



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ

INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

FACULDADE DE OCEANOGRAFIA

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

**EFICIÊNCIA DE ECOBARREIRAS EM RIO DOMINADO
POR MARÉ.**

Trabalho de conclusão de curso apresentado por:

BRUNA DE MELO SANTOS

Orientadora: Prof. Dra. Sury de Moura Monteiro (UFPA)

Belém – Pará

2018



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
FACULDADE DE OCEANOGRAFIA

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

**EFICIÊNCIA DE ECOBARRERAS EM RIO DOMINADO POR
MARÉ.**

Trabalho de conclusão de curso apresentado por:

BRUNA DE MELO SANTOS

Orientadora: Prof. Dra. Sury de Moura Monteiro (UFPA)

Belém – Pará

2018

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) de acordo com ISBD Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Pará

Gerada automaticamente pelo módulo Ficat, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

S237e Santos, Bruna de Melo
Eficiência de ecobarreiras em rio dominado por maré/ Bruna de
Melo Santos. — 2018.
XII,31 f. : il. color.

Orientador(a): Prof^a. Dra. Sury de Moura Monteiro
Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Faculdade de
Oceanografia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará,
Belém, 2018.

1. Resíduos sólidos. 2. Tecnologia social. 3. Gerenciamento
costeiro. 4. Saneamento ambiental. I. Título.

CDD 551.4607



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
FACULDADE DE OCEANOGRAFIA

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

EFICIÊNCIA DE ECOBARREIRAS EM RIO DOMINADO POR MARÉ.

Apresentado por:

BRUNA DE MELO SANTOS

Como requisito parcial à obtenção do Grau de Bacharel em Oceanografia

Data da Aprovação: 14/12/2018

Banca Examinadora:

Prof. Dra. Sury de Moura Monteiro - Orientadora
(Membro- UFPA)

Prof. Dr. Marcelo Rollnic
(Membro – UFPA)

Dr. Igor Charles Castor Alves
(UNAMA)

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pelo dom da vida e por cada conquista concedida nesta vida até agora.

A Pró-reitoria de Extensão da Universidade Federal do Pará por todo suporte.

Aos meus pais, Djalma e Maria, por todo amor e por todas as vezes que colocaram meu bem-estar e crescimento acima de tudo. A minha irmã Beatriz, por compartilhar a vida comigo e a minha vó Estaiel tudo até hoje.

Agradeço a minha família por acreditarem em mim, especialmente as minhas tias, tios, primos, padrinho e madrinha, por cada segundo de alegria.

A minha orientadora, Prof. Dra. Sury Monteiro, por ser uma inspiração e por todo incentivo ao longo deste trabalho. Pela incrível oportunidade de ter participado dos Projetos Lixo Zero e Ecobarreira, mas principalmente por ter participado do meu crescimento pessoal e profissional.

Ao professor Dr. Marcelo Rollnic por toda colaboração na realização do Projeto Ecobarreira. A Thaís Borba e Leandro Santana por toda colaboração durante a graduação.

A todos os voluntários que participaram das atividades deste trabalho: Gabriela, Fabrício, Bruno Simi. Além dos queridos: Fabi Nascimento, Matheus Santiago, Leonardo, Caio, Avelino, Fabrício, Meg Caroline e Haresson. E especialmente a Deise, Nicolau, Bielly e Acsa, que além de muita mão na massa (ou melhor, na fralda), me presentearam com amizade nessa reta final de curso.

A todos os professores da Faculdade de Oceanografia por tudo compartilhado ao longo desses anos, especialmente aos professores James Lee, Marcelo Rollnic, Renan Peixoto, Pedro Walfir, Leilanne Ranieri, Marcelo Cohen e a Rainha Sury, por serem profissionais incríveis e inspiradores. Agradeço também a Mônica Gil, Seu Rui e Marielen por toda cooperação e gentileza nesta caminhada.

As minhas amigas Ananda, Laura, Luciana e Jéssica, pela amizade leve, incentivo e tantas risadas ao longo desses anos.

A todos na Oceanografia que caminharam comigo em tantas aventuras. Especialmente a Ingrid, Micaela, Carolinda, Jennifer, Giselle, Marcus, Camila, Luciana, os *F.r.i.e.n.d.s* e a 2015 (quase todos rs). Tantas pessoas que eu precisaria de uma tarde inteira no Bar do Jorge para agradecer.

Ao meu time do coração, Enactus UFPA, pela oportunidade de encontrar meu propósito de vida e pela oportunidade de trabalhar junto às comunidades em projetos tão incríveis. Agradeço a todos os amigos que fiz no time, especialmente o Giovani, Bruna, Nayara, Andrey,

Tainha, Rafaela, Júnior, Wendell e a cada um que somou em minha vida com amizade e colaboração.

Agradeço ao Grupo de Estudos de Nematoda Aquaticos, a Prof. Dra. Virag Venekey por tudo que pude aprender durante meu estágio. Aos amigos genaquianos: Rose, Vanessa, Tati, Keuli, Thuareag, Eri, Maik Augusto, Wanessa, Débora e Karina.

As maravilhosas Lucelli, Dalissa, Íris Miranda e Mariana pelo ambiente de trabalho mais amistoso do mundo, por cada risada e contribuição na minha formação. Agradeço também a Swellen Barbosa, Mariana Buoro, Ligia Kawata e João Meirelles pela oportunidade em fazer parte do Projeto Luz e trabalhar por algo em que acredito.

Ao Fab Lab Belém, especialmente o Thiago Kunz por ser esse ser altamente criativo e engajado capaz de inspirar qualquer pessoa.

Por fim, agradeço a todos os barqueiros pela paciência e colaboração durante a execução deste trabalho e a todos os voluntários do Brasil que serviram de inspiração e por trabalharem diariamente em busca de impacto social positivo no Brasil.

In memoriam Epaminondas, Odete e Giorgio.
***“Nenhum de nós é tão bom, quanto
todos nós juntos”***
Ray Kroc

RESUMO

Os resíduos flutuantes podem ser transportados pelos rios até a linha de costa e aos oceanos ou permanecer em suspensão na coluna d'água, estão dispostos em uma variedade de materiais: plásticos, papel, madeira, vidro, borracha e metal, causando impactos no meio ambiente, saúde humana e economia. As Ecobarreiras são estruturas de baixo custo utilizadas para conter o aporte de resíduos flutuantes nos cursos d'água, aproveitando as correntes naturais para acumular os resíduos, facilitando sua coleta. Deste modo, este estudo teve por objetivo desenvolver uma ecobarreira para a coleta dos resíduos flutuantes transportados em um rio dominado por maré. Este trabalho foi aplicado no rio Tucunduba (Belém, Pará), ambiente marcado pela alta hidrodinâmica, causada por mesomaré semidiurnas com altura média de 3 metros. Assim, foram testados dois modelos na foz do rio Tucunduba durante o período de duas horas de maré vazante em sizígia. A Ecobarreira Tipo 1 constituída de 3 módulos de 2 metros de comprimento, onde garrafas plásticas foram envoltas em 20 centímetros da tela metálica e 80 centímetros foram utilizados para formar uma barreira submersa com funcionamento semelhante a um envelope. Além da Ecobarreira Tipo 2 composta por um único módulo de 16 metros de extensão, sem a tela metálica submersa. Os resíduos coletados passaram por triagem para separação do conteúdo orgânico, secagem e posteriormente identificados, classificados, quantificados e pesados. Os dois modelos coletaram 17.981 gramas em 787 itens de diferentes materiais. O plástico foi o material mais coletado nos dois modelos de ecobarreira totalizando 458 itens coletados, 58% do total, seguido do isopor com 104 itens, 13% do total. No primeiro modelo os resíduos flutuantes coletados estavam bastante associados a conteúdo orgânico, além disso, houve um esforço físico maior para manter a estrutura. Deste modo, o segundo modelo testado apresentou mais possibilidade de replicação, uma vez que os resíduos que a presença de resíduos orgânicos foi mínima e o esforço de instalação foi menor também. Os resultados deste estudo podem auxiliar outras comunidades com características semelhantes no enfrentamento dos problemas causados pelo aporte fluvial de resíduos flutuantes, resultando em um mundo mais sustentável e colaborativo.

Palavras-chaves: Resíduos flutuantes. Sustentabilidade. Tecnologia Social.

ABSTRACT

Floating debris, which may either be carried through rivers until they reach the coastline and oceans or stay stop the water surface, are made up by a variety of different materials such as plastic, paper, wood, glass, latex, and metals, impacting the environment, human health, and the economy. The Floating Litter Traps are low cost structures used to stop inputs of debris on watercourses, taking advantage from the water stream itself to collect said debris, facilitating the whole process. This study focuses on the creation and development of a floating litter trap setup at a river overruled by the tide. This project was applied at the Tucunduba River (Belém, Pará), an environment characterized by hydrodynamics caused by semidiurnal meso-tide with an average height of 3 meters. Two different litter trap models were tested by the river mouth during a 2-hour period in an spring tide. The Floating Litter Trap Type 1 consists of 3 modules of 2 meters each, in which plastic bottles were wrapped with 20 centimeters of metal grille and another 80 centimeters of the grille was used to create an underwater barrier, operating much like an envelope. Meanwhile, the Floating Litter Trap Type 2 consists of only 1 module of a 16 meters length with no addition of an underwater barrier. The collected debris were sorted so to separate organic waste, while the debris were dried up and later identified, classified, quantified, and weighed out. Both models collected a total of 17.981 grams with 787 items of different materials. Plastic was the most collected with 458 items, 58% of the total, followed by polystyrene foam with 104 items, 13% of the total. On the first model, the debris the litter trap collected were closely combined with organic waste and there was also a greater physical effort to maintain the structure. Thus, the second litter trap model showed a better possibility of reapplication since the presence of organic waste was at a minimum as well as the effort during installation. This study's results can help other communities with similar characteristics while fighting against the inputs of floating debris, resulting in a more sustainable and collaborative world.

Key words: Floating litter. Sustainable. Social technology.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1. Mapa de localização do rio Tucunduba onde o estudo de caso foi realizado.com destaque para a foz do rio Tucunduba, nas dependências da Universidade Federal do Pará.2
- Figura 2 Fotos do rio Tucunduba em diferentes pontos da cidade de Belém, Pa. A) área residencial e uso como via de navegação. B) Foz localizada na Universidade Federal do Pará, com destaque para a ponte de automóveis e a vegetação.3
- Figura 3 - Modelos de ecobarreiras já desenvolvidos e em operação no Brasil e exterior. A) Ecobarreira desenvolvida por Diego Saldanha, modelo de baixo custo, B) Ecobarreira desenvolvida por Bob Slat, para reter os resíduos do oceano pacífico, modelo de alto custo. ..7
- Figura 4. Instalação da ecobarreira tipo 1 no rio Tucunduba durante 2 horas de vazante. A) Instalação do modelo original da ecobarreira tipo 1; B) Fixação de uma barra metálica na ecobarreira tipo 1 para dar mais estabilidade ao módulo; C e D) Instalação da ecobarreira posicionada no sentido contra a corrente do rio. 8
- Figura 5. Análise Visual dos resíduos flutuantes transportados pela foz do rio Tucunduba nos dias de instalação da ecobarreira. Nas imagens A e B, voluntárias realizando a identificação dos resíduos transportados pelo rio.9
- Figura 6. Etapas realizadas na coleta dos resíduos flutuantes do rio Tucunduba. 1) Separação do resíduo orgânico durante coleta ; B) Separação dos resíduos coletados na ecobarreira para o processo de secagem; C) Processo de secagem dos resíduos coletados..... 10
- Figura 7. A) Processo de secagem dos resíduos flutuantes coletados com a ecobarreira tipo 1; B) Identificação e classificação dos resíduos coletados; C) Pesagem dos resíduos coletados após a secagem..... 10
- Figura 8 Instalação dos 3 módulos de ecobarreira tipo 1 no rio Tucunduba. 13
- Figura 9 Instalação da ecobarreira tipo 2 no rio Tucunduba, estendida desde o canal principal até a margem esquerda. 14
- Figura 10 Ilustração esquemática da Ecobarreira Tipo 1. A) Vista frontal da ecobarreira mostrando a garrafas plásticas envoltas em tela metálica e as barras de ferro utilizadas para dar sustentação. B) Vista panorâmica demonstrando o processo de içamento da ecobarreira com destaque para as cordas superiores e inferiores. C) Vista panorâmica ecobarreira ao ser içada em fechamento tipo envelope. 15

Figura 11 Esquema representando a coleta dos resíduos flutuantes na ecobarreira tipo 1.....	15
Figura 12 Ilustração esquemática da Ecobarreira Tipo 2	16
Figura 13 - Adaptações realizadas a ecobarreira tipo 2. A) Modelo original, B) Inclusão de barras metálicas e cordas a lateral e porção inferior, C) Inclusão de poitas extras para estabilidade dos módulos.....	17
Figura 14 - Adaptações realizadas na ecobarreira tipo 1. a) Modelo original; 2) Inclusão de barras metálicas e cordas nas laterais da porção inferior. c) inclusão de poitas apenas para o módulo instalado no canal central.	18
Figura 15 Resíduos flutuantes coletados no período de 2 horas nas ecobarreiras instaladas no rio Tucunduba. A) Resíduos diversos como plásticos (embalagens, rótulos, garrafas e outros); B) Diversidade de tipos de Isopor.	19

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 Análise visual realizada durante o período de 2 horas de instalação dos dois modelos de ecobarreiras testados no rio Tucunduba.....	12
Tabela 2 Custos para a confecção da ecobarreira.....	13
Tabela 3 Classificação, quantificação e pesagem dos resíduos flutuantes coletados na Ecobarreira Tipo 1 instalado na foz do rio Tucunduba durante o período de 2 horas da maré vazante.....	20
Tabela 4 Classificação, quantificação e pesagem dos resíduos flutuantes coletados na Ecobarreira Tipo 2 instalado na foz do rio Tucunduba durante o período de 2 horas da maré vazante.....	21
Tabela 5 Capacidade de coleta da ecobarreira tipo 1 quanto aos resíduos coletados.....	22
Tabela 6 Capacidade de coleta da Ecobarreira Tipo 2 na coleta de resíduos flutuantes na foz do rio Tucunduba.....	23
Tabela 7 Variação na capacidade de coleta da ecobarreira tipo 1 conforme as adaptações realizadas na ecobarreira tipo 1 instalada no rio Tucunduba.....	24
Tabela 8 Variação na capacidade de coleta da ecobarreira tipo 1 conforme as adaptações realizadas na ecobarreira tipo 2 instalada no rio Tucunduba.....	25
Tabela 9 Valores de resíduos sólidos disponibilizados pela ARAL (Associação de reciclagem de águas lindas, Belém - PA). * Valores médios referentes ao preço de compra dos seguintes subprodutos: 1) Sacola- filme branco e colorido; 2) Garrafas – pet, detergente e e água mineral.	27

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS	iv
RESUMO	vii
ABSTRACT	viii
LISTA DE FIGURAS	ix
LISTA DE TABELAS	xi
1 INTRODUÇÃO	1
1.1 RIO TUCUNDUBA.....	2
2 OBJETIVOS	5
2.1 OBJETIVO GERAL	5
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	5
3 O POTENCIAL DO USO DE ECOBARREIRAS	6
4 MATERIAL E MÉTODO	8
4.1 COLETA DE DADOS	8
4.2 ANÁLISE VISUAL	9
4.3 CLASSIFICAÇÃO, QUANTIFICAÇÃO E PESAGEM DOS RESÍDUOS FLUTUANTES COLETADOS	10
4.4 PROCESSAMENTO DE DADOS	11
5 RESULTADO E DISCUSSÃO	12
5.1 ANÁLISE VISUAL	12
5.2 ESTRUTURA DOS MODELOS DE ECOBARREIRA	12
5.3 PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO DAS ECOBARREIRAS.....	14
5.4 ADAPTAÇÕES NOS MODELOS DE ECOBARREIRAS	16
5.5 RESÍDUOS FLUTUANTES COLETADOS NA ECOBARREIRA.....	18

5.6 CAPACIDADE DE COLETA DOS MODELOS DE ECOBARREIRA TESTADOS.....	21
5.6.1 Capacidade de coleta dos modelos de ecobarreira considerando volume total coletado	22
5.6.2 Capacidade de coleta da ecobarreira a cada adaptação realizada.....	23
5.6.3 Potencial econômico dos resíduos coletados pela ecobarreira.....	25
6 CONCLUSÃO	28
REFERÊNCIAS	30

1 INTRODUÇÃO

Os resíduos sólidos consistem em materiais sólidos persistentes, manufaturados ou processados que são descartados, dispostos ou abandonados no ambiente marinho e costeiro. São materiais produzidos pelo homem, que de forma intencional ou não, são introduzidos no ambiente marinho, transportado por meio de rios, drenagens, sistemas de esgoto ou vento. (UNEP, 2009).

Neste sentido, destacam-se os resíduos flutuantes, como materiais que podem flutuar ou permanecer em suspensão na coluna d'água, compostos por uma variedade de itens como plásticos, papel, madeira, vidro, borracha e metal que eventualmente podem ser transportados e depositados nas linhas de costa e oceanos (USEPA, 2002).

Resíduos flutuantes¹ como o plástico, apresentam uma baixa taxa de degradação, produzindo um impacto negativo no meio ambiente, na economia e saúde humana. Os rios são considerados vetores primários no transporte de plásticos e outros resíduos até os oceanos (Jambeck et al., 2015). Assim, a zona costeira é altamente suscetível aos danos da ação antrópica, principalmente quando o assunto é resíduos sólidos, considerando que no Brasil, mais de 50 milhões de pessoas habitam nesta região (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística-IBGE, 2010).

Por estes motivos, os *Objetivos de Desenvolvimento Sustentável* da ONU destaca três desafios que tratam sobre esta questão: A ODS 6- *Água Potável e Saneamento*, atuando na redução do despejo de resíduos nas águas; A ODS 12 – *Produção e Consumo Sustentável*, estimula a reduzir a geração de resíduos por meio da prevenção, redução, reciclagem e reutilização; além da ODS 14- *Proteger A Vida Marinha*, promovendo ações de proteção à zona costeira, sensibilização quanto a poluição marinha e o estímulo aos estudos da oceanografia (UNRIC, 2016).

Os ODS da ONU representam um compromisso social entre líderes mundiais e a sociedade. Por isso, é extremamente importante o envolvimento de todos os agentes sociais para mitigar os impactos causados pelos resíduos flutuantes desde os rios até os oceanos. Um exemplo é o desenvolvimento de Tecnologias Sociais - Produtos, técnicas, serviços ou tecnologias replicáveis desenvolvidas na interação com a comunidade e que representam efetivas soluções de transformação social.

¹ O termo *materiais flutuantes* é definido pela lei dos Estados Unidos que trata da *Avaliação Ambiental das Praias e Saúde Costeira* (USEPA, 2002).

As **Ecobarreiras** são um exemplo prático utilizado para conter o aporte de resíduos flutuantes nos cursos d'água. O mecanismo apresenta uma variedade quanto à estrutura e orçamento envolvido na sua fabricação. São estruturas flutuantes constituídas de materiais como madeira, bombonas plásticas ou boias, ancoradas por cabos de aço ou cordas de tecido nas margens dos cursos d'água, utilizando as correntes naturais para facilitar o processo de acumulação dos resíduos para serem coletados (Franz, 2002).

A diminuição do acúmulo de resíduos flutuantes contribui para a geração de ambientes mais limpos saudáveis, agregando valor social e promovendo espaços mais atrativos para comunidades locais e turistas. Os resíduos por si só também constituem uma atividade econômica importante, pois, após coletados, separados e processados corretamente, podem ser reaproveitados. Portanto, este estudo de caso irá desenvolver uma ecobarreira para a coleta do resíduo flutuante transportado em rio dominado por maré, no qual o estudo de caso foi realizado no rio Tucunduba.

1.1 Rio Tucunduba

O Tucunduba é um rio de pequeno porte, inserido na bacia hidrográfica do mesmo nome, na cidade de Belém (Pará–Brasil). O rio Tucunduba apresenta 3,6 quilômetros de extensão (Figueiredo et al., 2002), e é conhecido popularmente como igarapé, Figura 1.

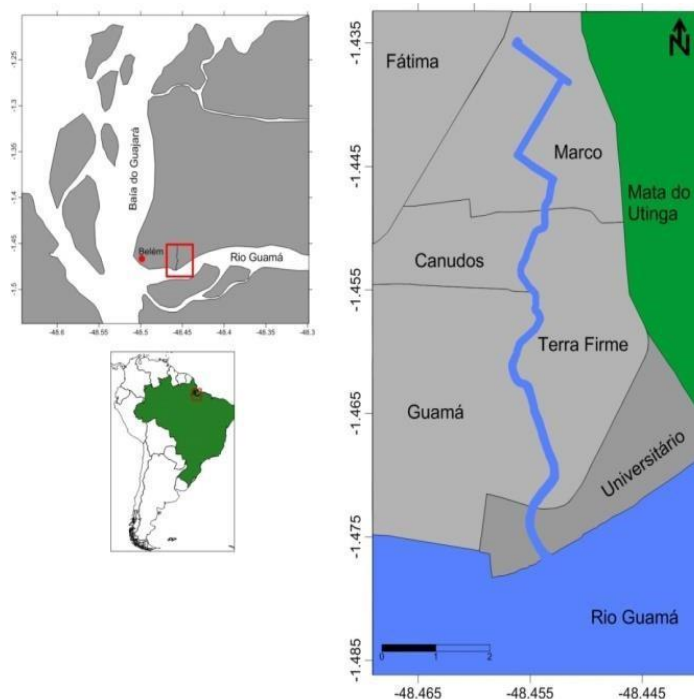


Figura 1. Mapa de localização do rio Tucunduba onde o estudo de caso foi realizado.com destaque para a foz do rio Tucunduba, nas dependências da Universidade Federal do Pará.

Trata-se de um importante curso d'água na dinâmica da população da capital paraense, uma vez que recorta seis bairros da cidade, tendo sua nascente no bairro do Marco e sua foz Universidade Federal do Pará, localizada no bairro do Guamá. A ocupação do território as margens do Tucunduba se intensificou na década de 60, consolidando como um ponto bastante relevante para a economia e atividades da população, Figura 2.

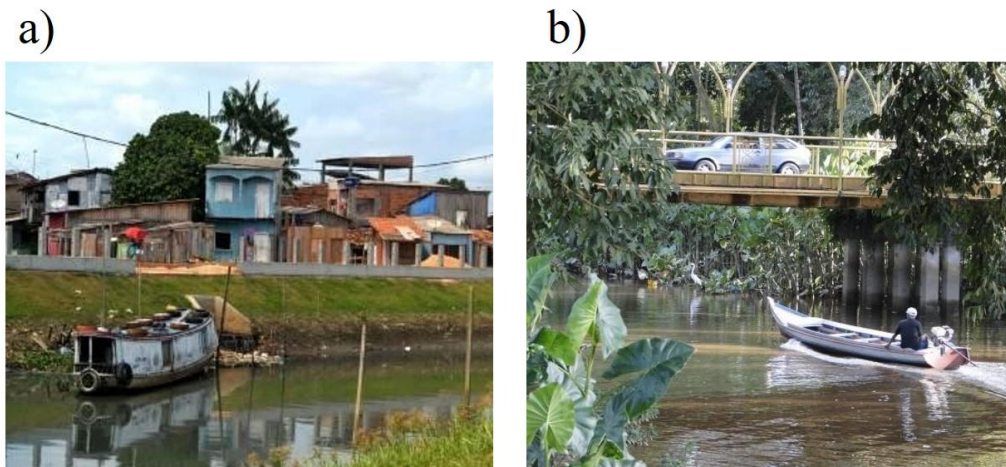


Figura 2 Fotos do rio Tucunduba em diferentes pontos da cidade de Belém, Pa.
A) área residencial e uso como via de navegação. B) Foz localizada na Universidade Federal do Pará, com destaque para a ponte de automóveis e a vegetação.

O Tucunduba é margeado por residências e comércios - de madeiras, telhas, tijolos, carvão, açaí, entre outros. A carência de infraestrutura atrelada à influência de fatores ambientais ocasiona diversos impactos ao corpo d'água, principalmente quando se trata de resíduos flutuantes. Isto porque a falta de tratamento e/ou descarte adequado e o regime de marés da região atuam no transporte desse material ao longo do rio (MATOS, 2010).

O regime de marés da região é um dos fatores mais determinantes para o transporte de resíduos flutuantes ao longo do Tucunduba até que desagüe no rio Guamá. O Tucunduba apresenta mesomarés semidiurnas com amplitude média de 3 metros. Deste modo, há um transporte frequente de resíduos durante os períodos de vazante. A instalação de ecobarreiras no Tucunduba está condicionada a uma série adaptações no desenvolvimento do mecanismo devido a fatores (TARGA et. al. 2012).

Ao longo do Tucunduba, a paisagem natural, bem como sua composição florística e faunística é bastante variada. Assim, ao longo dos trechos que percorrem os bairros de Belém

no qual está situada, há pouca predominância de fauna nativa de várzea. Já no ponto de testes, localizado na UFPA, há grande predominância de mata ciliar com alturas de até 10 metros. Uma das vegetações de maior ocorrência são as *aningas* (*Momntrichardia linifera*) e outras árvores de médio e grande porte que funcionam também como acumuladoras de detritos nas partes meandrantas do canal. Em se tratando de composição faunística do Tucunduba, no trecho inserido na UFPA, é possível observar a presença de aves, peixes e crustáceos ao longo do rio (Teixeira, 2010).

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar a capacidade de coleta de ecobarreiras na retenção de resíduos flutuantes em um rio dominado por maré.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Adaptar um modelo de ecobarreira considerando as particularidades do rio Tucunduba;
- Verificar se os modelos de ecobarreira adaptados retém resíduos flutuantes em rio dominado por maré;
- Avaliar se o estado de conservação dos resíduos permite a sua reciclagem;
- Verificar se há predominância de materiais plásticos entre os resíduos coletados.

3 O POTENCIAL DO USO DE ECOBARREIRAS

O aporte anual de plásticos nos oceanos tem aumentado gradativamente. Em 2015, foram mais de 9 milhões de toneladas acumuladas zona costeira e oceanos. Por sua baixa taxa de degradação, os plásticos não se biodegradam no oceano, apenas fragmentam em porções menores devido ao intemperismo e a exposição a luz ultravioleta. Neste contexto, os rios são responsáveis pelo aporte médio de 8 milhões de toneladas de resíduo plástico para os oceanos. Estima-se que até 80% dos resíduos sólidos encontrados na zona costeira apresentam origem nos rios mais próximos destacando a urgência em desenvolver mecanismos que impeçam esse aporte em larga escala (Jambeck et al., 2015).

Diversos fatores influenciam o transporte fluvial de resíduos flutuantes como a presença de correntes de fundo e o tamanho do leito. No caso de rios com leitos menores, os resíduos são depositados próximos a linha de costa, enquanto rios com leitos maiores tendem a depositar mais distante (Galgani et al., 2000). Além disso, o aporte de resíduos pode aumentar devido às tempestades que escoam o material a distancias ainda maiores da foz (Moore et al., 2002).

Portando, é necessário o enfrentamento de questões importantes como a poluição causada pelos resíduos flutuantes, especialmente o plástico. Assim, tendo como base a criatividade e disponibilidade recursos, as **Tecnologias Sociais** são ferramentas de baixo custo e alto potencial para resolução de problemas locais, atuando no desenvolvimento sustentável por meio de fatores essenciais como o protagonismo social, cuidado ambiental, solidariedade econômica, respeito cultural, educação e trabalho e renda (SEBRAE, 2017).

A temática acerca dos impactos dos resíduos flutuantes vem ganhando destaque no mundo, estimulando empresas e cidadãos na formulação de tecnologias sociais que minimizem o transporte desses materiais. No Brasil, a iniciativa do morador da cidade de Colombo (Paraná, Brasil), Diego Saldanha, ganhou destaque ao instalar uma ecobarreira no trecho do rio Atuba em 2017. Ao longo desse período, já foram coletados mais de 1 tonelada de resíduos flutuantes, graça a estrutura feita por garrafas de 50 litros amarradas e ligada de uma ponta a outra do rio.

O potencial da utilização de ecobarreiras também foi aproveitado por iniciativas privadas e públicas. Em 2014, durante os preparativos para os Jogos Olímpicos 2016, o governo estadual do Rio de Janeiro inaugurou o Projeto Ecobarreiras, instalando as 17 barreiras na foz de seus rios contribuintes como uma medida para diminuir o aporte de resíduos flutuantes na Baía de Guanabara. As ecobarreiras possuíam 12 metros cada e capacidade para reter aproximadamente 30 toneladas de materiais recicláveis (Prefeitura de São Gonçalo, 2015). Entretanto,

identificaram-se problemas de operacionalização relacionados aos custos com o sistema automatizado e dificuldade de remoção do resíduo acumulado.

Já em 2018, *The Ocean Cleanup* (do inglês: A limpeza do oceano), projeto ambicioso orçado em UR\$21 milhões de dólares, utiliza uma grande barreira flutuante que concentra os resíduos, permitindo sua extração. Segundo o relatório técnico do projeto, uma das vantagens do sistema é aproveitar a circulação natural do Giro Subtropical do Oceano Pacífico Norte, reduzindo a acumulação de resíduos nessa área em até cinco anos. O sistema é bastante complexo e conta com uma equipe de engenheiros, designers e oceanógrafos, criadores de um sistema automatizado conectados a satélites e que faz uso de embarcações de grande porte, para solucionar o problema da grande Ilha de Lixo do Pacífico (Slat, 2014).



Figura 3 - Modelos de ecobarreiras já desenvolvidos e em operação no Brasil e exterior. A) Ecobarreira desenvolvida por Diego Saldanha, modelo de baixo custo, B) Ecobarreira desenvolvida por Bob Slat, para reter os resíduos do oceano pacífico, modelo de alto custo.

4 MATERIAL E MÉTODO

4.1 Coleta de dados

Neste trabalho foram desenvolvidos dois modelos de ecobarreiras baseados em estruturas já aplicadas em outras regiões do Brasil por Diego Saldanha, Governo do Rio de Janeiro e do mundo por *The Ocean Cleanup*.

A instalação dos dois modelos de ecobarreiras deste estudo foi realizada próxima à foz do rio Tucunduba ($1^{\circ}28'34.1''S$ $48^{\circ}27'14.7''W$), Belém, Pará. Este trecho faz parte da Universidade Federal do Pará, apresenta cerca de 30 metros de extensão entre uma margem e outra. O Trecho também apresenta uma ponte com estrutura de ferro para tráfego de automóveis, do qual foi utilizada como ponto de apoio para instalação das ecobarreiras testadas.

Foram utilizados dois modelos de ecobarreiras: a ecobarreira tipo 1 foi instalada nos dias 05 à 8 de novembro de 2018 (Figura 4, 4a e 4b) e a tipo 2 nos dias 22 à 24 de novembro de 2018 (Figura 4. 4c e 4d), durante marés de sizígia. As ecobarreiras foram posicionadas no sentido contrário a corrente do rio, no período de 2 horas durante a vazante (o período de 2 horas de coleta, aconteceu durante as primeiras horas de maré vazante por apresentar maior energia potencial).

As ecobarreiras foram instaladas das margens até o canal principal, na superfície d'água livre, sem a vegetação ciliar. Esta porção apresenta cerca de 19,5 metros, deste modo, o perceptual de cobertura dos modelos de ecobarreiras testados foram de 30,72% para a Ecobarreira Tipo 1 e 82% para a Ecobarreira Tipo 2. Além disso, foram feitas análise visual de todos os resíduos flutuantes e quantificação e classificação do material retido na ecobarreira para inferir a sua capacidade de coleta.

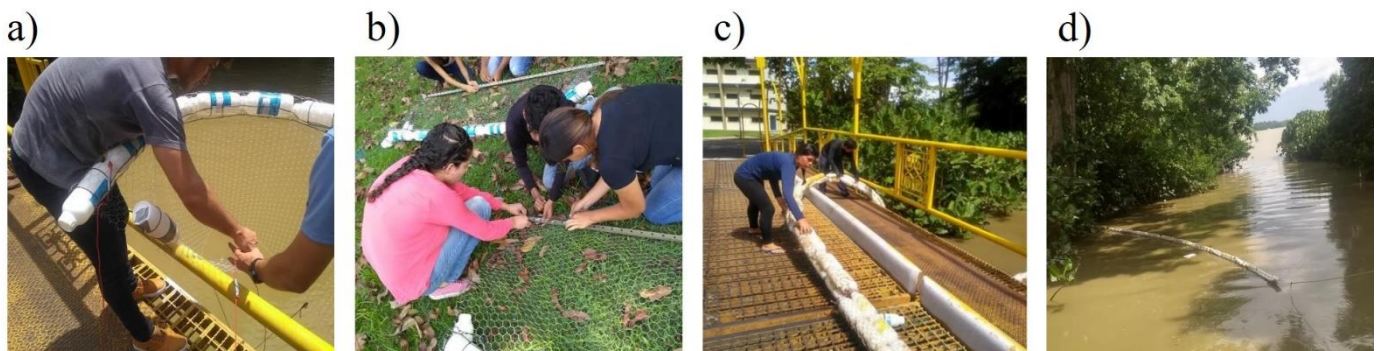


Figura 4. Instalação da ecobarreira tipo 1 no rio Tucunduba durante 2 horas de vazante. A) Instalação do modelo original da ecobarreira tipo 1; B) Fixação de uma barra metálica na ecobarreira tipo 1 para dar mais estabilidade ao módulo; C e D) Instalação da ecobarreira posicionada no sentido contra a corrente do rio.

4.2 Análise visual

A análise visual dos resíduos flutuantes que passaram na seção foi baseada na metodologia adaptada descrita por Willoughby (1986). O método original consiste em identificar e quantificar os resíduos flutuantes transportados durante 6 horas de maré vazante. Neste estudo, a análise visual foi adaptada e realizada em associação com a instalação da ecobarreira, considerado apenas os resíduos transportados durante a instalação das ecobarreiras, pelo período de 2 horas. Esta análise permite classificar os resíduos de acordo com o tipo de material: Plástico (garrafas, embalagens, rótulos e sacolas), vidro, metal, madeira (que passaram por processo de beneficiamento), papel, isopor e outros (eletrônicos, móveis, borracha, tecidos, itens de higiene pessoal), Figura 5.

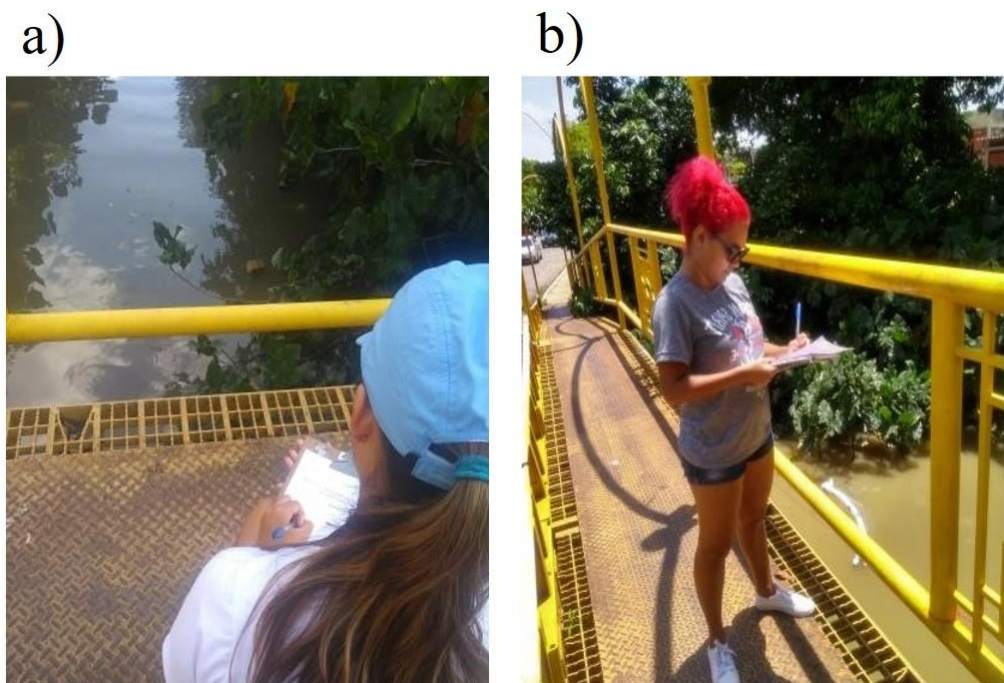


Figura 5. Análise Visual dos resíduos flutuantes transportados pela foz do rio Tucunduba nos dias de instalação da ecobarreira. Nas imagens A e B, voluntárias realizando a identificação dos resíduos transportados pelo rio.

4.3 Classificação, quantificação e pesagem dos resíduos flutuantes coletados

Após a instalação da ecobarreira, em campo, o material nela retido é inicialmente triado para separação do conteúdo orgânico dos demais resíduos (sementes, frutas e resto de alimentos), Figura 6, 6a. Em laboratório, os resíduos flutuantes coletados foram armazenados em basquetas identificadas para secagem em temperatura ambiente (Figura 6, 6b e 6c).



Figura 6. Etapas realizadas na coleta dos resíduos flutuantes do rio Tucunduba. 1) Separação do resíduo orgânico durante coleta ; B) Separação dos resíduos coletados na ecobarreira para o processo de secagem; C) Processo de secagem dos resíduos coletados.

Após esse processo, o material coletado foi classificado, quantificado e pesado com auxílio de uma balança, seguindo a proposta de Willoughby (1986). Esta metodologia foi aplicada em seis amostras referentes aos seis dias de utilização das ecobarreiras, conforme Figura 7.



Figura 7. A) Processo de secagem dos resíduos flutuantes coletados com a ecobarreira tipo 1; B) Identificação e classificação dos resíduos coletados; C) Pesagem dos resíduos coletados após a secagem

4.4 Processamento de dados

Os dados obtidos por meio da análise visual dos resíduos flutuantes e da classificação, quantificação e pesagem das amostras retidas nas ecobarreiras foram tabulados utilizando o software Excel. Após a planilha dos dados, analisaram-se os seguintes aspectos: 1) resíduos coletados nos dois modelos de ecobarreiras testados; 2) tipo de resíduo coletado em cada dia de amostragem; 3) a capacidade de coleta das ecobarreiras: razão entre a quantidade de itens coletados e a quantidade de itens identificados na análise visual dos resíduos flutuantes.

5 RESULTADO E DISCUSSÃO

5.1 Análise visual

A Análise visual quantificou o transporte de todos os tipos de materiais flutuantes na foz do Tucunduba. Houve predominância de plásticos, com valor total de 1.502 itens no período de 2 horas, durante a vazante, seguido da madeira que apresentou total de 527. Já o vidro foi o material menos identificado, apresentando apenas 6 unidades, conforme Tabela 1.

O plástico possui grande flutuabilidade, o que permite sua capacidade de dispersão ao longo do rio. Já a frequência da madeira pode estar relacionada à atividades comerciais bastante frequentes, além das embarcações que cruzam o rio fazendo transporte desse material. Por outro lado, o vidro, embora tenha sido pouco identificado, pode ter sido depositado no leito rio, devido a seu peso, ainda que esteja inserido na definição de resíduo flutuante.

Tabela 1 Análise visual realizada durante o período de 2 horas de instalação dos dois modelos de ecobarreiras testados no rio Tucunduba

Análise visual dos resíduos flutuantes transportados pelo rio Tucunduba							
Classificação do resíduo Flutuante	Ecobarreira tipo 1			Ecobarreira tipo 2			Total
	1º dia	2º dia	3º dia	1º dia	2º dia	3º dia	
Plástico	260	226	636	104	132	148	1.506
Metal	3	4	3	1	7	4	22
Vidro	1	0	2	1	0	2	6
Madeira	116	149	144	23	48	47	527
Papel	2	3	2	0	1	1	9
Isopor	29	23	52	19	13	46	182
Outros	6	4	31	14	20	7	82

5.2 Estrutura dos modelos de ecobarreira

Por se tratar de uma tecnologia social foram desenvolvidos e testados dois modelos de baixo custo de ecobarreira, descritos neste estudo como **Tipo 1 e Tipo 2**. Para isso, os materiais utilizados na confecção dos modelos foram: cordas, tela metálica galvanizada (1 metro de largura e 3 centímetro de abertura) e garrafas plásticas reutilizadas e obtidas por meio de doação, totalizando um custo de R\$132,00 (cento e trinta e dois reais), como apresentado na *Tabela 2*.

Tabela 2 Custos para a confecção da ecobarreira

Materiais utilizados na confecção dos modelos de ecobarreiras				
Descrição	Unidade	Preço uni.	Quant.	Total
Tela metálica galvanizada	m ²	R\$ 4,00	8	R\$ 32,00
Corda tipo 1	metro	R\$ 1,20	30	R\$ 36,00
Corda tipo 2	metro	Doação	30	
Corda tipo 3	metro	R\$ 0,60	50	R\$ 30,00
Fita silver tape	uni.	R\$ 22,00	1	R\$ 22,00
Gancho	uni.	R\$ 12,00	1	R\$12,00
Barras metálicas	uni.	Doação	7	
Garrafas plásticas	uni.	Doação	64	
Seixo	kg	Doação	6	
				Custo total R\$ 132,00

A **Ecobarreira Tipo 1** é constituída de 3 módulos de 2 metros de comprimento, onde as garrafas plásticas são envoltas em 20 centímetros da tela metálica e os 80 centímetros restante foram utilizados para formar uma barreira submersa. Para cada módulo foram utilizadas 10 garrafas, dispostas enfileiradas, Figura 8.

Cada módulo deste modelo de ecobarreira foi fixado a cordas durante sua instalação. Também foi necessário o uso de poitas para manter a sustentação dos módulos da ecobarreira – as poitas utilizadas foram barras metálicas e garrafas preenchidas com seixo.



Figura 8 Instalação dos 3 módulos de ecobarreira tipo 1 no rio Tucunduba.

A **Ecobarreira Tipo 2** é composta por um único módulo com 16 metros de extensão. A principal diferença entre esse modelo e tipo 1 é a ausência da tela metálica submersa. Neste modelo utilizou-se 64 garrafas plásticas dispostas em formato de pirâmide e envoltas em tela metálica – reaproveitada após o desmonte da ecobarreira tipo 1. E durante a instalação utilizou-se um número reduzido de cordas para fixação do módulo, Figura 9.



Figura 9 Instalação da ecobarreira tipo 2 no rio Tucunduba, estendida desde o canal principal até a margem esquerda.

5.3 Princípio de funcionamento das ecobarreiras

As ecobarreiras constituem de estruturas flutuantes que aproveitam a própria hidrodinâmica local do rio para reter os resíduos flutuantes. Neste estudo, as ecobarreiras Tipo 1 e Tipo 2 apresentam princípios de funcionamentos diferentes.

Na **Ecobarreira Tipo 1**, sua estrutura composta por cordas de sustentação na parte superior e inferior (tela metálica submersa) tem seu funcionamento semelhante a um envelope. Nesta, os resíduos flutuantes acumulados são içados pelo soerguimento simultâneo das cordas (superior e inferior), como ilustrado na Figura 10.

Inicialmente devido à falta de acesso as margens do rio Tucunduba, os módulos foram pensados para serem colocados e retirados diretamente da ponte, Figura 11. Além disso, para garantir a passagem das embarcações, os três módulos distribuídos de maneira a não restringir a navegabilidade na área. A coleta dos resíduos flutuantes foi feita em média a cada 15 minutos, período que o módulo levava para acumular os resíduos. Para o içamento da ecobarreira, 5

peessoas participaram, sendo 2 pessoas responsáveis pelo içamento das cordas superiores, 2 para içamento das cordas inferiores e mais 1 pessoas para o recebimento e separação do conteúdo orgânico.

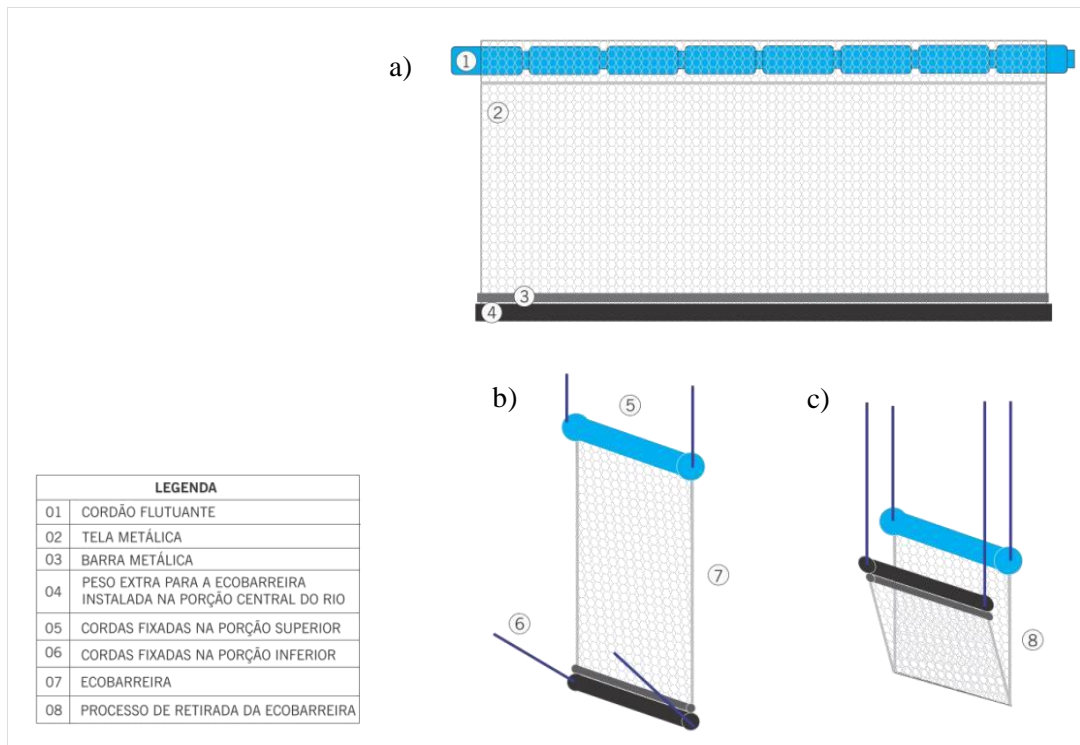


Figura 10 Ilustração esquemática da Eco-barreira Tipo 1. A) Vista frontal da eco-barreira mostrando a garrafas plásticas envoltas em tela metálica e as barras de ferro utilizadas para dar sustentação. B) Vista panorâmica demonstrando o processo de içamento da eco-barreira com destaque para as cordas superiores e inferiores. C) Vista panorâmica eco-barreira ao ser içada em fechamento tipo envelope.

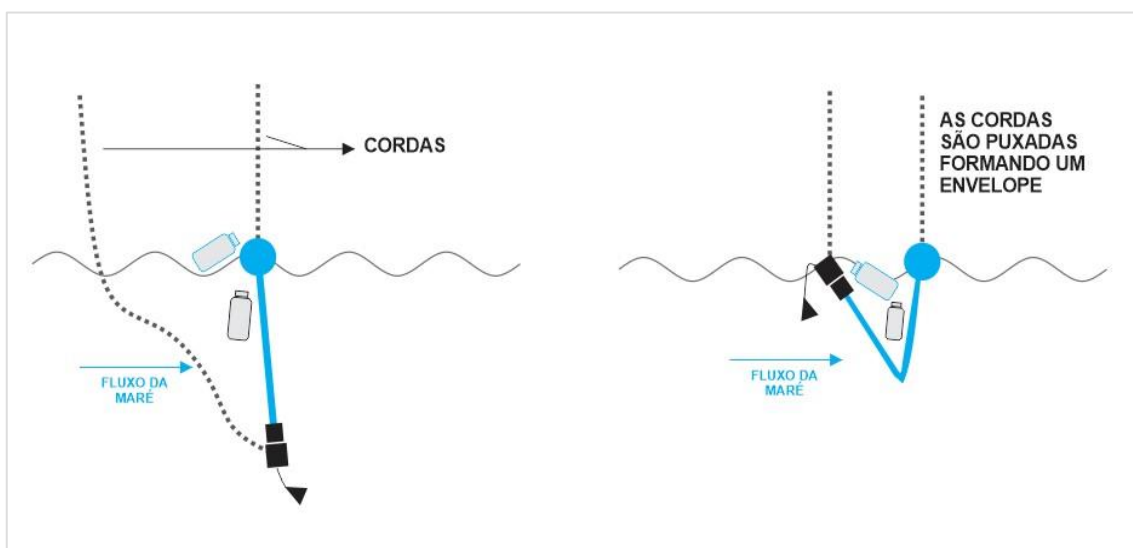


Figura 11 Esquema representando a coleta dos resíduos flutuantes na eco-barreira tipo 1.

Na **Ecobarreira Tipo 2**, sua estrutura em módulo único é composta por duas cordas de sustentação nas extremidades, sendo uma amarrada a ponte a outra as margem, Figura 12. A ecobarreira fica disposta inclinada de modo a reter os resíduos deste o canal principal, até as margens. O resíduo flutuante é deslocado para as margens pela ação da hidrodinâmica.

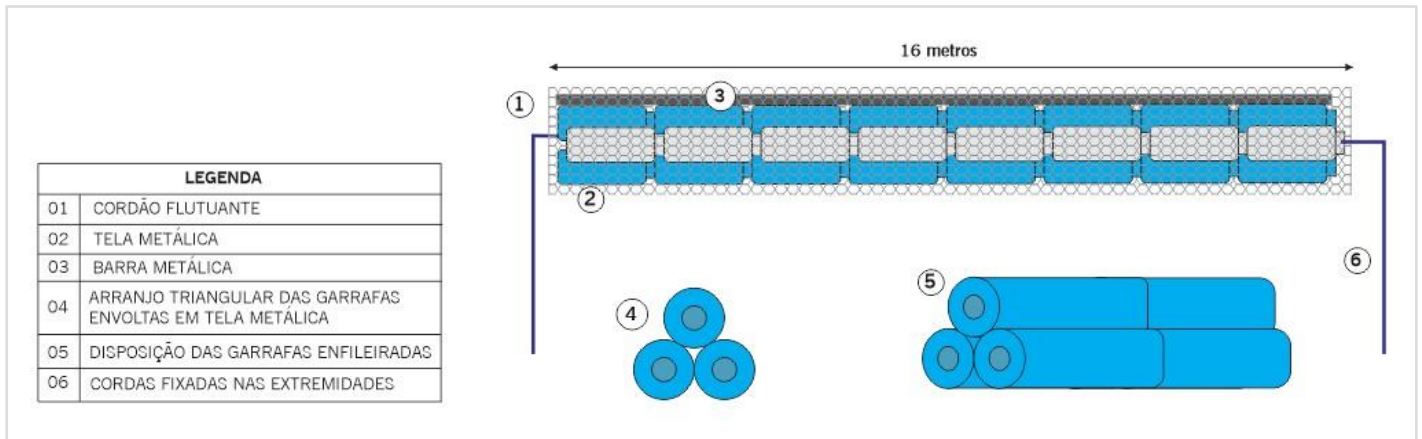


Figura 12 Ilustração esquemática da Ecobarreira Tipo 2 .

Neste modelo de ecobarreira, o módulo era retirado apenas uma vez do rio Tucunduba ao final da instalação, após duas horas. Os resíduos flutuantes foram coletados da margem com o auxílio de um gancho. Quanto à navegabilidade, uma das margens ficou livre para a passagem das embarcações, assim como também ocorreu para a ecobarreira Tipo 1. Para utilização deste modelo, foi necessário a participação de 2 pessoas, sendo uma responsável pelo lançamento da ecobarreira a partir da ponte e a outra para o recebimento e amarração na margem e posterior recolhimento dos resíduos das margens.

5.4 Adaptações nos modelos de ecobarreiras

As adaptações realizadas nas ecobarreiras ocorreram ao longo dos dias de instalação, mediante aos problemas de funcionamento detectados.

Na **Ecobarreira Tipo 1**, o modelo inicial apresentava apenas uma corda do na porção inferior da tela metálica submersa e um peso de 1 quilograma para manter a estabilidade da estrutura. No entanto, devido à alta hidrodinâmica do canal principal do rio, notou-se que a tela metálica não estava posicionada verticalmente na coluna d'água. Por isso, a ecobarreira não estava retendo os resíduos flutuantes que acabam por escapar por baixo da tela.

Portanto, a primeira adaptação realizada foi a fixação de uma barra metálica na porção inferior da tela de modo a mantê-la perpendicular na coluna d'água. Esta barra também evitou

a perda de resíduos durante o içamento da estrutura. Para facilitar o içamento, utilizaram-se duas cordas fixadas em cada extremidade da barra metálica. Para o módulo instalado no canal central, devido a alta hidrodinâmica, foi necessário inserir uma segunda barra metálica associada a poitas, totalizando 10 quilogramas para alcançar a estabilidade da ecobarreira, conforme Figura 13.

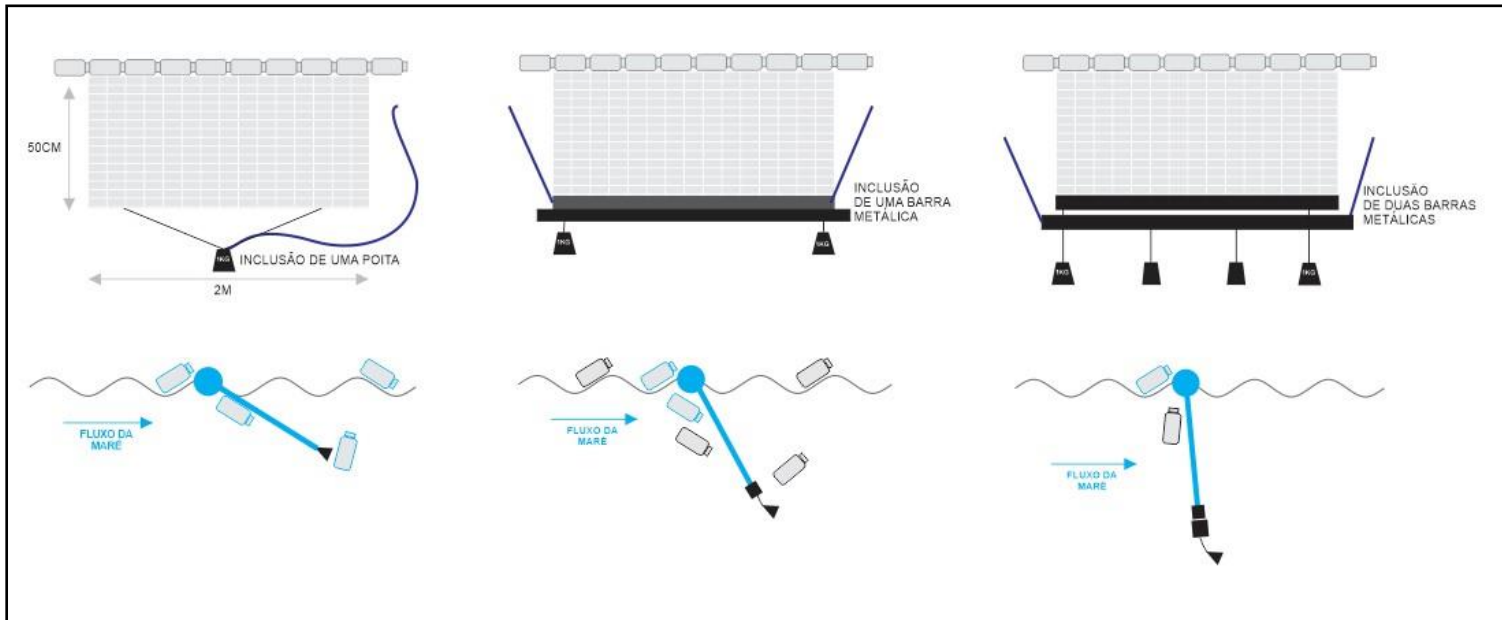


Figura 13 - Adaptações realizadas a ecobarreira tipo 2. A) Modelo original, B) Inclusão de barras metálicas e cordas a lateral e porção inferior, C) Inclusão de poitas extras para estabilidade dos módulos.

As adaptações realizadas na ecobarreira tipo 1 foram capazes de diminuir a perda de resíduos por baixo dos módulos e também durante içamento. No entanto, ao inserir poitas para aumentar a estabilidade do módulo, o esforço físico de retirada da ecobarreira aumentou. Por isso, é importante destacar que a adição dos pesos somados a grande quantidade de resíduos orgânicos, dificultou o processo de içamento da ecobarreira do canal principal.

Na **Ecobarreira Tipo 2**, a adaptação visou a redução do esforço físico empregado e a autonomia do sistema. Neste caso, optou-se por uma estrutura única fixada na ponte e na margem do Tucunduba. Para este modelo houve poucas adaptações quanto ao projeto inicial.

A primeira instalação da ecobarreira tipo 2 utilizou apenas 8 metros de cordão flutuante, porém esta estrutura não foi suficiente para reter os resíduos flutuantes transportados pelo canal principal do rio. Assim, a primeira adaptação foi o prolongamento da ecobarreira em mais 8 metros, totalizando 16 metros de comprimento. Associado a esse prolongamento, também se

instalou barras metálicas com objetivo de reter os resíduos que passavam por baixo do cordão flutuante.

Por fim, a conexão entre os dois cordões flutuantes, impedia em alguns casos que o resíduo flutuante fosse direcionado até a margem do rio. Deste modo, essa conexão foi revertida por tela para evitar o aprisionamento do resíduo ou a sua perda, conforme figura Figura 14

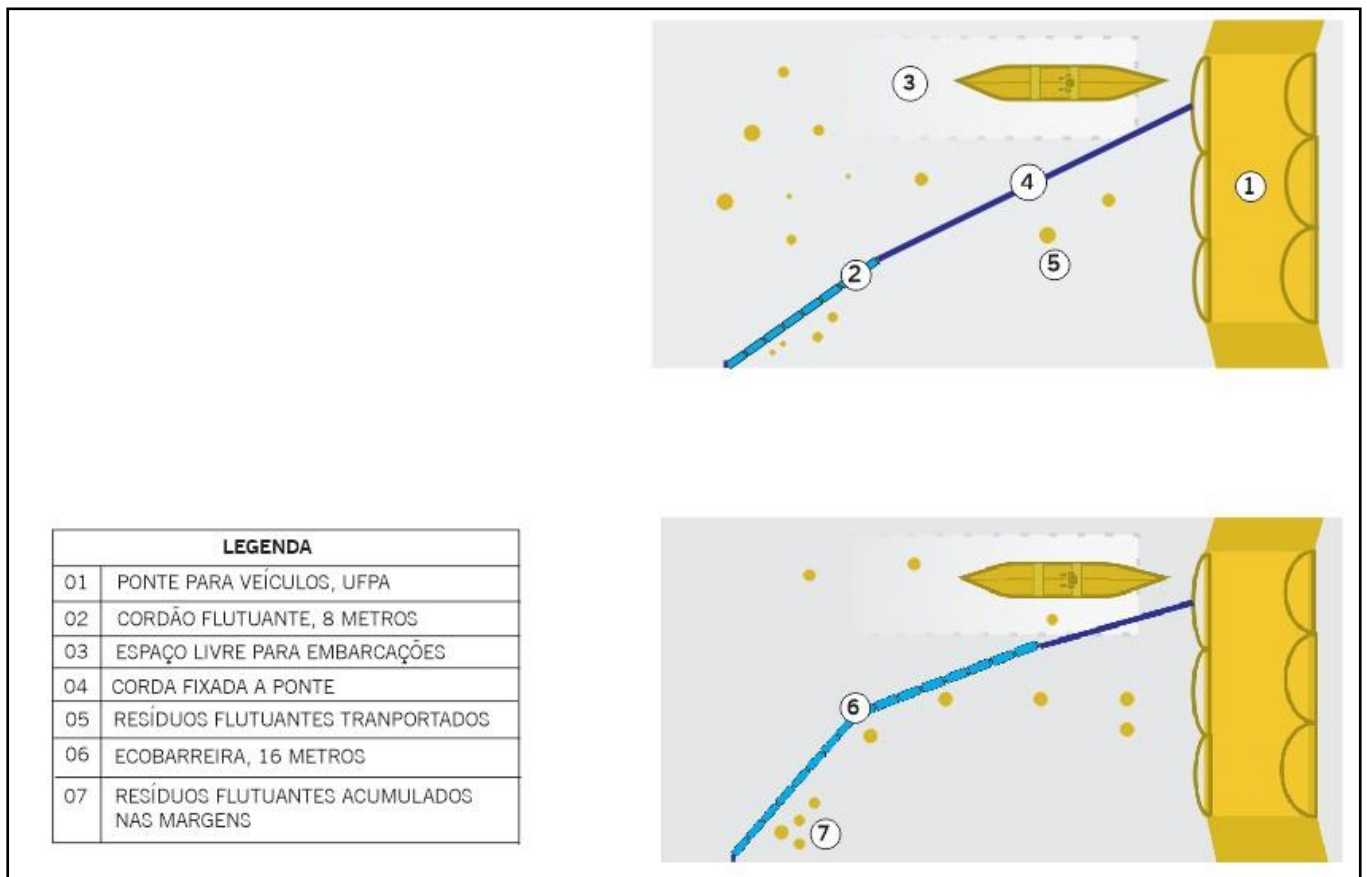


Figura 14 - Adaptações realizadas na ecobarreira tipo 1. a) Modelo original; 2) Inclusão de barras metálicas e cordas nas laterais da porção inferior. c) inclusão de poitas apenas para o módulo instalado no canal central.

5.5 Resíduos flutuantes coletados na ecobarreira

Os dois modelos de ecobarreira coletaram o total de 17.981 gramas, distribuídos em 787 itens de diferentes materiais durante os seis dias de coleta na foz do rio Tucunduba. Os modelos apresentaram resultados diferentes quanto a aspectos como quantidade, peso e classificação dos resíduos flutuantes, Figura 15.

O plástico foi o material mais coletado nos dois modelos de ecobarreira testados, representando 58% de todos os itens coletados, o que equivale a 458 itens. O segundo material mais coletado foi o isopor, totalizando 104 itens que representam 13% da coleta realizada

durante todos os dias de instalação da ecobarreira durante duas horas da vazante do rio Tucunduba. No entanto, o total de itens se difere de um modelo de ecobarreira para outro, principalmente na quantidade.



Figura 15 Resíduos flutuantes coletados no período de 2 horas nas ecobarreiras instaladas no rio Tucunduba. A) Resíduos diversos como plásticos (embalagens, rótulos, garrafas e outros); B) Diversidade de tipos de Isopor.

Na **Ecobarreira Tipo 1** foram coletados 565 itens, totalizando peso de 11.436 quilogramas. O plástico continuou sendo o material mais coletado (55% das amostras), seguido do isopor e da madeira (21% e 7% respectivamente), conforme Tabela 3.

Os itens menos coletados na ecobarreira tipo 1 foram o metal e o vidro. Os dados obtidos por meio da coleta de resíduos da ecobarreira tipo 1 seguem o resultado esperado pelos dados da análise visual, onde destacou-se a predominância de itens plástico e madeira transportados pelo rio Tucunduba durante 2 horas da vazante. O mesmo ocorre para a identificação de vidro e metal realizada na análise visual que se mostrou inexpressiva.

Tabela 3 Classificação, quantificação e pesagem dos resíduos flutuantes coletados na Ecobarreira Tipo 1 instalado na foz do rio Tucunduba durante o período de 2 horas da maré vazante.

Resíduos flutuantes coletados na ecobarreira tipo 1						
Material do resíduo flutuante	1º instalação		2º instalação		3º instalação	
	Quant	Peso	Quant	Peso	Quant	Peso
Plástico	120	0.355	58	0.300	135	0.470
Metal	0	0	1	0.010	1	0.05
Vidro	0	0	0	0	1	0.05
Madeira	16	1.925	22	4.645	15	2.540
Papel	40	0.130	1	0.010	0	0
Isopor	7	0.015	4	0.035	23	0.130
Outros	1	0.370	3	0.475	115	0.011
Total	184	2.795	89	5.475	290	3.161

Na **Ecobarreira Tipo 2**, foram coletados 222 itens, totalizando 6.545 quilogramas. Neste modelo, o plástico representou 64% da amostragem, o que equivale a 143 itens, seguido do isopor com 70 itens que representam 32% da amostragem, os demais 4% incluíram metal, vidro, madeira, papel e outros, conforme Tabela 4.

Comparando os resíduos coletados pelas ecobarreiras foi possível identificar que o modelo **Tipo 1** coletou maior diversidade de materiais. Já a **Ecobarreira Tipo 2** mostrou-se capaz de reter apenas materiais mais leve como o plástico e o isopor.

É importante destacar que a ecobarreira tipo 1 foi capaz de reter predominantemente sacolas, embalagens e rótulos de alimentos. Enquanto que a Ecobarreira Tipo 2 reteve uma variedade menor de materiais com predominância dos itens foi de garrafas plásticas e isopor com as mais diversas finalidades, dentre eles: isopor para forro de geladeira, caixa térmica e bandeja de alimentos.

Tabela 4 Classificação, quantificação e pesagem dos resíduos flutuantes coletados na Ecobarreira Tipo 2 instalado na foz do rio Tucunduba durante o período de 2 horas da maré vazante.

Resíduos flutuantes coletados na ecobarreira tipo 2						
Material Do resíduo Flutuante	1º instalação		2º instalação		3º instalação	
	Quant	Peso	Quant	Peso	Quant	Peso
Plástico	27	1.105	70	0.890	46	1.920
Metal	0	0	1	0.015	4	0.210
Vidro	0	0	0	0	1	0.410
Madeira	0	0	0	0	0	0
Papel	0	0	0	0	0	0
Isopor	13	0.210	11	0.885	47	0.680
Outros	0	0	0	0	3	3
Total	40	1.305	82	1.800	100	3.430

Comparando os resíduos coletados pelas ecobarreiras foi possível identificar que o modelo **Tipo 1** coletou maior diversidade de materiais. Já a **Ecobarreira Tipo 2** mostrou-se capaz de reter apenas materiais mais leve como o plástico e o isopor.

É importante destacar que a ecobarreira tipo 1 foi capaz de reter predominantemente sacolas, embalagens e rótulos de alimentos. Enquanto que a Ecobarreira Tipo 2 reteve uma variedade menor de materiais com predominância dos itens foi de garrafas plásticas e isopor com as mais diversas finalidades, dentre eles: isopor para forro de geladeira, caixa térmica e bandeja de alimentos.

5.6 Capacidade de coleta dos modelos de ecobarreira testados

Os dois modelos de ecobarreira testados coletaram resíduos flutuantes durante o período de instalação. Todavia, fatores determinantes como a presença da tela metálica submersa e a alta hidrodinâmica no transporte de materiais, principalmente pelo canal central do rio Tucunduba, permitiram uma seleção diferente de resíduos flutuantes.

Neste sentido, a eficiência neste estudo pode ser dada por três aspectos como: 1) o total de resíduos flutuantes coletados em função do total identificado na análise visual, sem considerar o processo de adaptações; 2) a coleta dos resíduos flutuantes frente às adaptações

realizadas em cada modelo de ecobarreira; 3) compreensão de variáveis como esforço físico empregado, navegabilidade e potencial econômico dos resíduos coletados.

5.6.1 Capacidade de coleta dos modelos de ecobarreira considerando volume total coletado

A **Ecobarreira Tipo 1** apresentou maior retenção de resíduos flutuantes como o isopor (33%), seguida de plástico, onde 28% de itens coletados em relação aos itens identificados, durante os 3 dias de instalação no período de 2 horas da maré vazante. O grau de eficiência foi desconsiderado para materiais como: papel, devido ao estado de degradação durante o processo de secagem, uma vez que isso implicou na sua fragmentação em mais itens, conforme Tabela 5.

Os itens classificados na categoria outros apresentaram percentual para capacidade de coleta em 259%, isto deve-se ao de ter sido coletado mais material do que identificado durante a análise visual. Trata-se de itens como maquiagens, sandálias, fraldas, palhetas de ventilador, entre outros sem aproveitamento para a coleta seletiva. Já o metal e vidro também tiveram sua eficiência desconsiderada, uma vez que somados apresentaram um total de apenas 3 itens.

Tabela 5 Capacidade de coleta da ecobarreira tipo 1 quanto aos resíduos coletados

Capacidade de coleta da ecobarreira tipo 1			
Material do resíduo flutuante	Análise visual	Quant. coletada	Eficiência (%)
Plástico	1.122	315	28
Metal	10	2	0,25
Vidro	3	1	33
Madeira	409	53	13
Papel	7	41	
Isopor	104	34	33
Outros	46	119	

Assim, os itens com maior grau de eficiência para o modelo ecobarreira tipo 1 foram o Isopor (33%), plástico (28%) e a madeira (13%) que embora seja o terceiro material mais coletado, seu peso superou o dos demais materiais.

Vale ressaltar que durante a 3ª instalação da ecobarreira tipo 1 no rio Tucunduba, houve uma identificação maior de itens plásticos na análise visual, gerando uma discrepância sobre os

dados e ocasionado um efeito sobre o valor de eficiência. Assim, simulando um cenário onde quantidade identificada na análise visual fosse a média entre os dias 1 e 2 de instalação, neste caso 243 itens como média, o valor da eficiência para a coleta de plásticos seria de 43%.

A **Ecobarreira Tipo 2**, apresentou maior eficiência na retenção resíduos flutuantes tipo isopor (90%), seguida de plástico, onde 37% dos itens identificados na análise visual foram coletados na ecobarreira, durante os 3 dias de instalação no período de 2 horas da maré vazante. Materiais nas categorias metal, vidro e outros tiveram eficiência desconsiderada, uma vez a coleta total equivaleu a 9 unidades. Já madeira não foi coletada em nenhuma das instalações do modelo ecobarreira tipo 2, conforme Tabela 9.

Tabela 6 Capacidade de coleta da Ecobarreira Tipo 2 na coleta de resíduos flutuantes na foz do rio Tucunduba.

Capacidade de coleta da ecobarreira tipo 2			
Material do resíduo flutuante	Análise visual	Quant. Coletada	Eficiência (%)
Plástico	384	143	37
Metal	12	5	42
Vidro	3	1	33
Madeira	118	0	0
Papel	2	0	0
Isopor	78	70	90
Outros	41	3	7

Comparando a eficiência de coleta dos resíduos flutuantes nos dois modelos de ecobarreira testados no rio Tucunduba, percebe-se que ambos coletaram predominantemente isopor e plástico e que os materiais que mostraram resultados diferentes na coleta foram a madeira e os classificados como outros. Neste caso, a tela submersa foi responsável pela captura dos materiais com maior densidade, devido a estrutura tipo envelope, assim como a grande quantidade de resíduos orgânicos que eram descartados imediatamente após sua coleta.

5.6.2 Capacidade de coleta da ecobarreira a cada adaptação realizada

As adaptações realizadas nos modelos de ecobarreira testados no rio Tucunduba tinha por finalidade o aperfeiçoamento da estrutura para aumentar a sua eficiência de coleta.

A **Ecobarreira Tipo 1**, o modelo inicial foi capaz de coletar 5 dos 6 tipos de materiais classificados neste estudo, exceto vidro, embora ambos tenham sido registrados na análise visual.

Analisando a Tabela 7, nota-se que há uma diminuição na eficiência de coleta de plástico e isopor e um aumento para metal, madeira e outros. A estruturação da tela submersa com auxílio da barra metálica propiciou a retenção de resíduos mais densos e assim a sua posterior coleta.

A última adaptação feita no modelo de ecobarreira tipo 1 reteve ainda menos plástico. Já os itens como metal, vidro, isopor e outros tiveram os maiores valores de eficiência durante as instalações dos módulos. Portanto, as alterações foram responsáveis por coletar uma grande variedade de materiais que não necessariamente implicam em um maior potencial de comercialização, já que os materiais mais rentáveis na coleta seletiva são o papelão e o plástico.

Tabela 7 Variação na capacidade de coleta da ecobarreira tipo 1 conforme as adaptações realizadas na ecobarreira tipo 1 instalada no rio Tucunduba.

Capacidade de coleta de acordo com as adaptações realizadas na ecobarreira tipo 1 (%)			
Resíduo flutuante coletado	Modelo inicial	1ª adaptação: fixação de barras metálicas e poitas	2ª adaptação: fixação de mais poitas
Plástico	46	26	21
Metal	0	25	33
Vidro	0	0	50
Madeira	14	15	10
Papel		33	0
Isopor	24	17	44
Outros	17	33	

Vale ressaltar, que os dados de coleta para papel foram desconsiderados, uma vez que durante o processo de secagem, o material coletado se fragmentou gerando um alto número de itens.

Na ecobarreira tipo 2, o modelo inicial foi capaz de coletar 2 dos 6 tipos de resíduos flutuantes classificados para este estudo, plástico e isopor. Com o prolongamento do cordão flutuante para 16 metros, foi possível aumentar a capacidade de coleta de plástico (53%) o que

equivale a 0.89 quilogramas, e isopor (85%) que equivale a 0.895 quilogramas entre os itens coletados na ecobarreira e os identificados durante a análise visual no período de 2 horas no rio Tucunduba, apresentando um nível satisfatório na coleta dos resíduos flutuantes. Além disso, o metal foi um material que pode ser coletado com esta adaptação, apresentando 14% de eficiência, porém o quantitativo foi equivalente a 0.015 quilograma, pouco relevante em termos de reaproveitamento do material, Tabela 8.

A última adaptação realizada na ecobarreira tipo 2 foi capaz de reter materiais classificados na categoria outros com eficiência 43%. Para esta mesma instalação o isopor apresentou nível de eficiência de 100% entre os resíduos identificados na análise visual e os coletados pela ecobarreira. Já quanto ao plástico, houve uma diminuição da eficiência para 31%, o que ainda sim é superior ao resultado obtido pela ecobarreira tipo 2. O metal também apresentou nível máximo de eficiência, mas devido ao baixo peso é desconsiderado a respeito de valor econômico. Portanto, a ecobarreira tipo 2 apresentou eficiência satisfatória na retenção dos resíduos flutuantes com maior potencial econômico quanto a coleta seletiva.

Tabela 8 Variação na capacidade de coleta da ecobarreira tipo 1 conforme as adaptações realizadas na ecobarreira tipo 2 instalada no rio Tucunduba.

Capacidade de coleta das ecobarreiras de acordo com as adaptações realizadas na ecobarreira tipo 2 (%)			
Resíduo flutuante coletado	Modelo inicial	1ª adaptação: Prolongamento do cordão flutuante	2ª adaptação: Fixação de 1 Poita (1 kg)
Plástico	26	53	31
Metal	0	14	100
Vidro	0	0	0
Madeira	0	0	0
Papel	0	0	0
Isopor	68	85	100
Outros	0	0	43

5.6.3 Potencial econômico dos resíduos coletados pela ecobarreira

A possibilidade de replicação dos modelos de ecobarreira testados no rio Tucunduba deve ser considerada mediante aos fatores como a influência na navegabilidade da região, o nível de degradação dos resíduos flutuantes coletados, o valor dos materiais coletados e os custos com suporte e manutenção das ecobarreiras.

Para a instalação das ecobarreiras foi levado em considerando o tráfego diário de embarcações no rio Tucunduba que durante o período de 2 horas instalação foi de 4 a 10 embarcações. Estas embarcações apresentam tamanhos diferentes, variando de pequenas canoas, chamadas rabetas, com capacidade para 4 pessoas, ou grandes barcos, com 20m de comprimento usados para transportar cargas. Assim, quanto a navegabilidade, as ecobarreiras apresentaram restrições diferentes

A **Ecobarreira Tipo 1** por ser ter sua estrutura composta por 3 módulos, apresentou maiores dificuldade de execução, uma vez que a quantidade de cabos implicava na constante realocação durante a passagem dos barcos, principalmente os de grande porte. Além disso, este modelo coletou maior quantidade de resíduos orgânicos que implicaram em duas questões: 1) Aumento no peso para içamento da estrutura; 2) Aderência de resíduos orgânicos nos resíduos flutuantes coletados.

Os problemas com a coleta de resíduos orgânicos na ecobarreira tipo 1 demandaram em maior esforço físico para retirar a estrutura em um curto período de 15 minutos ou o suficiente para acumular bastante material. Além disso, o conteúdo orgânico na triagem em laboratório dificultou a secagem do material para que os itens fossem pesados posteriormente.

A **Ecobarreira Tipo 2**, por apresentar apenas um cabo fixado a ponte, a passagem das embarcações é facilitada. Na maior parte dos casos não houve a necessidade de deslocamento da estrutura, mesmo diante de embarcações maiores. O que acarreta em um nível maior de autonomia do modelo testado e deste modo, a viabilidade de replicação do sistema.

Quanto ao esforço empregado na instalação e suporte dessa ecobarreira, pode-se considerar mínimo quando comparado ao modelo 1, uma vez que era realizada apenas uma coleta de resíduos flutuantes após o período de instalação. Além disso, os itens mais coletados pela ecobarreira tipo 1 foram materiais como garrafa pet e isopor, sem a grande presença de conteúdo orgânico.

Portanto, apesar da ecobarreira tipo 1 ter recolhido um número de itens e peso maior, a ecobarreira tipo 2 apresenta possibilidade para replicação do sistema em outras áreas com características semelhantes. Principalmente porque os itens coletados neste tipo podem ser melhor aproveitados para reciclagem.

No entanto, apesar dos aspectos positivos, há de se pensar na forma de aproveitamento destes resíduos coletados, uma vez que o grau de degradação inviabiliza a destinação a coleta seletiva. Porém, se a limpeza dos resíduos for realizada, para retirada de conteúdo orgânico ou

lama aderida, a estimativa de valor econômico dos itens coletados durante duas marés de 4 horas duas vezes ao dia seria de R\$1,35 (um real e trinta e cinco centavos) para as sacolas plásticas. Já para as garrafas plásticas o valor seria de R\$4,69 (quatro reais e sessenta e nove centavos), conforme verificado na Associação de Reciclagem de Águas Lindas - ARAL. Belém do Pará, Tabela 9.

Tabela 9 Valores de resíduos sólidos disponibilizados pela ARAL (Associação de reciclagem de águas lindas, Belém - PA). * Valores médios referentes ao preço de compra dos seguintes subprodutos: 1) Sacola- filme branco e colorido; 2) Garrafas – pet, detergente e e água mineral.

Tabela de preços da coleta seletiva – ARAL					
Categoria	Valor* (kg)	Quant. Média coletada (kg/2h)	Duração quant. De da maré marés/dia Vazante		Total (dia)
Sacola Plástica	R\$0,90	0.375	4 horas	2	R\$1,35
Garrafa Plástica	R\$ 0,90	1.305	4 horas	2	R\$4,69
Isopor e Madeira		Não comercializado			

Portanto, no período de 30 dias de uso contínuo da ecobarreira, o valor estimado seria de R\$40,05 (quarenta reais e cinco centavos) para os itens como sacola plásticas coletados na Ecobarreira Tipo 1 e de R\$140,94 (cento e quarenta reais e noventa e quatro centavos) para itens como garrafas plásticas coletados pela Ecobarreira Tipo 2. Assim, nota-se que o custo de R\$132,00 gasto na fabricação da ecobarreira é recuperado dentro de um mês no caso da ecobarreira tipo 2 e em quatro meses com a ecobarreira tipo 1.

Um custo que não foi incluído neste estudo foi o de recurso humanos, já que a instalação contou com voluntários. Neste sentido, indica-se a parcerias com instituições que já realizam trabalho em coleta seletiva para retirar material da ecobarreira, otimizando os custos. Há de se considerar também a expansão do sistema para outros pontos da cidade, ampliando a capacidade de coleta e retorno financeiro.

6 CONCLUSÃO

As ecobarreiras são eficientes na coleta de resíduos flutuantes em rios dominados por maré. Sua eficiência está condicionada a adaptações que permitam maior estabilidade da estrutura frente à alta hidrodinâmica local, que em ambas as ecobarreiras testadas foi o fator determinante para as adaptações realizadas.

Embora os modelos de ecobarreiras desenvolvidos neste estudo tenham levado como base outros modelos testados em outras localidades, notou-se a necessidade de compreender as especificidades da região amazônica no qual o rio Tucunduba está inserido. Deste modo, além da forçante corrente de maré, a intensa navegabilidade da região fez parte do desenvolvimento deste trabalho.

Assim, foi essencial que a navegação não esteve restrita com o uso de um cordão flutuante, de maneira que ambas ecobarreiras testadas foram desenvolvidas para coexistirem em harmonia nessa relação com os barqueiros. Assim, durante os dias de instalação, as ecobarreiras ganharam espaço na rotina dos barqueiros de maneira positiva e colaborativa, além de incentivarem em muitos momentos trabalhos com este.

As coletas realizadas com a instalação das ecobarreiras reforçaram ainda mais o impacto causado pelo consumo excessivo de plástico, em muitos casos utilizados uma única vez como canudinhos, copos, sacolas e garrafas plásticas, evidenciando ainda mais a necessidade de políticas públicas que diminua o uso desse material.

Embora os materiais recolhidos nas ecobarreiras não possam ser imediatamente enviados a coleta seletiva, há de se considerar o efeito positivo que a retirada de 787 resíduos flutuantes concede rio Tucunduba, evitando que esses itens sejam vetores de substâncias contaminantes, utilizados como estrutura para a fixação de organismos ou introduzidos na cadeia trófica. Além disso, a base para o desenvolvimento de tecnologias sociais é a criatividade e a colaboração, de maneira que é preciso encontrar outras opções para o uso dos resíduos flutuantes como a confecção de móveis, acessórios e roupas como já tem sido feito por grandes marcas no mundo.

Os resíduos flutuantes coletados pelo rio Tucunduba representam uma pequena parcela do material que chega aos oceanos anualmente. A contribuição de todos os pequenos aportes de resíduos até os grandes rios afeta diretamente em escala global a poluição dos oceanos. Deste modo, além de desenvolver tecnologias para mitigar os impactos do aporte fluvial de resíduos flutuantes, faz-se necessário a aplicação de ações de educação ambiental como forma de

prevenção. Portanto, os resultados obtidos neste estudo podem auxiliar outras comunidades com características semelhantes na solução de problemas semelhantes, resultando em um mundo mais sustentável e colaborativo.

REFERÊNCIAS

- Bernardino, D., Franz, B. 2016. Lixo flutuante na Baía de Guanabara: passado, presente e perspectivas para o futuro *Floating Litter in Guanabara Bay: Past, Present and Future Perspectives. Desenvol. Meio Ambiente*, (38): 231-252
- Teixeira, D. F., Siqueira, B. S., Cattanio, J. 2014. Importância da aninga (*Montrichardia linifera*) na retenção de sedimentos na Baía Do Guajará, Pa. *Estudos Ambientais*, 6-19.
- Figueiredo A. B., Matta M. A. S., Almeida F. M., Dias E. R. F., Costa F. R. 2002. Fundamentos básicos para exploração de água subterrânea na bacia do Tucunduba – Belém/PA, como base para um modelo de desenvolvimento autossustentável. *Águas Subterrânea*,
- Franz, B. 2011. *O lixo flutuante em Regiões Metropolitanas Costeiras no Âmbito de Políticas Públicas: O caso da cidade do Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE*. Tese de doutorado. Programa de Planejamento Energético, UFRJ, 133-147.
- Galgani, F., Leauté, J.P., Moguedet, P., Souplet, A., Verin, Y., Carpentier, A., Goragner, H., Latrouite, D., Andral, B., Cadiou, Y., Mahe, J.C., Poulard, J.C., Nerisson, P., 2000. Litter on the sea floor along European coasts. *Mar. Pollut. Bull.* 516–527.
- IBGE. Instituto Brasileiro De Geografia E Estatística. 2010. Disponível em: www.ibge.gov.br/cidadesat/topwindow. Acessado em 22 de Julho de 2018.
- Iñiguez, M. E., Conesa, J. A. 2017. Pollutant content in marine debris and characterization by thermal decomposition. *Mar. Pollut. Bull.* 359-365.
- IOC - Policy Series. 2017. *Global Ocean Science Report: The Current Status of Ocean Science around the World*. United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization.
- Jambeck, J. R., Geyer, R., Wilcox, C., Siegler, T. R., Perryman, M., Andrady, A., Narayan, R., Lavender, K. 2015. Plastic waste inputs from land into the ocean. *Science*, 765-771.
- Matos, F. 2010. *Caracterização qualitativa dos impactos causados pela ocupação urbana no igarapé Tucunduba. Belém, Pa*. Dissertação de mestrado – Programa de Pós-graduação em Ciências Agrárias Ambientais, Universidade de Taubaté.
- Moore, C.J., Lattin, G.L., Zellers A.F. 2011. Quantity and type of plastic debris flowing from two urban rivers to coastal Waters and beaches of Southern California. *Journal of Integrated Coastal Zone Management*, 65-73.
- Prefeitura de São Gonçalo. 2015. *Projeto: plano municipal de saneamento básico do município de São Gonçalo*. Disponível em: www.pmsbguanabara.fles.wordpress.com/2016/01/pmsb_saogoncalo.pdf. Acessado em: 19 de outubro 2018.
- Oliveira, C.; Rocha, F.; Gonçalves, S. Uma Alternativa Para O Lixo Flutuante Em Rios E Córregos. *Ciências do Ambiente*, on-line.
- SEBRAE- Centro Sebrae de Sustentabilidade. 2017. *Tecnologias sociais: como os negócios podem transformar comunidades*, 31.
- Slat, B. 2014. *How the ocean can cleans themselves – A feasibility study*. The Ocean Cleanup, 1-259.

Targa, M. S., Batista, G. T., Diniz, H. D., Dias, N. W., Matos, F. C. 2012. Urbanização e escoamento superficial na bacia hidrográfica do Igarapé Tucunduba, Belém, PA, Brasil. *Ambi-Agua*, 7(2), 120-142.

ONU. 2017. *Factsheet: Marine pollution*. The Ocean Conference. Organização das Nações Unidas.

UNEP. 2009. *Marine litter: a global challenge*.

UNRIC. 2016. *Guia de Desenvolvimento Sustentável - 17 Objetivos Para Transformar o Nosso Mundo*. Organização das Nações Unidas.

USEPA, 2002. *Assessing and Monitoring Floatable Debris*. Washington: Environmental Protection Agency *Disponível em* www.swrcb.ca.gov/water_issues/programs/swamp/docs/cwt/guidance/4315.pdf. Acessado em 02 de novembro de 2018.

WILLOUGHBY, N.G. 1986. Man-made Litter on the Shores of the Thousand Island Archipelago, Java. *Mar. Pollut. Bull*, 17(5):224-228.