de bem-estar e aumento de contato com a natureza, servindo como relaxamento e inspiração | + | 5% | 1, 15, 16, 17 |
| Uso pelas aves | AFC como local para alimentação, pouso e abrigo | + | 4% | 1, 12, 16 |
| Enroscar anzóis | AFC servindo como um ponto no qual os usuários perdiam seus anzóis ao enroscar-los arremessando | - | 3% | 13 |

(Continua)

(Continuação)

| Categoria | Justificativa | Aspecto | Percentual | NCP |
|--|---|----------------|-------------------|--|
| Produção de microrganismos (algas e bactérias) | AFC funcionaria como um local no qual mais bactérias poderiam se desenvolver, fossem elas benéficas ou prejudiciais | neutro | 2% | 1, 10, 14 |
| Segurança | Reduzir potenciais impactos | + | 1% | 9 |
| Total geral | | | 100% | 1, 6, 7, 10, 12, 13, 14, 15, 16, 17 |

A maioria das opiniões (32%) indicava que o dispositivo tinha funções relacionadas aos peixes, podendo gerar benefícios e melhorias na qualidade de vida deles. Alguns entrevistados que frequentam o pesqueiro a bastante tempo relataram sentir diferenças na força com a qual os peixes estavam fisingando após a instalação do dispositivo, apresentando mais força dos animais na água. Esse aspecto foi indicado como positivo, uma vez que o efeito gera maior grau de entretenimento na pescaria esportiva. Além disso, os comentários dos pescadores indicaram que o AFC deva estar oferecendo condições favoráveis ao desenvolvimento da fauna, como indicado pela categoria 1 dos NCP (DÍAZ et al., 2018b), sendo que melhorias na saúde dos peixes é um dos pontos ressaltados pela empresa Biomatrix Water (2019b) em seus projetos com alagados flutuantes.

A segunda maior quantidade de opiniões foi categorizada como função de referência física e/ou barreira (19%). Esse resultado condiz com a expectativa que o proprietário do Pesqueiro apresentou na fase de imersão da técnica de DT e LS (vide resultados apresentados no item 3.6.1). Os respondentes reportaram que era frequentes os casos de anzóis lançados de lados opostos se prendessem, gerando atritos entre os usuários, perdas de equipamento pelo rompimento de linhas, por atrapalhar a pescaria de outro usuários e por tomar tempo útil de pescaria enquanto a questão é resolvida entre as pessoas envolvidas. Nesse aspecto, os usuários trouxeram em suas respostas que o AFC estava atendendo esta função e mesmo que ocasionalmente algumas boias e anzóis ficassem presos na vegetação da plataforma, eles julgavam melhor do que ter um atrito com outro pescador. Nesse aspecto, o AFC pode promover benefícios sociais, como mencionado por Keniger e colaboradores (2013) e na categoria 17 das NCP, promovendo harmonia social e coesão entre as

peças, bem como reduzindo atritos e atitudes violentas que perturbassem o espaço destinado a lazer e relaxamento (DÍAZ et al., 2018b).

Outro aspecto importante percebido pelos usuários é o da melhoria da qualidade da água que poderia ser gerado através do papel da vegetação, tendo sido reportado em 18% dos comentários livres. A qualidade da água é um dos aspectos mais reportados na literatura e é o objetivo da maioria das publicações sobre AFC (VIAGGIU et al., 2004; JONES et al., 2017; OLGUÍN et al., 2017; WEST et al., 2017). De fato, a vegetação apresenta papel fitorremediador e é interessante notar que as pessoas percebem esse aspecto ao opinarem sobre o dispositivo. Esse tipo de função está atrelado diretamente com a categoria 7 das NCP, com melhoria da qualidade da água através de filtração de partículas, remoção de patógenos, excessos de nutrientes e outros aspectos negativos. De maneira indireta, os AFC podem auxiliar na regulação do fluxo de água (categoria 6 das NCP), podendo por exemplo, auxiliar na redução de vazão de pico dependendo da sua montagem projetual, embora não tenha sido o caso para as aplicações realizadas nesta dissertação (DÍAZ et al., 2018b).

Em relação ao aspecto paisagístico, 9% das frases categorizadas faziam menção a esse atributo gerado pela presença dos AFC. As respostas estavam ligadas a aspectos como a ornamentação florística espontânea que foi se desenvolvendo ao longo do projeto, uma vez que diversas espécies com flores estavam presentes na ilha na época da entrevista. Inclusive, algumas respostas de pescadores frequentes no local mencionaram e faziam cumprimentos em relação as diferentes florações que estavam se mostrando. Outro ponto mencionado é de que a presença de vegetação no centro do lago oferecia uma ornamentação que não existia em outros pesqueiros. Esse é um ponto importante a ser ressaltado, pois diversas pesquisas mencionam esse aspecto (HEADLEY; TANNER, 2006; YEH; YEH; CHANG, 2015; PAVLINERI; SKOULIKIDIS; TSIHRINTZIS, 2017), entretanto não foram encontradas publicações que fizessem esse tipo de avaliação que está correlacionado com a categoria 16 das NCP (DÍAZ et al., 2018b). A categoria de resposta criada também foi correlacionada com os itens 13, pois os seres vivos utilizando o AFC ofereciam aspectos ornamentais e a 17, uma vez que foi identificado um senso de conexão com o Pesqueiro através do AFC instalado, bem como uma sensação de satisfação em saber que esse tipo de ambiente existe em pesqueiros.

A atração de peixes foi a categoria que representou 6% das respostas, que tinham conexões com a forma que os peixes passaram a se concentrar próximo a plataforma. Os entrevistados reportaram que passaram a utilizar os arredores da plataforma como ponto de lançamento, pois sentiam que os peixes passaram a se concentrar ali. A presença maior de peixes e outros animais aquáticos é reportado em outros estudos (NAKAMURA; TSUKIDATE; SHIMATANI, 1997). Uma das razões para isso é de que os alagados passaram a funcionar como uma ‘margem’ na região central, que é uma das regiões dentro do corpo hídrico na qual muitas espécies costumam preferir pela maior concentração de indivíduos nos diversos níveis tróficos, pela proteção oferecida contra predadores e por oferecer águas mais tranquilas (MDC,s.d.). Uma vez que esta categoria parte da perspectiva humana através da provisão de alimento com o animal pescado, ela se enquadra na categoria ligada a alimentação (NCP n. 12), bem como a promoção de experiências de lazer através da pescaria que se encontrada na categoria 16 (DÍAZ et al., 2018b).

Dentre os comentários feitos pelos respondentes, 5% deles se remetiam ao AFC como um sistema de simulação de ambientes naturais. Foram mencionados aspectos como auxiliar na qualidade da vida dos peixes que por imitar as condições naturais “*podiam deixar os animais menos estressados*” como reportado por um dos entrevistados. Quanto a este aspecto, a resposta se enquadra na categoria 1 por criar um habitat que favoreça a vida dos seres vivos (DÍAZ et al., 2018b).. A simulação de um ambiente natural também foi associada com o bem-estar promovido aos visitantes que se beneficiariam por estarem em uma área “*com mais contato com a natureza*”, promovendo sensações de relaxamento e inspiração, que está de acordo com as categorias 15 e 16 das NCP (DÍAZ et al., 2018b). Dentre as respostas também foi mencionado os proprietários estavam criando um espaço diferenciado por adicionar elementos naturais no lago, que de fato faz parte da missão do empreendimento que é “*prover um momento de descanso, lazer e diversão, sempre respeitando a natureza*” (PESQUEIRO DO CARMO, 1998) e está alinhado com a categoria de suporte à identidade (NCP n. 17) contribuindo com as pessoas através da satisfação em saber que um dado tipo de local existe (DÍAZ et al., 2018b).

O uso pelas aves foi a função reportada por 4% dos entrevistados. Esta função foi mencionada pelos entrevistados que puderam observar diversos momentos nos quais elas pousavam, usavam ou permaneciam no AFC. Esse tipo de interação já foi

discutido em detalhes nos itens 2.4.4 e 4.3.3 desta dissertação. Vale ressaltar que este tipo de contribuição está ligada diretamente com a categoria 1, de provisão de habitat e condições para existência dos organismos, com a categoria 12 ao servir de provisão de alimento para as aves, uma vez que elas utilizavam a plataforma tanto como ponto de observação para caça de peixes e invertebrados presentes na plataforma quanto obtendo frutos e néctar das plantas ali presentes. Também se enquadra na categoria 16 com a possibilidade da prática de observação das aves.

A categoria que mencionada a função do AFC para a “produção de microrganismos (algas e bactérias)” correspondeu a 2% das respostas. As respostas dos entrevistados apenas mencionavam de forma simples, por exemplo “*serve para os microrganismos*” e permitiram identificar se esse tipo de função era percebido como positiva ou negativa sendo classificada, portanto, neutra. Uma possível explicação para esse destaque é de que o florescimento de algas durante o verão é comum durante o verão e leva a alterações nos aspectos da água, elevam a mortalidade de peixes e com isso torna a dimensão microbiológica mais perceptível aos visitantes. O aumento da concentração de microrganismos é efeito prejudicial reportado para locais e podem gerar perdas biológicas e econômicas (SILVA, 2005). Por outro lado, os microrganismos também são desejados em sistemas de aquacultura, pois como reportado item 3.6.1, existe um investimento do proprietário para promover a presença de microrganismos com fins prebióticos e probióticos. Nesse aspecto, os AFC funcionariam auxiliando tanto na remediação dos aspectos negativos com a diminuição de algas pela remoção de excesso de nutrientes (WEST et al., 2017) quanto pela promoção de uma rica diversidade microrganismos que podem funcionar como suplemento alimentar para os animais aquáticos (URAKAWA; DETTMAR; THOMAS, 2017). Dessa forma, as categorias de NCP identificadas para essa resposta foram a 1, provendo condições para a existência de microrganismos com a criação de micro habitats e a categoria 10 pelo controle da eutrofização (DÍAZ et al., 2018b).

A categoria segurança foi gerada com base em apenas uma resposta, entretanto não ficou claro na entrevista de que forma o AFC poderia contribuir com fins de proteção. Uma aproximação de categoria seria a de regulação de perigos e eventos extremos através da melhoria ecossistêmica e redução de impactos sofridos pelos seres humanos causados por ventos, ondas de calor, altos níveis de barulho e controle de alagamentos (DÍAZ et al., 2018b) que não estavam diretamente explicitas

nas aplicações dos AFC no contexto dessa dissertação, mas podem ser associadas com outros projetos utilizando essa tipologia de IV (BONZI, 2015).

A única categoria que remeteu a aspectos negativos extraída a partir das respostas dos entrevistados foi a de “enroscar anzóis” e correspondeu a 3% da amostra. Na perspectiva de alguns entrevistados, a plataforma servia como uma forma do pescador encorajar os visitantes a adquirirem novos equipamentos. Alguns reportaram perdas consecutivas de boias que ficaram presas no local, desestimulando a permanência no local, bem como criando situações de estresse. Durante as visitas para manutenção e acompanhamento da plataforma, as boias e anzóis eram removidos da plataforma e alguns pescadores se aproximavam para pegar as boias, porém não era possível identificar no primeiro momento qual boia pertencia a dado pescador, sendo este um aspecto mencionado nas respostas. Dessa forma, a categoria gerada pelas respostas se associada a categoria 13 das NCP, ligadas a bens materiais, porém da perspectiva negativa, ou seja, de perdas e prejuízos (DÍAZ et al., 2018b). Este ponto traz um elemento mencionado na introdução deste capítulo onde apresenta que o termo de SE passou por atualizações para passar a capturar efeitos tanto positivos quanto negativos aos seres humanos (DÍAZ et al., 2018a). Essa perspectiva negativa em relação ao projeto gerou desdobramentos que serão apresentados adiante no item 4.3.6.

Prosseguindo com a análise do questionário, foi solicitado aos participantes que avaliassem em uma escala de 0 a 5 o grau de concordância para as seis frases (**Erro! Fonte de referência não encontrada.**) envolvendo aspectos de percepção da funcionalidade, aprovação do projeto, incentivo a incremento e percepções contrárias a presença do AFC (Q.18). Considerando que notas de 0 a 2 sejam contrárias a afirmação e as entre 3 e 5 sejam favoráveis, temos que 80% dos usuários avaliaram positivamente o AFC quanto a utilidade para a qualidade de água, 88% avaliaram positivamente para a utilidade à vida silvestre e 76% avaliaram positivamente a utilidade de beleza paisagística. Quanto a aprovação do projeto, 92% dos respondentes eram favoráveis. Em relação a incentivar o aumento da quantidade de ilhas, 58% demonstrou parecer favorável. Quanto a esta frases, muitos entrevistados argumentavam sobre como seria esse incremento, pois caso fosse para aumentar a quantidade de ilhas espalhadas pelo lago haveria uma visão negativa, porém ampliar a área da plataforma existente era tido como favorável. A respeito da última frase que

questionava sobre efeitos negativos oferecidos pelo AFC, a maior parte dos respondentes (86%) afirmou que a presença do dispositivo não atrapalhava a prática esportiva.

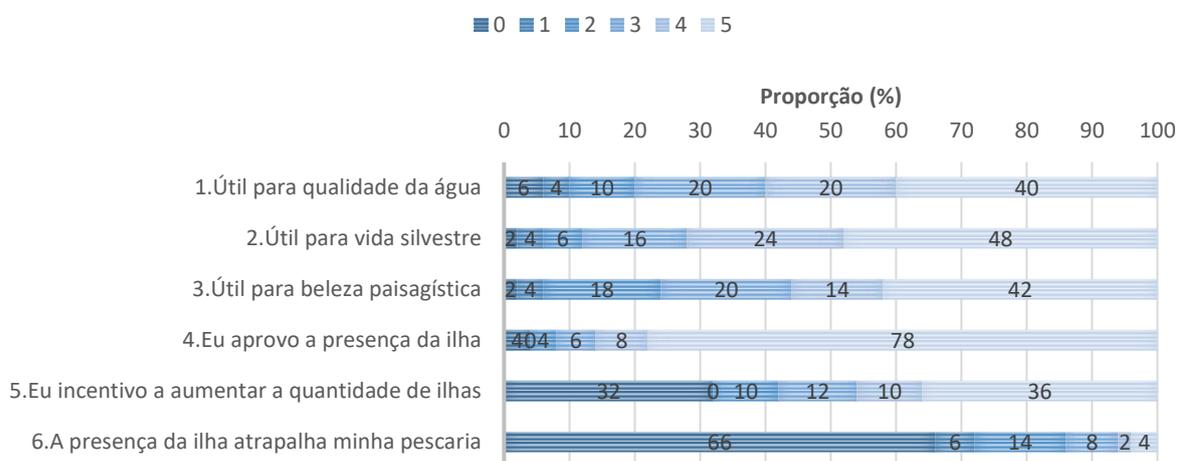


Figura 36 - Avaliação da concordância entre as afirmações relacionadas a função dos AFC, aprovação/desaprovação do dispositivo e incentivo à ampliação do projeto. Escala Likert de 0 a 5, sendo 0 discordo plenamente e 5 concordo plenamente. Fonte: Elaborado pelo Autor, 2020.

Essa avaliação serve como elemento de resposta a última fase da metodologia combinada do DT e LS na etapa de feedback e validação (vide item 3.5.1.3). Conforme apontado por Mueller e Thoring (2012b), o DT usa técnicas de avaliação qualitativa através de entrevistas etnográficas para testar e validar o produto gerado. Essa etapa serve como repositório para novas ideias e aprimoramentos das soluções já existentes. Essa questão melhor discutida com maior aprofundamento em conjunto com a seção de valoração ambiental.

4.3.4.5. Valoração dos serviços ecossistêmicos prestados pelos Alagados Flutuantes Construídos

Em relação a tendência de valoração ambiental, foram feitas duas questões sequenciais. A primeira (Q.19) pedia que as pessoas observassem o dispositivo no lago por alguns instantes e dissessem quanto eles pagariam por aquele dispositivo caso fossem proprietários de um lago sem dar nenhuma informação adicional, além das que ele havia recebido inicialmente com a leitura do termo de consentimento livre e esclarecido e do que poderia ser inferido com base nas questões anteriores. Foi feito um sistema de valoração misto utilizando jogo de ofertas iniciando com R\$ 1.000 (mil reais). Caso o valor ultrapassasse o teto da escala estipulado em R\$1.600, era

requisitado que ele fizesse um lance livre. Nesta questão, a mediana dos valores apontada pelos respondentes foi de R\$ 1000 (1ºQ: R\$ 600 – 3ºQ: R\$1.600), sendo que 4 respondentes disseram que não pagariam nada pelo dispositivo (Tabela 20).

A questão 20 dava informações sobre o dispositivo instalado no lago com dados coletados ao longo da pesquisa e de dados da literatura com o seguinte texto:

“(A ilha) serve para melhorar a qualidade da água e no período de 10 meses desde a instalação, foram tirados cerca de 200kg de matéria orgânica da água. Ela também está servindo de abrigo para vários animais como pássaros, borboletas, besouros e até mesmo tartarugas que vivem no lago. A ilha também pode melhorar a saúde dos peixes, pois eles se alimentam das raízes e das bactérias que crescem grudadas ali. Além disso, muitas plantas que não conseguem se desenvolver na margem do lago por conta do uso intenso dos pescadores estão encontrando na ilha um lugar para se desenvolver. E esse tipo de tecnologia tem sido utilizada em outros países para limpar rios em áreas urbanas parecidos com o Tietê e o Pinheiros.” (vide Apêndice O, 5º bloco),

Após essa explicação, era feito novamente o jogo de ofertas e caso o valor ultrapassasse o valor máximo da escala, requisitado que o participante desse um lance livre. Para essa questão, a mediana foi de R\$1.700 (1ºQ: R\$ 1.000 – 3ºQ: R\$3.000) e todos os participantes disseram que pagariam pelo dispositivo (Tabela 20).

Houve uma tendência de valorização do valor atribuído ao dispositivo na resposta de 82% dos entrevistados quando comparando as questões 19 e 20. Além disso, o valor médio indicado pelos participantes subiu 52%. Inicialmente, 8% dos participantes disseram não estarem dispostos a pagar pelo dispositivo, entretanto, após a apresentação das informações, todos concordaram em pagar, sendo o menor valor atribuído pelo AFC de R\$ 600. Foi possível notar que as pessoas valorizam mais os dispositivos de prestação de serviço quando elas entendem qual a finalidade deles.

Tabela 20 - Valores indicados pelos entrevistados quanto a estarem dispostos a pagar pelo alagado flutuante construído em reais antes e após explicar e dar informações sobre o projeto. Elaborado pelo Autor, 2020.

Valores (Reais)

| | Mín. | Máx. | Mediana | 1°Q | 3°Q |
|---|------|--------|---------|-------|-------|
| Valor disposto a pagar sem dar informações sobre o projeto | 0 | 5.000 | 1.000 | 600 | 1.600 |
| Valor disposto a pagar após dar informações sobre o projeto | 600 | 10.000 | 1.700 | 1.000 | 3.000 |

Partindo dos resultados obtidos através das respostas dos entrevistados, houve a percepção de que a solução ambiental gerada através do AFC instalado no lago teve o seu valor reconhecido e definido tanto de forma qualitativa (Figura 36) quanto quantitativa (Tabela 20). Com base nisto, foi realizado o teste estatístico de PCA buscando verificar possíveis fatores socioeconômicos ou de percepção ambiental que pudessem estar correlacionados com o valor atribuído antes (Q.19) e depois (Q.20) de apresentar o projeto de forma integral para os entrevistados.

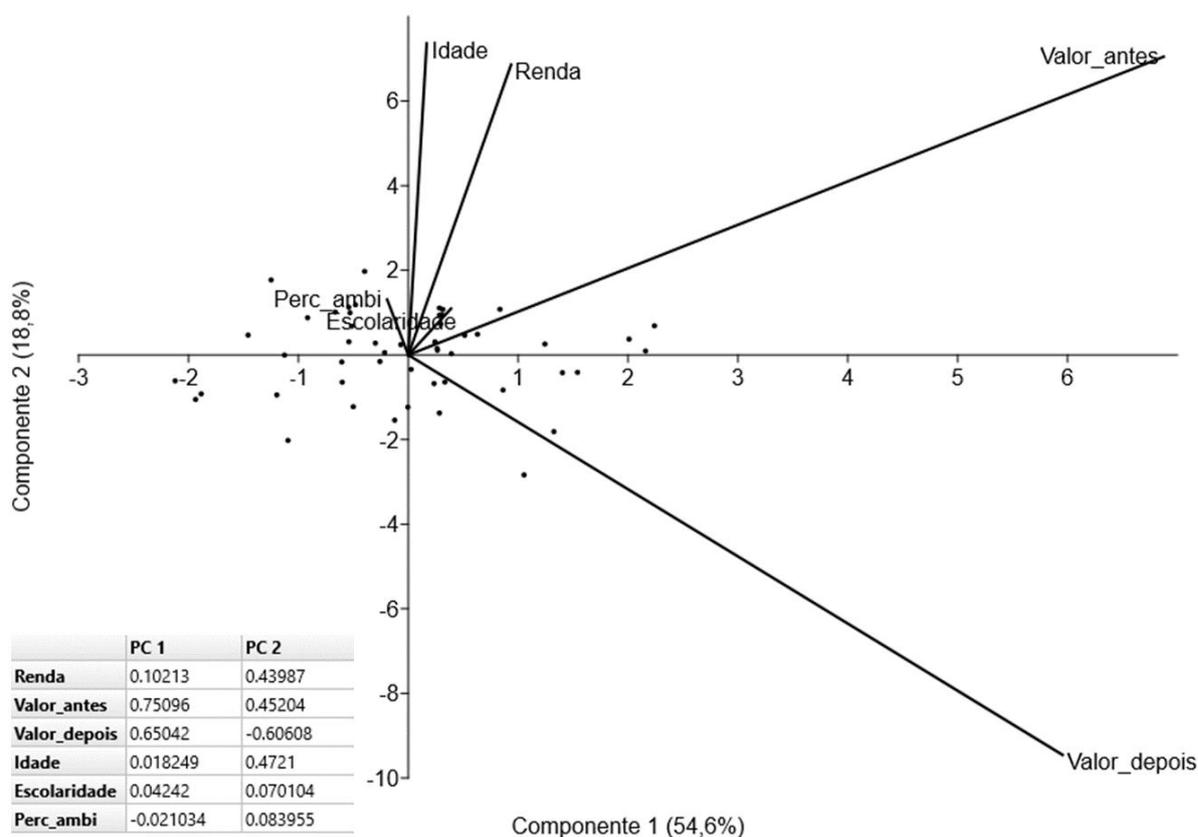


Figura 37 - Análise de Componentes Principais (PCA) de correlação de variáveis socioeconômicas, percepção ambiental e valoração dos AFC. Foram analisados dados de idade, faixa de renda, grau de escolaridade, percepção ambiental (perc_ambi) e valor atribuído aos AFC antes (valor_antes) e depois (valor_depois) de fornecer informações aos entrevistados. Análise feita com os valores transformados em escala log-10. Tabela no canto inferior esquerdo indica a contribuição de cada variável para os componentes. Fonte: Elaborado pelo Autor, 2020.

Analisando os resultados da PCA apresentados na Figura 37, temos que as contribuições para os resultados dos valores antes e depois de informar os resultados

parciais e funcionamento do dispositivo contribuíram fortemente para ambos os componentes. Em relação ao componente 1, no qual as variáveis apresentam valores de carregamento expressivos (0,75 e 0,65 para valor_antes e valor_depois respectivamente) está ligado ao fato a valoração apresentou tendências no mesmo sentido, ou seja, aumentando, pois 82% dos participantes aumentaram o quanto estariam dispostos a pagar após receberem informações adicionais sobre os benefícios ambientais, enquanto 18% manteve a mesma proposta inicial, porém nenhum entrevistado diminuiu o valor oferecido.

As variáveis de renda e de idade se mostraram próximas na análise de PCA, sendo está uma tendência natural, uma vez que pessoas mais velhas costumam ter maiores salários devido a experiência e tempo de serviço, estando também no mesmo quadrante que corresponde ao valor de oferta dado inicialmente pelos entrevistados (Q.19). Isto pode indicar que para a oferta inicial, a renda dos entrevistados deve ter sido um dos fatores relevantes.

Enquanto isso, o valor atribuído ao dispositivo após serem dadas as informações adicionais (Q.20) esteve correlacionado de forma oposta a renda, indicando que receber detalhes e resultados do projeto devem ter exercido maior peso para a valoração monetária do dispositivo.

Os componentes de percepção ambiental extraído com base na questão 15 do questionário e o grau de escolaridade estiveram fracamente relacionados com ambos os componentes extraídos pela PCA.

Confrontando os resultados encontrados com a literatura, temos que de acordo com Navrud e Mungatana (1994), pessoas com maior renda são mais dispostas a pagar por SE. Também existe um pressuposto de que pessoas com maior grau de instrução educacional teriam compreensões mais profundas sobre a importância dos SE e também os valorizariam. Além de que maior grau de instrução está muitas vezes correlacionado com escolaridade. Conforme explicado pelos mesmos autores, com melhores rendas tenham maior disponibilidade de recursos para utilizar em recreação, lazer e benefícios ambientais, bem como maior disposição em pagar que pode ser percebido com a aplicação de modelos como o de custo viagem (MCV) (VANTINE, 2010).

Para os resultados obtidos na análise dessa dissertação, a renda e a escolaridade de fato estiveram mais proximamente relacionadas com a disposição em

pagar pelo dispositivo inicialmente, porém o valor atribuído posteriormente seguiu uma tendência oposta aos componentes de renda e escolaridade. Isso pode significar que as informações obtidas estavam mais ligadas com a compreensão dos valores intrínsecos do AFC que é mais fortemente relacionado a percepção ambiental, ao senso de lugar e da dimensão existencial (MARIN, 2015) e também à educação ambiental, pois a apresentação dos resultados foi uma forma de instruir a respeito de um dado assunto, também aumentando o valor atribuído (PALMA, 2005). Em suma, acredita-se que a educação ambiental pode ser uma forma das pessoas valorizarem mais os benefícios ambientais, independente de aspectos financeiros ou educacionais anteriores e que o próprio de interação, neste caso um pesqueiro, pode servir como local de ensino ambiental.

Os AFC instalados no lago serviram como a criação de um novo ambiente gerando aspectos diferentes dos oferecidos anteriormente. Neste caso, o projeto pode ser visto como um bem e serviço ambiental adicional que passou a oferecer diversos benefícios para as pessoas, ou contribuições e, portanto, passível de valoração. Por mais que não tenham sido aplicados os modelos de valoração ambiental de forma integral, foram utilizados conceitos dos MCV e do MVC (VANTINE, 2010). Ao incluir na análise a disposição dos usuários em se deslocarem até o pesqueiro, avaliadas pelas respostas de tempo e distância de deslocamento e de pagarem pelo dispositivo, utilizou-se componentes do MCV. Ao valorar a prestação de SE através de questionários e utilizando em conjunto o artifício de jogo de ofertas e de lances livres, utilizou-se componentes do modelo MVC. Essas adaptações dos métodos de valoração ambiental permitiram conceber percepções em relação aos AFC dentro do contexto urbano da cidade de São Paulo tendo um pesqueiro como local de estudo, o que abre a porta para estimar valores para esse tipo de aplicação no contexto brasileiro, uma vez que seu uso ainda é escasso.

Com base nos valores atribuídos pelos usuários foi possível fazer uma extrapolação dos dados para permitir compará-los com os valores de AFC apresentados na literatura. As questões 19 e 20 diziam: “*Olhando a ilha deste tamanho no lago*”, ou seja, com área de 5,61m² conforme apresentado no dimensionamento do MVP no item 3.6.2.8, portanto, foi feita conversão dos valores dos respondentes para m² (e.g. R\$ 1.000 para 5,61m² equivaleria a R\$178,57/m²) (Tabela 21). Percebe-se que os valores médios atribuídos pelos usuários por m² foi de R\$205,71 e R\$430,71,

correspondendo a um aumento na perspectiva do preço médio por m² de 48%. O custo real de construção, conforme apresentado na Tabela 9 (vide seção 3.6.3 - Custos), o valor construtivo, desconsiderando a mão de obra e instalação foi de R\$54,86/m². Na literatura, é reportado valores variando entre R\$ 44 e R\$ 180 por m² para produção artesanal, como foi o caso deste projeto (DESORBO et al., 2008; DAVID J; CHIH-YU; LAURIE J, 2013), mas podendo chegar a valores acima de R\$1.000/m². Portanto, o valor atribuído pelos usuários está dentro da faixa de produção reportado em outros trabalhos

Tabela 21 – Valores atribuídos pelos entrevistados ao Alagado Flutuante Construído. Os valores apresentados antes e depois da explicação do projeto correspondem a área da plataforma instalada (5,61m²) e foram convertidos para m². Fonte: Elaborado pelo Autor, 2020.

| | Valor antes (R\$/5,61 m ²) | Valor depois (R\$/5,61 m ²) | Valor antes (R\$/m ²) | Valor depois (R\$/m ²) |
|---------------|---|--|--------------------------------------|---------------------------------------|
| Máximo | 5000,00 | 10000,00 | 892,86 | 1785,71 |
| Mínimo | 0,00 | 600,00 | 0,00 | 107,14 |
| Média | 1152,00 | 2412,00 | 205,71 | 430,71 |
| Desvio padrão | 978,60 | 1876,34 | 174,75 | 335,06 |

Dito isto, encerra-se a análise e discussão dos resultados do questionário e retoma-se um a um ponto percebido na questão 17 sobre as funções do dispositivo para as pessoas. Para esta questão, foi reportado que o AFC tinha como o aspecto negativo a perda de boias, que gerava efeitos negativos quanto a irritação com a plataforma, bem como perdas financeiras. Uma vez essa dissertação versa sobre o design do produto, buscou-se a solução apresentada no tópico a seguir.

4.3.5. Sanando as dores dos usuários reportadas durante as entrevistas

Durante a entrevista, percebeu-se que o projeto foi visto como negativo por alguns dos usuários e ainda que poucos foram os que reportaram (3% conforme Tabela 19), ainda assim gerou reflexões acerca do que poderia ser feito para atender as demandas apresentadas. O efeito reportado pelos usuários é demonstrado na Figura 38 e de fato era evidente o número de boias presas na plataforma durante o acompanhamento do projeto.

Quanto ao problema mencionado, a visão de design como pesquisa apresentada por Maher e colaboradores (2018). Tendo a visão da situação como um WP e também por seguir um método abduutivo, foi possível refletir e fazer ajustes de percurso, que para esse ponto em específico utilizou a ferramenta de Proposta de

Valor (REIS et al., 2019). Foi reconhecido o ponto de dor dos usuários: o incomodo de perder boias e anzóis, atrapalhar a pescaria e gerar estresse e prejuízo financeiro. As necessidades eram: Não perder mais as boias e conseguir obter de volta as que haviam sido perdidas. Os benefícios esperados eram: Deixar de ter perdas financeiras e desconfortos pela perda de equipamentos que ficassem presos no AFC.



Figura 38 – Registro de boias presas no alagado flutuante construído. Estão demonstradas boias que ficaram presas na parte aérea da vegetação (A) e próximo a base da plataforma (B). Fonte: Elaborado pelo Autor, 2020.

Dentro da etapa de *brainstorm*, as soluções propostas para o alívio das dores foram: 1) criar uma plataforma que não enrosque anzóis alterando seu desenho de projeto, estrutura ou materiais utilizados; 2) criar algum sistema de prevenção de perdas e/ou; 3) adotar medidas de conscientização e educação a respeito do projeto para que os pescadores não lançassem os anzóis próximo a plataforma. Partindo da perspectiva de priorizar o custo benefício, buscou-se elaborar propostas ligadas aos itens 2 e 3 com a criação de um sistema de prevenção associado ao esclarecimento sobre o projeto direcionado aos pescadores a fim de conscientizá-los.

Foi elaborada uma placa informativa (Figura 39) que permitiria aos usuários conhecerem mais sobre o projeto e tomarem medidas para evitar perdas, tanto por refletirem sobre a distância de lançamento, quanto por identificarem seus equipamentos. Para este último item, foi deixado a disposição no Pesqueiro uma caneta de tinta permanente para identificação das boias. Ao ter os materiais identificados, mesmo que houvesse a perda ocasional, os usuários passariam a ficar mais tranquilos por poder recuperar os itens posteriormente, evitando assim perdas financeiras e situações estressantes. Na verdade, acreditava-se que os usuários continuariam a arremessar o anzol próximo as plataformas, em especial por

perceberem que os arredores da plataforma apresentavam maior concentração de peixes conforme percepções apresentadas na Tabela 19.

Os cartazes foram plastificados e revestidos por chapas galvanizadas com estacas na parte posterior, também de material galvanizado, a fim de serem resistentes a intempéries. O material foi obtido de descarte de construção civil visando reaproveitamento de resíduos. Foram fixadas três placas nas áreas de maior permanência de pescadores na margem do lago, de modo que fosse possível a visualização durante a pescaria, ou seja, houve uma etapa de observação para analisar qual local de instalação teria maior potencial de impacto pela solução apresentada. Foi colocado também um cartaz com os mesmos dizeres na entrada, por se tratar de um local de trânsito comum e obrigatório para todos os visitantes. Essa estratégia passou a incorporar elementos de educação ambiental e de divulgação sobre a tipologia de AFC, além de trazer elementos de aproximação e conexão afetiva dos visitantes com o dispositivo ao apresentar os registros da biodiversidade utilizando a plataforma, ambos aspectos importantes ligados à valoração ambiental (PALMA, 2005; MARIN, 2015) e das NCP (DÍAZ et al., 2018a).



Este projeto está desenvolvendo medidas para cuidar da qualidade da água em pequena escala.

As ilhas flutuantes com plantas são capazes de:

- Remover excesso de nutrientes
- Melhorar a paisagem
- Atrair animais como pássaros, borboletas e libélulas
- Auxiliar na vida aquática dos peixes
- Auxiliar na revitalização de rios e lagos

O **Pesqueiro do Carmo** é parceiro nesse projeto inovador em São Paulo e cedeu o espaço para a pesquisa, porém é preciso criar uma harmonia entre a ilha e os clientes.

Para isso, seguem **algumas dicas**:

- **Evite jogar o anzol próximo da ilha → você pode acabar perdendo sua boia**
- Identifique a sua boia com uma caneta. Mas veja bem, a manutenção da ilha ocorre 1x por mês, então sua boia pode ficar presa por bastante tempo e apenas as boias com identificação serão devolvidas pela equipe do pesqueiro para evitar problemas entre os clientes e com os funcionários, pois não temos como saber de quem é a boia, caso não tenha nome.



Este projeto está sendo desenvolvido com o intuito de ajudar a transformar a nossa cidade e ajudar a trazer vida a rios e lagos. Pense: *“Que bom seria, um dia ver novamente o Tiête vivo e poder pescar nele”.*

Para saber mais, entre em contato: cleandho.souza@usp.br

Cleandho Marcos de Souza - Mestrando em Arquitetura e Urbanismo.

A



Figura 39 - Placa informativa do projeto. A placa contém informações sobre o projeto, alertava sobre o risco de perda da boia e dava instruções para identificação dos equipamentos permitindo a devolução posterior. Foram instaladas três placas próximo a margem e um cartaz na entrada em um ponto no qual todos os visitantes obrigatoriamente passavam. Fonte: Elaborado pelo Autor, 2020.

Em relação a solução apresentada não houve avaliação, porém acredita-se que essa seria uma das formas de aumentar o grau de empatia dos usuários com o projeto no pesqueiro, e que poderia gerar modificação no modo de pensar sobre os AFC e aumentar a aceitação deste e de outras tipologias de IV e NBS a longo prazo e em outros locais de aplicação.

4.4. Considerações finais do quarto capítulo

Dado as informações discutidas neste capítulo, é possível afirmar que os AFC oferecem diversas NCP, como melhorias em aspectos estéticos e ambientais, provisão de habitat para a biodiversidade, regulação da qualidade da água entre outros, sendo este fato reportado também em outras pesquisas que relacionam a aplicação dessa tipologia com SE (OLGUÍN et al., 2017).

Especificando um pouco mais, os AFCs podem gerar benefícios econômicos através da provisão de SE, uma vez que a sua presença reduz a proliferação de algas e cianobactérias e remove excesso de nutrientes (CHANG; ISLAM; WANIELISTA, 2012), que de outra forma seria realizado através do uso de insumos (QUEIROZ; BOEIRA; NICOLELLA, 2016) ou consumo de energia (FAST, 1978) que em algumas situações não garantem a suficiência necessária. Adicionalmente, a presença dos AFC garantem áreas de sombreamento para a fauna aquática, de reprodução e alimentação (CHANG; ISLAM; WANIELISTA, 2012), o que acaba por concentrar os peixes nos arredores da plataforma e criam pontos atrativos para observação e recreação, como no caso de pesca esportiva por exemplo (NAKAMURA; TSUKIDATE; SHIMATANI, 1997).

Também afirma-se que as percepções e *feedbacks* obtidos com base nas respostas dos usuários do pesqueiro auxiliaram a fomentar muitos aspectos de melhoria em relação ao desenvolvimento do produto, sendo essa etapa fundamental no processo de validação da aplicação das técnicas de DT e LS, sendo visto como o último item no processo, quando analisado de forma linear (MUELLER; THORING, 2012a; CORREIO; FLEURY, 2019). Adicionalmente, foi possível atender o aspecto de *problem-solution fit* (MUELLER; THORING, 2012a) ao captar as demandas percebidas nas fases de imersão recebidas de ambos os clientes, desenvolvendo em cada passo do processo abdução soluções que se adequassem ao contexto e necessidades estudadas.

Em relação a lacunas percebidas e oportunidades de pesquisa, verificou-se que uma possibilidade que não foi abordada neste projeto de pesquisa foi a realização de entrevistas com outros públicos, por exemplo, o acadêmico que poderia gerar novos pontos de vista, mais resultados e oportunidades de melhoria do dispositivo. Outra possibilidade verificada foi a de avaliar a dimensão estética do AFC com maior

profundidade, pois mesmo que grande parte dos trabalhos mencionem este como um dos benefícios gerados (HEADLEY; TANNER, 2006; YEH; YEH; CHANG, 2015; PAVLINERI; SKOULIKIDIS; TSIHRINTZIS, 2017), não foram encontrados estudos acadêmicos que abordem esse tema com profundidade.

Em conclusão, este capítulo respondeu aos objetivos iniciais, pois: 1) serviu para avaliar o desenvolvimento, efetividade e funcionalidade *in situ* da vegetação, percebido principalmente pelos resultados da biomassa e produtividade vegetal e; 2) permitiu avaliar a prestação de diversos SE ligados a biodiversidade e as percepções humanas, incluindo em especial a avaliação do valor gerado pela aplicação dos AFC nos locais estudados.

Será abordado adiante no capítulo de encerramento a dimensão global do projeto a fim de realizar o fechamento dessa pesquisa e vinculando os conceitos de design com os SE, que é a proposta explicitada no título dessa dissertação, partindo da visão micro com a aplicação dos AFC para melhorias ambientais nos locais estudados para o macro com a proposta de soluções ambientais voltadas para a água no meio urbano.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS DA DISSERTAÇÃO

Livre
Com os oceanos
Nado com baleias
Canto suas canções
Sou livre

Livre
Com sabedoria
A vida vivida
Experiência régia
*Sou livre*²⁵

²⁵ Trechos da música “Livre” concebida pelo autor. Áudio disponível em: <https://soundcloud.com/cleandho/livre/s-Tljak>

Esse estudo do AFC trouxe resultados que envolvem aspectos humanos e ambientais diversos. Ressalta-se que a utilização do método combinado de DT e LS permitiu avançar de forma rápida e eficiente na elaboração de um produto que foi capaz de atender as demandas clientes adaptados aos contextos específicos dos locais estudados e que permitisse gerar inovações, como o caso é o caso do cesto de proteção das raízes utilizado para evitar danos à vegetação pela predação por peixes, que se mostrou eficiente em sua função e adicionalmente ofereceu maior zona de formação de biofilme bacteriano. O conceito da plataforma para o plantio de vegetação para fins de fitorremediação também pode ser adaptado para a criação de uma balsa, que foi utilizada ao longo de toda a pesquisa, se mostrando funcional, durável, resistente e leve, ressaltando assim a modularidade do produto e seu potencial de uso para outras condições, como passarela ou embarcação. A abordagem do DT e LS também permitiu criar um sistema que antevisse potenciais danos na estrutura da plataforma com divisões internas para evitar a entrada de água no sistema como utilizada por embarcações.

Em relação aos aspectos ambientais, o alagado flutuante serviu como uma mini reserva ambiental, na qual diversas espécies de plantas e animais encontraram abrigo. Ressalta-se em especial o aparecimento de uma tartaruga que não era avistada na região há pelo menos 10 anos e que passou a utilizar a plataforma como seu habitat. Além disso, diversas espécies de aves, invertebrados e peixes puderam se beneficiar da presença desse novo ambiente demonstrado em especial pela riqueza de interações observadas. Dessa forma, foi possível visualizar a formação de diversas interações ecológicas. Da parte da vegetação, a plataforma serviu como abrigo para espécies que passaram a colonizar o novo ambiente, aumentando a diversidade inicial de em torno de 5 espécies para cerca de 20 durante o período de estudo. Em suma, a plataforma atendeu à biodiversidade com a criação de um novo habitat.

Todos os resultados citados anteriormente são refletidos na perspectiva de valoração do produto atribuído pelos usuários entrevistados. Essa avaliação utilizando questionário de percepções ambientais com o enfoque no AFC permitiu verificar o grau de aceitação da solução apresentada para melhoria do ambiente. As avaliações permitiram captar que na percepção delas, o dispositivo atendia a requisitos ambientais quanto a melhoria da qualidade da água, de fornecimento de habitat para

a biodiversidade e oferecia benefícios estéticos, com a maioria dos respondentes demonstrando apoio na aplicação de mais AFC para ampliar o projeto. Por fim, a valoração financeira do produto por parte dos entrevistados demonstrou que é um projeto que vale a pena investir.

Essa proposta de pesquisa nasceu com a inquietação do olhar das pessoas para as águas urbanas e com as soluções apresentadas, foi concebida a ideia de mudança dessa perspectiva. Geralmente as pessoas voltam seus olhares para rios e córregos como grandes redes de esgoto a céu aberto, implicando assim em uma imagem negativa. Com a construção dos AFC, o olhar das pessoas pode ser orientado para uma perspectiva positiva e de renovação, ao ver que a natureza pode ser encorajada e que benefícios ambientais podem ser gerados com essa e outras tipologias de IV. Com isso, uma das contribuições humanas mais significativas desse estudo foi o de ressignificar as impressões humanas sobre as águas urbanas, dando esperança para o resgate dessas águas.

Este estudo possuiu limitações diversas que foram contornadas da melhor forma possível. Dentre elas está o dimensionamento do AFC, pois dado a questões orçamentárias, o tamanho máximo de construção de cada plataforma foi de 5,61m². Isso se refletiu quanto aos resultados que não foram significativos para a melhoria da qualidade da água considerando também o tamanho dos lagos estudados. Outro aspecto foi a perspectiva temporal de estudo, pois a fim de ter maior tempo de avaliação do protótipo, não foi possível realizar uma análise da qualidade da água anterior a instalação que permitisse a comparação dos cenários. Sabe-se que uma boa caracterização deveria transcorrer o percurso de um ano completo anterior e após a aplicação do AFC para evitar efeitos relacionados a sazonalidade.

Tendo essas perspectivas em vista, esse estudo abre portas a novas possibilidades de pesquisa com contribuições significativas para a ciência. Uma das possibilidades elencadas é a da aplicação do questionário de percepção ambiental sobre os efeitos gerados com a instalação de AFC com outros públicos, sendo o mais direto, o público acadêmico que foi um dos clientes dessa pesquisa. Para isso talvez fossem necessárias adaptações no questionário que se voltasse para o público específico. Outro ponto, em especial pela aplicação inovadora de um AFC em uma área de reserva ambiental é a de avaliar o novo habitat criado da perspectiva de ecologia de populações, pois a plataforma serviu como área de colonização para

diversas espécies que foram imigrando ao longo do estudo. Poderiam ser avaliadas os índices de riqueza e abundância para diversos grupos, taxa de colonização e alterações na comunidade vegetal ao longo do tempo. Também a adaptação das espécies as novas condições, pois por se tratar de um ambiente criado artificialmente, pode apresentar variações das condições de ocorrência natural das espécies, por exemplo, pelo crescimento hidropônico da macrófitas emergentes.

Outras possibilidades projetuais estariam ligadas a aplicação do sistema de AFC para condições variadas. Esse estudo analisou um contexto de reserva ambiental e de espaço com fins recreativos, mas poderiam ser apresentados em contextos como parques públicos, na revitalização de córregos auxiliando tanto na qualidade da água quanto no aumento de grau de empatia da população e em rios. Os ambientes de águas correntes ofereciam condições experimentais interessantes para teste do dispositivo, exigindo aprimoramento das técnicas construtivas e dos materiais utilizados, bem como do sistema de ancoramento que poderia ser analisado em diversas condições, inclusive em eventos climáticos extremos como acontece na cidade de São Paulo. Adicionalmente, poderiam ser feitos estudos com dimensionamentos maiores, por exemplo com a criação de arquipélagos dentro de rios de grande porte, como o Tietê.

Outra perspectiva para pesquisas futuras é a de avaliar de forma quantitativa e qualitativa os quesitos estéticos. Notou-se com a elaboração dessa dissertação que na literatura os aspectos estéticos são apenas elencados, porém não foram encontrados artigos publicados até a data dessa publicação que avaliassem de forma direta os benefícios estéticos oferecidos com a instalação de AFC. Uma possibilidade seria a de utilizar questionários que desse enfoque a percepção de melhoria ambiental, conforto e atratividade dos ambientes criados.

Ainda como possibilidades acadêmicas, o uso da abordagem de pesquisa através do design auxiliou na concepção de uma única tipologia de IV. Dado que a IV possui diversas tipologias diferentes, estas poderiam passar pelo mesmo tipo de desenvolvimento. Dessa forma, poderia ser avaliado a conceituação e empatia por parte dos usuários, criando senso de lugar, sendo que todas essas questões são passíveis de avaliação com viés científico para publicação.

Respondendo aos objetivos apresentados no capítulo introdutório, nesta dissertação foi possível realizar uma revisão sobre o estado da arte AFC, utilizar

ferramentas de DT e LS para proposição de soluções ambientais através das diversas etapas do método com a construção de uma solução aplicada no recorte de dois lagos na área urbana da cidade de São Paulo. Com isso, foi possível caracterizar e validar um MVP e avaliar sua efetividade, funcionalidade e eficiência através de avaliação de parâmetros ambientais. E principalmente, foi demonstrado que a aplicação dos AFC foi capaz de prestar diversos SE com base nos resultados de uso pela fauna, flora e da percepção das pessoas.

Como conclusão dessa dissertação, afirma-se que os AFC são capazes de melhorar a qualidade da água, contando com possibilidades de inovação e gerando uma rica gama de SE.

EPÍLOGO

Essa parte da escrita eu deixo livre para minha perspectiva pessoal em relação ao projeto de pesquisa. Inicialmente eu tinha um incômodo pessoal que me entristecia em relação a forma como as pessoas tratavam os rios urbanos. A água que permitiu o florescimento de civilizações como a Mesopotâmia e o Egito, que oferecem tantas possibilidades de vida e abundância eram neste momento sujeitas a agressões como o lançamento de esgoto e resíduos em seus corpos. Eu sentia isso como uma contaminação das próprias veias do corpo urbano que tentava levar os recursos necessários para todas as partes, mas eram limitadas por margens sólidas e cinzas.

Aliada a isso, eu sentia uma secura por parte da visão científica sistemática e metodológica que partia sempre de pressupostos pré-concebidos orientados a responder perguntas específicas. Eu sentia que era necessária uma maior fluidez na pesquisa científica da mesma que as águas dão margem para modificações ao longo do tempo com os ciclos hidrológicos. Essa busca da harmonia e da fluidez, que permitisse ajustes ao longo do percurso e que fosse adaptável, flexível foi encontrada por mim com a perspectiva do design. Nesse aspecto eu faço uma menção especial ao André Fleury e ao Alessandro Câmara que foram figuras que me abriram essa possibilidade de forma clara e direta.

Eu buscava conseguir integrar muitas concepções pessoais e visão de mundo na prática científica. Quanto a isso eu agradeço a Ciência, pois ela permite uma expressão autêntica e livre de expectativas preconcebidas. Ela oferece campo aberto para exploração de possibilidades e criação, mas havia um grande PORÉM. Como eu poderia integrar a minha perspectiva de sentimento e espiritualidade com o meu científico racional? Sentia uma grande dicotomia interna que me fazia oscilar entre dois pontos de vista. A integração veio com o caminho do meio. Via a biologia como uma ciência mais metodológica e sistematizada, mas a arquitetura ofereceria uma visão humana sobre a concepção de mundo. Eu sentia que a localização da FAU no centro da Cidade Universitária tinha um caráter simbólico assim como o logo em forma de estrela dourada.

No mesmo movimento de integração das concepções internas, eu busquei integrar os conhecimentos da tão amada Biologia com os da Arquitetura. Uma bioarquitetura talvez? De toda forma, eu percebi ao longo do mestrado que os

arquitetos sentem falta da parceria com os biólogos. Na verdade, eu percebi ao abrir as portas para a arquitetura o quanto, nós biólogos, somos importantes e valorizados foram das nossas fronteiras. Essa aproximação com uma biologia aplicada ao cenário urbano foi buscada na arquitetura por entender a cidade como o laboratório de aplicações. Isso ampliaria minhas perspectivas de atuação, expandindo fronteiras e visões de mundo, o que se mostrou verdade. Outro ponto interessante é de que ao estar em contato direto com outras áreas eu pude me afirmar e me reconhecer de fato como um biólogo.

Um fato curioso é de que a vontade de seguir para a Arquitetura surgiu um dia conversando com uma moça que trabalhava na CETESB por volta de 2016. A minha inscrição para o processo de seleção foi feita na tarde do último dia, que eu por um acaso lembrei como um “deixe-me ver quando que abrem as inscrições para o mestrado na FAU”, ou seja, eu me inscrevi no susto. A partir daí eu enviei e-mail para diversos professores dentre os quais eu recebi acolhida no LabVerde com o Paulo Pellegrino que adotou minha ideia. Todo esse processo aconteceu de forma muito fluídica, como as próprias águas em curso e eis que então a biblioteca da FAU passou a ser meu local de permanência maior no período que antecedeu a prova de ingresso.

Esse processo de mestrado foi de rico crescimento pessoal, aproximação com a minha família e do reconhecimento neles como um porto seguro. Meus pais que participaram de forma tão ativa durante toda a pesquisa, me ajudando a construir as plataformas, indo nos trabalhos de campo no sol e na chuva e nesse ponto eu sou especialmente grato ao meu pai. Trabalhar com ele oferece grandes desafios, porém percebi que isso me fortaleceu como homem e me ajudou a ter uma melhor postura sobre o que eu quero criando assim melhores e mais bem definidas opiniões. As minhas irmãs que me ajudaram de forma tão valiosa, me acolheram e me ajudaram ao longo de todo o mestrado com suas atitudes de apoio serviram para um maior reconhecimento de como elas são pessoas admiráveis. Dentro de todo esse processo eu me reconheci não como um biólogo no mundo científico, mas como um filho pertencente a uma família incrível.

Com tudo isso eu digo de coração que esse mestrado foi uma das melhores coisas que me ocorreram e mesmo passando noites em claro, com trabalhos de redação extenuantes e pulsos doloridos, eu encerro essa dissertação com uma alegria profunda e sincera. Sou muito grato a quem Eu Sou.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AACRP. **Associação Águas Claras do Rio Pinheiros**. Disponível em: <<http://aguasclarasdoriopinheiros.org.br/wetlands/o-projeto/>>. Acesso em: 20 jul. 2017.
- ABU BAKAR, A. F. et al. Arsenic, zinc, and aluminium removal from gold mine wastewater effluents and accumulation by submerged aquatic plants (*Cabomba piauhyensis*, *Egeria densa*, and *Hydrilla verticillata*). **BioMed Research International**, v. 2013, 2013.
- AQUATROPIC. **DB Aqua**. Disponível em: <<https://aquatropic.com.br/produtos-geral/dbaqua/>>. Acesso em: 29 fev. 2020.
- BAGER, A.; ROSADO, J. L. O. Estimation of Core Terrestrial Habitats for Freshwater Turtles in Southern Brazil Based on Nesting Areas. **Journal of Herpetology**, v. 44, n. 4, p. 658–662, 2010.
- BARTALINI, V. Córregos ocultos em São Paulo. In: I Encontro Nacional da Associação Nacional de Pesquisa e Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo², Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: 2010. Disponível em: <<https://www.anparq.org.br/dvd-enanparq/simposios/18/18-206-1-SP.pdf>>.
- BARTUCCA, M. L. et al. Nitrate removal from polluted water by using a vegetated floating system. **Science of the Total Environment**, The, v. 542, p. 803–808, 2016. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.10.156>>.
- BENASSI, R. F. **Manual de sistemas de wetlands construídas para tratamento de esgotos sanitários: implantação, operação e manutenção**. 1. ed. Santo André, São Paulo, Brasil: Universidade Federal do ABC, 2018.
- BENEDICT, M. A.; MCMAHON, E. T. Green Infrastructure : Smart Conservation for the 21 Century. **Renewable Resources Journal**, v. 20, n. 3, p. 12–17, 2002a.
- BENEDICT, M. A.; MCMAHON, E. T. Green infrastructure: smart conservation for the 21st century. **Sprawl Watch Clearinghouse Monograph Series**, p. 32, 2002b. Disponível em: <www.sprawlwatch.org>.
- BENTON-SHORT, L.; SHORT, J. R. **Cities and Nature**. London: Routledge, 2007.
- BENVENUTI, T. et al. Constructed floating wetland for the treatment of domestic sewage: A real-scale study. **Journal of Environmental Chemical Engineering**, v. 6, n. 5, p. 5706–5711, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.jece.2018.08.067>>.

Bl, R. et al. Giving waterbodies the treatment they need: A critical review of the application of constructed floating wetlands. **Journal of Environmental Management**, v. 238, n. March, p. 484–498, 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.02.064>>.

BICUDO, C. E. de M.; TUNDISI, J. G.; SCHEUENSTUHL, M. C. B. **Águas Do Brasil - Análises Estratégicas**. São Paulo, Brasil: Instituto de Botânica, 2010.

BILLORE, S. K.; PRASHANT; SHARMA, J. K. Treatment performance of artificial floating reed beds in an experimental mesocosm to improve the water quality of river Kshipra. **Water Science and Technology**, v. 60, n. 11, p. 2851–2859, 1 dez. 2009. Disponível em: <<https://doi.org/10.2166/wst.2009.731>>.

BILLORE, S. K.; S.J., P.; SHARMA, J. K. Restoration and Conservation of Stagnant Water Bodies By Gravel-Bed Treatment Wetlands And Artificial Floating Reed Beds In Tropical India. (M. Sengupta, R. Dalwani, Eds.) In: The 12th World Lake Conference, Jaipur, India. **Anais...** Jaipur, India: 2008.

BIOMATRIX WATER. **Water Quality**. Disponível em: <<https://www.biomatrixwater.com/water-quality/>>. Acesso em: 23 nov. 2019a.

BIOMATRIX WATER. **Habitat creation**. Disponível em: <<https://www.biomatrixwater.com/habitat-creation/>>. Acesso em: 28 fev. 2020b.

BLANK, S. Why the Lean Start-Up Changes Everything. **Harvard Business Review**, v. 3, p. 63–72, 2013.

BOLTON, N. et al. Microbially influenced corrosion of galvanized steel pipes in aerobic water systems. **Journal of Applied Microbiology**, v. 109, n. 1, p. 239–247, 2010.

BONZI, R. S. O Zoneamento Ambiental Geomorfológico como Método para Planejar a Infraestrutura Verde em Áreas Densamente Urbanizadas. **Revista Labverde**, v. 10, p. 62–82, 2015.

BORNE, K. E.; FASSMAN, E. A.; TANNER, C. C. Floating treatment wetland retrofit to improve stormwater pond performance for suspended solids, copper and zinc. **Ecological Engineering**, v. 54, p. 173–182, 2013. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoleng.2013.01.031>>.

BRASIL. **24° Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgoto - 2018** Ministério do Desenvolvimento Regional. Secretaria Nacional de Saneamento. [s.l: s.n.].

BRASIL. **3° Diagnóstico de Drenagem e Manejo das Águas Pluviais Urbanas – 2018**. [s.l: s.n.]

- BROCANELI, P. F.; STUERMER, M. M. Renaturalização de rios e córregos no município de São Paulo. **Exacta**, v. 6, n. 1, p. 147–156, 2009.
- BROWN, T. Design Thinking. **Harvard Business Review**, p. 1525–1535, 2011.
- BUCHANAN, R. Wicked Problems In Design Thinking. **Design Issues**, v. 8, n. 2, p. 5–21, 1992. Disponível em: <<https://www.jstor.org/stable/1511637>>.
- CAO, W.; ZHANG, Y. Removal of nitrogen (N) from hypereutrophic waters by ecological floating beds (EFBs) with various substrates. **Ecological Engineering**, v. 62, p. 148–152, 2014.
- CARDOSO-SILVA, S. et al. Compartimentalização e qualidade da água: o caso da Represa Billings. **Ecologia e Meio Ambiente**, v. 28, n. 1, p. 31–43, 2014.
- CARVALHO, G. Á. de. **O Lago da Mata da “ Cidade Universitária Armando Salles de Oliveira ” - USP , São Paulo : morfometria e variação nictemeral**. 2006. Universidade Presbiteriana Mackenzie, 2006.
- CARVALHO, L.; MENEZES, B. De. Qualidade da água de efluentes de pesqueiros situados na bacia do Alto Tietê. **Bioikos**, v. 25, n. 1, p. 41–52, 2011.
- CHANG, N. Bin et al. Exploring hydrobiogeochemical processes of floating treatment wetlands in a subtropical stormwater wet detention pond. **Ecological Engineering**, v. 54, p. 66–76, 2013. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoleng.2013.01.019>>.
- CHANG, N. B.; ISLAM, M. K.; WANIELISTA, M. P. Floating wetland mesocosm assessment of nutrient removal to reduce ecotoxicity in stormwater ponds. **Int. J. Environ. Sci. Technol.**, v. 9, p. 453–462, 2012.
- CHEN, Z. et al. Hydroponic root mats for wastewater treatment—a review. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 23, n. 16, p. 15911–15928, 2016.
- CODD, G. A. Cyanobacterial toxins, the perception of water quality, and the prioritisation of eutrophication control. **Ecological Engineering**, v. 16, n. 1, p. 51–60, 2000.
- COLE, G. A. **Textbook of Limnology**. Saint Louis: Mosby Company, 1979.
- CORMIER, N. S.; PELLEGRINO, P. R. M. Infra-estrutura verde: uma estratégia paisagística para a água urbana. **Paisagem Ambiente: Ensaios**, v. 25, p. 125–142, 2008.
- CORREIO, L. B. F.; FLEURY, A. L. Design Thinking Versus Design Sprint: A Comparative Study. **Gestão da Produção, Operações e Sistemas**, v. 14, n. 5, p. 23–

47, 2019.

COSTANZA, R. et al. The value of the world's ecosystem services and natural capital. **Nature**, v. 387, n. 6630, p. 253–260, 15 maio 1997. Disponível em: <<http://www.nature.com/doi/10.1038/387253a0>>.

CROSS, N. Designerly Ways of Knowing : Design Discipline Versus Design Science. **Design Issues**, v. 17, n. 3, p. 49–55, 2001.

DAVID J, S.; CHIH-YU, W.; LAURIE J, F. **Innovative Best Management Fact Sheet No. 1: Floating Treatment WetlandsBSE-76P**. [s.l: s.n.]. Disponível em: <http://www.pubs.ext.vt.edu/content/dam/pubs_ext_vt_edu/BSE/BSE-76/BSE-76-PDF.pdf>.

DE MACEDO, M. B.; DO LAGO, C. A. F.; MENDIONDO, E. M. Stormwater volume reduction and water quality improvement by bioretention: Potentials and challenges for water security in a subtropical catchment. **Science of the Total Environment**, v. 647, p. 923–931, 2019.

DE PAULA, D. F. O.; ARAUJO, C. C. Pet Empires : Combining Design Thinking , Lean Startup and Agile to Learn from Failure and Develop a Successful Game in an Undergraduate Environment. (C. Stephanidis, Ed.) In: 18th International Conference on Human-Computer Interaction, Toronto, CA. **Anais...** Toronto, CA: Springer International Publishing, 2016.

DE SOUZA, C. M. et al. A vegetação urbana a serviço do conforto térmico: uma proposta para um bairro metropolitano de São Paulo, Brasil. **Labor e Engenho**, p. 1–11, 2019.

DE STEFANI, G. et al. Performance of a floating treatment wetland for in-stream water amelioration in NE Italy. **Hydrobiologia**, v. 674, n. 1, p. 157–167, 2011.

DESORBO, C. R. et al. Guidelines for Constructing and Deploying Common Loon Nesting Rafts. **Northeastern Naturalist**, v. 15, n. 1, p. 75–86, 2008.

DHOTE, S.; DIXIT, S. Water quality improvement through macrophytes - A review. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 152, n. 1–4, p. 149–153, 2009.

DIAS, C. I. a B. **Água Nas Plantas**. 2008. Universidade Federal de Lavras, 2008.

DÍAZ, S. et al. Assessing nature's contributions to people. **Science**, v. 359, n. 6373, p. 270–272, 2018a. Disponível em: <<http://www.sciencemag.org/lookup/doi/10.1126/science.aap8826>>.

DÍAZ, S. et al. Assessing nature's contribution to people (Supplementary material).

Science, v. Suplementa, 2018b.

DLM. **Mushroom Anchor**. Disponível em: <<https://www.dlm-uk.com/grapnels/mushroom-anchor/>>. Acesso em: 23 fev. 2020.

DODKINS, I.; MENDZIL, A. F.; O'DEA, L. **Enterprise Assist: Floating Treatment Wetlands (FTWs) in Water Treatment: Treatment efficiency and potential benefits of activated carbon**. 1° ed. [s.l: s.n.]

DORST, K. The core of “design thinking” and its application. **Design Studies**, v. 32, n. 6, p. 521–532, 2011. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.destud.2011.07.006>>.

EGGERMONT, H. et al. Nature-based solutions: New influence for environmental management and research in Europe. **Gaia**, v. 24, n. 4, p. 243–248, 2015.

ELMQVIST, T. et al. Urban tinkering. **Sustainability Science**, v. 13, n. 6, p. 1549–1564, 2018.

ESTEVEZ, F. A. **Fundamentos de Limnologia**. 2. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 1998.

EUROPEAN COMMISSION. **Towards an EU Research and Innovation policy agenda for Nature-Based Solutions & Re-Naturing Cities**. [s.l: s.n.].

FAGUNDES, C. K.; BAGER, A. Ecologia reprodutiva de Hydromedusa tecifera (Testudines: Chelidae) no sul do Brasil. **Biota Neotropica**, v. 7, n. 2, p. 179–184, 2007.

FARIAS, T. T. **Colaboração do processo de validação de hipóteses pela metodologia lean startup com clientes adotantes iniciais de um MVP**. 2017. Universidade Federal de Santa Maria, 2017.

FAST, A. W. Artificial aeration as a lake restoration technique. (Office of Water Planning and Standards, Ed.) In: Lake Restoration: Proceedings of a National Conference, Minneapolis, Minnesota. Estados Unidos. **Anais...** Minneapolis, Minnesota. Estados Unidos: U.S. Environmental Protection Agency, 1978.

FAULWETTER, J. L. et al. Floating treatment wetlands for domestic wastewater treatment. **Water Science and Technology**, v. 64, n. 10, p. 2089–2095, 1 nov. 2011. Disponível em: <<https://doi.org/10.2166/wst.2011.576>>.

FLEURY, A. L.; STABILE, H.; CARVALHO, M. M. An overview of the literature on design thinking: Trends and contributions. **International Journal of Engineering Education**, v. 32, n. 4, p. 1704–1718, 2016.

FONDER, N.; HEADLEY, T. The taxonomy of treatment wetlands: A proposed classification and nomenclature system. **Ecological Engineering**, v. 51, p. 203–211,

2013. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoleng.2012.12.011>>.

G1. **Estudo inédito mostra a poluição de rios e lagos no Brasil.** Disponível em: <<http://glo.bo/fcBcrz>>. Acesso em: 7 dez. 2017.

G1. **Pesquisadores medem a poluição de rios de cinco estados e do DF.** Disponível em: <<http://glo.bo/1MLnoa0>>. Acesso em: 7 dez. 2017.

G1. **Chuva no Sudeste não é suficiente para encher reservatórios da região.** Disponível em: <<https://g1.globo.com/jornal-nacional/noticia/2020/02/05/chuva-no-sudeste-nao-e-suficiente-para-encher-reservatorios-da-regiao.ghtml>>. Acesso em: 13 fev. 2020.

GARRELL, M. H. et al. Effects of hypolimnetic aeration on nitrogen and phosphorus in a eutrophic lake. **Water Resources Research**, v. 13, n. 2, p. 343–347, 1977.

GAVIOLLI, J. **Abastecimento público de água na Região Metropolitana de São Paulo : escassez , demanda e aspectos de saúde pública.** 2013. Universidade de São Paulo, 2013.

GILL, L. W. et al. Accumulation of heavy metals in a constructed wetland treating road runoff. **Ecological Engineering**, v. 70, p. 133–139, 2014. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoleng.2014.03.056>>.

GOLDONI, A. et al. Cytotoxic and genotoxic evaluation and chemical characterization of sewage treated using activated sludge and a floating emergent-macrophyte filter in a municipal wastewater treatment plant: A case study in Southern Brazil. **Environmental Earth Sciences**, v. 72, n. 5, p. 1503–1509, 2014.

GRASSROOTS ECOLOGICAL DESIGN. **Floating Wetlands on the Mill Creek.** Disponível em: <www.facebook.com/media/set/?set=a.272780346160150.58932.271639349607583&type=3>. Acesso em: 2 dez. 2019.

GREEN FUTURES LAB. **Floating Wetlands - Vol I Research.** Washington, D.C., Estados Unidos da America: University of Washington, 2013a. v. I

GREEN FUTURES LAB. **Floating Wetlands - Vol II Design Investigations.** Washington, D.C., Estados Unidos da America: University of Washington, 2013b. v. II

GRIZZETTI, B. et al. Assessing water ecosystem services for water resource management. **Environmental Science and Policy**, v. 61, p. 194–203, 2016. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.envsci.2016.04.008>>.

HAMMER, O.; HARPER, D. A. T.; RYAN, P. D. **PAST: Paleontological Statistics**

software package for education and data analysis *Palaeontologia Electronica*, , 2001. .

HARTSHORN, N. et al. Complex interactions among nutrients, chlorophyll-a, and microcystins in three stormwater wet detention basins with floating treatment wetlands.

Chemosphere, v. 144, p. 408–419, 2016. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.chemosphere.2015.08.023>>.

HEADLEY, T. R.; TANNER, C. C. Constructed wetlands with floating emergent macrophytes: An innovative stormwater treatment technology. **Critical Reviews in Environmental Science and Technology**, v. 42, n. 21, p. 2261–2310, 2012a.

HEADLEY, T. R.; TANNER, C. C. Constructed wetlands with floating emergent macrophytes: An innovative stormwater treatment technology. **Critical Reviews in Environmental Science and Technology**, v. 42, n. 21, p. 2261–2310, 2012b. Disponível em: <<https://doi.org/10.1080/10643389.2011.574108>>.

HEADLEY, T.; TANNER, C. **Application of floating wetlands for enhanced stormwater treatment: A review**. 1. ed. Auckland: National Institute of Water & Atmospheric Research Ltd., 2006.

HENRY-SILVA, G. G.; CAMARGO, A. F. M. Efficiency of aquatic macrophytes to treat Nile tilapia pond effluents. **Scientia Agricola**, v. 63, n. 5, p. 433–438, 2006.

HILDEBRAND, E.; GRAÇA, L.; MILANO, M. Distância e deslocamento dos visitantes dos parques urbanos em Curitiba-PR. **Floresta e Ambiente**, p. 76–83, 2001. Disponível em: <http://www.if.ufrj.br/revista/pdf/Vol8_76A83.pdf>.

HU, G. J. et al. An ecological floating-bed made from dredged lake sludge for purification of eutrophic water. **Ecological Engineering**, v. 36, n. 10, p. 1448–1458, 2010. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoleng.2010.06.026>>.

HUBBARD, R. K.; GASCHO, G. J.; NEWTON, G. L. Use of floating vegetation to remove nutrients from swine lagoon wastewater. **Transactions of the American Society of Agricultural Engineers**, v. 47, n. 6, p. 1963–1972, 2004.

IAMCHATURAPATR, J.; YI, S. W.; RHEE, J. S. Nutrient removals by 21 aquatic plants for vertical free surface-flow (VFS) constructed wetland. **Ecological Engineering**, v. 29, n. 3, p. 287–293, 2007.

IBPC. **Poita**. Disponível em: <<https://www.ibpc.com.br/portfolio/port06.html>>. Acesso em: 23 fev. 2020.

IDEO. **Design Thinking for Educators**. New York, USA: IDEO LLC, 2012.

IPCC. Hydrology and water resources. In: MCCARTHY, J. J. et al. (Ed.). **Climate Change 2001 - Impacts, Adaptation, and Vulnerability**. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 2001. p. 193–233.

IPCC. **Climate Change and Water** (B. C. Bates et al., Eds.) **Intergovernmental Panel on Climate Change**. Geneva, Switzerland: Intergovernmental Panel on Climate Change, 2008. .

IPCC. Hydrology and Water Resources. In: TEGART, W. M.; SHELDON, G. W.; GRIFFITHS, D. C. (Ed.). **AR1: Impact Assessment of Climate Change**. Canberra, Australia: Australian Government Publishing Service, 2010. p. 63–80.

IPCC. **Climate Change 2014 - Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects**. New York, USA: Cambridge University Press, 2014. v. 1

JOHANSSON-SKÖLDBERG, U.; WOODILLA, J. Design Thinking : Past , Present and Possible Futures. **Creativity and Innovation Management**, v. 22, n. 2, p. 121–146, 2013.

JONES, T. G. et al. An experimental use of floating treatment wetlands (FTWs) to reduce phytoplankton growth in freshwaters. **Ecological Engineering**, v. 99, p. 316–323, 2017. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoleng.2016.11.002>>.

JÚNIOR, W. S. et al. Water: Drought, crisis and governance in australia and brazil. **Water (Switzerland)**, v. 8, n. 11, p. 1–21, 2016.

JUNK, W. J. et al. Brazilian wetlands: Their definition, delineation, and classification for research, sustainable management, and protection. **Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems**, v. 24, n. 1, p. 5–22, 2014.

KABISCH, N. et al. Nature-based solutions to climate change mitigation and adaptation in urban areas: perspectives on indicators, knowledge gaps, barriers, and opportunities for action. **Ecology and Society**, v. 21, n. 2, 2016.

KADAM, S. K. et al. Co-planted floating phyto-bed along with microbial fuel cell for enhanced textile effluent treatment. **Journal of Cleaner Production**, v. 203, p. 788–798, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.08.336>>.

KAMAL, M. Phytoaccumulation of heavy metals by aquatic plants. **Environment International**, v. 29, n. 8, p. 1029–1039, fev. 2004. Disponível em: <<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0160412003000916>>. Acesso em: 13 jul. 2017.

- KANSIIME, F.; VAN BRUGGEN, J. J. A. Distribution and retention of faecal coliforms in the Nakivubo wetland in Kampala, Uganda. **Water Science and Technology**, v. 44, n. 11–12, p. 199–206, 2001.
- KENIGER, L. E. et al. What are the benefits of interacting with nature? **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 10, n. 3, p. 913–935, 2013.
- KERR-UPAL, M.; SEASONS, M.; MULAMOOTTIL, G. Retrofitting a stormwater management facility with a wetland component. **Journal of Environmental Science and Health - Part A Toxic/Hazardous Substances and Environmental Engineering**, v. 35, n. 8, p. 1289–1307, 2000.
- KIVAISI, A. K. The potential for constructed wetlands for wastewater treatment and reuse in developing countries: A review. **Ecological Engineering**, v. 16, n. 4, p. 545–560, 2001.
- KOROLEFF, F. Determination of nutrients. In: GRASSHOFF, K. (Ed.). **Methods of seawater analysis**. [s.l.] Verlag Chemie Weinheim, 1976. p. 117–181.
- LADISLAS, S. et al. Floating treatment wetlands for heavy metal removal in highway stormwater ponds. **Ecological Engineering**, v. 80, p. 85–91, 2015.
- LAMPARELLI, M. C. **Graus de trofia em corpos d'água do estado de São Paulo: Avaliação dos métodos de monitoramento**. 2004. Universidade de São Paulo, 2004.
- LEBLANC, R. **The Decomposition of Waste in Landfills**. Disponível em: <<https://www.thebalancesmb.com/how-long-does-it-take-garbage-to-decompose-2878033>>. Acesso em: 20 fev. 2020.
- LI, H. et al. Purification of Refinery Wastewater. v. 4167, 2012a.
- LI, H. et al. Purification of Refinery Wastewater By Different Perennial Grasses Growing in a Floating Bed. **Journal of Plant Nutrition**, v. 35, n. 1, p. 93–110, 2012b.
- LI, W.; YANG, Q. Wetland utilization in Lake Taihu for fish farming and improvement of lake water quality. **Ecological Engineering**, v. 5, n. 1, p. 107–121, 1995.
- LI, X. et al. An integrated ecological floating-bed employing plant , freshwater clam and biofilm carrier for purification of eutrophic water. **Ecological Engineering**, v. 36, n. 4, p. 382–390, 2010. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoleng.2009.11.004>>.
- LIEDTKA, J. Perspective : Linking Design Thinking with Innovation Outcomes through Cognitive Bias Reduction. v. 32, n. 6, p. 925–938, 2015.

LINDBERG, T.; MEINEL, C.; WAGNER, R. Design Thinking : A Fruitful Concept for IT Development ? 1 Introduction : On Problem Solving in Design and Science. **Design Thinking**, p. 3–18, [s.d.]

LIQUETE, C. et al. Integrated valuation of a nature-based solution for water pollution control. Highlighting hidden benefits. **Ecosystem Services**, v. 22, n. December 2015, p. 392–401, 2016. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoser.2016.09.011>>.

LOPES, J. O. et al. Produtividade de plantas ornamentais e da gramínea Tifton 85 em wetlands construídos como unidade de tratamento e aproveitamento de esgoto sanitário. (G. R. Vasconcellos, Ed.) In: 4º Simpósio Brasileiro sobre Wetlands Construídos, Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil. **Anais...** Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil: Wetlands Brasil, 2019.

LÓPEZ-DOVAL, J. C. et al. Nutrients , emerging pollutants and pesticides in a tropical urban reservoir : Spatial distributions and risk assessment. **Science of the Total Environment**, v. 575, p. 1307–1324, 2017.

LU, H.; KU, C.; CHANG, Y. Water quality improvement with artificial floating islands. v. 74, p. 371–375, 2015.

LUCKE, T.; WALKER, C.; BEECHAM, S. Experimental designs of field-based constructed floating wetland studies: A review. **Science of the Total Environment**, v. 660, p. 199–208, 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.01.018>>.

MA. **Ecosystems and Human Well-Being: Biodiversity Synthesis**. Washington, D.C., Estados Unidos da America: Island Press, 2005.

MACKERETH, F. J. H.; HERON, J.; TALLING, J. F. **Water analysis: some revised methods for limnologists**. Far Sawrey, Ambleside: Freshwater Biological Association Scientific, 1978.

MAES, J.; JACOBS, S. Nature-Based Solutions for Europe’s Sustainable Development. **Conservation Letters**, v. 10, n. 1, p. 121–124, 2017.

MAHER, R. et al. Integrating design thinking with sustainability science: a Research through Design approach. **Sustainability Science**, v. 13, n. 6, p. 1565–1587, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/s11625-018-0618-6>>.

MALLISON, C. T.; STOCKER, R. K.; CICHRA, C. E. Physical and Vegetative Characteristics of Floating Islands. **Journal Aquatic Plant Management**, v. 39, n. July 2001, p. 107–111, 2001.

- MALTBY, E.; ACREMAN, M. C. Ecosystem services of wetlands: pathfinder for a new paradigm. **Hydrological Sciences Journal**, v. 56, n. 8, p. 1341–1359, 2011.
- MARIN, A. A. Pesquisa em educação ambiental e percepção ambiental. **Pesquisa em Educação Ambiental**, v. 3, n. 1, p. 203–222, 2015.
- MARTINS, M. L. R. **Moradia e Mananciais: Tensão e diálogo na metrópole**. 1. ed. São Paulo: FAUUSP/FAPESP, 2006.
- MATOS, A. T. de; FREITAS, W. da S.; MONACO, P. A. V. Lo. Capacidade extratora de diferentes espécies vegetais cultivadas em sistemas alagados utilizados no tratamento de águas residuárias da suinocultura. **Revista Ambiente e Agua**, v. 9, n. 3, p. 445–458, 2014.
- MDC. Fish habits and habitats. [s.d.]Disponível em: <<https://huntfish.mdc.mo.gov/fishing/get-started-fishing/fish-habits-and-habitat>>. Acesso em: 28 fev. 2020.
- MEIRA, B. R. et al. The importance of herbivory by protists in lakes of a tropical floodplain system. **Aquatic Ecology**, v. 52, n. 2–3, p. 193–210, 2018.
- MERCANTE, C. T. J. et al. Water quality in fee-fishing ponds located in the metropolitan region of São Paulo city , Brazil: an analysis of the eutrophication process. **Acta Limnologica Brasileira**, v. 16, n. 1, p. 95–102, 2004.
- MONTGOMERY, C. A. Ranking the benefits of biodiversity: An exploration of relative values. **Journal of Environmental Management**, v. 64, n. 3, p. 313–326, 2002.
- MOTA, S. **Urbanização e meio ambiente**. Rio de Janeiro: ABES - Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 1999.
- MOTTA, R. S. Da. **Manual Para Valoração**. Rio de Janeiro: CEMA/IPEA e COBIO/MMA, 1997.
- MUELLER, R. M.; THORING, K. Design Thinking vs. Lean Startup: A comparison of two user-driven innovation strategies. In: 2012 International Design Management Research Conference, **Anais...2012a**.
- MUELLER, R. M.; THORING, K. Design Thinking Vs. Lean Startup: A comparison of two user-driven innovation strategies. In: 2012 International Design Management Research Conference, Boston, Estados Unidos. **Anais...** Boston, Estados Unidos: Design Management Institute, 2012b.
- NAKAMURA, K.; MUELLER, G. Review of the performance of the artificial floating island as a restoration tool for aquatic environments. In: World Environment and Water

Resources Congress, Honolulu. **Anais...** Honolulu: 2008.

NAKAMURA, K.; SHIMATANI, Y. Water Purification And Environmental Enhancement By Artificial Floating Island. In: Proc Asia Waterqual Korea, Tsukuba, Japan. **Anais...** Tsukuba, Japan: 1997.

NAKAMURA, K.; TSUKIDATE, M.; SHIMATANI, Y. Characteristics of ecosystem of an artificial vegetated floating island. **Transactions on Ecology and the Environment**, v. 16, 1997.

NAVRUD, S.; MUNGATANA, E. D. Environmental valuation in developing countries: The recreational value of wildlife viewing. **Ecological Economics**, v. 11, p. 135–151, 1994.

NDUWIMANA, A.; XIANG-LONG, Y.; WANG, L. Evaluation of a cost effective technique for treating aquaculture water discharge using *Lolium perenne* Lam as a biofilter. **Journal of Environmental Sciences**, v. 19, p. 1079–1085, 2007.

NING, D. et al. Effect of eco-remediation using planted floating bed system on nutrients and heavy metals in urban river water and sediment : A field study in China. **Science of the Total Environment**, v. 485–486, p. 596–603, 2014.

OLGUÍN, E. J. et al. Long-term assessment at field scale of Floating Treatment Wetlands for improvement of water quality and provision of ecosystem services in a eutrophic urban pond. **Science of the Total Environment**, v. 584–585, p. 561–571, 2017.

OLIVEIRA, P. F. de. **Sistema de fundear e sistemas de laborar**. [s.l.: s.n.]. Disponível em: <https://pt.slideshare.net/Edilsonsilva/trabalho-teoria-naval?from_action=save>.

OWANO, N. Maldives floating island masterplan tests the waters. **Phys.Org**, n. August, p. 1–2, 2012.

PALMA-CRUZ, F. de J. et al. Phytoremediation potential and ecological and phenological changes of native pioneer plants from weathered oil spill-impacted sites at tropical wetlands. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 23, n. 16, p. 16359–16371, 2016. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1007/s11356-016-6675-4>>.

PALMA, I. R. **Análise da percepção ambiental como instrumento ao planejamento da educação ambiental**. 2005. 48 Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2005.

PAVLINERI, N.; SKOULIKIDIS, N. T.; TSIHRINTZIS, V. A. Constructed Floating Wetlands : A review of research , design , operation and management aspects , and

data meta-analysis. **Chemical Engineering Journal**, v. 308, p. 1120–1132, 2017. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.cej.2016.09.140>>.

PEDERSEN, E.; WEISNER, S. E. B.; JOHANSSON, M. Wetland areas' direct contributions to residents' well-being entitle them to high cultural ecosystem values. **Science of the Total Environment**, v. 646, p. 1315–1326, 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.07.236>>.

PELLEGRINO, P. Paisagem como infraestrutura hídrica. In: **Estratégias para uma infraestrutura verde**. 1a. ed. São Paulo: Editora Manole Ltda., 2017. p. 317.

PEREIRA, R. S. Identificação e caracterização das fontes de poluição em sistemas hídricos. **Revista Eletrônica de Recursos Hídricos**, v. 1, n. 1, p. 20–36, 2004.

PESQUEIRO DO CARMO. **Nossa história**. Disponível em: <<https://www.pesqueirodocarmo.com.br/nossa-história>>. Acesso em: 28 fev. 2020.

PETERS, S. R. A corrosão metálica causada por águas naturais. 2008.

PINHEIRO, M. B. Aplicação da fitorremediação em função de tipologias de infraestrutura verde em microbacias urbanas da cidade de São Paulo. **Revista Labverde**, v. 10, n. 6, p. 62–82, 2015.

PINHEIRO, M. B. **Plantas para Infraestrutura Verde e o Papel da Vegetação no Tratamento das Águas Urbanas de São Paulo: Identificação de Critérios para a Seleção de Espécies**. 2017. Universidade de São Paulo, 2017.

PIPER, W. H. et al. Floating platforms increase reproductive success of common loons. **Biological Conservation**, v. 104, p. 199–203, 2002. Disponível em: <[https://doi.org/10.1016/S0006-3207\(01\)00165-3](https://doi.org/10.1016/S0006-3207(01)00165-3)>.

POMPEO, M. **Monitoramento e manejo de macrófitas aquáticas em reservatórios tropicais brasileiros**. 1. ed. São Paulo: Instituto de Biociências da Universidade de São Paulo, 2017.

POMPÊO, M. Monitoramento e manejo de macrófitas aquáticas. **Oecologia Brasiliensis**, v. 12, n. 3, p. 406–424, 2008.

POMPÊO, M. et al. Nitrogen and phosphorus in cascade multi-system tropical reservoirs: water and sediment. **Limnological Review**, v. 17, n. 3, p. 133–150, 2018.

PORRAS, J. **Isla flotantes de Uros en el Lago Titicaca**. Disponível em: <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/8/81/02._Islas_flotantes_de_Uros_%28101%29.JPG>. Acesso em: 20 fev. 2020.

QIU, L.; LINDBERG, S.; NIELSEN, A. B. Is biodiversity attractive?-On-site perception

of recreational and biodiversity values in urban green space. **Landscape and Urban Planning**, 2013.

QUEIROZ, J. F. de; BOEIRA, R. C.; NICOLELLA, G. Efeitos da aplicação de grandes quantidades de calcário agrícola em viveiros de piscicultura. **Embrapa Meio Ambiente**, n. 1, p. 26, 2016. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/156614/1/2016BP05.pdf>>.

QUIGLEY, M. et al. Articulating a social-ecological resilience agenda for urban design. **Journal of Urban Design**, v. 4809, p. 1–22, 2018. Disponível em: <<http://doi.org/10.1080/13574809.2018.1440176>>.

REIS, D. A. dos et al. Application of new agile approaches at University of São Paulo innovation agency's entrepreneurship and innovation course. **Gestão & Produção**, v. 26, n. 4, p. 1–15, 2019.

REVITT, D. M. et al. Experimental reedbed systems for the treatment of airport runoff. **Water Science and Technology**, v. 36, n. 8–9, p. 385–390, 1 jan. 1997. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0273122397005696>>. Acesso em: 18 jan. 2020.

RITTEL, H. W. J.; WEBBER, M. W. Dilemmas in a General Theory of Planning. **Policy Sciences**, v. 4, p. 155–169, 1973.

ROCHA, E. G. **Uso de jardins flutuantes na remediação de águas superficiais urbanas poluídas**. 2018. Universidade Federal de Campina Grande, 2018. Disponível em: <<http://www.ppgeca.ufcg.edu.br/dissertacoes-menu/dissertacoes-2018/category/74-dissertacoes-2018>>.

SABESP. **Esgotos**. Disponível em: <<http://site.sabesp.com.br/site/interna/Default.aspx?secaold=50>>. Acesso em: 29 dez. 2019.

SANDIFER, P. A.; SUTTON-GRIER, A. E.; WARD, B. P. Exploring connections among nature, biodiversity, ecosystem services, and human health and well-being: Opportunities to enhance health and biodiversity conservation. **Ecosystem Services**, v. 12, p. 1–15, 2015. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoser.2014.12.007>>.

SÃO PAULO. **GeoSampa**. Disponível em: <http://geosampa.prefeitura.sp.gov.br/PaginasPublicas/_SBC.aspx#>. Acesso em: 1 nov. 2019.

SASSER, C. E.; GOSELINK, J. G.; SHAFFER, G. P. Distribution of nitrogen and

phosphorus in a Louisiana freshwater floating marsh. **Aquatic Botany**, v. 41, n. 4, p. 317–331, 1991.

SCHIPPERIJN, J. et al. Factors influencing the use of green space: Results from a Danish national representative survey. **Landscape and Urban Planning**, v. 95, n. 3, p. 130–137, 2010.

SCHWAMMBERGER, P.; WALKER, C.; LUCKE, T. Using floating wetland treatment systems to reduce stormwater pollution from urban developments. **International Journal of GEOMATE**, v. 12, n. 31, p. 45–50, 2017.

SHEALER, D. A.; BUZZELL, J. M.; HEIAR, J. P. Effect of floating nest platforms on the breeding performance of Black Terns. **Journal of Field Ornithology**, v. 77, n. 2, p. 184–194, 2006.

SHENG, Y. et al. A combined application of different engineering and biological techniques to remediate a heavily polluted river. **Ecological Engineering**, v. 57, p. 1–7, 2013. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoleng.2013.04.004>>.

SHINY, K. J. et al. Biotreatment of wastewater using aquatic invertebrates, *Daphnia magna* and *Paramecium caudatum*. **Bioresource Technology**, v. 96, n. 1, p. 55–58, 2005.

SILVA, D. da. **Dinâmica de populações de *Microcystis* (Cyanobacteria) em pesqueiros da Região Metropolitana de São Paulo, SP, Brasil**. 2005. Secretaria do Meio Ambiente, 2005.

SILVA, M. A. G. Influence of Environmental Aging on Properties of Polymeric Mortars. **Journal of Materials in Civil Engineering**, v. 16, n. 5, p. 461–468, 2004. Disponível em: <[http://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/\(ASCE\)0899-1561\(1997\)9:2\(85\)](http://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/(ASCE)0899-1561(1997)9:2(85))>.

SIMONE VAN KAICK, T.; FASSI, E.; JUNIOR, C. a Experiência De Um Processo De Inovação De Tecnologia Para Saneamento Voltado Para O Conceito De Desenvolvimento Sustentável Na Universidade Tecnológica Federal Do Paraná. n. 1, 2007.

SONG, H. L. et al. Investigation of microcystin removal from eutrophic surface water by aquatic vegetable bed. **Ecological Engineering**, v. 35, n. 11, p. 1589–1598, 2009.

SOUZA, C. F. et al. Eficiência de estação de tratamento de esgoto doméstico visando reuso agrícola. **Revista Ambiente e Água**, v. 9, n. 3, p. 445–458, 2014.

STANFORD D.SCHOOL. **Bootcamp Bootleg**. [s.l.: s.n.]

STEWART, F. M. et al. Floating islands as an alternative to constructed wetlands for

treatment of excess nutrients from agricultural and municipal wastes-results of laboratory-scale tests. **Land Contamination & Reclamation**, v. 16, n. 1, p. 25–33, 2008.

STRICKLAND, J. D.; PARSONS, T. R. **A manual of seawater analysis**. Ottawa: Bulletin of the Fisheries Research Board of Canada, 1960.

TANNER, C. C. et al. Floating treatment wetlands: a new tool for nutrient management in lakes and waterways. **Adding to the knowledge base for the nutrient manager**, n. Figure 1, p. 12, 2011a. Disponível em: <<http://flrc.massey.ac.nz/publications.html>>.

TANNER, C. C. et al. Floating treatment wetlands: a new tool for nutrient management in lakes and waterways. **Adding to the knowledge base for the nutrient manager**, n. Figure 1, p. 12, 2011b. Disponível em: <<http://flrc.massey.ac.nz/publications.html>>.

TANNER, C. C.; HEADLEY, T. R. Components of floating emergent macrophyte treatment wetlands influencing removal of stormwater pollutants. **Ecological Engineering**, v. 37, n. 3, p. 474–486, 2011. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoleng.2010.12.012>>.

THAKUR, I. S.; MEDHI, K. Nitrification and denitrification processes for mitigation of nitrous oxide from waste water treatment plants for biovalorization: Challenges and opportunities. **Bioresource Technology**, v. 282, n. March, p. 502–513, 2019.

URAKAWA, H.; DETTMAR, D. L.; THOMAS, S. The uniqueness and biogeochemical cycling of plant root microbial communities in a floating treatment wetland. **Ecological Engineering**, v. 108, p. 573–580, 2017. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2017.06.066>>.

URSANU, A. D. et al. Micro-macro surface aspects of corrosion resistance of a stainless steel in sea water. **Tehnomus**, p. 21–24, [s.d.]

VAN OOSTROM, A. J. Nitrogen removal in constructed wetlands treating nitrified meat processing effluent. **Water Science & Technology**, v. 32, n. 3, p. 137–147, 1995. Disponível em: <http://www.ghbook.ir/index.php?name=فرهنگ و رسانه های نوین&option=com_dbook&task=readonline&book_id=13650&page=73&chckhashk=ED9C9491B4&Itemid=218&lang=fa&tmpl=component>.

VANTINE, C. E. de S. **A valoração ambiental: um estudo de caso para a valoração de bens em processos de indenização**. 2010. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 2010. Disponível em: <<http://www.itr.ufrjr.br/portal/a-valoracao-ambiental-um-estudo-de-caso-para-a-valoracao-de-bens-em-processo-de-indenizacao/>>.

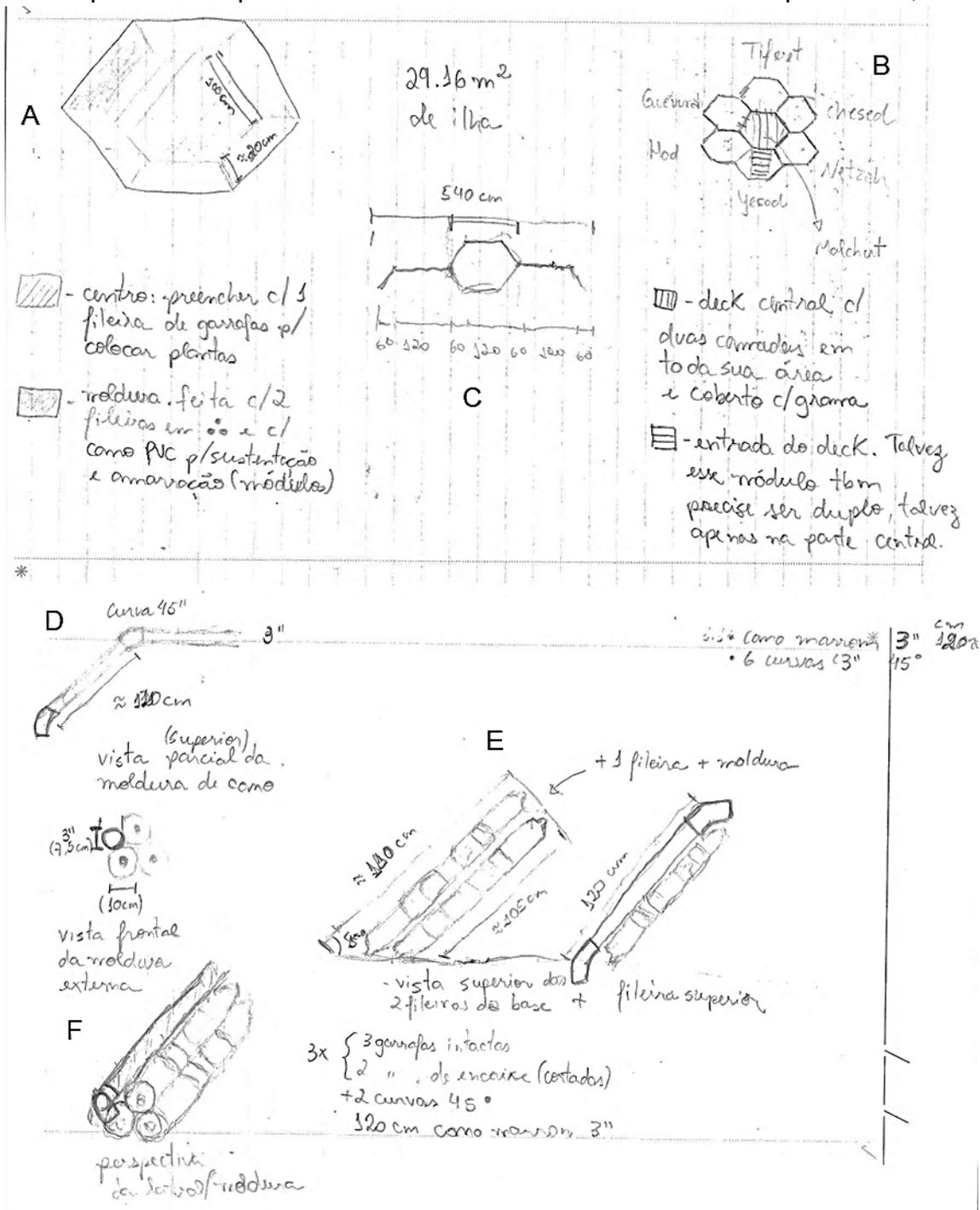
- VIAGGIU, E. et al. Anatoxin-a toxin in the cyanobacterium *Planktothrix rubescens* from a fishing pond in northern Italy. **Environmental Toxicology**, v. 19, n. 3, p. 191–197, 2004.
- VIANNA, M. M. et al. **Design Thinking: Inovando em negócios**. 1a. edição ed. Rio de Janeiro: MJV Press, 2012.
- VÖRÖSMARTY, C. J. et al. Global threats to human water security and river biodiversity. **Nature**, v. 467, n. 7315, p. 555–561, 2010.
- WALKER, C.; TONDERA, K.; LUCKE, T. Stormwater treatment evaluation of a Constructed Floating Wetland after two years operation in an urban catchment. **Sustainability**, v. 9, n. 10, 2017.
- WANG, C. Y. et al. Floating treatment wetland nutrient removal through vegetation harvest and observations from a field study. **Ecological Engineering**, v. 78, p. 15–26, 2015. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoleng.2014.05.018>>.
- WANG, C. Y.; SAMPLE, D. J. Assessment of the nutrient removal effectiveness of floating treatment wetlands applied to urban retention ponds. **Journal of Environmental Management**, v. 137, p. 23–35, 2014. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2014.02.008>>.
- WEST, M. et al. Evaluation of algal bloom mitigation and nutrient removal in floating constructed wetlands with different macrophyte species. **Ecological Engineering**, v. 108, n. November 2016, p. 581–588, 2017. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoleng.2017.07.033>>.
- WETZEL, R. G.; LIKENS, G. E. **Limnological analyses**. 3. ed. New York: Springer, 2000.
- WHITE, S. A.; COUSINS, M. M. Floating treatment wetland aided remediation of nitrogen and phosphorus from simulated stormwater runoff. **Ecological Engineering**, v. 61, p. 207–215, 2013. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoleng.2013.09.020>>.
- WINSTON, R. J. et al. Evaluation of floating treatment wetlands as retrofits to existing stormwater retention ponds. **Ecological Engineering**, v. 54, p. 254–265, 2013a. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoleng.2013.01.023>>.
- WINSTON, R. J. et al. Evaluation of floating treatment wetlands as retrofits to existing stormwater retention ponds. **Ecological Engineering**, v. 54, p. 254–265, 2013b. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoleng.2013.01.023>>.

YEH, N.; YEH, P.; CHANG, Y.-H. Artificial floating islands for environmental improvement. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 47, p. 616–622, 2015.

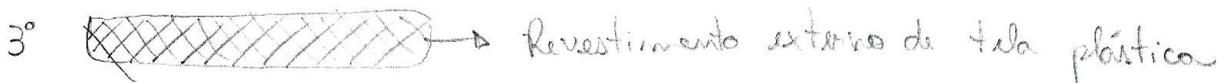
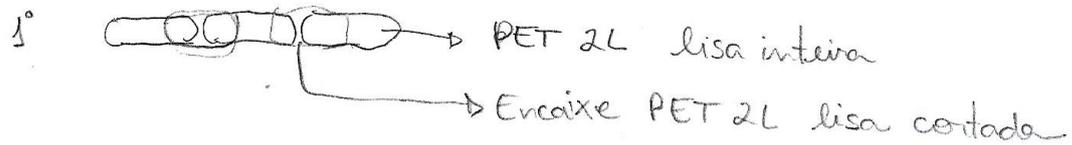
ZHAO, F. et al. Purifying eutrophic river waters with integrated floating island systems. **Ecological Engineering**, v. 40, p. 53–60, 2012. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoleng.2011.12.012>>.

APÊNDICES

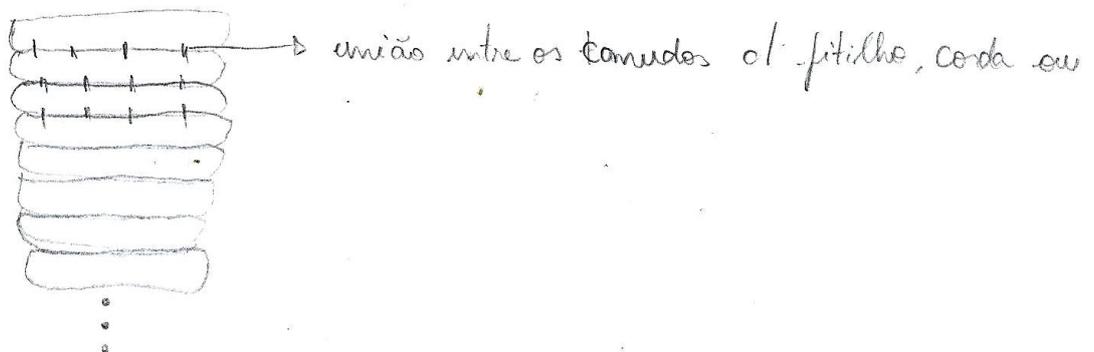
Apêndice A – Croqui de protótipo de baixa fidelidade feito na fase de ideação do projeto de pesquisa. É representado módulo individual em formato de hexágono (A) e conjunto de sete módulos agrupados (B), sendo dois deles utilizados como área de deck para permanência. Em C é apresentado a largura dos módulos agrupados e a área final estimada desse modelo seria de 29,16m². São apresentados detalhes de encaixe da moldura sextavada (D) com posicionamento de garrafas internas a moldura em E. Em F é representado um desenho em perspectiva de três fileiras de garrafas que ficariam presas a moldura de PVC. Fonte: Elaborado pelo Autor, 2018.



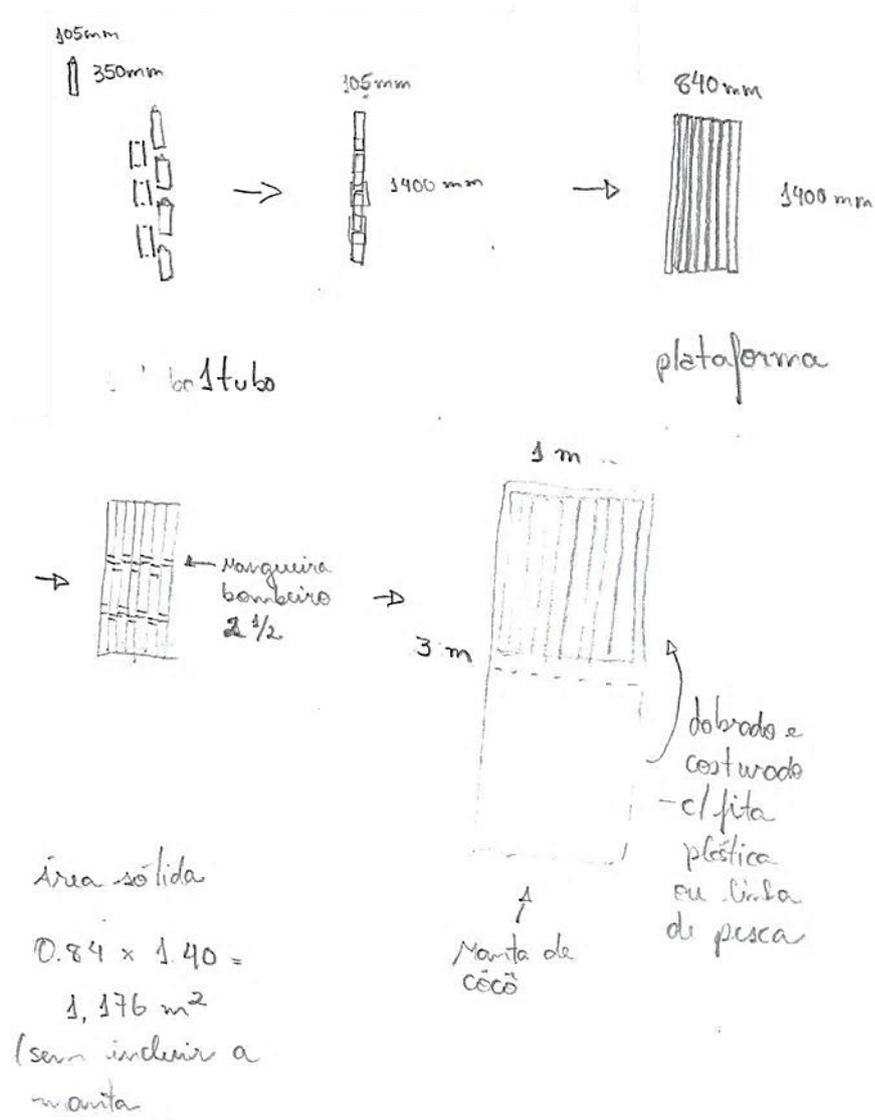
Modelo #1



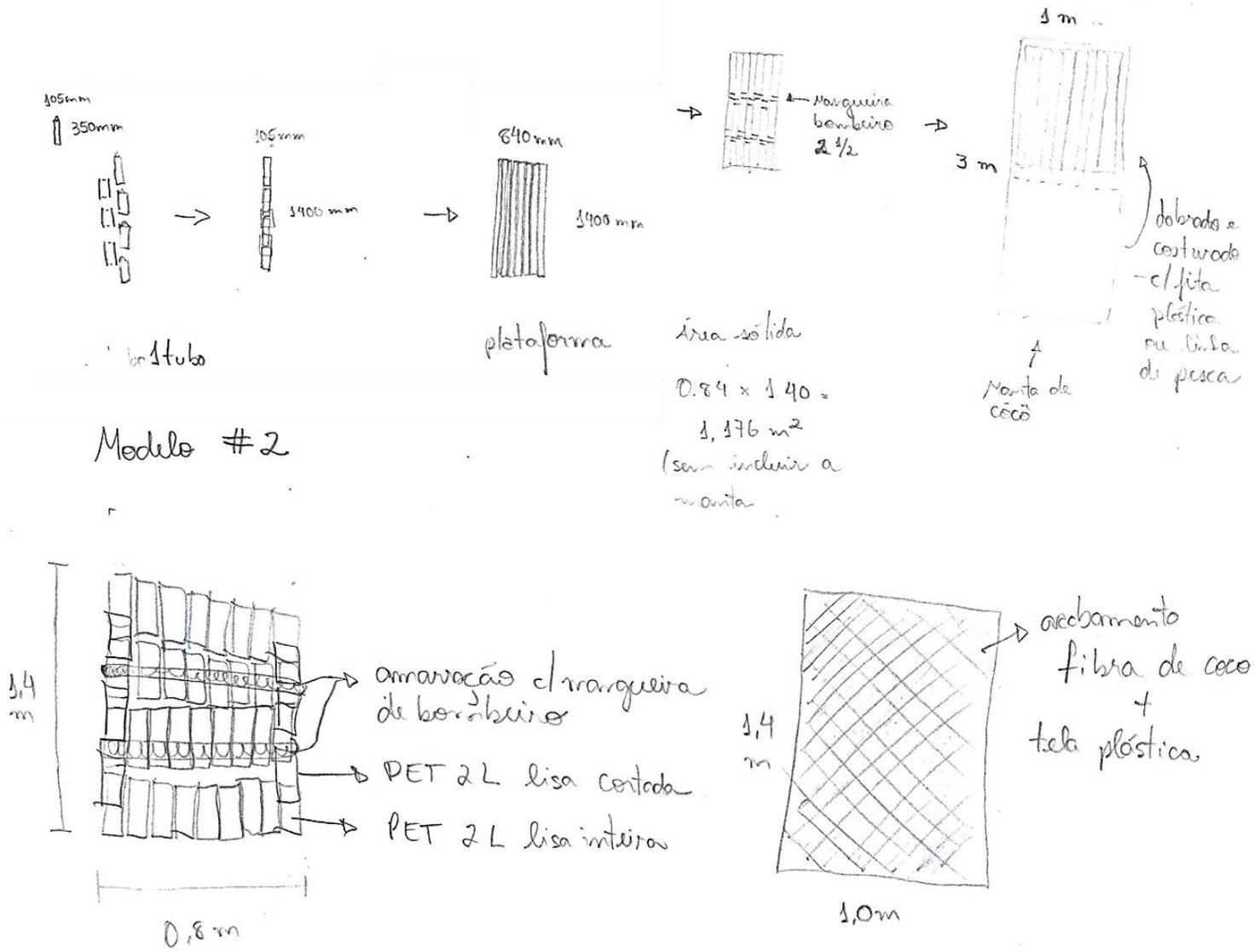
x 13 camudas de tipo



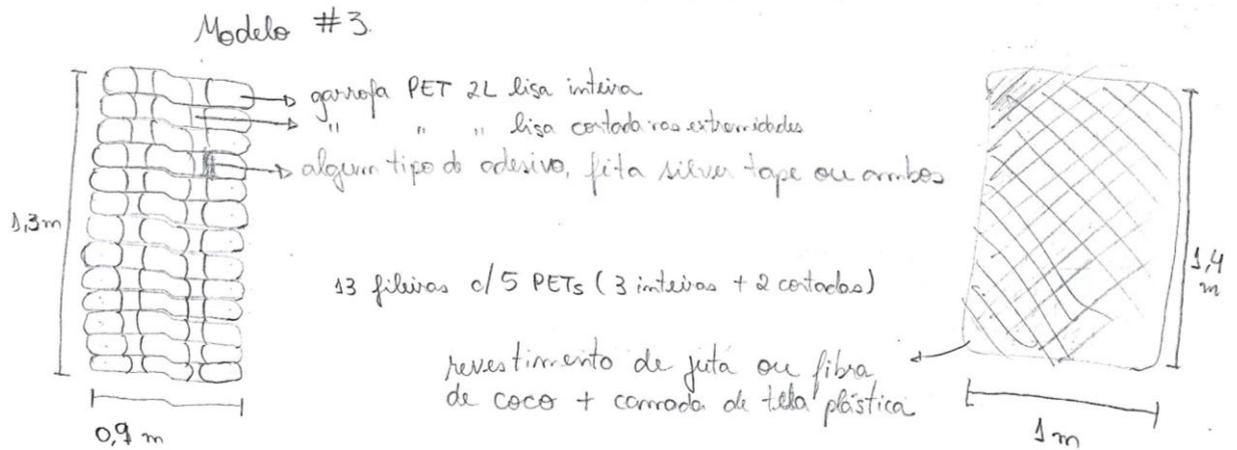
Apêndice C – Croqui do protótipo #2. Fonte: Elaborado pelo Autor, 2018.



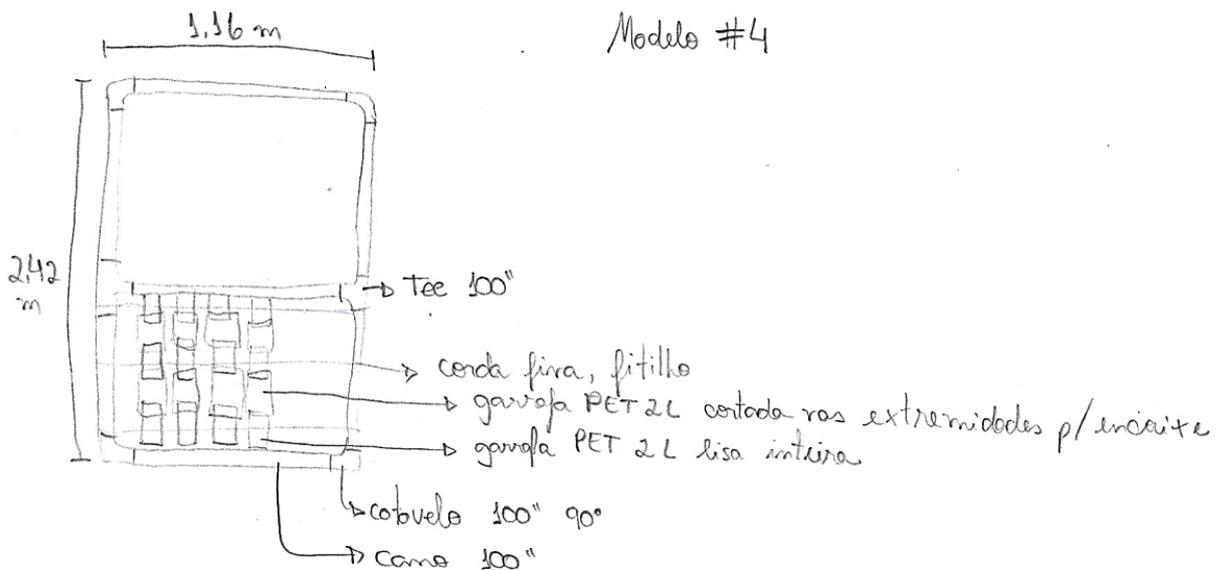
Apêndice D – Croqui do protótipo #2. Fonte: Elaborado pelo Autor, 2018.

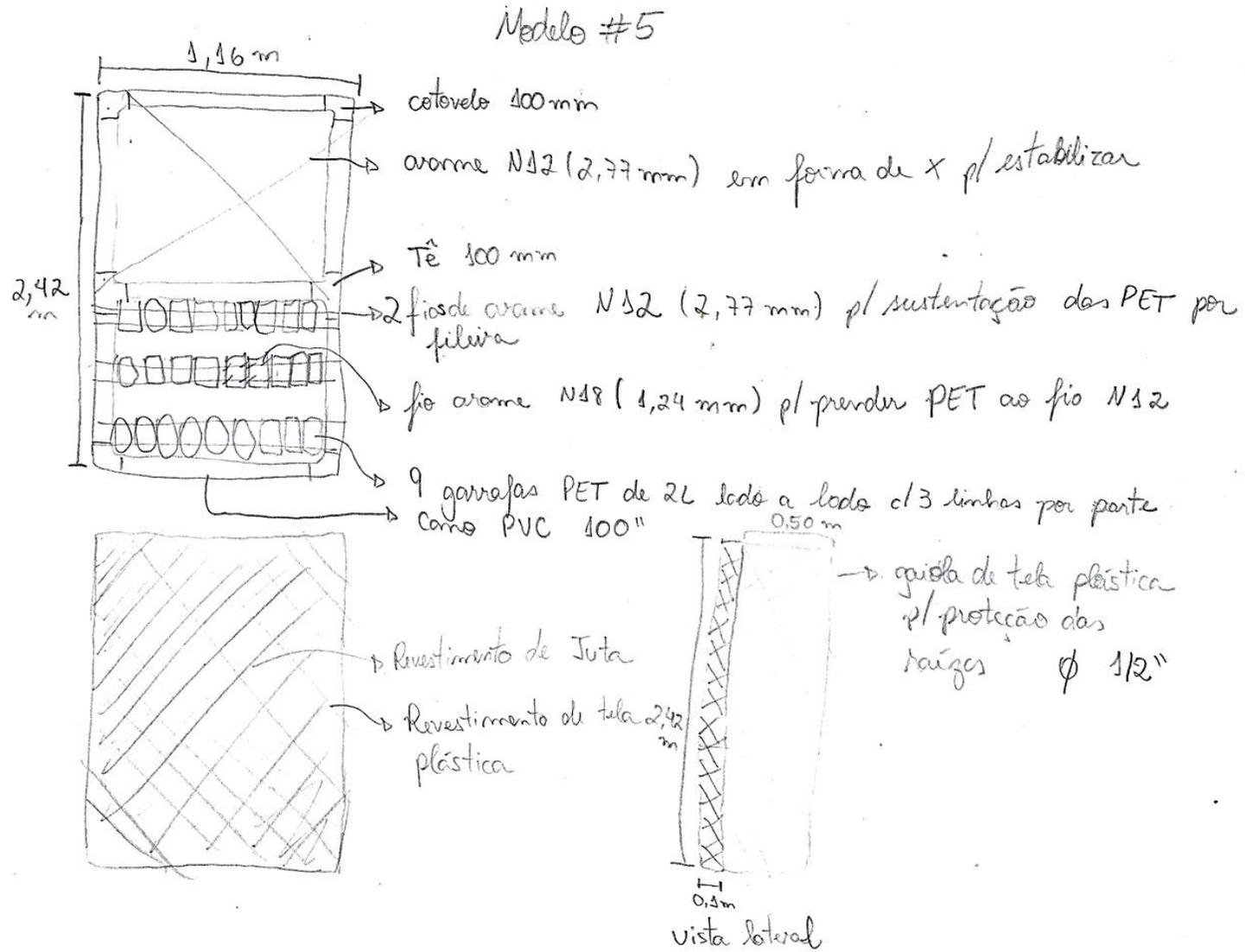


Apêndice E – Croqui do protótipo #3. Fonte: Elaborado pelo Autor, 2018.

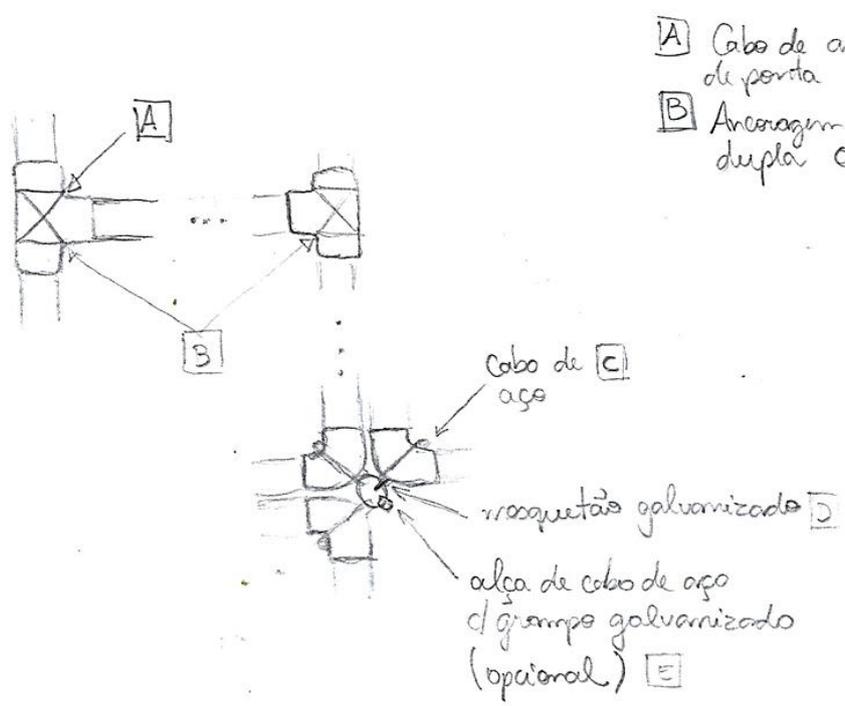


Apêndice F – Croqui do protótipo #4. Fonte: Elaborado pelo Autor, 2018.





Apêndice H – Croqui do detalhamento de amarração interna entre as plataformas feito com fios de arame galvanizado. Fonte: Elaborado pelo Autor, 2018.



- A) Cabo de aço p/ ancoragem de ponta simples
- B) Ancoragem de ponta dupla central

- C) Alça p/ conexão que se encontrará em cada canto, $\approx 40\text{cm}$ p/ dar a volta e sobrepôr o grampo galvanizado
- D) Mequetão p/ conexão rápida. Galvanizado de 40-60mm

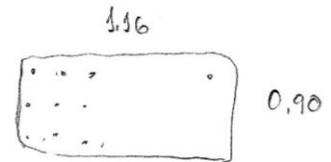
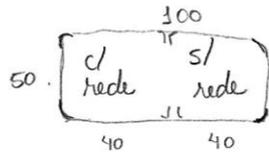
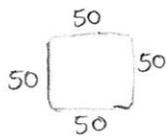
A- Cabo de aço dando algumas voltas cruzadas em torno de "te" c/ uma área livre p/ cruzar c/ uma corda que levará a ponta p/ ancoragem de fundo; OU cabo de aço p/ ancoragem lateral; OU cabo de aço p/ pilastria "delphin"

B- Ancoragem mais reforçada p/ locais c/ água movimentada, dando maior estrutura p/ a ilha.

Apêndice I – Croqui do protótipo #6. Fonte: Elaborado pelo Autor, 2018.

Módulo de teste

3.95



$\left\{ \begin{array}{l} 2\text{m de corno} \\ 4 \text{ joelhos} \end{array} \right.$
 $\times 2$

 4m corno
 8 joelhos + 1

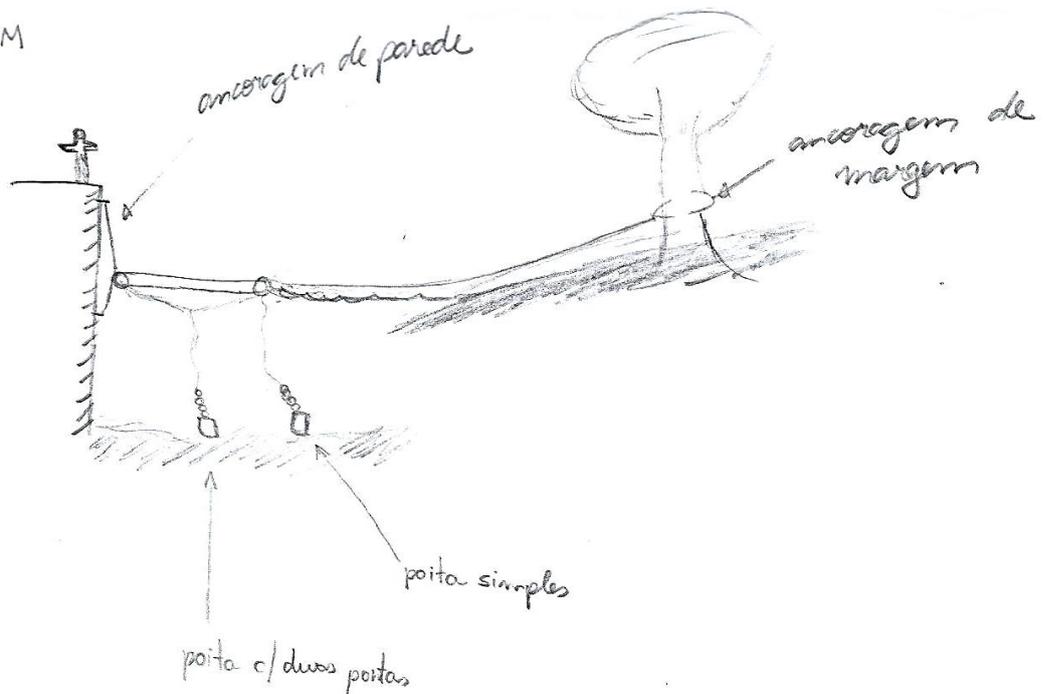
4 joelhos + 1 joelho = 5 comprar
 2 tes já tenho
 2,8 m de corno já tenho

 Final

Essa versão
gasta mais

Apêndice J – Croqui dos tipos de sistema de ancoragem. Fonte: Elaborado pelo Autor, 2018.

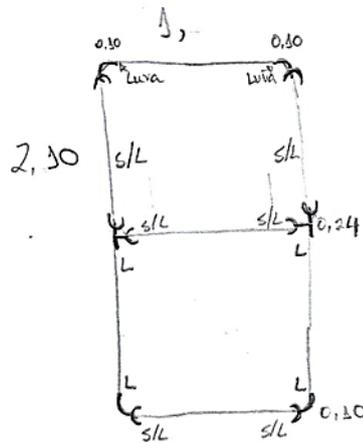
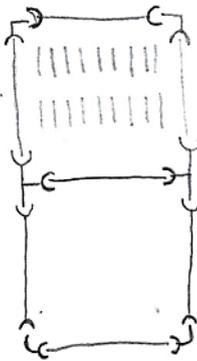
ANCORAGEM



Bote de coleta

| Material | medidas | qnt |
|-----------------|-------------|------------------------|
| Placas de gesso | 0,50 x 0,50 | 8 |
| tela | | |
| garrafas | 36 ou 32 | pl/ preencher os meios |
| arame | ✓ | |
| tec: | 100 mm | 2 un |
| cotovele | 300 mm | 4 un |
| como | ↓ | barra cortada |

- 2 fitas de 9 PETs em cada espelho



$$\begin{array}{r} 2,30 \\ - 0,20 \text{ cotovele} \\ \hline 0,90 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 2,30 \\ - 0,44 \text{ cotovele} \\ \hline 1,662 \\ 0,83 \end{array}$$

- 6 luvras
- 8 placas de base sobrepostas
- arame nas garrafas e alças pl/ prender

| | | |
|------|------|------------|
| 2 ps | 0,90 | cabeceiras |
| 1 ps | 0,87 | meio |
| 4 ps | 0,83 | laterais |

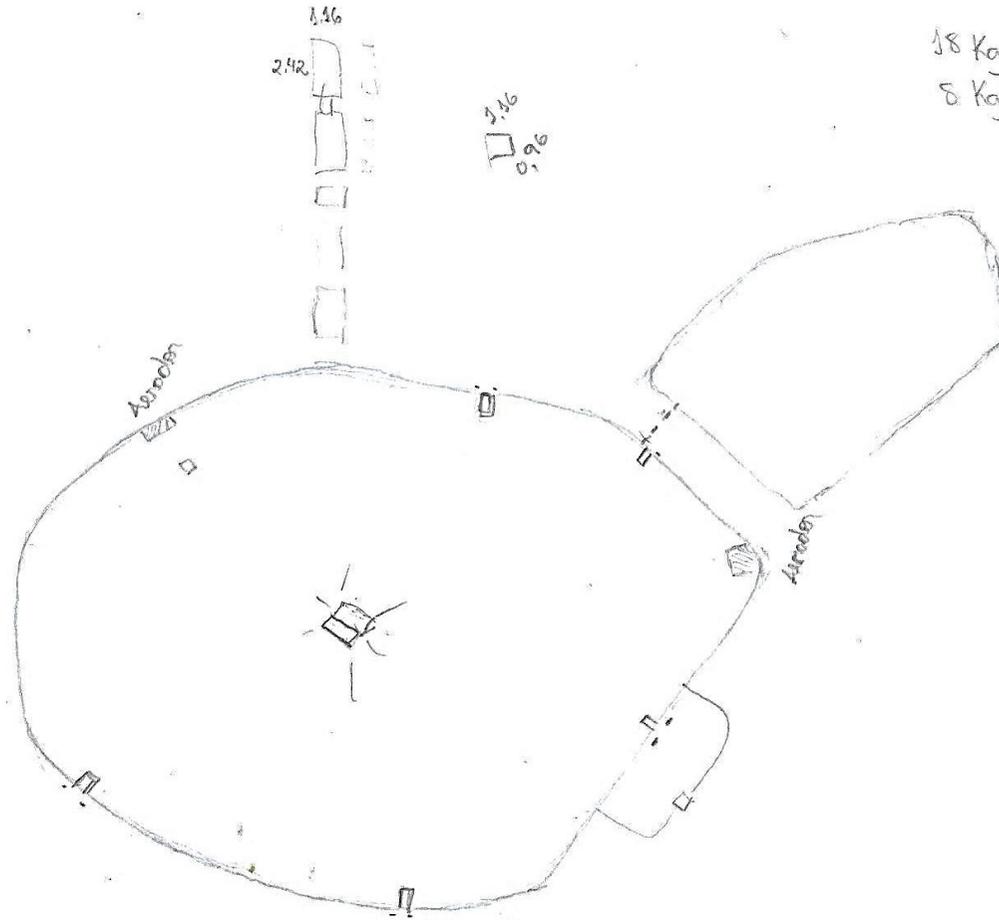
Apêndice L – Croqui do posicionamento do alagado flutuante construído dentro do lago do Pesqueiro. As anotações contêm informações sobre dimensionamento da área e peso das estruturas. Fonte: Elaborado pelo Autor, 2018.

Área ilha = 2.80 m^2

ilha dupla = 5.61 m^2
(atual)

ilha pequena = 1.11 m^2

+ bote p/maintenance



Espaço entre os botes: 1,25
1,57

Apêndice M – Variáveis analisadas nos locais de estudo. Valores brutos de temperatura (T), profundidade do disco de Secchi (DS), zona eufótica (ZE)²⁶; profundidade no ponto de coleta (P), condutividade elétrica (CE), pH, oxigênio dissolvido (OD), material em suspensão total (MST), material em suspensão orgânico (MSO), material em suspensão inorgânico (MSI), clorofila-a (Cl), feopigmentos (Feo), ortofosfato (Orto), nitrito (NO₂⁻) e amônio (NH₄⁺). Valores máximo (Max), mínimo (Min), médio (Méd), desvio padrão (DP), coeficiente de variação (CV) e quantidade de dados analisados (N) são indicados no final da tabela. Notas: 1) Valores mínimos e máximos destacados em negrito na tabela; 2) (*) Valores abaixo do limite de detecção do método foram substituídos por metade do valor (limite de detecção de 8,37 µg.L⁻¹ para ortofostato e 17,87 µg.L⁻¹ para nitrito)²⁷; 3) (N.D.) valores não determinados. Fonte: Elaborado pelo Autor, 2020.

| Ponto | T °C | DS m | ZE m | Prof m | CE uS.cm ⁻¹ | pH | OD mg.L ⁻¹ | MST mg.L ⁻¹ | MSO mg.L ⁻¹ | MSI mg.L ⁻¹ | Cl-a µg.L ⁻¹ | Feo µg.L ⁻¹ | Orto µg.L ⁻¹ | NO ₂ - µg.L ⁻¹ | NH ₄ ⁺ µg.L ⁻¹ |
|-------|-----------|---------|---------|-------------|---------------------------|-----|--------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|----------------------------|---------------------------|----------------------------|---|--|
| 1.1.1 | 17 | 0,38 | 1,03 | 1,42 | 198,2 | 7,5 | 5,5 | 59,0 | 41,0 | 18,0 | 141,8 | 241,1 | 4,19* | 17,5 | 27,7 |
| 1.1.2 | 18 | 0,35 | 0,95 | 2,47 | 193,2 | 7,0 | 5,5 | 46,7 | 34,3 | 12,4 | 187,6 | 319,0 | 4,19* | 19,5 | 8,9 |
| 1.1.3 | 17,5 | 0,375 | 1,01 | 1,41 | 189,7 | 7,0 | 6,5 | 50,0 | 36,0 | 14,0 | 205,8 | 349,9 | 4,19* | 19,3 | 8,9 |
| 1.2.1 | 20 | 0,38 | 1,03 | 1,38 | 197,7 | 7,2 | 7 | 37,4 | 37,4 | 0,0 | 45,5 | 77,3 | 4,19* | 12,0 | 47,8 |
| 1.2.2 | 19 | 0,33 | 0,89 | 2,33 | 190,5 | 7,3 | 6,7 | 50,0 | 44,0 | 6,0 | 118,2 | 200,9 | 4,19* | 9,5 | 30,5 |
| 1.2.3 | 19 | 0,38 | 1,03 | 1,33 | 191,2 | 7,2 | 6,7 | 49,0 | 48,0 | 1,0 | 336,8 | 572,6 | 4,19* | 10,5 | 32,8 |
| 1.3.1 | 18 | 0,33 | 0,89 | 1,45 | 245 | 7,0 | 4,8 | 54,3 | 40,0 | 14,3 | 166,1 | 282,4 | 4,19* | 10,1 | 69,1 |
| 1.3.2 | 17 | 0,31 | 0,84 | 2,01 | 193 | 7,1 | 4,8 | 53,5 | 42,6 | 10,9 | 195,1 | 331,7 | 4,19* | 6,8 | 36,3 |
| 1.3.3 | 17 | 0,37 | 1,00 | 1,48 | 240 | 7,0 | 4,7 | 51,9 | 40,4 | 11,5 | 15,4 | 26,2 | 4,19* | 8,9 | 55,3 |
| 1.4.1 | 17,5 | 0,33 | 0,89 | 1,37 | 251 | 7,1 | 3,6 | 65,4 | 51,9 | 13,5 | 309,1 | 525,4 | 4,19* | 30,7 | N.D. |
| 1.4.2 | 17,5 | 0,3 | 0,81 | 2,44 | 197,7 | 7,3 | 4 | 46,3 | 37,0 | 9,3 | 36,2 | 61,5 | 4,19* | 34,8 | 8,9 |
| 1.4.3 | 17,5 | 0,33 | 0,89 | 1,3 | 193,2 | 7,2 | 4 | 53,4 | 41,7 | 11,7 | 189,8 | 322,6 | 4,19* | 26,1 | 80,5 |
| 1.5.1 | 17 | 0,3 | 0,81 | 1,44 | 187,4 | 7,0 | 4,5 | 77,8 | 63,6 | 14,1 | 254,6 | 432,8 | 10,44 | 5,3 | 92,6 |
| 1.5.2 | 17 | 0,26 | 0,70 | 2,95 | 191,6 | 7,0 | 4,7 | 40,4 | 36,4 | 4,0 | 166,7 | 283,4 | 4,19* | 7,4 | 128,2 |
| 1.5.3 | 17,5 | 0,31 | 0,84 | 1,43 | 188,2 | 7,0 | 4 | 55,1 | 38,8 | 16,3 | 107,9 | 183,5 | 4,19* | 6,2 | 57,0 |

(Continua)

²⁶ 2,7*SD (COLE, 1979 apud; POMPÊO et al., 2018)

²⁷ Como apresentado por Pompêo et al. (2018).

(Continuação)

| Ponto | T °C | DS m | ZE m | Prof m | CE uS.cm ⁻¹ | pH | OD mg.L ⁻¹ | MST mg.L ⁻¹ | MSO mg.L ⁻¹ | MSI mg.L ⁻¹ | Cl-a µg.L ⁻¹ | Feo µg.L ⁻¹ | Orto µg.L ⁻¹ | NO2- µg.L ⁻¹ | NH4+ µg.L ⁻¹ |
|--------|-----------|-------------|-------------|-----------|---------------------------|------------|--------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|----------------------------|---------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|
| 1.6.1 | 20,5 | 0,3 | 0,81 | 1,41 | 221 | 7,0 | 5,4 | 74,8 | 56,5 | 18,3 | 119,6 | 203,4 | 4,19* | 1,0 | 49,5 |
| 1.6.2 | 19 | 0,27 | 0,73 | 2,87 | 220 | 7,0 | 4,9 | 56,7 | 45,8 | 10,8 | 50,1 | 85,2 | 21,37 | 1,2 | 40,3 |
| 1.6.3 | 20 | 0,32 | 0,86 | 1,36 | 195,7 | 7,0 | 4,8 | 73,3 | 61,7 | 11,7 | 243,0 | 413,1 | 30,62 | 1,5 | 28,2 |
| 1.7.1 | 20 | 0,29 | 0,78 | 1,36 | 197 | 7,0 | 4,5 | 58,8 | 41,2 | 17,6 | 50,1 | 85,2 | 38,18 | 3,9 | 315,0 |
| 1.7.2 | 20,5 | 0,27 | 0,73 | 2,86 | 199 | 7,0 | 4,1 | 38,4 | 38,4 | 0,0 | 251,9 | 428,2 | 39,86 | 10,2 | 402,4 |
| 1.7.3 | 20 | 0,32 | 0,86 | 1,2 | 238 | 7,1 | 4,3 | 56,0 | 41,6 | 14,4 | 212,8 | 361,8 | 41,55 | 3,8 | 259,3 |
| 1.8.1 | 24 | 0,32 | 0,86 | 1,42 | 207 | 6,9 | 4 | 55,7 | 42,6 | 13,1 | 272,5 | 463,2 | 4,19* | 7,2 | 116,2 |
| 1.8.2 | 23,5 | 0,32 | 0,86 | 2,89 | 193 | 6,8 | 4,7 | 41,4 | 34,4 | 7,0 | 209,6 | 356,4 | 4,19* | 7,2 | 121,9 |
| 1.8.3 | 24 | 0,3 | 0,81 | 1,29 | 197 | 6,7 | 3,1 | 28,7 | 28,7 | 0,0 | 164,7 | 280,0 | 4,19* | 8,0 | 71,4 |
| 1.9.1 | 24 | 0,26 | 0,70 | 1,47 | 206 | 6,9 | 3,5 | 54,8 | 40,3 | 14,5 | N.D. | N.D. | 4,19* | 0,7 | 78,8 |
| 1.9.2 | 24 | 0,29 | 0,78 | 2,9 | 195 | 6,9 | 3 | 58,6 | 42,2 | 16,4 | 84,7 | 144,0 | 4,19* | 2,3 | 94,9 |
| 1.9.3 | 24 | 0,26 | 0,70 | 1,42 | 215 | 6,8 | 3 | 77,7 | 50,8 | 26,9 | 524,1 | 891,0 | 25,57 | 3,4 | 152,4 |
| 1.10.1 | 25,5 | 0,25 | 0,68 | 1,45 | 195 | 7,2 | 5,2 | 64,0 | 57,6 | 6,4 | 676,3 | 1149,7 | 4,19* | 0,5 | 104,7 |
| 1.10.2 | 25,5 | 0,26 | 0,70 | 2,75 | 192,7 | 7,2 | 5,3 | 64,0 | 44,0 | 20,0 | 456,0 | 775,2 | 4,19* | 0,6 | 46,6 |
| 1.10.3 | 26 | 0,28 | 0,76 | 1,31 | 194,8 | 7,4 | 5,7 | 48,8 | 40,8 | 8,0 | 361,6 | 614,8 | 4,19* | 0,5 | 23,7 |
| 2.1.1 | 19 | 0,67 | 1,81 | 0,68 | 47,3 | 7,7 | 7,5 | 23,7 | 15,8 | 7,9 | 186,6 | 317,3 | 4,19* | 1,9 | 47,2 |
| 2.1.2 | 17,5 | 0,67 | 1,81 | 1,23 | 43,9 | 7,2 | 8,1 | 16,9 | 15,4 | 1,5 | 89,1 | 151,5 | 4,19* | 4,3 | 21,9 |
| 2.1.3 | 17,5 | 0,66 | 1,78 | 0,72 | 44,5 | 7,0 | 7,6 | 12,2 | 12,2 | 0,0 | 142,6 | 242,4 | 4,19* | 4,4 | 8,9 |
| 2.2.1 | 21 | 0,68 | 1,84 | 0,73 | 43,1 | 6,6 | 6 | 14,6 | 14,6 | 0,0 | 17,0 | 28,9 | 4,19* | 4,2 | 8,9 |
| 2.2.2 | 18,5 | 0,64 | 1,73 | 1,15 | 44,7 | 6,7 | 6,2 | 12,0 | 11,0 | 1,0 | N.D. | N.D. | 4,19* | 2,8 | 8,9 |
| 2.2.3 | 18,5 | 0,74 | 2,00 | 0,86 | 44,1 | 6,8 | 6,3 | 10,0 | 10,0 | 0,0 | 64,6 | 109,8 | 4,19* | 2,8 | 8,9 |
| 2.3.1 | 19 | 0,63 | 1,70 | 0,58 | 57,3 | 6,8 | 4,5 | 18,1 | 16,2 | 1,9 | 34,6 | 58,8 | 4,19* | 4,0 | 56,4 |
| 2.3.2 | 18,5 | 0,63 | 1,70 | 1,01 | 48,3 | 6,9 | 4,8 | 9,4 | 9,4 | 0,0 | 25,7 | 43,6 | 4,19* | 3,4 | 8,9 |
| 2.3.3 | 18 | 0,75 | 2,03 | 0,75 | 51,7 | 6,8 | 4,3 | 14,1 | 12,1 | 2,0 | 47,0 | 80,0 | 4,19* | 4,3 | 39,7 |
| 2.4.1 | 17 | 0,5 | 1,35 | 0,63 | 54 | 6,9 | 5,3 | 13,6 | 13,6 | 0,0 | 17,0 | 28,9 | 4,19* | 3,5 | 8,9 |
| 2.4.2 | 17,5 | 0,62 | 1,67 | 1,04 | 54,2 | 6,9 | 5 | 16,3 | 16,3 | 0,0 | 74,8 | 127,2 | 4,19* | 3,4 | 8,9 |

(Continua)

(Continuação)

| Ponto | T °C | DS m | ZE m | Prof m | CE uS.cm ⁻¹ | pH | OD mg.L ⁻¹ | MST mg.L ⁻¹ | MSO mg.L ⁻¹ | MSI mg.L ⁻¹ | Cl-a µg.L ⁻¹ | Feo µg.L ⁻¹ | Orto µg.L ⁻¹ | NO2- µg.L ⁻¹ | NH4+ µg.L ⁻¹ |
|------------|---------|---------|---------|-------------|---------------------------|------------|--------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|----------------------------|---------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|
| 2.4.3 | 17,5 | 0,73 | 1,97 | 1,19 | 48,1 | 6,6 | 4,3 | 9,9 | 9,9 | 0,0 | 82,9 | 140,9 | 4,19* | 5,3 | 20,2 |
| 2.5.1 | 19,5 | 0,68 | 1,84 | 0,73 | 54,3 | 7,0 | 5,6 | 9,0 | 9,0 | 0,0 | N.D. | N.D. | 4,19* | 3,7 | 8,9 |
| 2.5.2 | 20 | 0,68 | 1,84 | 1,13 | 58,2 | 7,2 | 5,8 | 5,9 | 5,9 | 0,0 | N.D. | N.D. | 4,19* | 3,8 | 20,2 |
| 2.5.3 | 20 | 0,69 | 1,86 | 0,77 | 80 | 7,0 | 5,6 | 5,0 | 5,0 | 0,0 | N.D. | N.D. | 4,19* | 4,8 | 19,1 |
| 2.6.1 | 22 | 0,62 | 1,67 | 0,69 | 70,4 | 7,1 | 6,4 | 16,7 | 16,7 | 0,0 | 85,6 | 145,6 | 36,50 | 1,3 | 34,6 |
| 2.6.2 | 21 | 0,62 | 1,67 | 1,11 | 81,7 | 6,8 | 8,3 | 8,3 | 8,3 | 0,0 | 29,7 | 50,5 | 4,19* | 1,8 | 30,5 |
| 2.6.3 | 20 | 0,64 | 1,73 | 0,92 | 54,2 | 6,7 | 7,5 | 4,2 | 4,2 | 0,0 | 36,1 | 61,3 | 4,19* | 1,4 | 53,0 |
| 2.7.1 | 20 | 0,64 | 1,73 | 0,71 | 49,9 | 6,9 | 5,5 | 14,1 | 14,1 | 0,0 | 129,4 | 220,0 | 4,19* | 1,6 | 19,6 |
| 2.7.2 | 21 | 0,53 | 1,43 | 1,06 | 49,7 | 6,6 | 5,7 | 14,3 | 14,3 | 0,0 | 38,2 | 64,9 | 8,75 | 2,3 | 8,9 |
| 2.7.3 | 21 | 0,58 | 1,57 | 0,73 | 48,8 | 6,6 | 5,7 | 11,1 | 11,1 | 0,0 | 32,1 | 54,5 | 4,19* | 1,3 | 19,1 |
| 2.8.1 | 24 | 0,61 | 1,65 | 0,93 | 49,5 | 6,7 | 7,9 | 9,4 | 9,4 | 0,0 | N.D. | N.D. | 4,19* | 1,8 | 28,2 |
| 2.8.2 | 24 | 0,64 | 1,73 | 1,19 | 55,1 | 6,8 | 5,3 | 6,2 | 6,2 | 0,0 | N.D. | N.D. | 4,19* | 2,4 | 32,8 |
| 2.8.3 | 23,5 | 0,62 | 1,67 | 1,09 | 54,5 | 7,0 | 7,7 | 15,1 | 15,1 | 0,0 | N.D. | N.D. | 4,19* | 1,8 | 50,7 |
| 2.9.1 | 23,5 | 0,63 | 1,70 | 0,84 | 49 | 6,7 | 3,4 | 7,9 | 7,9 | 0,0 | N.D. | N.D. | 4,19* | 0,6 | 8,9 |
| 2.9.2 | 23 | 0,65 | 1,76 | 1,16 | 49,5 | 6,5 | 3,5 | 1,6 | 1,6 | 0,0 | 2,1 | 3,6 | 4,19* | 0,7 | 36,9 |
| 2.9.3 | 23 | 0,63 | 1,70 | 1,21 | 46,5 | 6,5 | 3,5 | 2,3 | 2,3 | 0,0 | N.D. | N.D. | 4,19* | 0,6 | 8,9 |
| 2.10.1 | 24 | 0,55 | 1,49 | 0,57 | 50 | 6,7 | 4 | 21,6 | 16,0 | 5,6 | 56,8 | 96,6 | 4,19* | 0,7 | 8,9 |
| 2.10.2 | 23 | 0,54 | 1,46 | 1,15 | 50 | 6,7 | 3,5 | 17,7 | 15,4 | 2,3 | 38,5 | 65,4 | 4,19* | 0,5 | 8,9 |
| 2.10.3 | 23 | 0,55 | 1,49 | 0,93 | 49,3 | 6,7 | 3,8 | 15,2 | 13,6 | 1,6 | 40,6 | 69,1 | - | 0,5 | 8,9 |
| Max | 26,0 | 0,75 | 2,03 | 2,95 | 251,0 | 7,7 | 8,3 | 77,8 | 63,6 | 26,9 | 676,3 | 1149,7 | 37,0 | 34,8 | 402,4 |
| Min | 17,0 | 0,25 | 0,68 | 0,57 | 43,1 | 6,5 | 3,0 | 1,6 | 1,6 | 0,0 | 2,1 | 3,6 | 16,6 | 0,5 | 19,1 |
| Méd | 20,4 | 0,47 | 1,28 | 1,36 | 128,3 | 7,0 | 5,2 | 33,3 | 27,2 | 10,2 | 148,5 | 252,4 | 29,7 | 5,9 | 73,7 |
| DP | 2,7 | 0,17 | 0,46 | 0,65 | 77,5 | 0,2 | 1,4 | 23,4 | 17,5 | 6,5 | 139,8 | 237,6 | 8,4 | 7,2 | 79,7 |
| CV | 13,3 | 36,0 | 36,0 | 47,6 | 60,4 | 3,5 | 26,4 | 70,4 | 64,4 | 63,9 | 94,1 | 94,1 | 28,4 | 123,3 | 108,1 |
| N | 60 | 60 | 60 | 60 | 60 | 60 | 60 | 60 | 60 | 60 | 50 | 50 | 59 | 60 | 59 |

Apêndice N – Questionário aplicado com visitantes do pesqueiro com a finalidade de avaliar a percepção ambiental e valorar os serviços ecossistêmicos prestados pelos alagados flutuantes construídos.

Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE)

Prezado (a) Senhor (a),

O (a) Sr (a). está sendo convidado a participar da pesquisa: “Alagados Flutuantes Construídos” que tem por objetivo identificar a percepção ambiental dos entrevistados e a perspectiva de valoração dos serviços ecossistêmicos prestados pelo dispositivo. Essa pesquisa será realizada apenas com maiores de 18 anos que frequentam o pesqueiro. Sua participação no estudo consistirá em responder pesquisa de opinião sobre a percepção ambiental e o dispositivo instalado no lago do pesqueiro. A entrevista terá uma duração de mais ou menos 15 minutos e será gravada em áudio para posterior confirmação de dados, caso necessário, caso o Sr.(a) esteja de acordo.

O Sr. tem total liberdade de não participar da pesquisa ou retirar seu consentimento a qualquer momento, mesmo após o início da entrevista, sem qualquer prejuízo. Está assegurada a garantia do sigilo das suas informações e os dados serão utilizados exclusivamente para fins exclusivamente científicos. O Sr. não terá nenhuma despesa e não há compensação financeira relacionada à sua participação na pesquisa.

Caso tenha alguma dúvida sobre a pesquisa o Sr(a). poderá entrar em contato com Cleandho Marcos de Souza, responsável pela pesquisa através do email cleandho.souza@usp.br ou do telefone (11) xxxx-xxxx ou com o coordenador pelo estudo: Paulo Renato Mesquita Pellegrino pelo email prmpelle@usp.br ou pelo telefone (11) 3091-4544.

Sua participação é importante e voluntária e vai gerar informações que serão úteis para avaliar a percepção ambiental e opinião sobre o dispositivo instalado dos visitantes do pesqueiro.

Este termo será assinado em duas vias, pelo senhor e pelo responsável pela pesquisa, ficando uma via em seu poder.

Acredito ter sido suficientemente informado a respeito do foi lido para mim, sobre a pesquisa: "Alagados Flutuantes Construídos". Discuti com o pesquisador Cleandho Marcos de Souza, responsável pela pesquisa, sobre minha decisão em participar do estudo. Ficaram claros para mim os propósitos do estudo, os procedimentos, garantias de sigilo, de esclarecimentos permanentes e isenção de despesas. Concordo voluntariamente em participar deste estudo.

Assinale esta opção se concorda que a entrevista seja gravada em áudio.

Assinatura do entrevistado

___/___/___

Declaro que obtive de forma apropriada e voluntária o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido deste entrevistado para participação neste estudo.

Assinatura do responsável pelo estudo.

___/___/___

1° Bloco – Perfil Socioeconômico

Q1. Nome: _____

Q2. Idade: _____

Q3. Grau de escolaridade: _____

(Instrução: Perguntar: Qual é o seu grau de instrução? OU Qual é o seu grau de escolaridade? OU O Sr./Sra. já estudou? Até que ano na escola? Essa pergunta pode ser adaptada de acordo com o respondente)

1. Nunca estudou/Nunca teve acesso a ensino formal/Nunca frequentou a escola
2. Ensino Fundamental (1º grau incompleto ou completo)
3. Ensino médio (2º grau incompleto ou completo) - curso técnico entra nessa categoria
4. Ensino superior (3º grau completo ou incompleto) - curso de tecnólogo entra aqui
5. Mestrado incompleto ou completo
6. Doutorado incompleto ou completo
7. Outro: _____

Q4. Ocupação: _____

(Instrução: Perguntar: Qual área de trabalho OU Qual a sua atividade atualmente? OU Com o que o Sr./Sra. trabalha? OU Você é aposentado/estudante?)

Q5. Quantas pessoas moram com você? _____

Q6. Quantas pessoas contribuem para a renda familiar na sua casa? _____

Q7. Renda familiar:

(Instrução: Perguntar: Somando a sua renda com a renda das pessoas que moram com você, quanto é, aproximadamente, a renda familiar mensal?)

1. Menos de 1 salário mínimo (até R\$1.163,55)
2. Entre 1 e 3 salários mínimos (de R\$1.163,55 até R\$3.490,65)
3. Entre 3 e 6 salários mínimos (de R\$3.490,65 até R\$6.981,30)
4. Entre 6 e 9 salários mínimos (de R\$6.981,30 até R\$ 10.471,95)
5. Mais de 9 salários mínimos (acima de R\$ 10.471,95)
6. Prefiro não opinar

Q8. Gênero:

1. Homem
2. Mulher
3. Outro. Especificar _____
4. Prefiro não opinar

2º Bloco – Frequência de visita ao pesqueiro

Essa seção busca entender qual é o tipo de perfil de usuário, para sondar se a pessoa já frequentava o pesqueiro antes da instalação da ilha. Muitos dos usuários são bem antigos.

Q9. A quanto tempo você frequenta o Pesqueiro do Carmo?

(instrução: Responder tempo e período. Ex. Há mais de 1 ano. Posteriormente converter tudo para a mesma escala temporal (ex. número de meses))

Q10. Você frequenta outros pesqueiros? Se sim, quais?

(INSTRUÇÃO: Se a pessoa colocar SIM, perguntar o nome e região desses outros pesqueiros. Isso vai servir como uma pesquisa de mercado futuro.)

1. Sim
2. Não
3. Prefiro não opinar

Q11. Quanto tempo você leva para vir da sua casa até o Pesqueiro do Carmo? _____ minutos

(instrução: Obs.: Posteriormente converter todos os tempos para minutos para padronizar a unidade)

Q12. Qual a distância aproximada da sua casa até o pesqueiro? _____ km

Q13. Com que frequência você vem ao pesqueiro?

(Instrução: Responder (número de vezes) e (período). Ex. ____ vezes por _____. 2 vezes por mês ou primeira vez. Obs.: Posteriormente padronizar para frequência de visitas/Mês)

Q14. De que (quais) forma(s) você geralmente vem até o pesqueiro? _____

(instrução: Obs.: Pode responder mais de uma opção para essa pergunta)

1. Dirigindo
2. De carona
3. De transporte público
4. De bicicleta
5. Andando
6. De táxi, UBER, 99
7. Outros
8. Prefiro não opinar

3° Bloco – Percepção ambiental geral

Q15. Em uma escala de 0 a 5, o quanto você concorda com a afirmação: *"Atualmente, vivemos uma grave crise ambiental com sérios problemas ligados à poluição, à escassez de recursos e à extinção de espécies vegetais e animais que comprometem a qualidade de vida do homem."*

(Instrução: Pergunta: Em uma escala de 0 a 5, o quanto você concorda com a afirmação acima. Se a pessoa achar mais fácil, informar que 0 - 0%, 1 - 20%, 2 - 40%, 3 - 60%, 4 - 80% e 5 - 100%)

1. 0
2. 1
3. 2
4. 3
5. 4
6. 5

Q16. Avaliação da ordem de importância problemas ambientais: _____

(Instrução: Perguntar: Qual dos problemas abaixo você considera o mais grave nos dias de hoje?

OBS. Responder APENAS uma opção.)

1. A poluição das águas
2. A poluição do ar
3. A extinção de animais e plantas
4. O aquecimento do clima do planeta
5. O lixo e os resíduos gerados
6. Prefiro não opinar

4° Bloco - Percepção ambiental sobre alagado flutuante construído

Q17. **Questão aberta** - Quais você acha que são os benefícios da ilha flutuante no lago?

(OBS. Esses são exemplos de categorias criadas previamente, porém outras podem surgir de acordo com as respostas dos entrevistados)

1. Servir como barreira entre um lado e o outro do lago; evitar enroscar linha entre os pescadores)
2. Melhorar qualidade da água (limpar, oxigenar, ajustar pH, etc.)
3. Deixar o lago mais bonito (atrativo, estaticamente atraente, etc.)
4. Ser usada pelas aves
5. Servir como uma pequena reserva florestal para animais e plantas (fauna/flora)
6. Melhorar a qualidade do ar
7. Servir de abrigo e/ou alimento para os peixes
8. Outros
9. Prefiro não opinar

Q18. Avalie em uma escala de 0 a 5 o grau de concordância com as seguintes afirmações, lembrando que 0 significa "Discordo totalmente" e 5 "Concordo totalmente"

1. Eu sinto a ilha como algo útil para a qualidade da ÁGUA do lago
2. Eu sinto a ilha como algo útil para a BIODIVERSIDADE (Aves, insetos, plantas, etc.)
3. Eu sinto a ilha como algo útil para a BELEZA DA PAISAGEM do lago (Serviço cultural - Estética ambiental)
4. Eu aprovo a presença da ilha no lago do Pesqueiro
5. A presença das ilhas atrapalha minha pescaria
6. Eu adicionaria mais ilhas no lago do pesqueiro

5° Bloco – Valoração dos serviços ecossistêmicos prestados pelo alagado flutuante construído

Nesta seção, eu quero saber o quanto as pessoas pagariam pela ilha. Trata-se de uma perspectiva de valoração pelos serviços ecossistêmicos, mas também de potencial valor de mercado.

Q19. Sem dar informações sobre o projeto.

Pergunta: Olhando a ilha deste tamanho no lago, eu gostaria de saber uma perspectiva de quanto o Sr./Sra. pagaria por essa ilha se você fosse o proprietário de um lago. Você pagaria X por essa ilha? Começar ofertando por 1000 reais.

Instrução.: Perguntar quanto pagaria começando com 1.000 reais. Se a pessoa concordar em pagar o valor, aumentar até ela julgar ser o valor correspondente e caso chegue em “mais de 1.600 reais, pedir para a pessoa dar um lance livre; e se ela não concordar com o valor inicial de 1.000 reais, ir diminuindo até chegar em um valor que ela pagaria, podendo chegar até “não pagaria nada”)

| Valor | Sim | Não |
|---------------------|-----|-----|
| Mais de 1.600 reais | | |
| 1.600 reais | | |
| 1.400 reais | | |
| 1.200 reais | | |
| 1 mil reais | | |
| 800 reais | | |
| 600 reais | | |
| 400 reais | | |
| Menos de 400 reais | | |
| Não pagaria nada | | |

Q20. Dando informações sobre o projeto

Pergunta: Agora eu vou fazer a pergunta novamente, porém considere que essa ilha tenha os seguintes benefícios: Ela serve para melhorar a qualidade da água e no período de 10 meses desde a instalação, já foram cerca de 200kg de matéria orgânica da água. Ela também está servindo de abrigo para vários animais como pássaros, borboletas, besouros e até mesmo tartarugas que vivem no lago. A ilha também pode melhorar a saúde dos peixes, pois eles se alimentam das raízes e das bactérias que crescem grudadas ali. Além disso, muitas plantas que não conseguem se desenvolver na margem do lago por conta do uso intenso dos pescadores estão encontrando na ilha um lugar para se desenvolver. E esse tipo de tecnologia tem sido utilizada em outros países para limpar rios em áreas urbanas parecidos com o Tietê e o Pinheiros. Agora sabendo dessas informações, quanto o Sr./Sra. pagaria por essa ilha se você fosse o proprietário de um lago. Você pagaria X por essa ilha? Começar ofertando por 1000 reais.

(Instrução.: Perguntar quanto pagaria começando com 1.000 reais. Se a pessoa concordar em pagar o valor, aumentar até ela julgar ser o valor correspondente e caso chegue em “mais de 1.600 reais, pedir para a pessoa dar um lance livre; e se ela não concordar com o valor inicial de 1.000 reais, ir diminuindo até chegar em um valor que ela pagaria, podendo chegar até “não pagaria nada”)

| Valor | Sim | Não |
|---------------------|-----|-----|
| Mais de 1.600 reais | | |
| 1.600 reais | | |
| 1.400 reais | | |

| | | |
|--------------------|--|--|
| 1.200 reais | | |
| 1 mil reais | | |
| 800 reais | | |
| 600 reais | | |
| 400 reais | | |
| Menos de 400 reais | | |
| Não pagaria nada | | |

Fechamento

Muito grato por participar da pesquisa. Se tiver alguma dúvida, pode entrar em contato pelos números ou e-mails informados.

Apêndice O – Valores de contribuição para os componentes 1 e 2 da análise de componentes principais normalizados utilizando escala \log_{10} das 15 variáveis analisadas. Análise realizada no software Past 3.24. Fonte: Elaborado pelo Autor, 2020.

| | PC 1 | PC 2 |
|-------------|-------------|-------------|
| T | 0.0039011 | -0.52834 |
| DS | -0.34467 | 0.028754 |
| ZE | -0.34473 | 0.029366 |
| Prof | 0.24058 | 0.014668 |
| CE | 0.34255 | 0.073111 |
| pH | 0.17973 | 0.384 |
| OD | -0.12724 | 0.29206 |
| MST | 0.34722 | 0.049869 |
| MSO | 0.3451 | 0.059248 |
| MSI | 0.29578 | 0.018466 |
| Cl | 0.26398 | -0.079954 |
| Feo | 0.26398 | -0.079962 |
| Pi | 0.1295 | -0.33193 |
| NO2- | 0.1441 | 0.47803 |
| NH4+ | 0.186 | -0.35076 |

| | | | | | | | |
|----------|----------|------------|----------|-----------|-----------|----------|----------|
| והו | יֵלֵךְ | סִיט | עֵלֶם | מֵהֵשֶׁךְ | לֵלֵךְ | לֵלֵךְ | כֹּהֵן |
| הַזֶּה | אֵלֶּה | לֹא | הַהֵעֵךְ | לֵלֵךְ | מִבֵּית | הָרִי | הַקָּמָה |
| לֹא | כִּלְיִי | לֹו | פֹּהֵל | נִלְכָּךְ | יִי | מִלֵּךְ | וְזֶהוּ |
| נִתְּנָה | הָאֵלֶּה | יִרְתֶּךָ | שִׂאֵה | רִי | אֹם | לִכְבֹּד | וְשֵׁר |
| יִזוּ | לֵהֲזֹו | כֹּוֹק | בִּמְנֵד | אֵינִי | וְזַעֲמִי | רַהֵעַ | יִיז |
| הַהֵה | מִיֵּט | וּלֵךְ | יֵלֵךְ | סֵאֵל | עֵרִי | עֵשֶׂל | מִיָּה |
| והו | הַזֶּה | הַזֶּשֶׁךְ | עֵמֶם | נֵאֵל | נִתְּנָה | מִבֵּית | פֹּוי |
| נָמֶם | יֵלֵךְ | הַרְזֹו | בִּמְצָר | וְנֵמֶם | יֵהֵה | עֵנוּ | מוֹזִי |
| דַּמְבֵּ | מִנְקָה | אֵינִי | וְזַבֹּו | רֵאֵה | יֵבֶמֶ | הַיִּי | מוֹם |