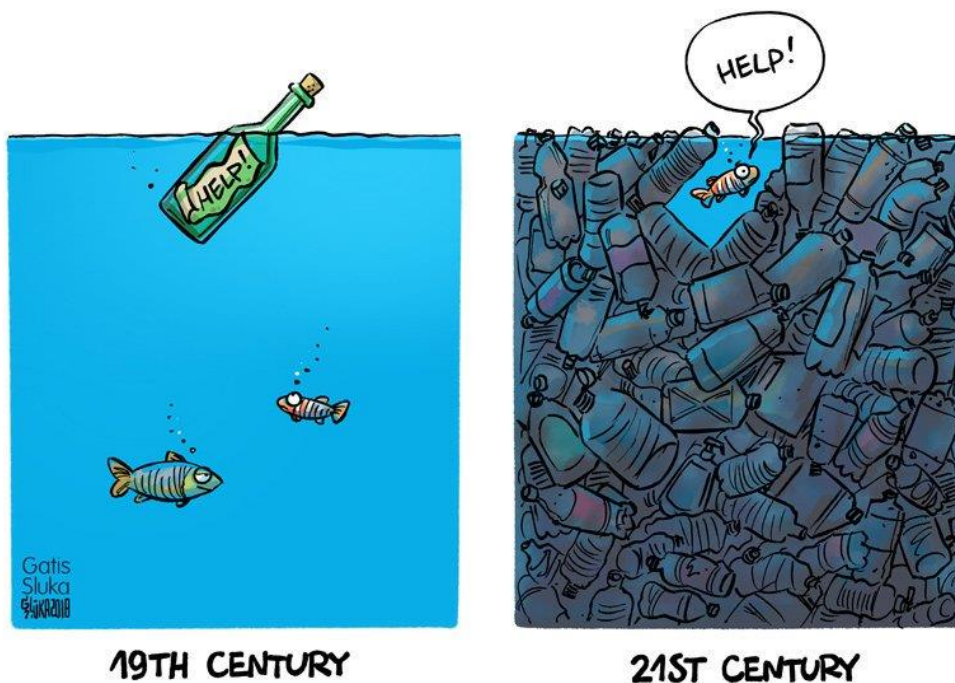


**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ**  
**NÚCLEO DE ECOLOGIA AQUÁTICA E PESCA DA AMAZÔNIA - NEAP**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ECOLOGIA AQUÁTICA E PESCA -**  
**PPGEAP**

**Gleyce Gabrielle do Espírito Santo Aquino**

**Ingestão de plástico por peixes estuarinos na maior área de manguezais  
do mundo, Brasil**



Belém/PA

2021

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ**  
**NÚCLEO DE ECOLOGIA AQUÁTICA E PESCA DA AMAZÔNIA - NEAP**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ECOLOGIA AQUÁTICA E PESCA -**  
**PPGEAP**

Ilustração da capa: Gatis Sluka, 2018.

**Ingestão de plástico por peixes estuarinos na maior área de manguezais  
do mundo, Brasil**

Gleyce Gabrielle do Espírito Santo Aquino

Dissertação de Mestrado apresentada ao  
Programa de Pós-Graduação em Ecologia  
Aquática e Pesca, como requisito para  
obtenção do grau de Mestra em Ecologia  
Aquática e Pesca.

Orientador: Dr. Marcelo C. Andrade

Coorientador: Dr. Tommaso Giarrizzo

Belém/PA

2021

Gleyce Gabrielle do Espírito Santo Aquino

**Ingestão de plástico por peixes estuarinos na maior área de manguezais  
do mundo, Brasil**

Aprovado em: 31/MAIO/2021

BANCA EXAMINADORA

---

Prof. Dr. Marcelo Costa Andrade – Presidente  
Universidade Federal do Pará

---

Prof. Dr. José Eduardo Martinelli Filho – Titular  
Universidade Federal do Pará

---

Prof.<sup>a</sup>. Dra. Sury de Moura Monteiro – Titular  
Universidade Federal do Pará

---

Prof.<sup>a</sup>. Dra. Bianca Bentes da Silva – Titular  
Universidade Federal do Pará

**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)**

---

A657i Aquino, Gleyce Gabrielle do Espírito Santo.  
Ingestão de plástico por peixes estuarinos na maior área de  
manguezais do mundo, Brasil. / Gleyce Gabrielle do Espírito  
Santo Aquino. — 2021.  
35 f. : il. color.

Orientador(a): Prof. Dr. Marcelo Costa  
Andrade Coorientador(a): Prof. Dr. Tommaso  
Giarrizzo

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Pará,  
Núcleo de Ecologia Aquática e Pesca da Amazônia, Programa de  
Pós- Graduação em Ecologia Aquática e Pesca, Belém, 2021.

1. Costa Amazônica. 2. Pesca Fantasma. 3. Polímero.  
4. Poluição marinha. 5. Região Norte. I. Título.

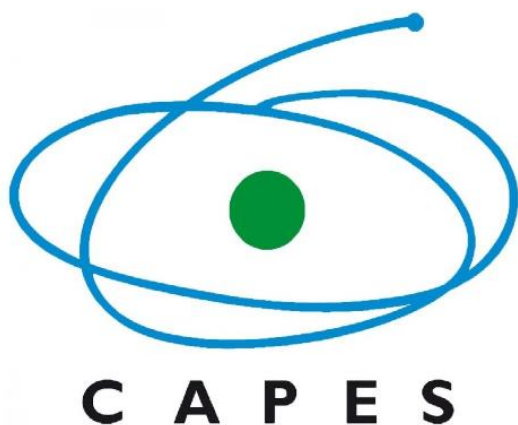
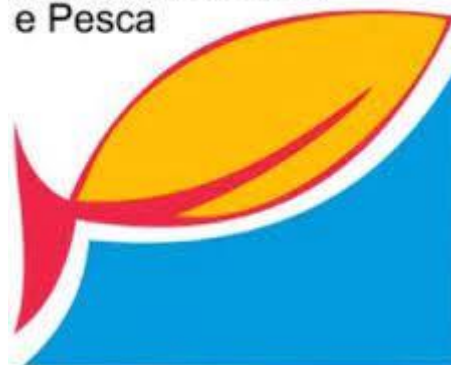
CDD 577.609811

---

## INSTITUIÇÕES DE APOIO E FONTE FINANCIADORA



Programa de Pós-Graduação  
Ecologia Aquática  
e Pesca



UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
FIRENZE

**UGO SCHIFF**  
DIPARTIMENTO  
DI CHIMICA

## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a **Deus** que me deu a dádiva da vida, e a nossa **Senhora de Nazaré** que sempre ouviu minhas preces.

Agradeço a minha mãe **Aldinair Araujo** que sempre esteve do meu lado me apoiando em todas as decisões que eu tomava na minha vida, que sempre deixava preparada minha comida porque sabia que eu chegaria cansada da faculdade e nunca mediu esforços para me ajudar, sempre me dizendo que tudo iria dar certo no mestrado, e deu. Te amo imensuravelmente mãe. Agradeço ao meu pai **David Basilio** e ao meu irmão **Adriano Marques** que sempre me incentivaram para que eu nunca desistisse, me dando mais forças para seguir em frente e que para mim foram de extrema importância, meu eterno e incondicional amor a vocês.

Agradeço ao meu orientador **Marcelo Andrade** que foi a pessoa mais incrível com quem eu pude trabalhar, que apesar do seu pouco tempo e mil afazeres, sempre arranjava um tempinho para me ajudar e tirar minhas dúvidas não importasse a hora do dia. Obrigado pelos ensinamentos, conversas e risadas que levarei para sempre comigo.

Agradeço ao meu coorientador **Tommaso Giarrizzo** por todas as contribuições no manuscrito.

Agradeço aos membros da banca **José Martinelli, Sury Monteiro, Bianca Bentes**, por terem aceitado participar e aperfeiçoar esse trabalho com suas excelentes contribuições.

Agradeço aos professores **Horácio Schneider** (in memoriam) e **Urich Saint-Paul** pela concessão do material ictiológico analisado.

Agradeço em especial ao **Rory Oliveira** que me ajudou na análise do material e na análise dos dados, sempre estando disponível para tirar minhas dúvidas quando batia o desespero e eu não sabia para quem recorrer, além de todas as risadas e momentos divertidos que tivemos no laboratório, meu muito obrigado e estou com saudade.

Agradeço a minha melhor amiga **Eglé Miranda** que sempre foi minha parceira em tudo e para o mestrado não poderia ser diferente, obrigada por me apoiar, amo você.

Agradeço imensamente a **Thaize Souza, Antônio Jardim e Luciana Santos** que me ajudaram a analisar todo o material coletado e me proporcionaram grandes momentos de diversão durante os dias no laboratório. Aos meus amigos do Grupo de Ecologia Aquática (GEA), **Aline, Oliver, Carine, Carol, Leonardo, Arthur, Fábio, Tamyris, Fabíola, Kurt, Jefferson, Elida, Sergio**, agradeço pelos momentos de descontração e risadas. E agradeço a todos que direta ou indiretamente contribuíram para essa pesquisa.

## SUMÁRIO

<b>RESUMO</b> .....	8
<b>ABSTRACT</b> .....	9
<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	10
<b>2. OBJETIVOS</b> .....	14
2.1. Geral .....	14
2.2. Específicos.....	14
<b>3. MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	15
3.1. Área de estudo .....	15
3.2. Coleta das amostras .....	16
3.3. Controle de contaminação .....	17
3.4. Dieta e análise do conteúdo estomacal .....	17
3.5. Análise dos dados .....	17
<b>4. RESULTADOS</b> .....	18
4.2. Dieta.....	18
4.3. Polímeros plásticos .....	24
<b>5. DISCUSSÃO</b> .....	26
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	28

## RESUMO

Esta é a primeira evidência de ingestão de plástico por peixes na maior faixa de manguezais do mundo. Os plásticos são facilmente encontrados em atividades do nosso cotidiano, onde muitas vezes são descartados irregularmente no meio ambiente e como consequência acabam por entrar na cadeia trófica alimentar. Nosso estudo foi realizado na maior faixa de manguezais do mundo durante o período de seca e de cheia nos anos de 2015 e 2018 nos estuários dos rios Pará (baía do Marajó) e Caeté e no Delta do rio Parnaíba, os peixes foram coletados em redes de arrasto manual, redes de tapagem e peneiras. A análise do conteúdo estomacal de 20 espécies de peixes revelaram um consumo de plástico em todas as guildas tróficas analisadas (i.e., peixes onívoros, carnívoros e planctívoros). Um total 1.516 itens foram recuperados dos estômagos de 736 peixes, e foram encontrados 152 polímeros plásticos no conteúdo estomacal de 91 indivíduos. Além dos plásticos, os peixes analisados consumiram invertebrados aquáticos e terrestres, moluscos e algas como principais itens alimentares. Quanto a classificação por tamanho dos plásticos encontrados, 128 são microplásticos, 23 mesoplásticos e apenas 1 macropástico que foi encontrado no estuário da baía do Marajó. Os filamentos plásticos foram mais abundantes no conteúdo estomacal (84%), com predominância dos plásticos de coloração azul e transparente e a frequência de ocorrência dos polímeros plásticos variou de 7,69% a 62,5% nos estuários. Nosso estudo foi o primeiro a analisar a ingestão de plásticos na maior faixa de manguezais do mundo, onde os plásticos foram confirmados em 100% das espécies de peixes coletadas que são em grande maioria predadoras topo de cadeia, o que nos mostra que todo nosso ambiente aquático está bastante vulnerável a contaminação por partículas de plástico. Infelizmente estamos longe de reduzir o uso de itens plásticos, mas precisamos tartar cada vez mais sobre esse tema e focar no grande causador dessas partículas plásticas nos oceanos, a pesca industrial.

**Palavras-chaves:** Costa Amazônica; Pesca Fantasma; Polímero; Poluição marinha; Região Norte.



## ABSTRACT

This is the first evidence of plastic ingestion by fish in the largest range of mangroves in the world, Northern Brazil. Plastics are easily found in our daily activities, where they are often irregularly discarded into the environment and as a consequence end up entering the food trophic chain. Our study was carried out in the largest range of mangroves in the world during the dry and flood period in 2015 and 2018 in the estuaries of the Pará (Marajó bay) and Caeté rivers and in the Parnaíba river Delta, the fish were collected in nets, manual trawls, masking nets and sieves. The analysis of the stomach contents of 20 fish species revealed plastic consumption in all analyzed trophic guilds (i.e., omnivorous, carnivorous and planktivorous fish). A total of 1,516 items were retrieved from the stomachs of 736 fish, and 152 plastic polymers were found in the stomach contents of 91 individuals. In addition to plastics, the fish analyzed consumed aquatic and terrestrial invertebrates, molluscs and algae as the main food items. As for the size classification of the plastics found, 128 are microplastic, 23 mesoplastic and only 1 macroplastic that was found in the estuary of the Marajó bay. Plastic filaments were more abundant in the stomach content (84%), with a predominance of blue and transparent plastics and the frequency of occurrence of plastic polymers ranged from 7.69% to 62.5% in estuaries. Our study was the first to analyze the ingestion of plastics in the largest range of mangroves in the world, where plastics were confirmed in 100% of the fish species collected that are mostly top chain predators, which shows us that our entire environment water is quite vulnerable to contamination by plastic particles. Unfortunately, we are far from reducing the use of plastic items, but we need to focus more and more on this topic and focus on the main cause of these plastic particles in the oceans, industrial fishing.

**Keywords:** Amazon coast; Ghost fishing; Polymer; Marine Pollution; North region.

## 1. INTRODUÇÃO

Os polímeros plásticos estão presentes em nossa vida diariamente, sendo encontrados como embalagem de alimentos e bebidas, utensílios domésticos tais como: vasilhas, escovas de dente, garrafas, cadeiras, roupas, dentre outros exemplos (Fendall e Sewell, 2009). Esses polímeros são definidos a partir da sua maleabilidade e capacidade de se fundirem pelo processo de aquecimento (GESAMP, 2015). São chamados de termoplásticos os polímeros que podem ser remodelados mediante aquecimento, estes são comumente chamados de plásticos recicláveis. Em contrapartida existem os termofixos, que são os polímeros que não podem ser remodelados com o emprego da temperatura (GESAMP, 2015).

A produção dos plásticos teve origem no final do século XIX, mas foram largamente produzidos apenas em meados do século XX (Bergmann et al., 2015), aumentando consideravelmente da década de 1960 até 2018 passando de 5 milhões de toneladas por ano para 348 milhões de toneladas (Plastics Europe, 2016). A maioria das partículas plásticas encontradas no meio ambiente, em grande parte os “descartáveis” (de uso único), são descartados em aterros sanitários, onde muitas vezes retornam a superfície pelas ações do vento para se tornar “detrito”, outra parte é descartada irregularmente no meio ambiente (Barnes et al., 2009) com estimativas de aproximadamente 180 mil ton/ano de plásticos descartados só na Amazônia brasileira (Giarrizzo et al., 2019).

Thompson et al. (2005) relata que com exceção dos materiais plásticos que foram incinerados, todos os plásticos que foram introduzidos no meio ambiente ainda permanecem lá, seja na sua forma original ou como fragmentos. Com isto, partículas plásticas já foram encontradas até em oceano profundo (Cauwenberghe et al., 2013) e em ambientes dentro da Corrente Circumpolar Antártica (Ivar do Sul et al., 2011). A grande preocupação com essas partículas plásticas deve-se pela difícil remoção do meio ambiente e conseqüentemente a sua entrada na cadeia trófica via ingestão por animais (Barnes et al., 2009; Andrady, 2011).

Essas partículas são normalmente classificadas por tamanho: microplásticos (< 5 mm), mesoplásticos (entre 5 e 25 mm) e os macropásticos (> 25 mm) (GESAMP, 2015). Diferentes tipos de polímeros plásticos são produzidos no mundo todo, mas oito deles têm destaque para a comercialização devido a utilização que varia desde a construção até produtos pessoais; isto é, Poliestireno (PS); Polietileno de alta densidade (HDPE); Polietileno de baixa densidade (LDPE); Polipropileno (PP); Poliuretano (PUR);

Tereftalato de polietileno (PET); Cloreto de Polivinila (PVC) e Poliamida (PA) (GESAMP, 2015; Güven et al., 2017).

Além da classificação por tamanho, os microplásticos (MPs) são classificados como primários ou secundários, isto é, primários se eles foram produzidos com o tamanho como são encontrados, ou secundários no caso desses MPs terem sido resultado da fragmentação de plásticos maiores, geralmente a partir de plásticos descartados irregularmente no meio ambiente (GESAMP, 2015). Essa fragmentação dos plásticos é causada pela ação mecânica, por exemplo, das ondas do mar e do intemperismo, além dos processos fotoquímicos da radiação solar (Barasarathi et al., 2014).

Já os MPs primários encontrados no meio ambiente, em sua maior parte, são comercializados como “microesferas” ou “micro-esfoliantes” utilizados em cosméticos que acabam por transportar contaminantes tóxicos após serem lançados no sistema de esgoto, podendo alcançar os sistemas hídricos, estuários e por fim os oceanos (Fendall e Sewell, 2009; Teuten et al., 2009). Dentre os MPs primários, os pellets são os mais comumente encontrados no ambiente marinho e o poliestireno é o polímero plástico mais produzido (Costa e Barlleta, 2015; Lu et al., 2016).

Os plásticos podem ser encontrados em diferentes partes da coluna d’água devido suas diferenças de densidade (Kukulka et al., 2012). Fibras e fragmentos plásticos derivados de sacolas, cordas e redes, apresentam baixa densidade, o que resulta na maior flutuabilidade e na sua ocupação da superfície d’água (Morét-Ferguson et al., 2010; Andrady, 2011). Já partículas de alta densidade, como recipientes para alimentos e garrafas de bebida, são encontrados em grandes profundidades no ambiente bentônico (Thiel et al., 2003). Alguns polímeros plásticos podem afundar e mudar sua densidade devido a incrustação de algas, animais e sedimentos acumulados (Barnes et al., 2009).

Os caminhos por onde os plásticos podem adentrar nos ecossistemas aquáticos são variados, tais como: estações de tratamento de água (GESAMP, 2015), máquinas de lavar roupas que liberam grande quantidade de fibras na água (Browne, 2015; Karlsson, 2015), algas de esgotos que detêm grande acúmulo de lixo doméstico que são carregados pela água da chuva (Zubris e Richard, 2005), dentre outros. Além disso, vale ressaltar que cerca de 18% das partículas plásticas encontradas nos oceanos são atribuídas ao setor pesqueiro que comumente perdem e/ou descartam irregularmente no mar materiais como cordas, linhas e redes de pesca (Andrady, 2011; Barasarathi et al., 2014).

Os impactos mais estudados dos plásticos sobre a biota são os seus efeitos nos animais, por exemplo, o emaranhamento, ingestão e asfixia (Barnes et al., 2009). Estudos mostram

que a ingestão de plástico pode ser extremamente nociva para os animais marinhos, em especial para os peixes, uma vez que pode ocasionar bloqueio gastrointestinal (Pedà et al., 2016) impedindo a alimentação do animal e ocasionando a morte do mesmo, além dos efeitos tóxicos devido a liberação de contaminantes presentes nos plásticos que causam estresse hepático (Rochman et al., 2013; Lu et al., 2016).

Os contaminantes presentes em plásticos incluem os poluentes orgânicos persistentes (POPs) que são compostos tóxicos, fortemente estáveis, com capacidade de persistir no ambiente e se transportar por longos alcances (Corsolini et al., 2005). Dentre os POPs considerados mais tóxicos estão clorodibenzo-para-dioxinas (PCDDs), dibenzofuranos (PCDFs) e 2,3,7,8-tetraclorodibenzo-p-dioxina (TCDD) (Corsolini et al., 2005), pois pode ocorrer a bioacumulação e biomagnificação em organismos vivos (Tieyu et al., 2005).

A contaminação por POPs produz um desequilíbrio ecológico para a vida marinha, interferindo no comportamento reprodutivo, causando infertilidade, câncer, desregulação endócrina e anormalidade físicas (Alharbi et al., 2018). Uma vez absorvidos pelos peixes, a toxina pode ser consumida pelos humanos através da ingestão dos peixes contaminados (Teuten et al., 2009), e a exposição a esses poluentes pode causar doenças cardiovasculares, neurológicas e hormonais (Alharbi et al., 2018; Prata et al., 2020).

Os incidentes registrados entre a fauna marinha e partículas de plástico aumentaram em aproximadamente 75% nas últimas duas décadas, de 267 espécies (Laist, 1997) para 693 espécies (Gall e Thompson, 2015) e com registros de 427 espécies de peixes ingerindo partículas plásticas (Azevedo-Santos et al., 2019). Os peixes são um dos grupos mais diversos dentre os vertebrados e apresentam grande importância para a biodiversidade marinha e grande interesse comercial (Nelson et al., 2016). De acordo com Dantas et al. (2012) 8% de peixes da família Scianidae (pescadas) analisados no estudo apresentavam fios azuis no conteúdo estomacal, esses são derivados da fragmentação de nylon®, polímero bastante utilizado em materiais de pesca.

Esses plásticos ficam disponíveis no ambiente aquático ocorrendo então transferência entre os níveis tróficos após serem ingeridos, passando pelos consumidores primários até predadores de topo (Costa e Barlleta, 2015).

Os fragmentos de nylon azul são mais facilmente encontrados dentro de estômagos de peixe que podem estar ligados a origem da fonte, proveniente de redes, cabos de pesca e outras operações marítimas (Dantas et al., 2012; Lima et al., 2014; Costa e Barlleta, 2015).

Vários estudos relatam níveis de poluição por plástico em estuários, praias estuarinas, canais de estuários que se conectam ao mar e em florestas de mangue (Browne et al., 2010; Barasarathi et al., 2014; Nor e Obbard, 2014; Medrano et al., 2015; Andrades et al., 2020). Esses estuários são a área de transição entre o rio e o mar, considerados um dos ecossistemas mais produtivos do mundo fornecendo nutrientes, abrigo e área de reprodução visto que gera uma grande variedade de habitats para diversas espécies de peixe (Barletta et al., 2010; Ferreira et al., 2016).

O Brasil possui a maior faixa contínua de mangue do planeta, com cerca de 650 km cobrindo 7.000 km<sup>2</sup> de área costeira entre os estados do Pará até o Maranhão (Kjerfve e Lacerda, 1993; Souza Filho, 2005), e possui a maior faixa de mangue do planeta que vai desde o Amapá até Santa Catarina (Pereira et al., 2013). Os manguezais atuam como área de proteção, reprodução e berçário para o desenvolvimento de várias espécies marinhas e estuarinas, sendo considerado um dos ambientes de maior produtividade devido à alta concentração de matéria orgânica que, em função disso, propicia o local como ideal para toda uma fauna aquática, tais como peixes, crustáceos e moluscos (Pereira et al., 2013).

O descarte e acúmulo de plásticos nessas áreas de manguezais afeta diretamente os peixes que utilizam desse ambiente para reprodução, berçário e alimentação, e essa ingestão de polímeros plásticos pode estar ligada diretamente aos hábitos alimentares, a urbanização e ao lixo descartado irregularmente, e muitos dos peixes que habitam essa maior faixa de manguezais são de importância tanto ecológica quanto econômica, com isso faz-se necessário essa análise da ingestão dos polímeros plásticos.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. Geral**

Investigar a ingestão de plásticos por peixes encontrados nos ambientes de entremarés de três estuários distintos na maior faixa de manguezais do mundo.

### **2.2. Específicos**

- Verificar a frequência de partículas plásticas encontradas no conteúdo estomacal dos peixes;
- Analisar a composição do polímero plástico ingerido;
- Relacionar a ingestão dos plásticos à guilda trófica dos peixes;
- Verificar a importância alimentar dos itens para cada espécie de peixe estudada;
- Testar a diferença da ingestão de plástico entre os três estuários levando em consideração os períodos hidrológicos e avaliar se há diferença sazonal na ingestão de plástico dentro de cada estuário;

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1. Área de estudo

A área de estudo está inserida na maior faixa de manguezais do mundo, sendo especificamente dois estuários, o estuário do rio Pará e o estuário do rio Caeté (ambos no estado do Pará) e um delta do rio Parnaíba (estado do Piauí) (Figura 1). O estuário do rio Pará também conhecido como baía do Marajó é um estuário formado em grande parte pelas descargas do rio Amazonas (através do estreito de Breves) e Tocantins, a zona de contato do rio com o mar possui uma extensão de aproximadamente 60 km (Barthem, 1985; Rosário, 2016; Prestes et al., 2020) que contribui para o maior escoamento de sedimentos, nutrientes dissolvidos e material orgânico (Carneiro et al., 2020).

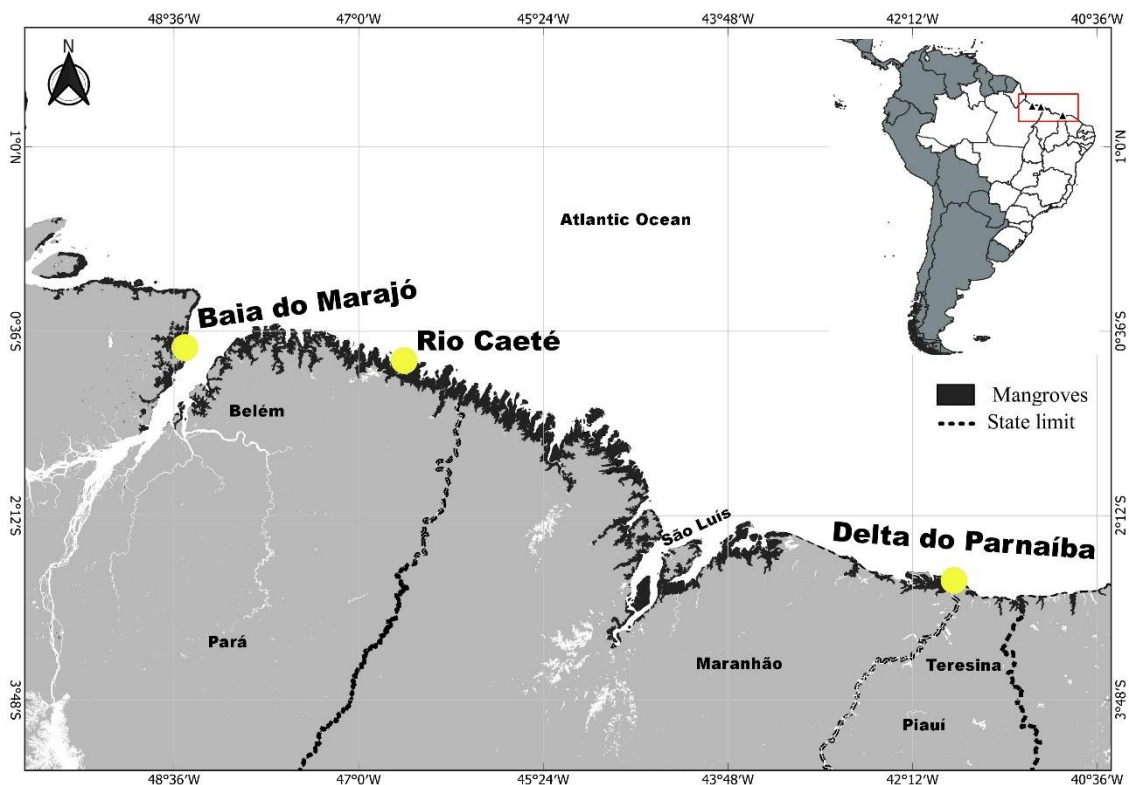
É considerada de extrema importância ecológica devido a sua alta produtividade, servindo como área de reprodução e berçário para várias espécies, em especial as de importância comercial (Barthem, 1985; Isaac e Barthem, 1995). E de importância econômica, pois é a mais importante zona pesqueira de pesca artesanal do estuário amazônico abastecendo o mercado de pescado da cidade de Belém (Isaac e Barthem, 1995).

O estuário do Caeté tem formato de funil, está localizado no município de Bragança, nordeste do Pará (Figura 1), tem uma extensão de 100 km da Ponta do Maiaú até encontrar o oceano Atlântico, cuja foz tem aproximadamente 11,5 km (Barletta et al., 1998). São dominados pelas condições de macromarés semidiurnas (4–6 m), com alturas de 2,5 a 5,5 m nas marés de quadratura de sizígia, respectivamente, além de apresentar velocidades médias de 1,5 m/s (Cohen et al., 1999; Krause et al., 2001; Cohen e Lara, 2003), possui um transporte de sedimentos altamente dinâmico com áreas de erosão e deposição de lama (Cohen e Lara, 2003).

O delta do rio Parnaíba chega ao mar através de cinco canais, com uma extensão de 1.450 km da sua desembocadura até alcançar o Oceano Atlântico, o rio Parnaíba então se divide nos estados do Maranhão e Piauí, formando assim um grande estuário em formato de delta (Macedo-Júnior e Macedo, 2016). Essa é uma região de águas quentes, com baixa precipitação e elevada salinidade, em decorrência disto baixa produtividade primária (Matsuura, 1996; IBAMA, 1998). É uma área considerada importante para a conservação da Zona Costeira e Marinha (MMA, 2007).

Esse sistema estuarino ocupa uma área de aproximadamente 2.750 km<sup>2</sup>, caracterizada por um complexo mosaico de ecossistemas interceptados por baías e estuários em uma região muito dinâmica, devido as conformações climáticas da transição entre os biomas

do cerrado e da caatinga (Andrade Jr. et al., 2005; Guzzi, 2012). Neste delta, áreas com alta deposição sedimentar podem ser encontradas na foz (e.g. Baía das Canárias) em relação a outras (e.g. Baía do Caju), caracterizando áreas com diferentes hidrodinâmicas classificadas como províncias ecológicas da costa amazônica (Spaldin et al., 2007).



**Figura 1** – Localização da área de estudo, com os pontos de coleta nos sistemas cos do Marajó, Caeté e Parnaíba.

### 3.2. Coleta das amostras

A baía do Marajó ( $0^{\circ}44'31''S$   $48^{\circ}30'24''W$ ) e estuário do Caeté ( $0^{\circ}50'24''S$   $46^{\circ}37'07''W$ ) foram amostrados em janeiro de 2018 (chuvoso – *rainy/wet*) e julho de 2018 (seco - *dry*) e o delta do rio Parnaíba ( $2^{\circ}45'49''S$   $41^{\circ}50'21''W$ ) em abril de 2015 apenas no período chuvoso. Estes exemplares de peixes foram capturados nas zonas de entremarés com redes de arrasto manual do tipo picaré (3 x 1,3 m, com 3 m de saco e 10 mm entre nós), em canais de maré foi utilizado redes de tapagem (10 x 3 m, 12 mm entre nós), e em habitats aquáticos de difícil acesso (por exemplo, raízes de mangue e marismas) as coletas foram realizadas com o uso de peneiras (50 cm de diâmetro, 2 mm entre nós), além disso, pescadores locais auxiliaram as coletas visando a maximização das amostragens. Este procedimento foi levado em consideração para evitar potenciais ruídos nos dados devido diferenças ontogenéticas no comportamento alimentar das espécies,



portanto, apenas peixes em fase juvenil foram utilizados sendo classificados como juvenis através do L50 de cada espécie que foram tomados a partir de estimativas feitas pelo FishBase (Froese e Pauly, 2020).

### 3.3. Controle de contaminação

Antes e depois de cada procedimento para cada amostra, todas as superfícies de trabalho e instrumentos foram cuidadosamente limpas com etanol a 70% filtrado e um novo par limpo de luvas de látex foi utilizado. Para testar a presença potencial de fibras de plásticos no ar na estação de trabalho, uma placa de Petri de vidro limpa (usando etanol a 70% filtrado) foi colocada na estação de trabalho no início de cada dia e examinada com o estereomicroscópio no final do dia.

### 3.4. Dieta e análise do conteúdo estomacal

Após a identificação e biometria (comprimento padrão - CP e peso em gramas - W) dos espécimes, o estômago foi retirado e preservado em solução de etanol a 70% filtrado (malha de 5 $\mu$ m) até avaliação do conteúdo. Os itens alimentares de cada peixe foram classificados e identificados sob um estereomicroscópio binocular para o menor táxon possível. Cada táxon foi brevemente drenado e depois pesado ( $\pm$  0,01 g). Estômagos vazios foram contabilizados, mas foram excluídos das análises.

As partículas plásticas foram separadas das partículas orgânicas, contadas, classificadas de acordo com a forma e cor, medidas quanto ao tamanho e fotografadas utilizando um microscópio ZEISS SteRo Discovery V12 estéreo com o software Zen (blue edition, v2.0, Zeiss, Oberkochen, Alemanha).

As guildas tróficas foram classificadas de acordo com a literatura de vários autores (e.g. Collete, 1968; Nizinski e Munroe, 2002; Brenner e Krummer, 2007) que corroboravam entre si sobre os itens alimentares ingeridos por cada espécie, após essa revisão bibliográfica foram definidas as guildas tróficas das espécies.

### 3.5. Análise dos dados

A frequência de ocorrência de plásticos nos tratos digestórios foi calculada pela seguinte fórmula:  $FO\% = (N_i / N) \times 100$ , onde FO% = frequência de ocorrência de partículas plásticas;  $N_i$  = número de estômagos que continham partículas plásticas;  $N$  = número total de estômagos examinados. A importância dos itens alimentares consumidos foi estimada a partir do índice de importância alimentar de Kawakami e Vazzoler (1980):

$A_i = F_i \times W_i / \sum_{i=1}^n (F_i \times W_i)$ , onde  $F_i$  é a frequência de ocorrência do item  $i$  e  $W_i$  é o peso relativo do item  $i$ .

Para testar a diferença quanto a ingestão de plásticos entre os estuários nos períodos hidrológicos e analisar a diferença sazonal dentro de cada estuário, foi utilizada a análise de variância não paramétrica Kruskal-Wallis realizada no software estatístico PAST (Hammer et al., 2001).

Para verificar os índices de importância alimentar foi utilizado um gráfico de sombras (*heatmap*) (Clarke et al., 2013), onde as categorias de alimentos foram apresentadas de acordo com a sua importância para cada guilda trófica de peixe, levando em consideração os estuários e os períodos hidrológicos. Os itens de plásticos foram excluídos dessa análise e testados separadamente. Essa análise foi realizada na plataforma estatística do R (R Development, 2021).

## **4. RESULTADOS**

### **4.1. Espécies**

Vinte espécies-chave foram selecionadas em sua fase juvenil devido a coocorrência, elevada abundância e biomassa nas capturas nos três estuários, e ainda devido a sua importância ecológica e comercial. As 20 espécies coletadas são pertencentes a 10 ordens, 15 famílias e correspondem a 3 guildas tróficas (8 espécies onívoras, 7 espécies carnívoras, e 5 espécies planctívoras) (Tabela 1).

Foram coletados até 13 indivíduos de cada espécie em cada estuário e em cada período hidrológico com um total de 736 estômagos analisados entre os três estuários onde foram encontrados 1.516 itens alimentares, sendo esses 152 polímeros plásticos encontrados em 91 indivíduos (Tabela 1).

### **4.2. Dieta**

Todas as espécies analisadas apresentaram plásticos no seu conteúdo estomacal. Um total de 1.516 itens alimentares foram recuperados dos estômagos de 736 peixes, sendo eles identificados de acordo com as seguintes categorias: plástico (podendo ser filamentos, fragmentos ou pellets); peixes (pedaços de músculo, escamas e nadadeiras, entre outros); moluscos (conchas e fragmentos de conchas de gastrópodes aquáticos); crustáceos (exoesqueleto, quelas e pernas, principalmente de camarões, siris e caranguejos); plantas (incluindo fragmentos de folhas e caules, principalmente de plantas de mangue); sementes;

invertebrados aquáticos (plânctons, poliquetas); invertebrados terrestres; algas; detrito vegetal e animal foram identificados como um tipo de item de alimento em particular, embora representem partículas orgânicas em diferentes estágios de decomposição e, portanto, de difícil identificação.

Cada uma das três guildas tróficas apresentaram dietas semelhantes independentemente do local ou período capturado com claros agrupamentos de acordo com a guilda. A guilda de onívoros consumiu principalmente algas, crustáceos e plantas. A guilda de carnívoros consumiu predominantemente moluscos e pequenas porções de peixes e crustáceos e a guilda planctívoros se alimentou de uma porção significativa de invertebrados aquáticos (Figura 2, Tabela 2).

Tabela 1 - Quantidade de peixes coletados que foram analisados, separados por espécies, localidades e período sazonal. N = número de peixes coletados; Np = número de peixes que ingeriram plástico; FO% = frequência de ocorrências dos polímeros plásticos.

Ordem, Família, <i>Espécie</i>	Guilda trófica	Cheia				Seca					
		Baía do Marajó		Caeté		Delta do rio Parnaíba		Baía do Marajó		Caeté	
		N (Np)	FO%	N (Np)	FO%	N (Np)	FO%	N (Np)	FO%	N (Np)	FO%
<b>Atheriniformes</b>											
Atherinopsidae											
<i>Atherinella brasiliensis</i> (Quoy & Gaimard 1825)	Planctívoros	6 (0)	0	7 (0)	0	7 (1)	14,29	7 (0)	0	8 (2)	25
<b>Batrachoidiformes</b>											
Batrachoididae											
<i>Batrachoides surinamensis</i> (Bloch & Schneider 1801)	Onívoro	8 (1)	12,5	8 (1)	12,5	5 (3)	60	8(2)	25	8 (1)	12,5
<b>Beloniformes</b>											
Belonidae											
<i>Strongylura timucu</i> (Walbaum 1792)	Carnívoro	7 (0)	0	8 (0)	0	8 (0)	0	8 (0)	0	8 (2)	25
<b>Clupeiformes</b>											
Clupeidae											
<i>Rhinosardinia amazonica</i> (Steindachner 1879)	Planctívoros	4 (0)	0	7 (3)	42,86	6 (0)	0	8 (0)	0	7 (0)	0
Engraulidae											
<i>Anchovia clupeioides</i> (Swainson 1839)	Planctívoros	13 (1)	7,69	8 (0)	0	6 (0)	0	8 (0)	0	8 (0)	0
<i>Lycengraulis grossidens</i> (Spix & Agassiz 1829)	Onívoro	8 (1)	12,5	7 (0)	0	6 (2)	33,33	8 (0)	0	8 (1)	12,5
<i>Pterengraulis atherinoides</i> (Linnaeus 1766)	Carnívoro	5 (1)	20	7 (1)	14,29	8 (1)	12,5	8 (0)	0	8 (1)	12,5
<b>Cyprinodontiformes</b>											
Anablepidae											
<i>Anableps anableps</i> (Linnaeus 1758)	Onívoro	7 (0)	0	8 (0)	0	8 (1)	12,5	8 (1)	12,5	8 (0)	0

**Mugiliformes**

## Mugilidae

<i>Mugil</i> sp.	Planctívoros	7 (0)	0	7 (1)	14,29	7 (1)	14,29	8 (0)	0	8 (0)	0
------------------	--------------	-------	---	-------	-------	-------	-------	-------	---	-------	---

**Perciformes**

## Centropomidae

<i>Centropomus undecimalis</i> (Bloch 1792)	Carnívoro	7 (1)	14,29	8 (0)	0	8 (1)	12,5	8 (0)	0	8 (0)	0
---	-----------	-------	-------	-------	---	-------	------	-------	---	-------	---

## Gerreidae

<i>Diapterus auratus</i> (Ranzani 1842)	Planctívoros	8 (5)	62,5	6 (0)	0	7 (2)	28,57	8 (0)	0	8 (1)	12,5
---	--------------	-------	------	-------	---	-------	-------	-------	---	-------	------

## Haemulidae

<i>Genyatremus luteus</i> (Bloch 1790)	Onívoro	7 (1)	14,29	8 (2)	25	8 (2)	25	7 (0)	0	8 (1)	12,5
--	---------	-------	-------	-------	----	-------	----	-------	---	-------	------

## Lutjanidae

<i>Lutjanus jocu</i> (Bloch & Schneider 1801)	Onívoro	4 (2)	50	8 (2)	25	7 (1)	14,29	5 (1)	20	8 (1)	12,5
---	---------	-------	----	-------	----	-------	-------	-------	----	-------	------

## Sciaenidae

<i>Cynoscion acoupa</i> (Lacepède 1801)	Carnívoro	5 (0)	0	7 (0)	0	3 (0)	0	8 (0)	0	8 (3)	37,5
---	-----------	-------	---	-------	---	-------	---	-------	---	-------	------

<i>Macrodon ancylodon</i> (Bloch & Schneider 1801)	Carnívoro	8 (1)	12,5	6 (1)	16,67	1 (0)	0	8 (1)	12,5	8 (2)	25
--	-----------	-------	------	-------	-------	-------	---	-------	------	-------	----

<i>Stellifer naso</i> (Jordan 1889)	Onívoro	9 (2)	22,22	6 (0)	0	7 (0)	0	8 (0)	0	8 (1)	12,5
-------------------------------------	---------	-------	-------	-------	---	-------	---	-------	---	-------	------

**Pleuronectiformes**

## Achiridae

<i>Achirus achirus</i> (Linnaeus 1758)	Carnívoro	7 (1)	14,29	8 (0)	0	7 (0)	0	8 (1)	12,5	8 (0)	0
--	-----------	-------	-------	-------	---	-------	---	-------	------	-------	---

**Siluriformes**

## Ariidae

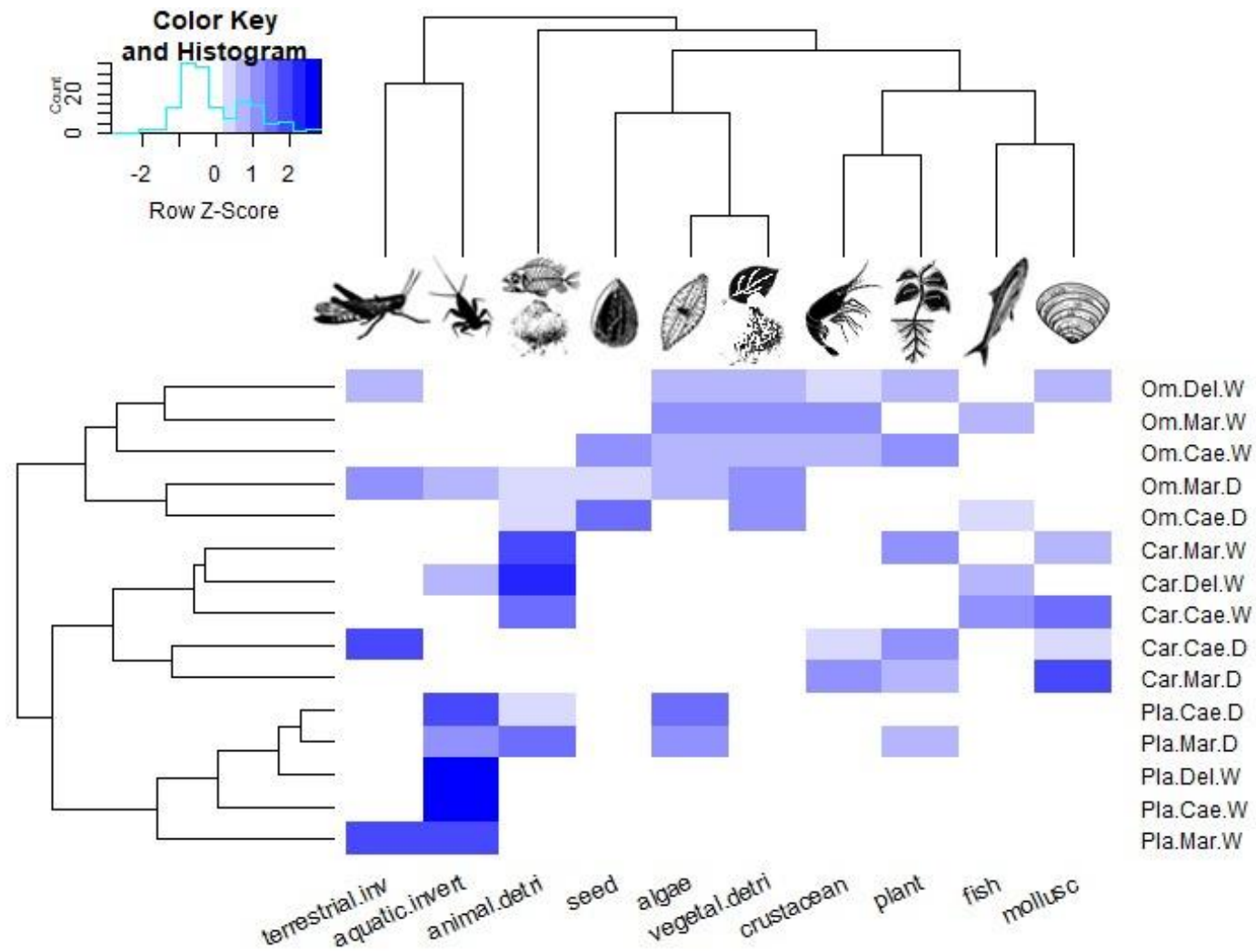
<i>Cathorops spixii</i> (Agassiz 1829)	Onívoro	8 (1)	12,5	8 (5)	62,5	8 (0)	0	8 (2)	25	8 (3)	37,5
--	---------	-------	------	-------	------	-------	---	-------	----	-------	------

<i>Sciades herzbergii</i> (Bloch 1794)	Onívoro	6 (0)	0	12 (4)	33,33	8 (0)	0	8 (1)	12,5	8 (2)	25
--	---------	-------	---	--------	-------	-------	---	-------	------	-------	----

**Tetraodontiformes**

## Tetraodontidae

<i>Colomesus psittacus</i> (Bloch & Schneider 1801)	Carnívoro	5 (0)	0	7 (1)	14,29	7 (3)	42,86	8 (4)	50	8 (0)	0
---	-----------	-------	---	-------	-------	-------	-------	-------	----	-------	---



**Figura 2** – Gráfico de sombra identificando as guildas tróficas e similaridade na composição da dieta. Om = Onívoro; Car = Carnívoro; Pla = Planctívoro; Del = Delta do rio Parnaíba; Cae = Caeté; Mar = Baía do Marajó; W= Wet (Cheia); D = Dry (Seca).

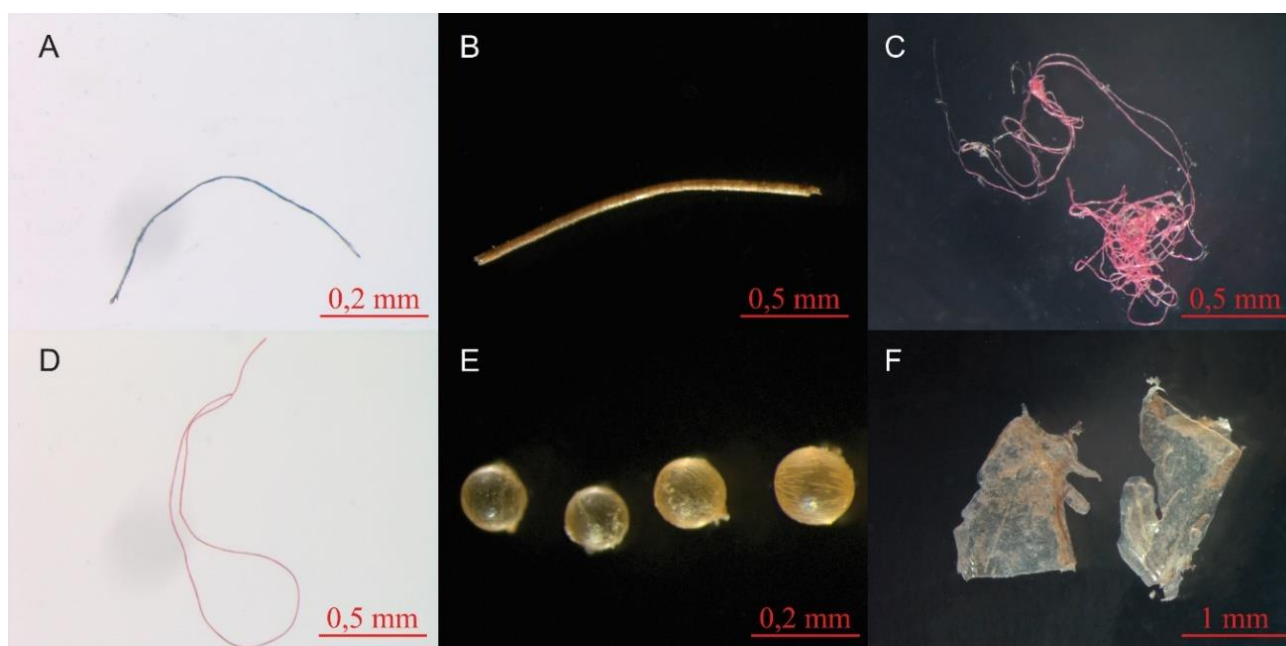
Tabela 2 – Índice de importância alimentar de acordo com as categorias, guildas tróficas, local e período hidrológico.

	Alga	Crustáceo	Detrito animal	Detrito vegetal	Invertebrado terrestre	Invertebrado aquático	Molusco	Peixe	Planta	Semente
<b>MARAJÓ - CHEIA</b>										
Carnívoro	0,008	0,153	0,167	0,001	< 0,001	< 0,001	0,230	0,295	0,121	-
Onívoro	0,199	0,340	< 0,001	0,080	< 0,001	0,001	0,021	0,199	0,003	-
Planctívoro	0,096	0,049	< 0,001	0,007	0,106	0,628	< 0,001	0,030	< 0,001	-
<b>MARAJÓ – SECA</b>										
Carnívoro	0,021	0,482	0,004	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,171	0,280	0,018	0,008
Onívoro	0,181	0,095	0,095	0,075	0,038	0,078	0,002	0,244	0,011	0,018
Planctívoro	0,185	0,013	0,123	0,001	< 0,001	0,049	< 0,001	< 0,001	0,009	< 0,001
<b>CAETÉ - CHEIA</b>										
Carnívoro	0,011	0,155	0,028	0,006	-	< 0,001	0,027	0,646	< 0,001	< 0,001
Onívoro	0,185	0,421	< 0,001	0,114	-	0,001	0,001	0,073	0,053	0,026
Planctívoro	0,070	0,052	< 0,001	0,023	-	0,760	< 0,001	0,001	< 0,001	< 0,001
<b>CAETÉ - SECA</b>										
Carnívoro	0,071	0,448	0,030	0,014	0,029	0,013	0,079	0,231	0,045	< 0,001
Onívoro	0,148	0,164	0,072	0,048	< 0,001	0,032	0,062	0,191	0,005	0,023
Planctívoro	0,476	0,002	0,092	< 0,001	< 0,001	0,269	< 0,001	0,030	< 0,001	< 0,001
<b>DELTA - CHEIA</b>										
Carnívoro	0,002	0,149	0,116	0,009	< 0,001	0,050	0,032	0,620	< 0,001	-
Onívoro	0,325	0,257	< 0,001	0,047	0,048	0,003	0,055	0,149	0,012	-
Planctívoro	0,005	0,008	< 0,001	< 0,001	0,004	0,222	< 0,001	0,022	0,001	-

#### 4.3. Polímeros plásticos

O estuário que mais apresentou peixes que ingeriram plásticos foi o estuário do rio Caeté tanto no período chuvoso quanto no período menos chuvoso, com 21 indivíduos em cada período. Das espécies que mais ingeriram plásticos no período de cheia estão *Diapterus auratus* onde 5 dos 8 peixes coletados apresentaram plástico no conteúdo estomacal na baía do Marajó, *Cathorops spixii* com 5 dos 8 peixes coletados no estuário do Caeté e *Batrachoides surinamensis* com 3 dos 5 peixes coletados no estuário do delta do rio Parnaíba. Já no período de seca as espécies que mais ingeriram plástico foram *Colomesus psittacus* com 4 dos 8 peixes coletados na baía do Marajó e no estuário do Caeté foram *Cynoscion acoupa* e *Cathorops spixii* ambos com 3 dos 8 peixes coletados com plásticos no conteúdo estomacal.

Foram encontrados 128 microplásticos, 23 mesoplásticos e apenas 1 macroplástico, esse último sendo encontrado na baía do Marajó. Quanto ao tipo de plástico encontrado nos estuários, os filamentos foram os mais abundantes (83,55%) em comparação com os fragmentos (13,81%) e pellets (2,63%). Esse último foi encontrado apenas no estuário do Caeté no período de seca.



**Figura 3** – Polímeros plásticos encontrados nos estômagos de peixes na maior faixa de manguezais do mundo. Brasil. Exemplos de filamentos (A-D), pellets (E) e fragmentos (F).

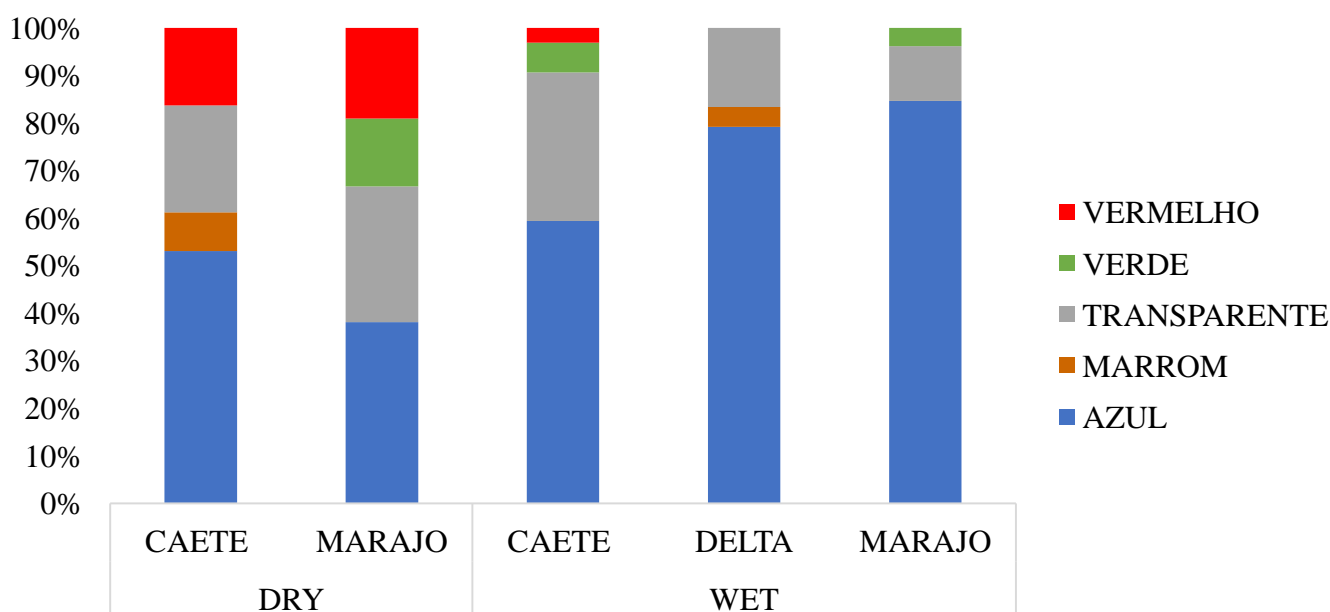
A frequência de ocorrência dos polímeros plásticos variou, de acordo com os estuários e estação do ano para os peixes que apresentaram plásticos, entre 12,5% a 50% para o estuário do Marajó no período de seca e 7,69% a 62,5% no período de cheia; entre



12,5% a 37,5% para o estuário do Caeté no período de seca e 12,5% a 62,5% no período de cheia; entre 12,5% a 60% para o estuário do delta do rio Parnaíba no período de cheia.

Apesar dessas variações na FO%, não houve diferenças significativas na ingestão de plástico entre os dois estuários durante o período de cheia (KW, H: 2,115 /  $p = 0,3341$ ) ou durante o período de seca (KW, H: 0 /  $p = 1$ ). Quanto a ingestão de polímeros plásticos sazonalmente em cada estuário, não houve também diferenças significativas na baía do Marajó (KW, H: 0,05357 /  $p = 0,8105$ ) ou no estuário do Caeté (KW, H: 1,778 /  $p = 0,1688$ ).

Quanto a coloração dos polímeros plásticos, foram encontrados plásticos azuis (variando entre a FO mínima de 38% a 85%), transparentes (10% a 31%), vermelhos (2% a 19%), verdes (3% a 13%) e marrons (3% a 7%). Os plásticos azuis foram os mais abundantes nos três estuários e nos dois períodos hidrológicos. Tanto os plásticos azuis e transparentes foram encontrados nos três estuários durante o período de cheia e de seca. Já os plásticos marrons foram os que apresentaram menor frequência, sendo encontrados apenas no estuário do Caeté no período de seca e no estuário do delta do rio Parnaíba no período de cheia (Figura 4).



**Figura 4** – Composição dos plásticos nas amostras coletadas quanto a frequência de ocorrência de coloração para os três estuários analisados. WET = Cheia; DRY = Seca

## 5. DISCUSSÃO

O presente estudo foi o primeiro a analisar a ingestão de plásticos por peixes na maior faixa de manguezais do mundo, onde os plásticos foram confirmados em 100% das 20 espécies de peixes analisadas. Nos últimos anos se intensificaram os estudos sobre a ingestão de polímeros plásticos por peixes no Brasil (Pegado et al., 2018; Schmid et al., 2018; Ribeiro-Brasil et al., 2020) e há grandes evidências que essa abundância de plásticos nos oceanos só aumentará com o passar do tempo (Azevedo-Santos et al., 2019).

A análise de conteúdo estomacal de peixes no rio Xingu (Andrade et al., 2019) observou níveis de ingestão de plásticos (26,7%) similar aos níveis encontrados no nosso estudo (20,6%). Assim como no presente estudo, Andrade et al. (2019) constatou que todas as guildas tróficas analisadas consumiram plásticos, isso sugere que a poluição afeta todos os níveis tróficos de peixes.

As guildas tróficas carnívoras e onívoras foram as que mais ingeriram plásticos, o que corrobora com Azevedo-Santos et al. (2019) que realizou uma revisão bibliográfica sobre a ingestão dos polímeros e identificou que essas guildas são as que mais ingerem plástico. Isso deve-se ao fato desses peixes ingerirem alimentos variados que ficam disponíveis em diferentes níveis da coluna d'água, além de uma possível transferência entre níveis tróficos (Carbery et al., 2018).

Apesar das guildas tróficas não apresentarem diferenças significativas quanto a ingestão de polímeros plásticos entre os estuários, e ausência de diferenças sazonais em cada estuário, encontramos espécies que ingeriram mais polímeros plásticos do que outras. Vendel et al. (2017) identificou a espécie *Diapterus auratus* como a que mais ingeriu microplástico num estuário da Paraíba, resultado semelhante foi encontrado no nosso estudo, pois a mesma espécie foi a que mais consumiu plástico no período de cheia na baía do Marajó. Esse resultado ocorre devido a espécie consumir prioritariamente o fitoplâncton que se localizam principalmente na coluna d'água e pode estar ingerindo indevidamente os polímeros plásticos presentes na superfície.

Da mesma forma que *Cathorops spixii* foi a espécie que mais ingeriu plástico no período de cheia no estuário do Caeté, onde obtivemos resultado semelhante ao estudo de Dantas et al. (2020) que classificou a espécie com a maior frequência de contaminação de microplásticos (75%) na praia de Meireles. Isso ocorre devido a espécie pertencer a guilda trófica dos onívoros, fazendo assim a ingestão de diversos tipos de alimento que estejam disponíveis no hábitat.

Quanto a ingestão de plásticos pelas espécies *Batrachoides surinamensis* e *Colomesus psittacus*, não havia registros na literatura que comprovassem contaminação por plástico até o presente estudo. Essas espécies ingeriram polímeros plásticos nos três estuários analisados e isso talvez ocorra devido as duas espécies serem classificadas com as guildas onívora e carnívora respectivamente, fazendo o consumo de diversos itens alimentares que podem estar presentes tanto no ambiente bentônico quanto na coluna d'água.

O estudo realizado por Ferreira et al. (2018) analisou indivíduos de *Cynoscion acoupa* e identificou mais de 1.000 microplásticos dentro do estômago de 552 indivíduos. O presente estudo identificou essa espécie também como uma das que mais ingeriram plástico no período da seca, o que nos mostra que essa espécie, predadora topo de cadeia, esteja bastante vulnerável à contaminação por partículas de plástico.

Os microplásticos correspondem a mais de 80% dos polímeros encontrados na dieta dos peixes, assim como foi encontrado por diversos autores (Ferreira et al., 2018; Garcia et al., 2020; Pegado et al., 2021). Podemos relacionar as estratégias de alimentação das espécies estudadas com a transferência trófica dos polímeros plásticos (Vendel et al., 2017).

Os polímeros plásticos podem ser transportados aos oceanos das mais diferentes formas. Browne et al. (2011) e Kelly et al. (2019) sugerem que as fontes de filamentos plásticos no meio ambiente provêm dos esgotos devido apresentarem resíduos de máquinas de lavar, já que elas não são projetadas para reter partículas plásticas. Também da indústria pesqueira, razão pela qual obtivemos grande incidência dos filamentos plásticos de origem de materiais de pesca presentes na área de estudo (Martinelli-Filho e Monteiro, 2019). Essa alta ingestão de filamentos plásticos pode ocorrer devido a baixa densidade do filamento (Lima et al., 2014) que acaba ficando disponível para ser ingerido acidentalmente por espécies forrageadoras (Vendel et al., 2017).

Os polímeros plásticos de coloração azul (61%) e coloração transparente (22%) dominaram o conteúdo estomacal dos peixes, semelhante ao que foi encontrado por Pegado et al. (2021) que analisou a ingestão de microplásticos em *Hypannus guttatus* na costa do Brasil, esse resultado pode ser decorrente da frota pesqueira devido o equipamento utilizado na pesca que pode facilmente ser perdido ou descartado inadequadamente no mar (Andrady, 2011).

Os plásticos vêm transformando os mais diversos habitats e áreas mais remotas do planeta terra, contabilizando mais de 80% dos resíduos presentes na superfície terrestre e aquática (Barnes et al., 2009). Esses itens plásticos acabam servindo inadequadamente de

casa para caranguejos eremitas e moluscos, acabam sendo ingeridos por peixes, tartarugas, baleias e qualquer outro animal presente no ambiente marinho.

A ingestão desses plásticos acaba na sua grande maioria fazendo o animal vir a óbito e infelizmente estamos longe de reduzir o uso de itens plásticos (Thompson et al., 2009). O que não nos impede de cada vez mais tratar sobre esse tema e focar nos grandes causadores da presença de partículas plásticas nos oceanos, tais como a pesca industrial.

## REFERÊNCIAS

- ALHARBI, O. M.; KHATTAB, R. A.; ALI, I. Health and environmental effects of persistent organic pollutants. **Journal of Molecular Liquids**, v. 263, p. 442-453, 2018.
- ANDRADE JR.; A. S. DE; BASTOS, E. A.; BARROS, A. H. C.; SILVA, C. O.; GOMES, A. A. N. Classificação climática e regionalização do semi-árido do Estado do Piauí sob cenários pluviométricos distintos. **Revista Ciência Agronômica**. V. 36, p.143–151, 2005.
- ANDRADE, M. C.; WINEMILLER, K. O.; BARBOSA, P. S.; FORTUNATI, A.; CHELAZZI, D.; CINCINELLI, A.; GIARRIZZO, T. First account of plastic pollution impacting freshwater fishes in the Amazon: Ingestion of plastic debris by piranhas and other serrasalmids with diverse feeding habits. **Environmental Pollution**, v. 244, p. 766-773, 2019.
- ANDRADES, R.; PEGADO, T.; GODOY, B. S.; REIS-FILHO, J. A.; NUNES, J. L. S.; GRILLO, A. C.; MACHADO, R. C.; SANTOS, R. G.; DALCIN, R. H.; FREITAS, M. O.; KUHNEN, V. V.; BARBOSA, N. D.; ALVES, J. A.; ALBUQUERQUE, T.; BENTES, B.; GIARRIZZO, T. Antropogenic litter on Brazilian beaches: Baseline, trends and recommendations for future approaches. **Marine pollution bulletin**, v. 151, p. 110842, 2020.
- ANDRADY, A. L. Microplastics in the marine environment. **Marine Pollution Bulletin**, v. 62, p. 1596–1605, 2011.
- AZEVEDO-SANTOS, VALTER M.; GONÇALVES, GESLAINE R.L.; MANOEL, PEDRO S.; ANDRADE, MARCELO C.; LIMA, FELIPE P.; PELICICE, FERNANDO M. Plastic ingestion by fish: A global assessment. **Environmental Pollution**, v. 1, p. 112994, 2019.

- BARASARATHI, J.; AGAMUTHU, P.; EMENIKE C. U.; FAUZIAH S. H. Microplastic abundance in selected mangrove forest in Malaysia. In: **Proceeding of the ASEAN Conference on Science and Technology**. p. 1-5, 2014.
- BARLETTA, M.; BARLETTA-BERGAN, A.; SAINT-PAUL, U. Description of the fisheries structure in the mangrove-dominated region of Bragança (State of Para, North Brazil). **Ecotropica**, v. 4, p. 41–53, 1998.
- BARLETTA, M.; JAUREGUIZAR, A. J.; BAIGUN, C.; FONTOURA, N. F.; AGOSTINHO, A. A.; ALMEIDA-VAL, V. M. F.; VAL, A. L.; TORRES, R. A.; JIMENES-SEGURA, L. F.; GIARRIZZO, T.; FABRE, N. N.; BATISTA, V. S.; LASSO, C.; TAPHORN, D. C.; COSTA, M. F.; CHAVES, P. T.; VIEIRA, J. P.; CORRE, M. F. M. Fish and aquatic habitat conservation in South America: a continental overview with emphasis on neotropical systems. **Journal of fish biology**, v. 76, n. 9, p. 2118-2176, 2010.
- BARNES, D. K. A.; GALGANI, F.; THOMPSON, R. C.; BARLAZ, M. Accumulation and fragmentation of plastic debris in global environments. **Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences**, v. 364, n. 1526, p. 1985-1998, 2009.
- BARTHEM, R. B. Ocorrência, distribuição e biologia dos peixes da Baía de Marajó, Estuário Amazônico. **Boletim do Museu Paraense Emilio Goeldi, Zoologia**, v. 2(1), p. 49-69, 1985.
- BERGMANN, M.; GUTOW, L.; KLAGES, M. **Marine anthropogenic litter**. Springer, p.447, 2015.
- BRENNER, M.; KRUMME, U. Tidal migration and patterns in feeding of the four-eyed fish *Anableps anableps* L. in a north Brazilian mangrove. **Journal of Fish Biology**, v. 70, n. 2, p. 406-427, 2007.
- BROWNE, M. A. Sources and pathways of microplastics to habitats. In: **Marine anthropogenic litter**. Springer, Cham, p. 229-244, 2015.
- BROWNE, M. A.; GALLOWAY, T. S.; THOMPSON, R. C. Spatial patterns of plastic debris along estuarine shorelines. **Environmental Science & Technology**, v. 44, n. 9, p. 3404-3409, 2010.
- BROWNE, M. A.; CRUMP, P.; NIVEN, S. J.; TEUTEN, E.; TONKIN, A.; GALLOWAY, T.; THOMPSON, R. Accumulation of microplastic on shorelines worldwide: sources and sinks. **Environmental science & technology**, v. 45, n. 21, p. 9175-9179, 2011.

- CARBERRY, M.; O'CONNOR, W.; PALANISAMI, T. Trophic transfer of microplastics and mixed contaminants in the marine food web and implications for human health. *Environment international*, v. 115, p. 400-409, 2018.
- CARNEIRO, A. G.; PRESTES, Y. O.; ROLLNIC, M. Estimates of suspended solid transport in the Pará River Estuary. ***Ocean and Coastal Research***, v. 68, 2020.
- CAUWENBERGHE, L. V.; VANREUSEL, A.; MEES, J.; JANSSEN, C. R. Microplastic pollution in deep-sea sediments. ***Environmental pollution***, v. 182, p. 495-499, 2013.
- CINCINELLI, A.; SCOPETANI, C.; CHELAZZI, D.; LOMBARDINI, E.; MARTELLINI, T.; KATSOYIANNIS, A.; FOSSI, M. C.; CORSOLINI, S. Microplastic in the surface waters of the Ross Sea (Antarctica): occurrence, distribution and characterization by FTIR. ***Chemosphere***, v. 175, p. 391-400, 2017.
- COHEN, M. C. L.; LARA, R. J. Temporal changes of mangrove vegetation boundaries in Amazonia: application of GIS and remote sensing techniques. ***Wetlands Ecology and Management***, v. 11, n. 4, p. 223-231, 2003.
- COHEN, M. C. L.; LARA, R. J.; RAMOS, J. F. DA F.; DITTMAR, T. Factors influencing the variability of magnesium, calcium and potassium in waters of a mangrove creek in Bragança, North Brazil. ***Mangrove Salt Marshes***, v. 3, p. 9–15, 1999.
- COLLETTE, B. B. *Strongylura timucu* (Walbaum): a valid species of western Atlantic needlefish. ***Copeia***, v. 1968, n. 1, p. 189-192, 1968.
- CORSOLINI, S.; ADEMOLLO, N.; ROMEO, T.; GRECO, S.; FOCARDI, S. Persistent organic pollutants in edible fish: a human and environmental health problem. ***Microchemical Journal***, v. 79, n. 1-2, p. 115-123, 2005.
- COSTA, M. F.; BARLETTA, M. Microplásticos em ambientes costeiros e marinhos do Oceano Atlântico tropical e subtropical ocidental. ***Ciência Ambiental: Processos e Impactos***, v. 17, n. 11, p. 1868-1879, 2015.
- DANTAS, D. V.; BARLETTA, M.; DA COSTA, M. F. The seasonal and spatial patterns of ingestion of polyfilament nylon fragments by estuarine drums (Sciaenidae). ***Environmental Science and Pollution Research***, v. 19, n. 2, p. 600-606, 2012.
- DANTAS, N. C.; DUARTE, O. S.; FERREIRA, W. C.; AYALA, A. P.; REZENDE, C. F.; FEITOSA, C. V. Plastic intake does not depend on fish eating habits: Identification of microplastics in the stomach contents of fish on an urban beach in Brazil. ***Marine pollution bulletin***, v. 153, p. 110959, 2020.

- FENDALL, L. S.; SEWELL, M. A. Contributing to marine pollution by washing your face: microplastics in facial cleansers. **Marine pollution bulletin**, v. 58, n. 8, p. 1225-1228, 2009.
- FERREIRA, G. V. B.; BARLETTA, M.; LIMA, A. R. A.; DANTAS, D. V.; JUSTINO, A. K. S. E COSTA, M. F. Plastic debris contamination in the life cycle of Acoupa weakfish (*Cynoscion acoupa*) in a tropical estuary. **ICES Journal of Marine Science**, v. 73, n. 10, p. 2695-2707, 2016.
- FERREIRA, G. V.; BARLETTA, M.; LIMA, A. R.; MORLEY, S. A.; JUSTINO, A. K.; COSTA, M. F. High intake rates of microplastics in a Western Atlantic predatory fish, and insights of a direct fishery effect. **Environmental Pollution**, v. 236, p. 706-717, 2018.
- GALL, S. C.; THOMPSON, R. C. The impact of debris on marine life. **Marine Pollution Bulletin**, v. 92, n. 1-2, p. 170-179, 2015.
- GARCIA, T. D.; CARDOZO, A. L.; QUIRINO, B. A.; YOFUKUJI, K. Y.; GANASSIN, M. J.; DOS SANTOS, N. C.; FUGI, R. Ingestion of microplastic by fish of different feeding habits in urbanized and non-urbanized streams in southern Brazil. **Water, Air, & Soil Pollution**, v. 231, n. 8, p. 1-11, 2020.
- GESAMP. SOURCES, FATE AND EFFECTS OF MICROPLASTICS IN THE MARINE ENVIRONMENT: A GLOBAL ASSESSMENT. Join Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine Environmental Protection, 2015. Disponível em: <<http://www.gesamp.org/publications/reports-and-studies-no-90>> Acesso em: 18 de Setembro de 2019.
- GIARRIZZO, T.; ANDRADE, M. C.; SCHMID, K.; WINEMILLER, K. O.; FERREIRA, M.; PEGADO, T.; CHELAZZI, D.; CINCINELLI, A.; FEARNSIDE, P. M. Amazonia: the new frontier for plastic pollution. **Frontiers in ecology and the environment**, v. 17, p. 309-310, 2019.
- GÜVEN, O.; GÖKDAG, K.; JOVANOVIĆ, B.; KIDEYS, A. E. Microplastic litter composition of the Turkish territorial waters of the Mediterranean Sea, and its occurrence in the gastrointestinal tract of fish. **Environmental Pollution**, v. 223, p. 286-294, 2017.
- GUZZI, A. **Biodiversidade do Delta do Parnaíba Litoral piauiense**. Parnaíba: EDUFPI, p. 466, 2012.

- HAMMER, Ø.; Harper, D. A.; Ryan, P. D. PAST: Paleontological statistics software package for education and data analysis. **Palaeontologia electronica**, v. 4, n. 1, p. 9, 2001.
- INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVAVEIS – IBAMA. **Plano de gestão e diagnóstico geoambiental e socioeconômico da APA do Delta do Parnaíba**. Fortaleza, 1998.
- ISAAC, V. J.; BARTHEM, R. B. Os Recursos pesqueiros da Amazônia brasileira. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi**, série Zoologia, Belém, v. 11, n. 2, p. 295-339, 1995.
- IVAR DO SUL, J. A.; BARNES, D. K. A.; COSTA, M. F.; CONVEY, P.; COSTA, E. S.; CAMPOS, L. Plastics in the Antarctic environment: are we looking only at the tip of the iceberg?. **Oecologia Australis**, v. 15, n. 1, p. 150-170, 2011.
- KARLSSON, T. **Can microliter in sediment and biota be quantified? Method development and analysis of microliter in field collected biota and sediment**. 2015. Tese de Doutorado, University of Gothenburg and VU University of Amsterdam-IVM. 2015.
- KAWAKAMI, E.; G. VAZZOLER. Método gráfico e estimativa de índice alimentar aplicado no estudo de alimentação de peixes. **Brazilian Journal of Oceanography**. v. 29, p. 205–207, 1980.
- KELLY, M. R.; LANT, N. J.; KURR, M.; BURGESS, J. G. Importance of water-volume on the release of microplastic fibers from laundry. **Environmental science & technology**, v. 53, n. 20, p. 11735-11744, 2019.
- KJERFVE, B.; LACERDA, L. D de. **Mangroves of Brazil**. Mangrove ecosystems technical reports ITTO TS-13, v. 2, p. 245-272, 1993.
- KRAUSE, G.; Schories, D. ; Glaser, M. ; Diele, K. Spatial patterns of mangrove ecosystems: the Bragantian mangroves of Northern Brazil (Bragança, Pará). **Ecotropica**, v. 7, n. 1/2, p. 93-107, 2001.
- KUKULKA, T.; PROSKUROWSKI, G.; MORÉT-FERGUSON, S.; MEYER, D. W.; & LAW, K. L. The effect of wind mixing on the vertical distribution of buoyant plastic debris. **Geophysical Research Letters**, v. 39, n. 7, 2012.
- LAIST, DAVID W. Impacts of marine debris: entanglement of marine life in marine debris including a comprehensive list of species with entanglement and ingestion records. In: **Marine Debris**. Springer, New York, NY, p. 99-139, 1997.



- LIMA, A. R. A.; COSTA, M. F.; BARLETTA, M. Distribution patterns of microplastics within the plankton of a tropical estuary. **Environmental Research**, v. 132, p. 146-155, 2014.
- LU, Y.; ZHANG, Y.; DENG, Y.; JIANG, W.; ZHAO, Y.; GENG, J.; DING, L.; REN, H. Q. Uptake and accumulation of polystyrene microplastics in zebrafish (*Danio rerio*) and toxic effects in liver. **Environmental science & technology**, v. 50, n. 7, p. 4054-4060, 2016.
- MARTINELLI-FILHO, J. E.; MONTEIRO, R. C. P. Widespread microplastics distribution at an Amazon macrotidal sandy beach. **Marine pollution bulletin**, v. 145, p. 219-223, 2019.
- MATSUURA, Y. Exploração pesqueira. In: Ministério do Meio Ambiente dos Recursos Hídricos e da Amazônia legal. **Os ecossistemas brasileiros e os principais macrovetores de desenvolvimento**. p. 77-89, 1996.
- MACHADO-JÚNIOR, J. A. S.; MACEDO, J. P. A relação do turismo no Delta do Parnaíba com comunidades locais. **CULTUR: Revista de Cultura e Turismo**, v. 10, n. 1, p. 71-88, 2016.
- MEDRANO, D. E.; THOMPSON, R. C.; ALDRIDGE, D. C. Microplastics in freshwater systems: A review of the emerging threats, identification of knowledge gaps and prioritisation of research needs. **Water Research**, v. 75, p. 63–82, 2015.
- MINISTERIO DO MEIO AMBIENTE - MMA. **Áreas prioritárias para a conservação, utilização sustentável e repartição de benefícios da biodiversidade brasileira: Atualização - Portaria MMA nº9, de 23 de janeiro de 2007**. Ministério do Meio Ambiente. 2007
- MORÉT-FERGUSON, S; LAW, L. K, PROSKUROWSKI, G.; MURPHY, E. K.; PEACOCK, E. E.; REDDY, C. M. The size, mass, and composition of plastic debris in the western North Atlantic Ocean. **Marine Pollution Bulletin**, v. 60, n. 10, p. 1873-1878, 2010.
- NELSON, J. S.; GRANDE, T. C.; WILSON, M. V. H. **Fishes of the World**. John Wiley & Sons, 601 p., 2016.
- NIZINSKI, M. S.; MUNROE, T. A. Order Clupeiformes, Engraulidae. **The living marine resources of the Western Central Atlantic**, v. 2, p. 764-780, 2002.
- NOR, N. H. M.; OBBARD, J. P. Microplastics in Singapore's coastal mangrove ecosystems. **Marine pollution bulletin**, v. 79, n. 1-2, p. 278-283, 2014.

- PEDÀ, C.; CACCAMO, L.; FOSSI, M. C.; GAI, F.; ANDALORO, F.; GENOVESE, L.; PERDICHIZZI, A.; ROMEO, T.; MARICCHIOLO, G. Intestinal alterations in European sea bass *Dicentrarchus labrax* (Linnaeus, 1758) exposed to microplastics: preliminary results. **Environmental pollution**, v. 212, p. 251-256, 2016.
- PEGADO, T. S. S.; SCHMID, K.; WINEMILLER, K. O.; CHELAZZI, D.; CINCINELLI, A.; DEI, L.; GIARRIZZO, T. First evidence of microplastic ingestion by fishes from the Amazon River estuary. **Marine pollution bulletin**, v. 133, p. 814-821, 2018.
- PEGADO, T.; BRABO, L.; SCHMID, K.; SARTI, F.; GAVA, T. T.; NUNES, J.; CHELAZZI, D.; CINCINELLI, A.; GIARRIZZO, T. Ingestion of microplastics by *Hypanus guttatus* stingrays in the Western Atlantic Ocean (Brazilian Amazon Coast). **Marine Pollution Bulletin**, v. 162, p. 111799, 2021.
- PEREIRA, L. C.; GOMES, M. A. F.; TOSTO, S. G. Importância das áreas protegidas (por lei) na gestão ambiental sustentável. **Embrapa Territorial-Capítulo em livro científico (ALICE)**, p. 591-600, 2013.
- PLASTICS EUROPE, E. P. R. O. Plastics—the facts 2016. An analysis of European plastics production, demand and waste data. **Plastics Europe**, 2016. Disponível em: <<https://www.plasticseurope.org/en>> Acesso em: 03 de Outubro de 2019.
- PRATA, J. C.; CASTRO, J. L.; DA COSTA, J. P.; DUARTE, A. C.; ROCHA-SANTOS, T.; CERQUEIRA, M. The importance of contamination control in airborne fibers and microplastic sampling: Experiences from indoor and outdoor air sampling in Aveiro, Portugal. **Marine Pollution Bulletin**, v. 159, p. 111522, 2020.
- PRESTES, Y. O.; DA COSTA BORBA, T. A.; DA SILVA, A. C.; ROLLNIC, M. A discharge stationary model for the Pará-Amazon estuarine system. **Journal of Hydrology: Regional Studies**, v. 28, p. 100668, 2020.
- R Development Core Team, 2021. R: a Language and Environment for Statistical Computing version 4.0.5.
- RIBEIRO-BRASIL, D. R. G.; TORES, N. R.; PICANÇO, A. B.; SOUSA, D. S.; RIBEIRO, V. N.; BRASIL, L. S.; MONTAG, L. F. A. Contamination of stream fish by plastic waste in the Brazilian Amazon. **Environmental Pollution**, v. 266, p. 115241, 2020.
- ROCHMAN, C. M.; HOH, E.; KUROBE, T.; TEH, S. J. Ingested plastic transfers hazardous chemicals to fish and induces hepatic stress. **Scientific reports**, v. 3, p. 3263, 2013.

- ROSÁRIO, R. P. **Análise de processos oceanográficos no estuário do rio Pará.** 2016. 139 f. Tese (Doutorado em Geofísica) – Universidade Federal do Pará. Belém, 2016.
- SCHMID, K.; WINEMILLER, K. O.; CHELAZZI, D.; CINCINELLI, A., DEI, L.; T. First evidence of microplastic ingestion by fishes from the Amazon River estuary. **Marine Pollution Bulletin**, v. 133, p. 814-821. 2018.
- SOUZA FILHO, P. W. M. Costa de manguezais de macromaré da Amazônia: cenários morfológicos, mapeamento e quantificação de áreas usando dados de sensores remotos. **Revista Brasileira de Geofísica**, v. 23, n. 4, p. 427-435, 2005.
- SPALDING, M. D.; FOX, H. E.; ALLEN, G. R.; DAVIDSON, N.; FERDAÑA, Z. A.; FINLAYSON, M.; HALPERN, B. S.; JORGE, M. A.; LOMBANA, A. L.; LOURIE, S. A.; MARTIN, K. D.; MCMANUS, E.; MOLNAR, J.; RECCHIA, C. A.; ROBERTSON, J. Marine ecoregions of the world: a bioregionalization of coastal and shelf areas. **BioScience**, v. 57, n. 7, p. 573-583, 2007.
- SRINIVASA REDDY, M.; BASHA, S.; ADIMURTHY, S.; RAMACHANDRAIAH, G. Description of the small plastics fragments in marine sediments along the Alang-Sosiya ship-breaking yard, India. **Estuarine Coastal Shelf Science**, v. 68, n. 3-4, p. 656-660, 2006.
- TEUTEN, E. L.; SAQUING, J. M.; KNAPPE, D. R. U.; BARLAZ, M. A.; JONSSON, S.; BJORN, A.; ROWLAND, S. J.; THOMPSON, R. C.; GALLOWAY, T. S.; YAMASHITA, R.; OCHI, D.; WATANUKI, Y.; MOORE, C.; VIET, P. H.; TANA, T. S.; PRUDENTE, M.; BOONYATUMANOND, R.; ZAKARIA, M. P.; AKKHAVONG, K.; OGATA, Y.; HIRAI, H.; IWASA, S.; MIZUKAWA, K.; HAGINO, Y.; IMAMURA, A.; AHA, M.; TAKADA, H. Transport and release of chemicals from plastics to the environment and to wildlife. **Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences**, v. 364, n. 1526, p. 2027-2045, 2009.
- THIEL, M.; HINOJOSA, I., VÁSQUEZ, N., & MACAYA, E. Floating marine debris in coastal waters of the SE-Pacific (Chile). **Marine Pollution Bulletin**, v. 46, n. 2, p. 224-231, 2003.
- THOMPSON, R. C.; MOORE, C. J.; VOM SAAL, F. S.; SWAN, S. H. Plastics, the environment and human health: current consensus and future trends. **Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences**, v. 364, n. 1526, p. 2153-2166, 2009.

- THOMPSON, R.; MOORE, C.; ANDRADY, A.; GREGORY, M.; TAKADA, H.; WEISBERG, S. New directions in plastic debris. **Science**, v. 310, n. 5751, p. 1117-1117, 2005.
- TIEYU, W.; YONGLONG, L.; HONG, Z.; YAJUAN, S. Contamination of persistent organic pollutants (POPs) and relevant management in China. **Environment International**, v. 31, n. 6, p. 813-821, 2005.
- VENDEL, A. L.; BESSA, F.; ALVES, V. E. N.; AMORIM, A. L. A.; PATRÍCIO, J.; PALMA, A. R. T. Widespread microplastic ingestion by fish assemblages in tropical estuaries subjected to anthropogenic pressures. **Marine Pollution Bulletin**, v. 117, n. 1-2, p. 448-455, 2017.
- ZUBRIS, K. A. V.; RICHARDS, B. K. Synthetic fibers as an indicator of land application of sludge. **Environmental Pollution**, v. 138, n. 2, p. 201-211, 2005.