



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
CAMPUS UNIVERSITÁRIO DE BRAGANÇA
INSTITUTO DE ESTUDOS COSTEIROS - IECOS
FACULDADE DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS

PAULO ENRIQUE ALMEIDA E SILVA

**AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA E MONITORAMENTO DE
ECOBARREIRAS PARA RETENÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS EM UM
RIO URBANO NA AMAZÔNIA ORIENTAL**

BRAGANÇA-PA
2025

PAULO ENRIQUE ALMEIDA E SILVA

**AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA E MONITORAMENTO DE
ECOBARREIRAS PARA RETENÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS EM UM
RIO URBANO NA AMAZÔNIA ORIENTAL**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade de Ciências Biológicas, do Campus Universitário de Bragança, da Universidade Federal do Pará, como requisito parcial para obtenção do título de Licenciado em Ciências Biológicas.

Orientadora: Profa. Dra. Rosigleyse Corrêa de Sousa Felix

BRAGANÇA-PA
2025

A447a

Almeida E Silva, Paulo Enrique.

AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA E MONITORAMENTO DE
ECOBARREIRAS PARA RETENÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS EM UM
RIO URBANO NA AMAZÔNIA ORIENTAL / Paulo Enrique Almeida E
Silva. — 2025. 50 f. : il. color.

Orientador(a): Prof^a. Dra. Rosigleyse Corrêa de Sousa Felix
Trabalho de Conclusão (Graduação) - Universidade Federal do Pará, Campus
Universitário de Bragança, Faculdade de Ciências Biológicas, Bragança,
2025.

1. Sustentabilidade Ambiental. 2. Resíduos Sólidos Flutuantes. 3.
Recursos Hídricos. 4. Poluição Pluvial. 5. Poliestireno. I. Título.

CDD 363.70098115

PAULO ENRIQUE ALMEIDA E SILVA

**AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA E MONITORAMENTO DE
ECOBARREIRAS PARA RETENÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS EM UM
RIO URBANO NA AMAZÔNIA ORIENTAL**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Faculdade de Ciências Biológicas, do Campus
Universitário de Bragança, da Universidade
Federal do Pará, como requisito parcial para
obtenção do título de Licenciado em Ciências
Biológicas.

Orientadora: Profa. Dra. Rosigleyse Corrêa de
Sousa Felix

Data da aprovação: ____/____/____

Conceito: _____

BANCA EXAMINADORA

Profa. Dra. Rosigleyse Corrêa de Sousa Felix (Orientadora)
Instituto de Estudos Costeiros/Universidade Federal do Pará

Profa. Dra. Emarielle Coelho Pardal (Examinador Externo)
Instituto de Pesquisas Científicas e Tecnológicas do Estado do Amapá, IEPA

Prof. Dr. Dioniso de Souza Sampaio (Examinador Interno)
Instituto de Estudos Costeiros/Universidade Federal do Pará

Dedico este trabalho a minha família por me incentivar e contribuir indescritivelmente para a continuidade dos meus sonhos.

“Não quero faca nem queijo. Quero a fome.”

(ADÉLIA PRADO)

AGRADECIMENTOS

Tenho enorme apreço pelos processos biológicos que ocorreram bem antes que eu pudesse vir a ter uma vida e que continuam a acontecer enquanto estou vivo - possibilitando-me concluir mais essa etapa do meu percurso acadêmico -, e que continuarão a acontecer a posteriori.

Sou e serei eternamente grato ao sistema público de ensino superior que, através da contribuição de muitos, permitem com que uma parcela, inclusive eu, adentrem os portões da Universidade Pública e usufrua das suas riquezas sociais, de diversidade, de conhecimento, de culturas e de transformação social.

À minha família, em especial minha mãe, Leuza, que nunca me deixou desistir dos estudos, sempre me apoiando incondicionalmente nas minhas decisões educacionais. Outras pessoas que tenho muita gratidão, essencialmente durante o curso, são meu irmão, Andson Almeida, - pois ele contribuiu enormemente sempre que eu precisei, desde às pequenas até as grandes coisas, além de ser o primeiro graduado da família, motivo de inspiração – ao lado da minha cunhada, Fernanda Luíza. Ambos foram meus tutores, meus pais, meus irmãos durante esse percurso.

Às pessoas incríveis que contribuíram para o desenvolvimento da pesquisa. Isso porque ela, em particular, é resultado de um esforço coletivo, excepcionalmente durante as instalações das ecobarreiras, são elas: Brenda, Douglas, Jamille, Jane, Jenny, Lauriberto, Lorrán, Luana, Ludimyla, Raul.

À minha orientadora, Professora Rosigleyse Corrêa, que propôs, logo na minha primeira disciplina totalmente presencial do curso, a ideia das ecobarreiras e, a partir disso, eu fiquei completamente realizado dentro desse eixo temático do curso. Sempre tive muita liberdade para testar minhas ideias, discutir os planejamentos, fazer, refazer. Fui muito incentivado a divulgar nossos resultados nos eventos, mostrando a importância da pesquisa para outras pessoas.

Ao professor Dionísio Sampaio, apelidado carinhosamente como pai. Este, foi indispensável nessa caminhada, proporcionando-me várias experiências e reflexões marcantes durante a graduação.

Por fim, à Universidade Federal do Pará (UFPA), ao Campus Universitário da Bragança (CBRAG), ao Instituto de Estudos Costeiros (IECOS), à Faculdade de Ciências Biológicas (FBIO), à Pró-Reitoria de Pesquisa (PROESP/UFPA) e à toda as pessoas que de alguma maneira participaram de forma direta ou não desta pesquisa

RESUMO

Ecobarreiras são estruturas físicas projetadas para impedir que resíduos flutuantes atravessem cursos d'água, reduzindo a poluição e minimizando os impactos nos ecossistemas aquáticos. Assim, este estudo teve como objetivo avaliar a eficiência de um modelo de ecobarreira na retenção de resíduos sólidos flutuantes em um rio na Amazônia oriental, influenciado pela hidrodinâmica das marés. Para isso, foram instaladas ecobarreiras em dois pontos do rio (P1 e P2), com coletas realizadas em um período de 24 semanas no P1 e ao longo de 9 meses no P2. Os resultados mostraram uma eficiência média de 73,1%, sendo as ecobarreiras mais eficazes na captura de plásticos e poliestireno. Foram coletados 649 itens em P1 e 940 em P2, enfatizando o grande volume de resíduos descartados de forma inadequada. A análise também revelou que a poluição aumentou durante os períodos chuvosos e marés altas, particularmente perto da fonte do rio, destacando a influência do clima na dispersão de resíduos. Em conclusão, as ecobarreiras mostraram grande potencial como ferramentas sustentáveis e econômicas para reduzir a poluição do rio, especialmente plásticos e poliestireno, que são os principais poluentes. Apesar de seu baixo custo e versatilidade, ainda há desafios na manutenção, adaptação à hidrodinâmica extrema e personalização de modelos para as condições locais. No entanto, as ecobarreiras continuam sendo uma solução valiosa para mitigar a poluição do rio, ressaltando a necessidade de políticas públicas para gerenciar resíduos e reduzir o consumo de plástico.

Palavras-chave: Sustentabilidade Ambiental, Resíduos sólidos flutuantes, Recursos hídricos, Poluição pluvial, Poliestireno.

ABSTRACT

Eco-barriers are physical structures designed to prevent floating waste from crossing waterways, reducing pollution and minimizing impacts on aquatic ecosystems. Thus, this study aimed to evaluate the efficiency of an eco-barrier model in retaining floating solid waste in a river in the eastern Amazon, influenced by tidal hydrodynamics. For this, eco-barriers were installed at two points in the river (P1 and P2), with collections carried out over a period of 24 weeks in P1 and over 9 months in P2. as eco-barriers were installed at two points in the river (P1 and P2), with collections carried out over a period of 24 weeks in P1 and over 9 months in P2. Results showed an average efficiency of 73.1%, with the eco-barriers most effective in capturing plastics and polystyrene. A total of 649 items were collected in P1 and 940 in P2, emphasizing the large volume of improperly disposed waste. The analysis also revealed that pollution increased during rainy periods and high tides, particularly near the river's source, highlighting the climate's influence on waste dispersion. In conclusion, eco-barriers showed great potential as cost-effective, sustainable tools for reducing river pollution, especially plastics and polystyrene, which are major pollutants. Despite their low cost and versatility, challenges remain in maintaining, adapting to extreme hydrodynamics, and customizing models to local conditions. However, eco-barriers remain a valuable solution for mitigating river pollution, underscoring the need for public policies to manage waste and reduce plastic consumption.

Keywords: Environmental Sustainability, Floating Solid Waste, Water Resources, Rainwater Pollution, Polystyrene.

SUMÁRIO

CAPÍTULO I.....	18
1. Introdução Geral.....	19
1.1 Problemática.....	20
1.2 Objetivos	22
1.4 Referências.....	22
CAPÍTULO II	26
2. Evaluation of the efficiency and monitoring of Eco-barriers for solid waste management in an urban river in the Eastern Amazon	26
2.1 Abstract.....	26
2.3 Material and methods.....	28
2.3.1 Study area.....	28
2.3.2 Proceedings	30
2.3.3 Visual analysis and eco-barrier efficiency	32
2.3.4 Gravimetric analysis	32
2.3.5 Data processing	33
2.4 Results	34
2.4.1 Eco-barriers efficiency.....	34
2.4.2 Gravimetry of FSW removed from ecobarriers	35
2.4.3 Comparison between climatic periods	37
2.5 Discussion.....	38
2.6 Conclusions	41
2.7 Referências.....	42
CAPÍTULO III.....	48
3. Considerações Finais.....	48
3.1. Referências.....	48

Estruturação do Trabalho de Curso (TC)

O presente TC está estruturado em três capítulos:

Capítulo I: i) Introdução Geral que aborda informações sobre definição dos resíduos sólidos, problemática ambiental dos resíduos sólidos nas zonas costeiras, falta de gestão dos municípios, e as ecobarreiras como tecnologia para minimizar os impactos desses resíduos nos recursos hídricos. ii) Problemática do Trabalho. iii) Objetivos. iv) Estruturação e v) Referências.

Capítulo II: traz o artigo científico intitulado: *Evaluation of the efficiency and monitoring of Eco-barriers for solid waste management in an urban river in the Eastern Amazon* submetido à Revista *Journal of Material Cycles and Waste Management*, e apresenta os resultados da pesquisa analisando a eficiência de uma ecobarreira construída com materiais de baixo custo e a quantificação e caracterização de resíduos sólidos flutuantes retidos pela ecobarreira no Rio Cereja.

Capítulo III apresenta as considerações gerais do trabalho desenvolvido e como este pode ser uma ferramenta importante para contribuir para redução de resíduos sólidos flutuantes nos corpos hídricos.

CAPÍTULO I

1. Introdução Geral

O debate sobre Os Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) tem ganhado destaque a cada ano. A preocupação é consequência de múltiplos fatores inerentes aos materiais, mas sua quantidade gerada e acentuação desta produção é um aspecto fundamental no debate. Nesse aspecto a geração global de RSU foi de 2,1 bilhões de toneladas por ano e estimada em 2,6 bilhões para 2030, podendo chegar até a 3,2 bilhões até 2050 (PNUMA, 2024 & BANK TW, 2018). No âmbito nacional, o Brasil produziu mais de 80 milhões de toneladas de RSU, sendo 382 kg por pessoa somente no ano de 2023 (ABREMA, 2024). Em paralelo, a quantidade de RSU está rigorosamente relacionada com a sua composição. Globalmente, cerca de metade dos RSU é composta de vidro, papel e papelão, plástico, metal e outros. A outra metade é caracterizada com resíduos alimentares e de jardinagem (PNUMA, 2024). No território nacional, os materiais de resíduos alimentares e de jardinagem representam cerca de 43% e os demais 47%.

A lei 12.305, aprovada em 2010, instituiu a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS). Ela dispõe sobre seus princípios, objetivos e instrumentos, bem como sobre as diretrizes relativas à gestão integrada e ao gerenciamento de resíduos sólidos, às responsabilidades dos geradores e do poder público (federal, estadual e municipal) e aos instrumentos econômicos aplicáveis. De acordo com a lei, resíduos sólidos são: material, substância, objeto ou bem descartado resultante de atividades humanas em sociedade, BRASIL, 2010) A Norma Brasileira de Resíduos, NBR 10.004 (ABNT, 2004), classifica os resíduos, de modo geral, em Resíduos Classe I – Perigosos e Resíduos Classe II - Não perigosos. Alguns resíduos pertencentes a classe II são: sucatas de metais ferrosos, papel, papelão, plástico polimerizado, borracha, madeira, material têxtil, entre outros.

Portanto, a gestão de RSU abrange as funções de coleta, transferência, recuperação de recursos, reciclagem e tratamento. O principal objetivo dela é proteger a saúde da população, promover a qualidade ambiental, desenvolver a sustentabilidade e dar suporte à produtividade econômica (KARAK, BHAGAT & BHATTACHARYYA, 2012). Entretanto, a ausência ou insuficiência da gestão de RSU, consequentemente, promove deposição desses materiais no meio ambiente, prejudicando, dessa forma, os ecossistemas, dentre eles os aquáticos. Pois, uma fração substancial de detritos plásticos marinhos se origina de fontes terrestres e os rios potencialmente atuam como uma importante via de transporte para todos os tamanhos de detritos plásticos, além disso, o lançamento de resíduos em ecossistemas aquáticos são práticas comuns para lidar com resíduos na maioria das cidades especialmente em países em desenvolvimento. Essas práticas deterioram a qualidade da água doce e se tornam fonte de poluição. (LIRO *et al.* 2020; JAMBECK *et al.*, 2015; SCHMIDT *et al.*, 2017 & BHAT *et al.*, 2021).

Adicionalmente, os rios, são de indispensável importância, pois, além de transportar, podem se tornar reservatórios de resíduos sólidos por longos períodos (VAN EMMERIK *et al.*, 2022 & LIRO *et al.*, 2020).

Alguns dos maiores rios do mundo são afluentes do rio Amazonas (SINHA, 2005). À vista disso, esses rios recebem descarga fluvial de rios menores, formando uma grande rede de transporte de materiais, sendo, então, fundamental dimensionar a poluição macroscópica presente nesses rios usando métodos variados. Nesse sentido, uma forma de avaliar e quantificar, bem como de reduzir a quantidade desses materiais em corpos hídricos é utilizando ecobarreiras. De acordo com Santos (2018), elas são estruturas de baixo custo, utilizadas para conter o aporte de resíduos sólidos flutuantes (RSF) nos cursos d'água, aproveitando as correntes naturais para acumular os resíduos, facilitando sua coleta. Atualmente é muito difícil estimar a quantidade total de resíduos sólidos presentes nos oceanos, mas acredita-se que cerca de 70% do lixo marinho encontra-se no assoalho oceânico, 15% nas praias e os outros 15% flutuando na superfície (MMA, 2019). Com isso, os rios podem conter um percentual similar de resíduos sólidos flutuantes.

Sob essa lógica, as ecobarreiras são um exemplo prático de mecanismo que pode ser utilizado para conter o aporte de resíduos flutuantes nos cursos d'água. Promovendo, assim, subsídios para uma gestão de RSU baseada nas características e quantidade dos materiais retidos nelas, como um reflexo do cenário atual de destinação inadequada dos resíduos. Ademais, a estrutura pode ser utilizada para diminuir a circulação de resíduos sólidos flutuantes dos rios, favorecendo a limpeza residual macroscópica desses recursos hídricos.

1.1 Problemática

Este trabalho foi motivado pela reflexão dos problemas enfrentados na atualidade referente ao descarte de resíduos sólidos em áreas costeiras, que tem sido um dos desafios críticos relacionados aos oceanos, que desempenham um papel central no equilíbrio ambiental, na economia global e no bem-estar das populações. Somado a isso, estamos vivenciando a Década dos Oceanos, oficialmente denominada Década da Ciência Oceânica para o Desenvolvimento Sustentável (2021-2030), proclamada pela Organização das Nações Unidas (ONU) como uma oportunidade histórica para mobilizar a comunidade global em torno da proteção, uso sustentável e valorização dos oceanos (UNESCO, 2020).

A década, dentre outros objetivos, também tem como foco, a limpeza, segurança e sustentabilidade dos oceanos. Diversos estudos vêm mostrando que os impactos sob os oceanos vem aumentando, seja (i) pela presença de organismos patogênicos, (ii) pela entrada de nutrientes que favorecem a eutrofização ou (iii) pela presença de resíduos sólidos, principalmente, plásticos. Em 2018, a ONU enfatizou que durante um ano, mais de oito milhões de toneladas de plástico e micro

plásticos alcançaram os oceanos. Aproximadamente, 80% deste total são originados no continente e viajam através das bacias hidrográficas até o ambiente marinho (HENDERSON & GREEN, 2020). Em resposta aos problemas, o Objetivo do Desenvolvimento Sustentável da ONU (ODS) 14 busca a conservação e uso sustentável dos oceanos, dos mares e dos recursos marinhos para o desenvolvimento sustentável, prevenindo e reduzindo significativamente a poluição marinha de todos os tipos, especialmente a advinda de atividades terrestres, incluindo detritos marinhos e a poluição por nutrientes (ONU BRASIL, 2015)

Em relação aos recursos hídricos, o Brasil tem posição privilegiada no mundo em relação à sua disponibilidade. No Brasil, a vazão média anual dos rios (179 mil m³.s-1) equivale a 12% da disponibilidade mundial de recursos hídricos, estimada em 1,5 milhão m³.s-1. A vazão média anual dos rios em território brasileiro é de cerca de 178 mil metros cúbicos por segundo (m³/s), o que corresponde a aproximadamente 12% da disponibilidade mundial de recursos hídricos, que é de 1,5 milhões de m³/s (ANA, 2024 & MMA/ANA, 2007).

Na região amazônica, os recursos hídricos são diversificados por rios que desembocam em bacias hidrográficas caracterizadas por rios extensos, com grande volume hídrico que contabiliza a maior descarga de água doce do mundo. Elas correspondem a 45% das bacias do país, sendo que o aporte hídrico continental do estado do Pará representa 62% dessas águas (PARÁ, 2004).

O Pará possui sete regiões hidrográficas, dentre as quais se podem destacar a “Costa Atlântica-Nordeste”, local onde está inserida a Bacia dos Rios do Atlântico. Esta bacia está localizada no nordeste paraense, região de maior adensamento populacional do estado, onde também está localizada a Bacia hidrográfica do estuário do Rio Caeté, com mais de 149 km de extensão e desagua no Oceano Atlântico (GORAYEB *et al.*, 2011). É nessa malha hidrográfica, localizada na cidade de Bragança que está inserida a área de estudo deste projeto: O rio Cereja, que corta toda a área urbana da cidade costeira de Bragança, passando por 07 bairros (Vila Sinhá, Taira, Alegre, Cereja, Centro, Padre Luís e Aldeia), até desaguar no estuário do rio caeté. De acordo com Silva (2004), o rio Cereja tem nascente em um terreno particular da diocese de Bragança, possuindo aproximadamente 1.40 m de profundidade, 6 metros de largura e 05 km de comprimento.

Os aspectos descritos acima reforçam a necessidade de monitorar as atividades realizadas ao longo dos rios adjacentes às bacias, como é o caso do rio Cereja. O crescimento dos centros urbanos, a explosão demográfica e os conflitos socioambientais têm sido os responsáveis pela pressão antrópica sobre os recursos hídricos na maioria das cidades (SILVA FILHO, 2015). Toda a extensão do rio Cereja não teve a proteção adequada dos recursos, e as margens foram sendo ocupadas de forma desenfreada e desordenada, as moradias encontram-se em locais alagados dificultando a construção de redes de esgoto para evitar uma maior degradação do rio.

Assim, a elaboração desta proposta foi motivada com base em alguns questionamentos, dentre

estes: (i) Quais as condições ambientais do rio Cereja? Como os fatores naturais (vazão fluvial/precipitação/variação da maré) influenciam na dispersão dos resíduos sólidos no rio Cereja? Assim, o principal objetivo deste projeto é identificar os impactos do descarte de resíduos sólidos a partir da instalação de ecobarreiras.

1.2 Objetivos

Objetivo Geral: Identificar os tipos de resíduos sólidos ao longo do rio Cereja, a partir da instalação de ecobarreiras no curso hídrico.

Objetivos Específicos:

- ✓ Avaliar a eficiência das ecobarreiras construídas, por meio da análise visual.
- ✓ Identificar e quantificar os resíduos sólidos flutuantes retidos nas ecobarreiras.
- ✓ Compreender como os fatores naturais (vazão fluvial/precipitação/variação da maré) influenciam na dispersão dos resíduos sólidos no rio Cereja.

1.3 Referências

PNUMA. **Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente e Associação Internacional de Resíduos Sólidos. Além de uma era de resíduos: Transformando Lixo em Recurso.** Disponível em: <https://wedocs.unep.org/20.500.11822/44939>. Acesso em 21 de dezembro de 2024.

Bank TW. **What a waste global database.** Disponível em: <https://datacatalog.worldbank.org/dataset/what-waste-global-database>. Acesso em 25 de novembro de 2024.

ABREMA. **Associação Brasileira de Resíduos e Meio Ambiente. Panorama dos Resíduos Sólidos e Meio Ambiente.** Disponível em: <https://www.abrema.org.br/panorama/>. Acesso em: 12 outubro de 2024.

BRASIL. **Lei nº 12.305, de 2 agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências.** Brasília, DF, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10004: Resíduos Sólidos - Classificação.** Rio de Janeiro, 2004. Disponível em: <https://analiticaqmresiduos.paginas.ufsc.br/files/2014/07/Nbr-10004-2004-Classificacao-De->

Residuos-Solidos.pdf>. Acesso em 06 de janeiro de 2025.

KARAK, T., BHAGAT, R. M., BHATTACHARYYA, P. Municipal solid waste generation, composition, and management: the world scenario. **Critical reviews in environmental science and technology**, v. 42, n. 15, p. 1509-1630, 2012.

LIRO, Maciej et al. Macroplastic storage and remobilization in rivers. **Water**, v. 12, n. 7, p. 2055, 2020.

JAMBECK, Jenna R. et al. Plastic waste inputs from land into the ocean. **Science**, v. 347, n. 6223, p. 768-771, 2015.

SCHMIDT, Christian; KRAUTH, Tobias; WAGNER, Stephan. Export of plastic debris by rivers into the sea. **Environmental science & technology**, v. 51, n. 21, p. 12246-12253, 2017.

BHAT, Rouf Ahmad et al. Vulnerability of municipal solid waste: An emerging threat to aquatic ecosystems. **Chemosphere**, v. 287, p. 132223, 2022.

VAN EMMERIK, Tim et al. Rivers as plastic reservoirs. **Frontiers in Water**, v. 3, p. 786936, 2022.

SINHA, Rajiv; LATRUBESSE, Edgardo Manuel; STEVAUX, José Cândido. Grandes sistemas fluviais tropicais: uma visão geral. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 6, n. 1, 2005).

SANTOS, Bruna de Melo et al. Eficiência de ecobarreiras em rio dominado por maré. **Monografia, Universidade Federal do Pará**, 2018. Disponível em: <https://bdm.ufpa.br/jspui/bitstream/prefix/2111/1/Tcc_EficienciaEcobarreirasRio.pdf>. Acesso em: 26 de dezembro de 2024.

MMA. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Plano de Combate ao Lixo no Mar**. Brasília: MMA, 2019. Disponível em: <<https://antigo.mma.gov.br/agenda-ambiental-urbana/lixo-no-mar.html>>. Acesso em: 04 de dezembro de 2024.

UNESCO. **Intergovernmental Oceanographic Commission (IOC) of Unesco. Implementation Plan** - United Nations Decade of Ocean Science for Sustainable Development 2021 - 2030. Version 2.0. 2020. Disponível em: <<https://oceanexpert.org/document/27347>>. Acesso em 23 fev 2023.

HENDERSON, Lesley; GREEN, Christopher. **Making sense of microplastics? Public understandings of plastic pollution.** Marine pollution bulletin, v. 152, p. 110908, 2020.

ONU BRASIL. **Transformando Nosso Mundo: A Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável.** Brasília: ONUBR, 2015. Transformando o Nosso Mundo: A Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável. Nova Iorque: Organização das Nações Unidas, 2015. Disponível em <<https://brasil.un.org/pt-br/sdgs>>. Acesso em 25 de nov 2024.

LIMA, R.S. Gestão de Resíduos, Sólidos: gestão ambiental. SP: **Pearson Education do Brasil**, 2009.

SILVA, E. M. **A ocupação urbana as margens do rio cereja em Bragança – Pará: implicações ao meio ambiente.** Bragança-Pará. 2004.

SILVA FILHO, C. P. da. Resíduos sólidos e os impactos socioambientais no rio cereja: subsídios para a gestão sustentável em Bragança-PA. **Dissertação (Mestrado em Biologia Ambiental) - Programa de Pós-Graduação em Biologia Ambiental, Universidade Federal do Pará.** Pará, p. 59. 2015.

UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAM. **Why do oceans and seas matter?** [S. l.]: UNEP, 2018. Disponível em: <https://www.unenvironment.org/explore-opics/oceans-seas/why-do-oceans-and-seas-matter>. Acesso em: 23 maio 2023.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (ANA). **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2024 : informe anual.** Brasília : ANA, 2024.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (MMA); AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA); PROGRAMA DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O MEIO AMBIENTE (PNUMA). **GEO Brasil : recursos hídricos : resumo executivo.** Brasília : MMA; ANA, 2007.

PARÁ, GOVERNO DO Estado do/SECRETARIA EXECUTIVA DE CIÊNCIA, TECNOLOGIA E MEIO AMBIENTE. **Macrozoneamento ecológico-econômico do estado do Pará/2004: proposta para discussão.** Belém, 2004.

GORAYEB, A., LOMBARDO, M.A. & PEREIRA, L.C.C. Natural Conditions and Environmental

Impacts in a Coastal Hydrographic Basin in the Brazilian Amazon. **Journal of Coastal Research**, SI 64, p. 120-126, 2011.

CAPÍTULO II

2. Evaluation of the efficiency and monitoring of Eco-barriers for solid waste management in an urban river in the Eastern Amazon

2.1 Abstract

Eco-barriers are physical structures designed to prevent floating waste from crossing waterways, reducing pollution and minimizing impacts on aquatic ecosystems. Thus, this study aimed to evaluate the efficiency of an eco-barrier model in retaining floating solid waste in a river in the eastern Amazon, influenced by tidal hydrodynamics. For this, eco-barriers were installed at two points in the river (P1 and P2), with collections carried out over a period of 24 weeks in P1 and over 9 months in P2. as eco-barriers were installed at two points in the river (P1 and P2), with collections carried out over a period of 24 weeks in P1 and over 9 months in P2. Results showed an average efficiency of 72.5%, with the eco-barriers most effective in capturing plastics and polystyrene. A total of 649 items were collected in P1 and 940 in P2, emphasizing the large volume of improperly disposed waste. The analysis also revealed that pollution increased during rainy periods and high tides, particularly near the river's source, highlighting the climate's influence on waste dispersion. In conclusion, eco-barriers showed great potential as cost-effective, sustainable tools for reducing river pollution, especially plastics and polystyrene, which are major pollutants. Despite their low cost and versatility, challenges remain in maintaining, adapting to extreme hydrodynamics, and customizing models to local conditions. However, eco-barriers remain a valuable solution for mitigating river pollution, underscoring the need for public policies to manage waste and reduce plastic consumption.

Keywords: Environmental Sustainability, Floating solid waste, Hydric resources, Pluvial pollution, Polystyrene.

2.2 Introduction

The steady growth of urban populations and rapid increase in solid waste generation have emerged as one of the main pressing issues of human society, especially in developing countries (Hussein and Mansour, 2018; Markandya, 2006; Vaverková et al., 2019). Rapid urbanization is taking place, especially in low-income countries. Human activities generate waste, and the way this waste is managed, stored, collected, and disposed of can pose risks to the environment and public health (Carim

et al., 2022; Vaverková et al., 2019).

The global scenario of urban waste generation in recent years warns of even greater growth in this production in the coming decades. In 2020, the global urban waste generation was 2.1 billion tons per year and is estimated at 2.6 billion by 2030, which could reach 3.2 billion by 2050 (Bank, 2021; Litter, 2021; PNUMA, 2024). In Brazil, the situation with regard to urban solid waste management is still deficient in many respects (Carim et al., 2022). An overview by the Brazilian Waste and Environment Agency reveals that in 2023 the country produced more than 80 million tons of urban waste, 382 kg per person, of which only around 6.7 million tons - 8.3% of the total generated in the same year - of dry material was sent for recycling (ABREMA, 2024).

It is a fact that without appropriate solid waste management, there will be a growing problem with inadequate waste disposal. In parallel with the growth in solid waste generation, there has also been a significant increase in the amount of plastic waste entering aquatic ecosystems. According to a report presented by the (Litter, 2021) on the impact of marine waste and plastic pollution on the environment and its effects on the health of ecosystems, it is estimated that the amount of waste in aquatic environments will double, from around 19-23 million tons per year in 2016 to around 53 million tons per year by 2030.

Among aquatic environments, due to urban pollution, rivers become reservoirs of solid waste for long periods, and a substantial fraction of this detritus reaches marine ecosystems (Jambeck et al., 2015; Liro et al., 2020; Schmidt et al., 2017; Van Emmerik et al., 2022). This is due to the high volume of solid waste found in river systems and their property of floating, which due to their low density, these bodies of water are becoming transportation agents (Neves and Tucci, 2011), carrying these materials to the main rivers of the respective basins and oceans, causing damage to freshwater and marine ecosystems (Litter, 2021).

The implementation of the 17 Sustainable Development Goals (SDGs) has required countries to adopt measures to achieve these goals, especially with regard to the improper disposal of solid waste in aquatic ecosystems. This problem is directly related to three SDGs: SDG 6 - Drinking Water

and Sanitation, which aims to reduce the discharge of waste into water bodies and improve water quality; SDG 12 - Sustainable Consumption and Production, which encourages the reduction of waste generation through prevention, recycling and reuse; and SDG 11 - Sustainable Cities and Communities, which aims to promote more inclusive, safe, resilient and environmentally sustainable cities (UNRIC, 2016).

To face this challenge and achieve the targets established, several countries have adopted innovative solutions, such as eco-barriers (Calcar and Van Emmerik, 2019; Dewi et al., 2024; Mihai et al., 2022). These structures function as physical barriers that prevent floating waste from passing through waterways, reducing pollution, and minimizing impacts on aquatic ecosystems (Franz and Freitas, 2012). As well as contributing to environmental preservation, eco-barriers represent an efficient strategy for sustainable waste management, in line with the principles of the circular economy and the conservation of water resources.

Eco-barriers are mechanisms that vary in terms of their structure and the budget involved in their manufacture. They are floating structures made of materials such as wood, plastic containers, or floats, anchored by steel cables or fabric ropes to the banks of watercourses, using natural currents to facilitate the process of accumulating waste to be collected, thus being able to both prevent and remove floating waste from water bodies (Franz and Freitas, 2012; Pearley, 2023).

In this context, this research sought to evaluate the performance of an eco-barrier system in an Amazonian macrodrainage river and to perform a gravimetric analysis of the floating solid waste retained in these eco-barriers, to assess which is the predominant material among the waste collected. In addition to providing data that will assist in environmental management measures and contribute to the sustainable development of the region.

2.3 Material and methods

2.3.1 Study area

Pará has seven hydrographic regions, including the Atlantic Coast-Northeast, where the Atlantic Rivers Basin is located. The region has two distinct seasons throughout the year, winter and summer (Lopes et al., 2013). The region has two distinct seasons throughout the year, winter and summer [20]., which is more than 149 km long and flows into the Atlantic Ocean (Gorayeb et al., 2011). It is in this hydrographic system, part of the Atlantic Coast of Pará, that the city under study is located, an important coastal touristic area in the state, surrounded by mangrove areas and Amazonian estuaries, 36 km from Ajuruteua beach and washed by the Atlantic Ocean. It is in this geographical scenario that the study area for this research is located: the Cereja River, which cuts through the entire urban area of the coastal city of Bragança, passing through seven neighborhoods (Vila Sinhá, Taira, Alegre, Cereja, Centro, Padre Luís, and Aldeia), until it flows into the Caeté River estuary (Fig. 1). According to Santos et al. (2014), the Cereja River is approximately 1.40 meters deep, 6 meters wide and 5 kilometers long.

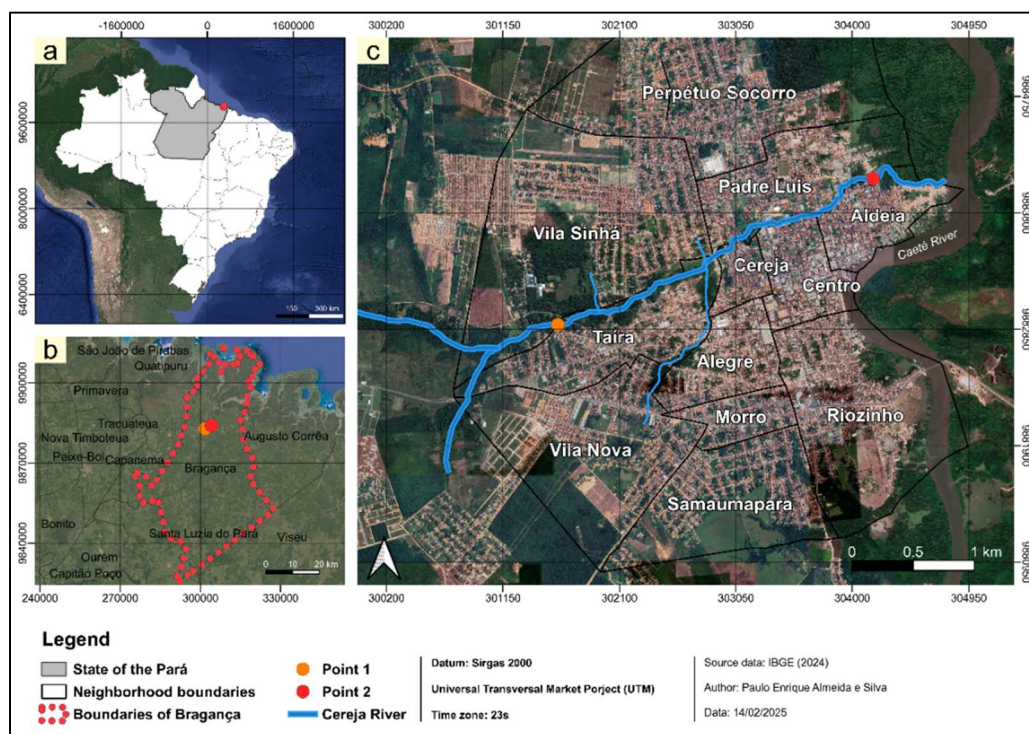


Fig. 1 Location map of the eco-barrier installation points in the Atlantic Coast-Northeast hydrographic region, Pará, Brazil

According to Andrade and Araújo (2020), the Cereja River has its sources at the entrance to

the city, one located at the Guadalupe Center (EFAC), at km 02 of the Bragança/Capanema highway, and the other located on Rua do Fio on the property of the Municipal Agricultural School in the Taíra neighborhood (Silva Filho, 2015). For the installation of the eco-barriers, two points were selected along the Cereja River, in different neighborhoods and with different socio-environmental characteristics. Point 1 (P1) is located in the Taíra neighborhood, in the Bancrevea Passage, where there is no tidal influence. It is the closest point to the source. Point 2 (P2) is located in the Aldeia neighborhood, in the Paraguassú Passage, close to the mouth of the Cereja River. (Fig. 1).

2.3.2 Proceedings

In this study, an eco-barrier model was developed, following methodologies already described in the publications by Moreira (2021) and Santos (2018), with the aim of reutilizing materials and reducing the cost of construction. The eco-barriers were built using 2.0 and 2.5 L Polyethylene Terephthalate (PET) bottles, wrapped with and a half-inch opening, heat-welded nursery screen, fixed with 210/60 polyester twisted wire, number 16 soft galvanized wire and nylon rope used to fix the ends. The manufacturing process took place in 1-meter-long modules. Each module required 9 bottles arranged in triad rows (Fig. 2).

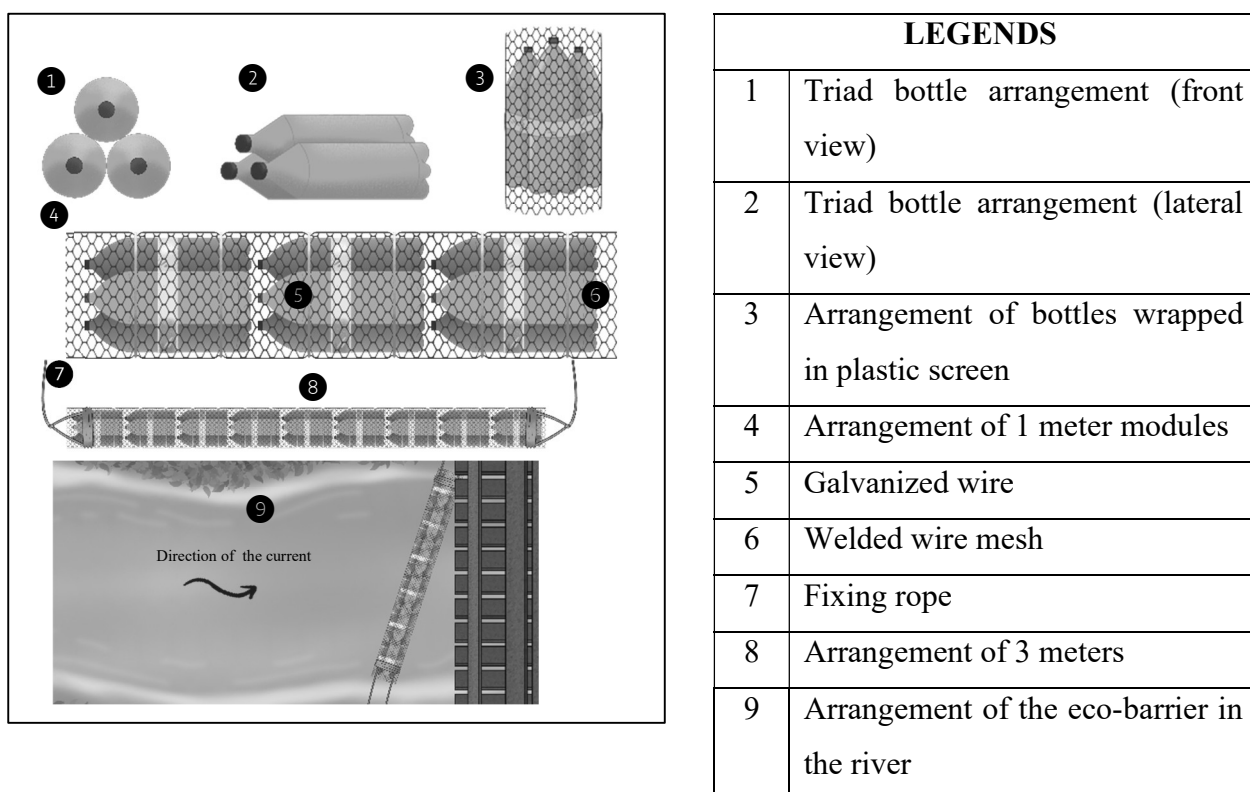


Fig. 2 Illustrative organization of the eco-barriers development in the study

The structure is made from low-cost materials. In this case, the total cost per meter of eco-barrier was R\$10.17. Thus, for a 12 meter eco-barrier, 108 bottles (donated), half a kilo of galvanized wire (R\$17.50), 15 m² of half-inch welded mesh (R\$82.50), a spool of 210/60 polyester braided wire (R\$10.00), a 50mm x 5m roll of Silver Tape, 3 meters of thin rope (R\$2.10), and 5 meters of thick rope (donated).

The same arrangement and layout were used at both points where the eco-barriers were installed, with only the installation method varying. The Floating Solid Waste (FSW) retained in the eco-barriers was installed and collected during the dry season, from August to December 2022, and the rainy season, from January to June 2023.

The eco-barriers were arranged diagonally to the current of the body of water, as this strategy allows the hydrodynamics of the river to displace the floating solid waste to just one of the banks of the eco-barrier, thus facilitating the removal of the FSW.

2.3.3 Visual analysis and eco-barrier efficiency

] The visual analysis corresponds to the recording of FSW that cross the selected area during the eco-barrier installation period. The methodology was adapted from Santos (2018). In this study, the visual analysis was adapted to the duration of 1 hour - the time during which the eco-barrier was installed at low tide. This analysis makes it possible to infer the efficiency of the eco-barrier model used, based on the comparison between the RSF visualized in the river current and the FSW collected.

In this way, efficiency was calculated as the ratio between the waste removed from the eco-barrier and the waste observed flowing down the river. The deduction of efficiency was obtained by organizing the materials individually into the 10 categories of waste found.

$$E_{eco} = FSW_{col} / RSF_{rio}^{(1)}$$

¹Equation: E_{eco} = Eco-barrier efficiency; FSW_{col} = Floating Solid Waste collected; FSW_{river} = Floating solid waste that has flown down the river.

For the efficiency analysis, only P2 was considered, as it has more dynamic physical characteristics that allow for ocular monitoring during its installation, in contrast to P1, where the eco-barrier remained installed for weeks, making ocular monitoring impossible in order to ensure its effectiveness. Therefore, a visual analysis was performed of the FSW that flowed down the river in all of the P2 samples.

2.3.4 Gravimetric analysis

Gravimetric analysis was performed at both sampling points. At P1, due to the low variation in the river level, the eco-barrier was installed permanently and intermittently from August to October 2022 (dry season) and from February to May 2023 (rainy season). The retained waste was collected every 7 days, totaling 24 weeks of installation. In this section, 8 weeks were selected in each different climatic period to compare the gravimetry in the region's two climatic periods.

In contrast, P2 is influenced by the tide, as well as the circulation of boats on the site. The eco-barrier was installed for one (1) hour at low tide, at the beginning of the ebb tide, once a month, from September to December 2022 and January to May 2023. The months selected for comparison were September to December 2022 in the dry season and February to May 2023 in the rainy season, always syzygial tide. In addition, the comparison in this section was done using data from the visual analysis, because the FSW data taken from the eco-barrier is subject to the level of efficiency of the eco-barrier.

The FSW retained in the eco-barrier was removed using a hand net (Fig. 3A). The collected materials were then placed in the fresh air to dry (Fig. 3B). Once these steps were completed, the waste was taken to the laboratory, where it underwent another drying period at room temperature, and was then separated, weighed and categorized for gravimetric classification (Fig. 3C).



Fig. 3 The process of removing and treating FSW at P2. a) Volunteer removing the FSW that remains in the ecobarrier using a hand net. b) Materials removed from the eco-barrier drying in the fresh air in the field. c) Gravimetry of the waste - in the laboratory it was separated, classified and weighed

2.3.5 Data processing

All the data acquired through analysis of the FSW, classification, and weighing was organized in tables using Excel software. In the spreadsheet, the data was separated into dry and rainy periods, and the following data from points 1 and 2 was processed: 1) efficiency of the eco-barrier model used: the ratio between the quantity of items removed from the eco-barrier and the quantity of items identified in the visual analysis of the FSW (only at point 2); 2) total quantity of

waste removed from the eco-barrier; 3) total of each category of waste removed from the eco-barrier; 4) mass of waste removed from the eco-barrier.

2.4 Results

2.4.1 Eco-barriers efficiency

The structural model of the eco-barrier proved to be able to support strong water flow during short periods of installation on ebb tides (P2) and performed adequately when installed permanently for long periods in places with lower river flow and variation in water height (as in P1). However, in P1, the eco-barrier had to be repaired every 60 days. It is worth noting that when installed in a fixed way in places with higher water flow and high variation in the height of the water column, the model is broken and becomes unusable. The eco-barriers installed in two central districts of the city collapsed a few days after installation. Although there is no tidal influence in the sections, the high rainfall was enough to damage the structure in a few days, even during the Amazonian summer period.

Even so, the efficiency of the eco-barrier model used showed significant performance in P2 in retaining different types of RSF moving along the River Cereja, with an average efficiency of 73.1%. The materials most successfully retained by the eco-barrier were glass and rubber (87.5%), metal (82.9%) and plastic (75.8%) (Fig. 4). The eco-barrier performed less efficiently in retaining paper materials, with an average efficiency of 42.9% (Fig. 4).

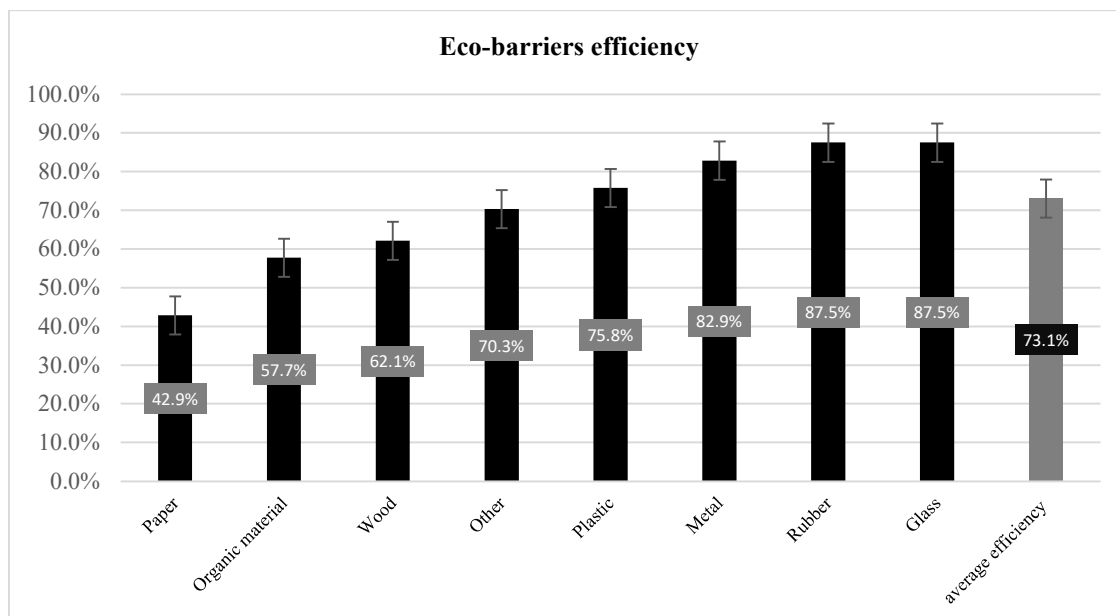


Fig. 4 Efficiency of the eco-barrier model distributed over 8 different categories of materials (black columns), with efficiency being an average for each type of waste expressed as the average of the ratio between laboratory quantification and visual analysis of each FSW. The overall average is represented by the gray column

2.4.2 Gravimetry of FSW removed from ecobarriers

A total of 649 items were removed from P1 over the 24 weeks. The most predominant materials were plastic with 627 (96.6%) items, followed by “other” category - which corresponds to FSW that is difficult to classify as it almost always consists of more than one material (shoes, tetra park, diaper, lighter, etc.) - with 17 (2.6%) items and wood category occupied third place with 4 items (0.6%). The most significant materials weighed were plastic, “other” and rubber, with the following results, respectively: 4.990 kg, 1.805 kg, and 0.300 kg, for a total of 7.371 kg of waste collected (Table 1).

Table 1: Gravimetry of floating solid waste removed from the P1 and P2 eco-barriers.

Material	Point 1			Point 2		
	Total uni.	Total mass (kg)	Total uni. %	Total uni.	Total mass (kg)	Total uni. %
Other	17	1.805	2.6%	58	2.665	6.2%
Paper	-	-	-	4	0.395	0.4%
Glass	-	-	-	8	1.000	0.9%
Rubber	1	0.300	0.2%	9	2.560	1.0%
Metal	-	-	-	18	1.250	1.9%
Wood	4	0.276	0.6%	104	-	11.1%
Organic material	-	-	-	34	15.460	3.6%
Plastic	627	4.990	96.6%	705	9.955	75.0%
Total	649	7.371	100.0%	940	33.285	100.0%

In P2, a total of 940 items were collected over the nine months. The most predominant materials were plastic with 705 (75.0%) items, wood with 104 (11.1%) items and, in third place, the “other” category with 58 (6.2%) items collected. In the weighing, the highest values are represented by organic matter with 15.460 kg, plastic with 9.955 kg and then rubber with a total of 2.560 kg. The combined mass of the waste collected in the months mentioned resulted in 33.285 kg (Table 1).

In the second section, plastic continued to predominate in terms of quantity, representing a high proportion of the total waste removed (75.0%). It was noted that the material comes largely from fishing activities in the region, since many fragments of buoys used in fishing nets are collected. It is worth noting that there is also a prevalence of plastic waste from domestic use in this sector, such as bags, bottle caps, personal hygiene product bottles, jugs, fan blades, washing powder packaging, talcum powder bottles, oil bottles, medicine bottles, passion fruit peels, coconut shells, sandals, sponges, lighters, polystyrene lunch boxes, beer cans, light bulbs, balloons, disposable diapers, and “others.”

2.4.3 Comparison between climatic periods

In order to compare collections made in the two regional climate regimes (dry and rainy seasons), 8 weeks were selected in P1 for this purpose. During the dry season, a total of 191 items were collected, while during the rainy season, 226 items were sampled, corresponding to an 18.3% increase. Plastic totaled 180 items during the dry season and 219 during the rainy season, a 21.0% increase in the number of items collected. The “other” category resulted in 11 items during the dry season and only 3 items during the rainy season, with a percentage decrease of 72.7% (Table 2).

Table 2: Comparison of the quantity and mass of waste collected at P1 during the region's dry and rainy seasons.

Material	Dry season		Rainy season		Variation			
	Total	Mass	Total	Mass	Uni.	Mass	Uni.	Mass
	uni.	(kg)	uni.	(kg)		(kg)	(%)	(%)
Rubber	0	0	2	0.195	2	0.195	-	-
Wood	0	0	2	0.260	2	0.260	-	-
Other	11	1.415	3	0.210	-8	-1.205	-72.7	-85.2
Plastic	180	1.435	219	1.955	39	0.480	21.7	36.2
Total	191	2.850	226	2.620	35	-0.230	18.3	-8.1

uni= unit.

In P1, a mass of 2.850 kg of waste was retained during the dry season and 2.620 kg during the rainy season, with a decrease of 8.1% in the total mass. The main weighted materials are in the “other” category, which obtained 1.415 kg in the dry season and 0.210 kg in the rainy season, showing a reduction in the mass of waste of 85.2%. The plastic, in the drought regime, revealed 1.435 kg, and in the Amazon winter, its sampling resulted in 1.955 kg, increasing the mass of the items collected by 36.2% (Table 2).

In P2, the result showed that during the dry season, 393 items were identified through visual analysis and during the rainy season a total of 618 items were identified. This corresponds to a

57.3% increase in the number of items that were seen circulating in the river during the rainy season compared to the dry season. Following this same logic, plastic was particularly notable, accounting for 256 items in the dry season and 482 items in the rainy season, representing an increase of 88.3%. Wood was the second most common type of material, with a total of 68 items in the dry season and in the rainy season, corresponding to a 29.4% decrease. The third most common type of material in the visual analysis was organic material, with 26 items in the regional dry season and 24 in the Amazon winter, resulting in a 7.7% decrease in visualization (Table 3).

Table 3: Comparison of the quantity and mass of waste collected at P2 during the region's dry and rainy seasons.

Material	Dry season			Rainy season			Variation					
	Total	Total	Mass	Total	Total	Mass	Uni.	Uni.	Mass	Uni.	Uni.	Mass
	uni.	uni.		uni.	uni.		VA	LA		VA	LA	
	VA	LA		VA	LA		VA	LA		(%)	(%)	
Metal	6	5	0.200	15	6	0.790	9	1	0.590	150,0	20.0	295.0
Paper	3	2	0.025	8	1	0.140	5	-1	0.115	166.7	-50.0	460.0
Glass	4	3	0.270	5	4	0.535	1	1	0.265	25,0	33.3	98.1
Rubber	5	5	2.525	6	1	0.005	1	-4	-2.520	20,0	-80.0	-99.8
Other	25	24	1.275	30	14	0.710	5	-10	-0.565	20,0	-41.7	-44.3
Organic material	26	22	6.345	24	4	0.635	-2	-18	-5.710	-7.7	-81.8	-90.0
Wood	68	76	-	48	13	-	-20	-63	-	-29.4	-82.9	-
Plastic	256	283	4.690	482	224	2.660	226	-59	-2.030	88,3	-20.8	-43.3
Total	393	420	15.330	618	267	5.475	225	-153	-9.855	57.3	-36.4	-63.8

uni= unit; VA= visual analysis; LA = laboratorial analysis.

2.5 Discussion

The eco-barrier model developed has great potential both for quantifying floating solid waste (Table 1) and for reducing the circulation of these materials in tidal rivers under the conditions

presented. The model showed the highest efficiency rate for the material that was most prevalent in quantity, plastic (Fig. 4), thus achieving the expectations of the model based on the work of Santos (2018), thus demonstrating that the model is very suitable for the specificity of floating solid waste circulating in the Cereja River and in general has an efficiency of 73.1%.

In other studies analyzing solid waste in water bodies, the findings also place plastics as the most prominent material, such as in the eastern zone of Manaus, in the state of Amazonas (Ferreira et al., 2024); Caçapava do Sul, Rio Grande Sul (Kemerich et al., 2023); the Dumais and Mesjid rivers in Dumai, Riau province (Dewi et al., 2024); the Citarum river in Indonesia (Pamungkas et al., 2021); and European and Asian rivers (Calcar and Van Emmerik, 2019). Plastics are complex materials that consist of mixtures of chemicals, such as additives, processing agents, and a variety of chemicals used in plastic production that can be released throughout the plastic life cycle, representing risks to human health, the environment, and recycling systems (Wang and Praetorius, 2022; Weisinger et al., 2021).

In addition, the hydrodynamics of rivers can influence the disposal of plastics in the environment in various ways, making them function as reservoirs of solid waste for long periods and, at the same time, fragmenting macroplastics into secondary microplastics (Calcar and Van Emmerik, 2019; Liro et al., 2020). In addition, rivers play an important role as a transport route for all types of plastic debris, independent of size, accounting for a significant fraction of marine plastic debris originating from terrestrial sources (Jambeck et al., 2015; Liro et al., 2022; Schmidt et al., 2017).

In Brazil, in 2019, it was estimated that each person contributes 0.19 kg of plastic waste that reaches the ocean (Ritchie et al., 2023). In this way, the Cereja River, which is directly connected to the Caeté River, a tributary of the Atlantic Ocean, as well as having a local impact, can alter the water quality of its tributaries, and at a faster rate, since part of the river is subjected to tidal waves.

Contamination near the source of the Cereja River, although much less than at its mouth,

comes mainly from household activities, as the materials taken from the river are mostly for domestic use, for example, PET bottles, shampoo bottles, deodorant bottles, bleach bottles, alcoholic beverage bottles, disposable cups, sandals, shoes, etc. In this respect, the absence of protection of the area of these water resources and proximity to homes are the main factors that intensify the degradation and impacts of the environment in question (Gomes et al., 2005; Torres, 2016).

The Brazilian legislation establishes permanent preservation areas in rural and urban areas, covering the marginal areas of any natural perennial or intermittent watercourse, except ephemeral watercourses. These areas must have a minimum width of 30 meters from the edge of the channel of the regular bed, for water courses less than 10 meters wide (Brasil, 2012). However, the Cereja River has faced problems related to disorderly occupation and the lack of efficient management of urban solid waste collection, which represents a risk of contamination for the Caeté River and, subsequently, for the bragantina coast (Silva Filho et al., 2015).

In P1, the number of items removed from the eco-barrier increased by 18.3% (Table 2) in the rainy season compared to the dry season, similarly, in P2 there was a 57.3% (Table 3) increase when comparing the visual analysis, this means that the Amazonian winter period can influence the increase in floating waste displaced in the river towards the mouth, as highlighted by other research (Ortiz, 2018; Calcar e Van Emmerik, 2019; Moreira, 2021; Van Emmerik et al., 2022). The effect at P1 near the source may be an increase in FSW towards the mouth, while at P2 the increase may be both a greater discharge of RSF downstream and upstream since the tide can influence the entry of FSW upstream. This increase may be associated with greater dispersal of waste from the river banks, as one of the consequences of the increase in river flow. In addition, increased rainfall can contribute to the movement of waste towards the river.

Reducing waste generation and maximizing the recycling rate are important challenges and will remain so in the future. Restricting plastic pollution in terrestrial and marine environments

requires a holistic source-to-sink approach that considers the different processes and mechanisms that transport, remobilize, and store waste (Nyberg et al., 2023; Sharma e Jain, 2020).

Given this, although insufficient to put an end to these problems, eco-barriers prove to be excellent allies for mitigating these impacts on solid waste. In this logic, although few items removed from eco-barriers can be sold to local cooperatives, if installation points are expanded, especially with non-fixed eco-barriers, the materials can be sold and become a source of supplementary income.

It is important to mention that some factors have limited the number of observations that could be made with a margin of statistical safety in this study, such as the correlation among the height of the tide, rainfall, the retention capacity of the eco-barrier, and the waste seen, which would require more installations. In addition, in P2, due to the influence of the tide, the waste seen coming down the river may not only be FSW leaving the city towards the mouth, but also FSW that has entered the River Cereja from its tributaries when the tide is high. Therefore, as well as installing eco-barriers at the start of high tide, it would be interesting for future research to install eco-barriers at the start of low tide.

However, it is undeniable that this research has revealed very relevant results on the efficiency of eco-barriers, which in turn can provide subsidies for future studies both in the river analyzed and in other freshwater environments. In addition, of course, it reinforces the need for public or private policies to conserve water resources through the use of eco-barriers.

2.6 Conclusions

The eco-barrier used in the research showed promise in retaining floating solid waste if installed in a fixed way in rivers with little hydrodynamic variation and in a non-fixed way in tidal rivers. Thus, although the tested model needs some design adjustments to optimize its performance in different contexts, it shows that it is possible to build efficient, low-cost eco-barriers, especially

for collecting plastic, which is the most significant contributor to aquatic pollution.

The variation in the quantity and composition of the waste collected, influenced by the dry and rainy seasons, reinforces the importance of considering hydrological and climatic factors when planning and installing eco-barriers. The rainy season showed a significant increase in the amount of floating waste, which suggests that the period of higher rainfall contributes to the movement of waste from the riverbank to the watercourse.

In addition, the prevalence of domestic waste, such as plastic bottles and personal items, highlights the proximity of urban areas as a critical factor in the pollution of the river. It would therefore be necessary to involve public management in implementing collective processes capable of acting on the cultural and educational dimensions of sustainability, changing the social patterns of production and consumption in the region.

Although eco-barriers represent an effective solution for mitigating the impact of waste on the aquatic environment, they are not a definitive and isolated solution to the problem of FSW. It is therefore essential that the management of floating waste is complemented by integrated public policies and awareness strategies to reduce waste generation and promote recycling. Finally, our study opens the door to future research that improves eco-barrier technology and extends its application to other bodies of water, thus contributing to environmental conservation and sustainability.

2.7 Referências

1. Markandya A. (2006). *Water quality issues in developing countries*. New York, United States.
2. Hussein, I.A., & Mansour, M.S. (2018). Solid waste issue: Sources, composition, disposal, recycling, and valorization. *Egyptian journal of petroleum*, 27(4), 1275-1290. <https://doi.org/10.1016/j.ejpe.2018.07.003>

3. Vaverková MD, Winkler J, Adamcová D., Radziemska M., Uldrijan D., Zloch, J. (2019) Municipal solid waste landfill – Vegetation succession in an area transformed by human impact. *Ecological Engineering* 129:109-114.doi: 10.1016/j.ecoleng.2019.01.020
4. Carim, M.D.J.V., Torres, A.M., Takyiama, L.R., Silva Junior, O.M., Souza, M.O., Souto, F.A.F., ... & Souza Correa, P.R. (2022). Impactos da disposição de resíduos sólidos urbanos no solo e água nos municípios de Macapá e Santana–Amapá. *Research, Society and Development*, 11(5), e37111528211. <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v11i5.28211>
5. Bank, T.W. (2021). *What a waste global database*. Retrieved November 25, 2024, from <https://datacatalog.worldbank.org/dataset/what-waste-global-database>
6. Litter, A.G.AO.M. (2021). From pollution to solution - A global assessment of marine litter and plastic pollution. Retrieved January 29, 2025, from https://www.gdr-po.cnrs.fr/docs/UNEP_2021.pdf
7. PNUMA (Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente e Associação Internacional de Resíduos Sólidos). (2024). *Além de uma era de resíduos: Transformando Lixo em Recurso*. Retrieved November 21, 2024, from <https://wedocs.unep.org/20.500.11822/44939>
8. ABREMA (Associação Brasileira de Resíduos e Meio Ambiente). (2024). *Panorama dos Resíduos Sólidos e Meio Ambiente*. Retrieved October 12, 2024, from <https://www.abrema.org.br/panorama/>
9. Jambeck, J.R., Geyer, R., Wilcox, C., Siegler, T.R., Perryman, M., Andrady, A., ... & Law, K.L. (2015). Plastic waste inputs from land into the ocean. *Science*, 347(6223), 768-771. <https://doi.org/10.1126/science.1260352>
10. Schmidt, C., Krauth, T., & Wagner, S. (2017). Export of plastic debris by rivers into the sea. *Environmental science & technology*, 51(21), 12246-12253. <http://dx.doi.org/10.1021/acs.est.7b02368>
11. Liro, M., Emmerik, T.V., Wyżga, B., Liro, J., & Mikuś, P. (2020). Macroplastic storage

- and remobilization in rivers. *Water*, 12(7), 2055. <https://doi.org/10.3390/w12072055>
12. Van Emmerik, T., Mellink, Y., Hauk, R., Waldschläger, K., & Schreyers, L. (2022). Rivers as plastic reservoirs. *Frontiers in Water*, 3, 786936. <https://doi.org/10.3389/frwa.2021.786936>
13. Neves, M.G.F.P.D., & Tucci, C.E.M. (2011). Composição de resíduos de varrição e resíduos carreados pela rede de drenagem, em uma bacia hidrográfica urbana. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, 16, 331-336. <https://doi.org/10.1590/S1413-41522011000400003>
14. UNRIC (United Nations Information Centres). (2016). *Guia de Desenvolvimento Sustentável - 17 Objetivos Para Transformar o Nosso Mundo*. Organização das Nações Unidas. Retrieved January 20, 2025, from https://www.cidadaniaemp Portugal.pt/wpcontent/uploads/recursos/Guia_sobre_Develop_vimento_Sustentavel.pdf
15. Calcar, C.J.V., & Van Emmerik, T.V. (2019). Abundance of plastic debris across European and Asian rivers. *Environmental Research Letters*, 14(12), 124051. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab5468>
16. Mihai, F.C., Gündoğdu, S., Khan, F.R., Olivelli, A., Markley, L.A., & Van Emmerik, T. (2022). Plastic pollution in marine and freshwater environments: abundance, sources, and mitigation. In *Emerging Contaminants in the Environment* (pp. 241-274). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-85160-2.00016-0>
17. Dewi, A.S., Nedi, S., & Amin, B. (2024). Input of domestic waste in the estuary of Dumai River and Mesjid River into The Rupat Strait waters. *Asian Journal of Aquatic Sciences*, 7(1), 26-32. <http://dx.doi.org/10.31258/ajoas.7.1.26-32>
18. Santos, B.M. (2018). *Eficiência de ecobarreiras em rio dominado por maré*. Monografia, Universidade Federal do Pará. Retrieved November 26, 2024, from https://bdm.ufpa.br/jspui/bitstream/prefix/2111/1/Tcc_EficienciaEcobarreirasRio.pdf
19. Pearley, A. (2023). *Floating Barriers: River Booms and Biobarriers*. Federal Republic

of Germany.

20. Lopes MNG, De Souza EB, Ferreira DBS (2013) Climatologia regional da precipitação no estado do Pará. *Revista Brasileira de Climatologia* 9:84-102. doi: 10.5380/abclima.v12i1.31402
21. Gorayeb, A., Lombardo, M.A., & Pereira, L.C.C. (2011). Natural conditions and environmental impacts in a coastal hydrographic basin in the Brazilian Amazon. *Journal of Coastal Research*, 64, 1340-1344
22. Santos, M.R.S., Moreira, A.M., & Santos, M. (2014). *Análise socioambiental dos moradores da APP urbana do rio Cereja, Bragança-Pará*. Anais do III Seminário Nacional de Áreas de Proteção Permanentes em Meio Urbano e Restrições Ambientais aos Parcelamentos do Solo, Belém, Brasil. Retrieved November 26, 2024, from <https://anpur.org.br/app-urbana-2014/anais/ARQUIVOS/GT4-232-76-20140627095025.pdf>
23. Andrade, R.S., & Araújo, E.S. (2020). *A ocupação urbana as margens do rio cereja em Bragança – Pará: implicações ao meio ambiente*. Anais do II Congresso Araguaense de Ciências Exata, Tecnológica e Social Aplicada. Universidade e Conectividade: Conhecimento e Integração com a Comunidade Santana do Araguaia – PA. Retrieved November 26, 2024, from <https://conara.unifesspa.edu.br/>
24. Silva Filho, C.P., Nunes, Z.M.P., & Silva, I.R. (2015). *Resíduos sólidos e os impactos socioambientais no rio Cereja: subsídios para a gestão sustentável em Bragança-PA*. Dissertação, Universidade Federal do Pará. Retrieved November 26, 2024, from https://repositorio.ufpa.br/jspui/bitstream/2011/7232/6/Dissertacao_ResiduosSolidosImpactos.pdf
25. Moreira, G.O. (2021). *Impacto das ecobarreiras na qualidade de água e redução da poluição flutuante em rio urbano (Ribeirão dos Carrapatos, Itaí, SP)*. Retrieved November 26, 2024, from <https://repositorio.ufscar.br/handle/ufscar/15675>

26. Ferreira, J.D.S, Santos Gonçalves, P.G.G., & Pinheiro, É.C.N.M. (2024). A importância da ecobarreira na remoção de resíduos sólidos flutuantes nos igarapés de Manaus—estudo de caso: igarapé do coroadó. *Revista foco*, 17(10), e6575. <https://doi.org/10.54751/revistafoco.v17n10-110>
27. Kemerich, P.D.D.C., D'Avila Fernandes, G., Forgiarini, G., Rosa da Silva, L., & Bitencourt Vidal, D. (2023). Classification of Urban Solid Waste Collected with the Use of Ecobarriers in Watercourses in the Municipality of Caçapava do Sul, RS. *Anuario do Instituto de Geociencias*, 46, 1-10. http://dx.doi.org/10.11137/1982-3908_2023_46_53888
28. Pamungkas, B., Kurnia, R., & Riani, E. (2021). Potential plastic waste input from Citarum River, Indonesia. *Aquaculture, Aquarium, Conservation & Legislation*, 14(1), 103-110
29. Wiesinger, H., Wang, Z., & Hellweg, S. (2021). Deep dive into plastic monomers, additives, and processing aids. *Environmental science & technology*, 55(13), 9339-9351. <https://doi.org/10.1021/acs.est.1c00976>
30. Wang, Z., & Praetorius, A. (2022). Integrating a chemicals perspective into the global plastic treaty. *Environmental science & technology letters*, 9(12), 1000-1006. <https://doi.org/10.1021/acs.estlett.2c00763>
31. Ritchie, H., Samborska, V., & Roser, M. (2023). *Plastic pollution*. Our world in data. Retrieved November 25, 2024, from https://ourworldindata.org/plastic-pollution?utm_source=newsletter
32. Gomes, P.M., Melo, C., & Vale, V.S. (2005). Avaliação dos impactos ambientais em nascentes na cidade de Uberlândia-MG: análise macroscópica. *Sociedade & Natureza*, 17(32), 103-120. <https://doi.org/10.14393/SN-v17-2005-9169>
33. Torres, F.T.P. (2016). Mapeamento e análise de impactos ambientais das nascentes do córrego Alfenas, Ubá (MG). *Revista de Ciências Agro-Ambientais*, 40(1). <https://doi.org/10.5327/rcaa.v14i1.1409>
34. Brasil. (2012). *Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012*. Dispõe sobre a proteção da vegetação

nativa; altera as Leis nº 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis nº 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória nº 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências. Brasília: Presidência da República. Retrieved April 06, 2024, from https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/l12651.htm

35. Ortiz, L.C. (2018). *Resíduos sólidos em praias do Espírito Santo sob diferentes regimes de uso*. Anais do IX Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental, São Paulo, Brasil. Retrieved November 26, 2024, from <https://www.ibeas.org.br/congresso/Trabalhos2018/III-010.pdf>
36. Sharma, K.D., & Jain, S. (2020). Municipal solid waste generation, composition, and management: the global scenario. *Social responsibility journal*, 16(6), 917-948. <http://dx.doi.org/10.1108/SRJ-06-2019-0210>
37. Nyberg, B., Harris, P.T., Kane, I., & Maes, T. (2023). Leaving a plastic legacy: Current and future scenarios for mismanaged plastic waste in rivers. *Science of the Total Environment*, 869, 161821. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.161821>.

CAPÍTULO III

3. Considerações Finais

O rio Cereja mostra-se um importante curso de água, conectado diretamente com o rio Caeté. Este último desagua no Oceano Atlântico. Portanto, é indispensável preservá-los não somente para garantir a manutenção dos recursos ambientais locais, como também os mais distantes. Faz-se necessário, então viabilizar uma gestão pública eficiente a respeito dos RSU para reduzir o aporte residual, sobretudo, dentro do rio. Nessa perspectiva, os resultados indicam que a poluição tende a aumentar durante períodos chuvosos, sugerindo uma possível relação entre as condições climáticas e a dispersão de resíduos. Este cenário ressalta a importância de estratégias de gestão e políticas públicas voltadas para a redução do consumo, essencialmente, de plásticos, como o poliestireno, e a adequação na gestão dos resíduos sólidos.

De outra parte, a pesquisa revela que, apesar das variações na hidrodinâmica influenciadas por fatores naturais, como chuvas e marés, o modelo de ecobarreira construído conseguiu alcançar uma média de eficiência de 73,1% na retenção de resíduos, com uma notável capacidade de reter plásticos e poliestireno, os quais são os principais poluentes identificados. De fato, este último resultado alerta para urgência de pensar propostas para redução e produção e uso do poliestireno e dos plásticos como um todo.

Outrossim, as ecobarreiras, com seu custo relativamente baixo e sua versatilidade, aparecem como uma solução promissora para mitigar a poluição hídrica. No entanto, o trabalho também alerta para desafios operacionais, como a manutenção e a personalização dessas estruturas às condições locais específicas, além de enfatizar a necessidade de um comprometimento contínuo com a educação ambiental e políticas de conscientização sobre a gestão de resíduos.

Em suma, as ecobarreiras se mostram como ferramentas sustentáveis eficazes, mas necessitam de apoio institucional e social para potencializar seus benefícios na redução da poluição em ambientes aquáticos, estabelecendo-se como um componente crucial na estratégia de preservação dos recursos hídricos.

3.1. Referências

PIRES, D. M. B. & OLIVA, P. C. Avaliação da contaminação da subsuperfície de um lixão a céu aberto no município de Bragança (Pará, Brasil). **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 1, p. 213-226, 2020.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). **Censo Brasileiro de 2022**. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/trabalho/22827-censo-demografico-2022.html>>. Acesso em: 06 de março de 2025.

BRASIL. Lei nº 12.305, de 2 agosto de 2010. **Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências**. Brasília, DF, 2010.

ABREMA. **Associação Brasileira de Resíduos e Meio Ambiente. Panorama dos Resíduos Sólidos e Meio Ambiente**. Disponível em: <<https://www.abrema.org.br/panorama/>>. Acesso em: 12 outubro de 2024.

BORSATTI, M. R. & PEDOTT, M. **Plano Municipal de Saneamento Básico, Bragança, Pará**. [S.l.], 2024. Disponível em: <https://braganca.pa.gov.br/semma/wpcontent/uploads/2024/07/PMSB_Final_Braganca.PA_compressed.pdf>. Acesso em: 29 de janeiro de 2025.

ANEXOS