



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM OCEANOGRAFIA

STEPHAN CARTY PACHECO

**ECOLOGIA ALIMENTAR E DA CONTAMINAÇÃO POR MICROPLÁSTICOS
DE *ANCHOVIA CLUPEOIDES* E *CETENGRAULIS EDENTULUS*
(SWAINSON, 1839) NO ESTUÁRIO DO RIO GOIANA – RESEX ACAÚ-
GOIANA (PE/PB)**

Recife

2024

STEPHAN CARTY PACHECO

**ECOLOGIA ALIMENTAR E DA CONTAMINAÇÃO POR MICROPLÁSTICOS
DE *ANCHOVIA CLUPEOIDES* E *CETENGRAULIS EDENTULUS*
(SWAINSON, 1839) NO ESTUÁRIO DO RIO GOIANA – RESEX ACAÚ-
GOIANA (PE/PB)**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Oceanografia da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para obtenção do título de mestre em Oceanografia. Área de concentração: Oceanografia Biológica Correspondente ao indicado na ata de defesa.

Orientador: Prof. Dr. Mário Barletta

Recife
2024

.Catalogação de Publicação na Fonte. UFPE - Biblioteca Central

Carty, Stephan Pacheco.

Ecologia Alimentar e da Contaminação por Microplásticos de Anchovia Clupeoides e Cetengraulis Edentulus (SWAINSON, 1839) no Estuário do Rio Goiana? Resex Acaú-Goiana (PE/PB) / Stephan Carty Pacheco. - Recife, 2024.

95f.: il.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Tecnologia e Geociências, Programa de Pós-Graduação em Oceanografia, 2024.

Orientação: Mário Barletta.

1. Engraulidae; 2. Ecologia alimentar; 3. Distribuição espaço temporal; 4. Fibras de polietileno; 5. Estuário. I. Barletta, Prof. Dr. Mário. II. Título.

UFPE-Biblioteca Central

STEPHAN CARTY PACHECO

**ECOLOGIA ALIMENTAR E DA CONTAMINAÇÃO POR MICROPLÁSTICOS
DE *ANCHOVIA CLUPEOIDES* E *CETENGRAULIS EDENTULUS*
(SWAINSON, 1839) NO ESTUÁRIO DO RIO GOIANA – RESEX ACAÚ-
GOIANA (PE/PB)**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós Graduação em Oceanografia da Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Tecnologia e Geociências, como requisito para a obtenção do título de Mestre em Oceanografia. Área de concentração: Oceanografia Biológica.

Aprovado em: 01/08/2024.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Mário Barletta (Orientador)
Universidade Federal de Pernambuco - UFPE

Prof. Dr. David Valença Dantas (Examinador Externo ao Programa)
Universidade Estadual do Extremo Sul do Estado de Santa Catarina - EDESC

Prof^a. Dr^a. Maria Inês Bruno Tavares (Examinadora Externa ao Programa)
Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus Su e aos Sagrados Mestres Sukuinushisama, Seishusama e Oshienushisama por toda a sua luz, proteção e orientação durante todo esse tempo.

À Universidade Federal de Pernambuco, ao Departamento de Oceanografia, ao Laboratório de Ecologia e Manejo de Ecossistemas Costeiros e Estuarinos (LEGECE), em especial, gostaria de agradecer à Profa. Dra. Maria Inês Bruno Tavares e ao Instituto de Macromoléculas Professora Eloisa Mano, ao Prof. Dr. Francisco A. J. Cysneiros, do Departamento de Estatística da UFPE e ao Prof. Dr. David Valença Dantas da Universidade Estadual do Extremo Sul do Estado de Santa Catarina, pela contribuição no desenvolvimento desta dissertação de mestrado.

À Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia do Estado de Pernambuco (FACEPE) pela bolsa IBPG-1108-1.08/22 que me ajudou a realizar todas as minhas atividades.

Gostaria de agradecer especialmente ao meu orientador o Prof. Dr. Mário Barletta por ser um pai científico para mim, por todo o seu apoio, conselhos, amizade e toda a sua dedicação no meu desenvolvimento como cientista. Graças a toda a contribuição que ele deu foi possível a realização deste estudo e de minha formação como profissional na ciência.

Aos meus avós Luz, Carlos, Yrma e Alfredo que estão e não estão neste mundo físico, aos meus pais Henry e Claudia; meus tios Vero, Jeannette, Alfredo, Glen e Mauricio e primos que considero irmãos Martin, Gabriel, Silvana e Christian que sempre me deram todo o apoio e energia para seguir em frente.

Aos meus grandes amigos Roger Melo, Ester Dos Santos, Julia Pereira que, desde que iniciei minha vida acadêmica no Brasil, sempre me ajudaram no desenvolvimento desta pesquisa. Também gostaria de agradecer ao Prof. Dr. Antonio Lazarte de Arequipa-Peru, por seus bons desejos neste belo caminho científico e por seu apoio moral à distância e à Universidad Nacional de San Agustin de Arequipa por ser o lugar onde todo esse maravilhoso sonho começou.

Finalmente, gostaria de agradecer a todas as pessoas que, de uma forma ou de outra, me incentivaram e me ajudaram a escolher o caminho certo.

RESUMO

Este estudo descreve a distribuição espaço temporal da densidade e biomassa, a ecologia alimentar e a contaminação por microplásticos nas diferentes fases ontogenéticas de *A. clupeioides* e *C. edentulus* no estuário do Rio Goiana (Nordeste do Brasil). *A. clupeioides* é considerada uma espécie estuarina porque utiliza o estuário para completar seu ciclo de vida, enquanto a *C. edentulus* é considerada uma espécie marinha estuarina dependente, porque entra no ecossistema estuarino durante a estação seca para completar seu ciclo de vida, quando o estuário passa a ser influenciado pelas águas neríticas. *A. clupeioides* foi encontrado em todas as porções do estuário principalmente nas estações final da chuva e final da seca. O berçário para esta espécie foi observado na porção inferior do estuário durante a estação final da chuva. *C. edentulus* foi encontrado nas porções superior e inferior do estuário principalmente na estação final da seca, quando a salinidade incrementou na porção interna do estuário. A ausência de juvenis para esta espécie sugere que o berçário se localiza na região costeira. *A. clupeioides* apresentou uma dieta composta principalmente por Zooplâncton e por isso, foi considerado um consumidor secundário pelágico. Os exemplares adultos se alimentaram principalmente por copépodos no estuário inferior durante o início da chuva quando se contaminaram principalmente por MPs pretos. Larvas de *A. flexuosa* foram consumidas por subadultos na porção inferior durante a estação final da chuva e por juvenis na porção inferior durante o final da seca quando se contaminaram pelo mesmo tipo e cor de MPs. Além disso, larvas de Gastropoda foram consumidas principalmente por juvenis desta espécie, principalmente na porção intermediária durante a estação início da seca quando os indivíduos de *A. clupeioides* se contaminou também por MPs de cor preta. A espécie *C. edentulus* apresentou uma dieta principalmente por fitoplâncton e por isso foi classificada como consumidor primário pelágico. Tanto os indivíduos adultos como subadultos se alimentaram principalmente por *Coscinodiscus* sp. e *Actinophthycus* sp. na porção inferior durante a estação final da chuva. Neste momento os adultos se contaminaram com MPs azuis e vermelhos. Os subadultos não apresentaram contaminação por MPs. As amostras de MPs foram analisadas pela espectroscopia no infravermelho por transformada de Fourier (FTIR), onde concluiu-se que todas as amostras analisadas de MPs são compostas por polietileno.

Palavras-chave: Engraulidae; ecologia alimentar; distribuição espaço temporal; fibras de polietileno; estuário

ABSTRACT

This study describes the spatial and temporal distribution of density and biomass, food ecology and contamination by microplastics (MPs) in the different ontogenetic phases of *A. clupeioides* and *C. edentulus* in the Goiana River estuary (Northeast Brazil). *A. clupeioides* is considered an estuarine species because it uses the estuary to complete its life cycle, while *C. edentulus* is considered an estuarine-dependent marine species because it enters the estuarine ecosystem during the dry season to complete its life cycle, when the estuary becomes influenced by neritic waters. *A. clupeioides* were found in all portions of the estuary, mainly in the late rainy and late dry seasons. The nursery for this species was observed in the lower portion of the estuary during the late rainy season. *C. edentulus* was found in the upper and lower portions of the estuary mainly in the late dry season, when salinity increased in the inner portion of the estuary. The absence of juveniles for this species suggests that the nursery is in the coastal region. *A. clupeioides* had a diet composed mainly of zooplankton and was therefore considered a pelagic secondary consumer. Adult specimens fed mainly on copepods in the lower estuary during the beginning of the rainy season when they were mainly contaminated by black MPs. *A. flexuosa* larvae were consumed by subadults in the lower portion during the final rainy season and by juveniles in the lower portion during the end of the dry season when they were contaminated by the same type and color of MPs. In addition, gastropod larvae were consumed mainly by juveniles of this species, mainly in the intermediate portion during the beginning of the dry season when *A. clupeioides* individuals were also contaminated by black MPs. The species *C. edentulus* had a diet mainly of phytoplankton and was therefore classified as a pelagic primary consumer. Both adults and subadults fed mainly on *Coscinodiscus* sp. and *Actinophthycus* sp. in the lower portion during the final rainy season. At this time, adults were contaminated with blue and red MPs. Subadults did not show any MP contamination. MP samples were analyzed by Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR), where it was concluded that all MP samples analyzed were composed of polyethylene.

Keywords: Engraulidae; feeding ecology; spatial and seasonal distribution; polyethylene fibers; estuary

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 –	Estuário do Rio Goiana, situado na região nordeste do Brasil entre os estados de Pernambuco e Paraíba. Os pontos marcados por  representam a entrada dos canais de maré e  indica a estação meteorológica. As diferentes áreas do canal principal (superior, intermediário e inferior) estão representadas por [---].....	25
Figura 2 –	Delineamento amostral uso do habitat segundo BARLETTA <i>et al.</i> , (2020)	26
Figura 3 –	Delineamento amostral de alimentação e contaminação por microplásticos segundo BARLETTA <i>et al.</i> , (2020).....	28
Figura 4 –	Precipitação total (mm) por mês no estuário do Rio Goiana entre 2005 e 2009.....	36
Figura 5 –	Média e Erro padrão dos parâmetros físico-químicos do estuário do Rio Goiana, salinidade (a), oxigênio dissolvido (mg/L) (b), profundidade de Secchi (cm) (c) e temperatura (°C) (d); na área superior (linha azul), intermediária (linha verde), inferior (linha vermelha) entre 2005 e 2009.....	38
Figura 6 –	Classificação ontogenética do <i>A. clupeioides</i> em juvenil (vermelho), subadulto (azul) e adulto (amarelo).....	41

Figura 7 –	Classificação ontogenética do <i>C. edentulus</i> em Larva (verde), juvenil (vermelho), subadulto (azul) e adulto (amarelo).....	41
Figura 8 -	Regressão logística para machos e fêmeas de <i>A. clupeoides</i> .	42
Figura 9 –	Regressão logística para machos e fêmeas de <i>C. edentulus</i> .	42
Figura 10 –	Gráficos dos Resíduos versus valores ajustados (a), resíduos versus índice (b), estimativa de densidade (c) e ajuste à distribuição normal (d) do modelo de regressão ZAGA para a densidade de <i>A. clupeoides</i>	45
Figura 11 –	Gráficos dos Resíduos versus valores ajustados (a), resíduos versus índice (b), estimativa de biomassa (c) e ajuste à distribuição normal (d) do modelo de regressão ZAGA para a densidade de <i>A. clupeoides</i>	45
Figura 12 –	Gráficos dos Resíduos versus valores ajustados (a), resíduos versus índice (b), estimativa de densidade (c) e ajuste à distribuição normal (d) do modelo de regressão Gamma para a densidade de <i>C. edentulus</i>	46
Figura 13 –	Gráficos dos Resíduos versus valores ajustados (a), resíduos versus índice (b), estimativa de biomassa (c) e ajuste à distribuição normal (d) do modelo de regressão Gamma para a densidade de <i>C. edentulus</i>	46
Figura 14 –	Média e Erro padrão (E.P.) da densidade nas diferentes fases ontogenéticas (juvenil: branco; subadulto: preto; adulto: vermelho) de <i>A. clupeoides</i> (A) e <i>C. edentulus</i> (B) nas estações de início da seca (ED), final da seca (LD), início da	

	chuva (ER) e final da chuva (LR) para as diferentes áreas (superior, intermediário e inferior) do estuário do Rio Goiana (PE/PB).....	48
Figura 15 –	Média e Erro padrão (E.P.) da biomassa nas diferentes fases ontogenéticas (juvenil: branco; subadulto: preto; adulto: vermelho) de <i>A. clupeioides</i> (A) e <i>C. edentulus</i> (B) (juvenil, subadulto e adulto) nas estações de início da seca (ED), final da seca (LD), início da chuva (ER) e final da chuva (LR) para as diferentes áreas (superior, intermediário e inferior) do estuário do Rio Goiana (PE/PB)	49
Figura 16 –	Itens alimentar de <i>A. clupeioides</i> : (A) Copépodos, (B) Larva de Gastropoda, (C) Larvas de Zoe, (D) Larva de <i>Anomalocardia flexuosa</i> e (E) <i>Halodule wrightii</i>	50
Figura 17 –	Contaminação por microplásticos (MPs) em <i>A. clupeioides</i> . (A) Fibra Preta; (B) Fibra Azul; (C) Fibra Vermelha; (D) Filme Azul.....	50
Figura 18 –	Frequências de ocorrência em porcentagem (FO%) das presas ingeridas nas diferentes fases ontogenéticas (juvenil: branco; subadulto: preto; adulto: vermelho) de <i>A. clupeioides</i> nas estações de início da seca (ED), final da seca (LD), início da chuva (ER) e final da chuva (LR) para as diferentes áreas (superior, intermediário e inferior) do estuário do Rio Goiana (PE/PB).....	52
Figura 19 –	Média e erro padrão (E.P.) do número das presas ingeridas nas diferentes fases ontogenéticas (juvenil: branco;	

	subadulto: preto; adulto: vermelho) de <i>A. clupeioides</i> nas estações de início da seca (ED), final da seca (LD), início da chuva (ER) e final da chuva (LR) para as diferentes áreas (superior, intermediário e inferior) do estuário do Rio Goiana (PE/PB)	53
Figura 20 –	Frequências de ocorrência em porcentagem (FO%) das cores mais relevantes dos microplásticos (preto, azul e vermelho) ingeridas nas diferentes fases ontogenéticas (juvenil: branco; subadulto: preto; adulto: vermelho) de <i>A. clupeioides</i> nas estações início da seca (ED), final da seca (LD), início da chuva (ER) e final da chuva (LR) para as diferentes áreas (superior, intermediário e inferior) do estuário do Rio Goiana (PE/PB).....	55
Figura 21 -	Média e erro padrão (E.P.) do número das cores mais relevantes dos microplásticos (preto, azul e vermelho) ingeridas nas diferentes fases ontogenéticas (juvenil: branco; subadulto: preto; adulto: vermelho) de <i>A. clupeioides</i> nas estações início da seca (ED), final da seca (LD), início da chuva (ER) e final da chuva (LR) para as diferentes áreas (superior, intermediário e inferior) do estuário do Rio Goiana (PE/PB).....	56
Figura 22 –	Itens Alimentar de <i>C. edentulus</i> . (a) <i>Coscinodiscus</i> sp. e (b) <i>Actinophthycus</i> sp., (c) <i>Chaetoceros</i> sp e (d) Copépodos.....	56
Figura 23 -	Contaminação por microplásticos (MPs) em <i>C. edentulus</i> . (a) Fibra Azul e (b) Fibra Vermelha.....	57

Figura 24 –	Frequências de ocorrência em porcentagem (FO%) das presas ingeridas nas diferentes fases ontogenéticas (juvenil: branco; subadulto: preto; adulto: vermelho) de <i>C. edentulus</i> nas estações de início da seca (ED), final da seca (LD), início da chuva (ER) e final da chuva (LR) para as diferentes áreas (superior, intermediário e inferior) do estuário do Rio Goiana (PE/PB)	58
Figura 25 -	Média e erro padrão (E.P.) do número das presas ingeridas nas diferentes fases ontogenéticas (juvenil: branco; subadulto: preto; adulto: vermelho) de <i>C. edentulus</i> nas estações de início da seca (ED), final da seca (LD), início da chuva (ER) e final da chuva (LR) para as diferentes áreas (superior, intermediário e inferior) do estuário do Rio Goiana (PE/PB)	60
Figura 26 –	Frequências de ocorrência em porcentagem (FO%) dos cores mais relevantes dos microplásticos (preto, azul, vermelho e verde) ingeridas nas diferentes fases ontogenéticas (juvenil: branco; subadulto: preto; adulto: vermelho) de <i>C. edentulus</i> nas estações início da seca (ED), final da seca (LD), início da chuva (ER) e final da chuva (LR) para as diferentes áreas (superior, intermediário e inferior) do estuário do Rio Goiana (PE/PB).....	61
Figura 27 –	Média e erro padrão (E.P.) do número das cores mais relevantes dos microplásticos (preto, azul, vermelho e verde) ingeridas nas diferentes fases ontogenéticas (juvenil: branco; subadulto: preto; adulto: vermelho) de <i>C. edentulus</i> nas estações início da seca (ED), final da seca (LD), início da chuva (ER) e final da chuva (LR) para as diferentes áreas	

	(superior, intermediário e inferior) do estuário do Rio Goiana (PE/PB).....	61
Figura 28 –	Gráficos dos Resíduos versus valores ajustados (a), resíduos versus índice (b), estimativa de densidade (c) e ajuste à distribuição normal (d) do modelo de regressão binomial ZINBI para a contaminação por MP de <i>A. clupeioides</i>	63
Figura 29 –	Gráficos dos Resíduos versus valores ajustados (a), resíduos versus índice (b), estimativa de densidade (c) e ajuste à distribuição normal (d) do modelo de regressão binomial ZINBI para a contaminação por MP de <i>C. edentulus</i>	65
Figura 30 –	O espectro FTIR da amostra de microplásticos em juvenis de <i>A. clupeioides</i> , fibras pretas (a) e fibras azuis (b), os gráficos mostraram que o polímero base está degradado.....	66
Figura 31 –	O espectro FTIR da amostra de microplásticos em subadultos de <i>A. clupeioides</i> , fibras pretas (a) e fibras azuis (b), os gráficos mostraram que o polímero base está degradado.....	68
Figura 32 –	O espectro FTIR da amostra de microplásticos em adultos de <i>A. clupeioides</i> , fibras pretas (a) e fibras azuis (b), os gráficos mostraram que o polímero base está degradado.....	69
Figura 33 –	O espectro FTIR da amostra de microplásticos em adultos de <i>C. edentulus</i> , fibras azuis (a) e fibras vermelhas (b), os gráficos mostraram que o polímero base está degradado.....	70

Figura 34 -	O espectro FTIR da amostra de plástico em adultos de <i>A. clupeioides</i> o gráfico mostrou que o polímero base está degradado.....	71
Figura 35 –	Análise de Correspondência Canônica (ACC) para correlações entre contaminação por MP, itens alimentares e variáveis ambientais. As setas representam os parâmetros ambientais chuva (Rain), temperatura (Temp), salinidade (Sal), O ₂ oxigênio dissolvido e secchi (Secchi). Os triângulos (Δ) representam a contaminação por MP azuis (MP Blue), MP pretos (MP Black) e MP vermelhos (MP Red) e os itens alimentares (copepoda (COP), Larva de gastropoda (GASTLarv), Larvas de <i>Anomalocardia flexuosa</i> (ANOMLarv), Larvas de Decapoda Zoe (ZOEDECA), <i>Coscinodiscus sp</i> (COSCI), e <i>Actinophthycus sp</i> (ACTINOP). Os círculos (O) representam as interações entre os fatores área (A1; superior, A2; intermediário e A3; inferior), estação (ED; início da seca, LD; final da seca, ER; início da chuva e LR; final da chuva) e fases ontogenéticas de <i>A. clupeioides</i> e <i>C. edentulus</i> (juvenil, subadulto e adulto) no estuário do Rio Goiana.....	73
Figura 36 –	Modelo conceitual da distribuição, ecologia alimentar e contaminação por MP das fases ontogenéticas (juvenil, subadulto e adulto) de <i>A. clupeioides</i> e <i>C. edentulus</i> em função das estações (início da seca, Final da seca, início da chuva e final da chuva) e áreas (Superior, Intermediário e Inferior) no estuário do Rio Goiana (PE/PB)	78
Figura 37 –	Evidência de contaminação por MPs em indivíduos de <i>A. clupeioides</i> e <i>C. edentulus</i> . (A) juvenil de <i>A. clupeioides</i>	

contaminado com MPs pretos e azuis. (B) subadulto de *A. clupeioides* contaminados com MPs pretos, azuis e vermelhos. (C) adultos de *A. clupeioides* contaminados com MPs pretos, azuis e vermelhos. (D) adultos de *C. edentulus* contaminados com MPs azuis e vermelhos..... 80

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1 – Sumário da distribuição ZAGA para os dados da densidade e biomassa de *A. clupeioides* com as áreas superior, intermediária e inferior, estações início da seca (IS), final da seca (FS), início da chuva (IC) e final da chuva (FC), fases ontogenéticas (juvenil, subadulto e adulto), variáveis ambientais (O₂, Secchi, temperatura e salinidade) no estuário do Rio Goiana (PE/PB) (Códigos de Significância: NS não significativo, 0 **** 0,001 *** 0,01 ** 0,05 ' 0,01 ' ' 1)..... 43
- Tabela 2 – Sumário da distribuição Gamma para os dados da densidade e biomassa de *C. edentulus* com as áreas superior, intermediária e inferior, estações início da seca (IS), final da seca (FS), início da chuva (IC) e final da chuva (FC), fases ontogenéticas (juvenil, subadulto e adulto), variáveis ambientais (O₂, Secchi, temperatura e salinidade) no estuário do Rio Goiana (PE/PB) (Códigos de Significância: NS não significativo, 0 **** 0,001 *** 0,01 ** 0,05 ' 0,01 ' ' 1)..... 43
- Tabela 3 – Resumo do modelo de regressão ZINBI para os dados de contaminação por MP em *A. clupeioides* com os fatores estações (início da chuva, final da chuva e início da seca), variáveis ambientais (O₂ dissolvido na água e a profundidade do disco de Secchi) e presa (Zooplâncton) (Códigos de Significância: NS não significativo, 0 **** 0,001 *** 0,01 ** 0,05 ' 0,01 ' ' 1)..... 62
- Tabela 4 – Resumo do modelo de regressão ZIP para os dados de contaminação por MP em *C. edentulus* com os fatores

estações (início da chuva, final da chuva e início da seca),
 variáveis ambientais (O₂ dissolvido na água e a profundidade
 do disco de Secchi) e presa (Zooplâncton) (Códigos de
 Significância: NS não significativo, 0 '***' 0,001 '**' 0,01 '*' 0,05
 '.' 0,01 '' 1)..... 64

Tabela 5 – Resumo da Análise de Correspondência Canônica (ACC)
 utilizando as variáveis ambientais (chuva, temperatura, Secchi,
 O₂ e salinidade), as presas mais importantes e a contaminação
 por MP (fibras azuis e filmes pretos) ingeridas por *A.*
clupeoides e *C. edentulus* nas estações IS; início da seca, FS;
 final da seca, IC; início da chuva e FC; final da chuva no
 estuário do Rio Goiana (PE/PB) (Códigos de Significância: NS
 não significativo, 0 '***' 0,001 '**' 0,01 '*' 0,05 '.' 0,01 '' 1)..... 74

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	22
2	OBJETIVOS.....	24
2.1	OBJETIVO GERAL.....	24
2.2	OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	24
3	MATERIAIS E MÉTODOS.....	24
3.1	ÁREA DE ESTUDO.....	24
3.2	PROCEDIMENTO AMOSTRAL.....	25
3.3	VARIAVEIS AMBIENTAIS.....	26
3.4	CLASSIFICAÇÃO ECOLÓGICA E IDENTIFICAÇÃO DAS FASES ONTOGENÉTICAS DAS ESPÉCIES DE PEIXES.....	27
3.5	ECOLOGIA ALIMENTAR E DA CONTAMINAÇÃO POR MICROPLÁSTICOS.....	28
3.6	ANÁLISE DA ESTRUTURA DO POLÍMERO MICROPLÁSTICO.....	30
3.7	ANÁLISE DE DADOS.....	30
3.7.1	ANÁLISE DA DIETAS DAS ESPÉCIES DE PEIXES PLANCTÓFAGAS.....	31
3.8	ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	32
3.9	ANÁLISES MULTIDIMENSIONAL (ANÁLISE DE CORRESPONDÊNCIA CANÔNICA – ACC)	35
4	RESULTADOS.....	36
4.1	VARIÁVEIS AMBIENTAIS.....	36
4.2	DEFINIÇÃO DAS FASES ONTOGENÉTICAS.....	40
4.3	MODELOS DE DISTRIBUIÇÃO ESPAÇO TEMPORAL.....	43
4.4	MUDANÇAS ONTOGENÉTICAS NA DIETA, PADRÕES DE ALIMENTAÇÃO ESPAÇO TEMPORAIS E CONTAMINAÇÃO POR MICROPLÁSTICOS.....	50

4.4.1	ECOLOGIA ALIMENTAR E DA CONTAMINAÇÃO POR MICROPLÁSTICOS E <i>ANCHOVIA CLUPEOIDES</i>	50
4.4.2	ECOLOGIA ALIMENTAR E DA CONTAMINAÇÃO POR MICROPLÁSTICOS E <i>CETENGRAULIS. EDENTULUS</i>	56
4.4.3	MODELO DE REGRESSÃO PARA EXPLICAR A CONTAMINAÇÃO POR MPs EM ESPÉCIES DE PEIXES PLANTÓFAGAS.....	62
4.4.4	ESTRUTURA BÁSICA DO MPs (POLÍMERO).....	66
5	INFLUÊNCIA DAS VARIÁVEIS AMBIENTAIS NOS PADRÕES DE CONTAMINAÇÃO POR MPs E INGESTÃO DAS PRESAS.....	72
5	DISCUSSÃO.....	75
6	CONCLUSÃO.....	82
7	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	83
8	REFERÊNCIAS.....	84

1. INTRODUÇÃO

O ecossistema estuarino exerce um papel importante na estruturação ecológica, social e econômica das zonas costeiras (ODUM, 1984). Por possuir habitats propícios para a reprodução, alimentação, crescimento e proteção para muitas espécies, os estuários possuem alta biodiversidade que viabiliza interações ecológicas e de contaminação na teia trófica de um ecossistema aquático (FERREIRA *et al.*, 2019a). Além disso, estabelecem uma conexão entre os ecossistemas continentais e marinhos, essa característica de transição, proporciona um gradiente para os parâmetros físico-químicos que são afetados também pela variabilidade sazonal. Isso resulta na formação de uma ecoclina caracterizada por uma sucessão de espécies ao longo do gradiente de salinidade (BARLETTA *et al.*, 2005, 2008). Se levarmos em consideração essas informações, qualquer modificação que ocorra em um ecossistema estuarino pode modificar a vazão do rio e por consequência a mudança da ecoclina salina em um estuário (BARLETTA *et al.*, 2016, 2023).

Contudo, a flutuação sazonal dos parâmetros físico-químicos não parece ser um problema para produtividade estuarina, já que muitas espécies de peixes se reproduzem nesses ambientes (WHITFIELD *et al.*, 2023). Embora, algumas dessas espécies também possam ter populações reprodutivas em ambientes marinhos ou até mesmo em ambientes adjacentes de água doce, isso não altera o fato de que essas espécies dependam dos ecossistemas estuarinos para completar o seu ciclo de vida. Levando em consideração essas informações sobre as características ambientais de um ecossistema estuarino, as espécies de peixes planctófagas estuarinas e marinhas poderiam ser afetadas por mudanças na composição e concentração do plâncton.

Dois exemplos de espécies planctófagas que ocorrem no estuário do Rio Goiana são a *Anchovia clupeioides* e a *Cetengraulis edentulus* (Swainson, 1839), pertencentes à família Engraulidae (Pisces), conhecidas popularmente como manjubas. Essas espécies chamam a atenção por necessitarem dos ecossistemas estuarinos tropicais do Atlântico Ocidental para completar seu ciclo de vida (FROESE; PAULY, 2019). Essas espécies são planctófagas (SEQUINE *et al.*, 2018), importantes presas para os indivíduos adultos de *Cynoscion acoupa* (FERREIRA *et al.*, 2016), *Centropomus spp.* (FERREIRA *et al.*, 2019a) e *Rhizoprionodon porosus* (MELO *et al.*, 2024). Com base nessas informações, essas espécies são reconhecidas como um importante elo trófico entre os consumidores primários e terciários tanto na região costeira como nos estuários.

Em estudos realizados por BARLETTA-BERGAN *et al.*, (2002a, b), BARLETTA *et al.*, (2003, 2005) em um estuário localizado na Amazônia oriental, os autores concluíram que *A. clupeioides* e *C. edentulus* são umas das espécies mais importantes desse ecossistema. As suas densidades variam de acordo com a flutuação sazonal da salinidade, influenciando na sua distribuição nos

diferentes habitats do ecossistema estuarino. A mesma tendência para as larvas destas espécies foi observada em um estuário localizado no extremo oriental da América do Sul (estuário do Rio Goiana PE/PB). Com tudo, para esse estuário ainda não foi realizado estudos sobre essas espécies planctófagas.

Os estudos realizados neste estuário tiveram como objetivo descrever a distribuição espaço-temporal, ecologia alimentar e contaminação por microplásticos (MPs) de peixes pertencentes a níveis tróficos superiores da teia trófica, destacando as espécies das famílias Ariidae (bagres, DANTAS *et al.*, 2013), Gerreidae (carapebas; RAMOS *et al.*, 2016), Haemulidae (roncador, SILVA *et al.*, 2018), Sciaenidae (cocorocas e pescadas amarelas; DANTAS *et al.*, 2015; FERREIRA *et al.*, 2016) e Centropomidae (camurin, FERREIRA *et al.*, 2018, 2019a, b). Todos esses estudos concluíram que existe uma mudança na dieta das diferentes fases ontogenéticas de cada espécie ao longo de seu ciclo de vida. Além disso, cada fase ontogenética utiliza diferentes porções do ecossistema estuarino para satisfazer as suas demandas fisiológicas e biológicas. Por exemplo, dependendo da estação do ano, a porção superior do estuário pode ser utilizada como berçário por diferentes espécies de peixes (DANTAS *et al.*, 2015, RAMOS *et al.*, 2018, SILVA *et al.*, 2018).

Durante o tempo que passam em estuários, as diferentes fases ontogenéticas das espécies de peixes são vulneráveis, à contaminação por microplásticos enquanto se alimentam (BROWNE *et al.*, 2008; ROCHMAN *et al.*, 2013). Essa preocupação emergente resulta de relatos de que os habitats estuarinos provavelmente estejam contaminados com microplásticos (LEBRETON *et al.*, 2017; LUSHER *et al.*, 2017a). Como *A. clupeioides* e *C. edentulus* são filtradores de plâncton, acredita-se que a contaminação por MP nestas espécies venha através do séston.

No estuário do Rio Goiana, a variação sazonal, ecologia trófica e contaminação por MPs de espécies planctófagas (consumidores primários e secundários) ainda não foram realizados. Assim, *A. clupeioides* e *C. edentulus* podem ser considerada uma espécie importante por ser um elo de fluxo de energia e contaminação por microplásticos na teia trófica deste ecossistema estuarino tropical.

Com base nessas informações, este estudo tem como hipótese que a flutuação sazonal dos parâmetros físico-químicos influencia na distribuição e ecologia alimentar e na contaminação por microplásticos nas diferentes fases ontogenéticas de *A. clupeioides* e *C. edentulus* no estuário do Rio Goiana.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Investigar a distribuição espacial e sazonal da densidade e da biomassa na ecologia alimentar e contaminação por microplásticos nas diferentes fases ontogenéticas de *A. clupeioides* e *C. edentulus* no estuário do Rio Goiana.

2.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

Classificar *A. clupeioides* e *C. edentulus* de acordo com a sua ontogenia em juvenil, subadulto e adulto.

Identificar o eventual uso dos habitats do estuário do Rio Goiana como área de berçário por *A. clupeioides* e *C. edentulus*.

Descrever a variação na composição da dieta em função do desenvolvimento ontogenético de *A. clupeioides* e *C. edentulus* no estuário do Rio Goiana.

Descrever a contaminação por microplásticos do desenvolvimento ontogenético em *A. clupeioides* e *C. edentulus* no estuário do Rio Goiana.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

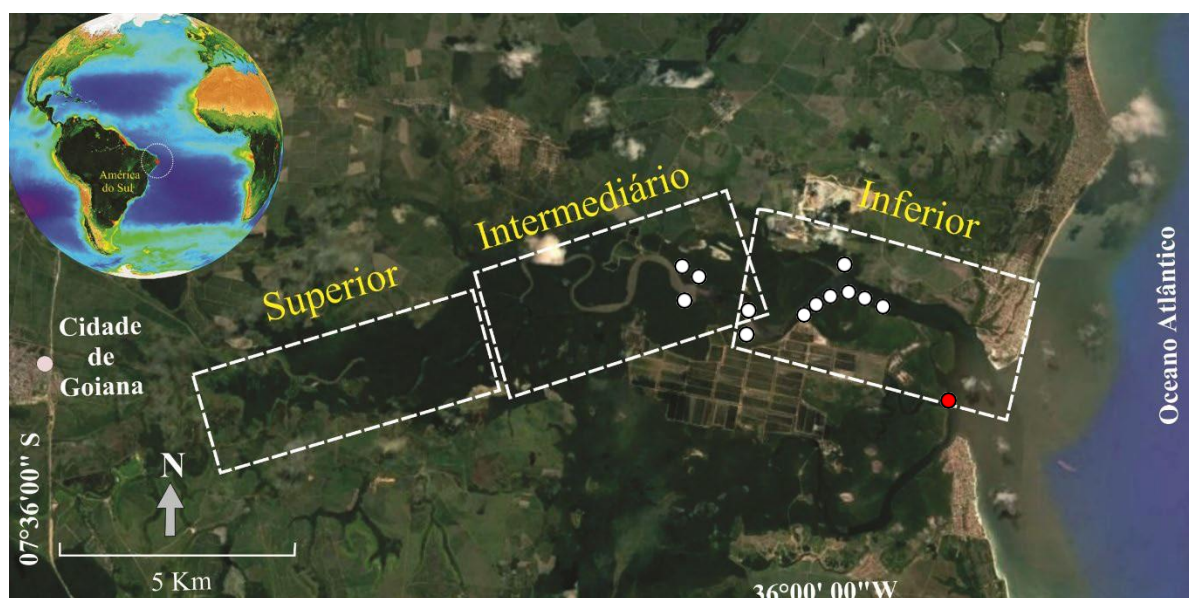
3.1 ÁREA DE ESTUDO

O estuário do Rio Goiana está situado no extremo oriental da América do Sul, na região nordeste do Brasil, entre os estados de Pernambuco e Paraíba (Figura 1). O ecossistema estuarino possui uma área total de 4700 ha e apresenta uma grande diversidade de habitats costeiros, sendo eles: o canal principal do rio, a planície de maré, a floresta de mangue que circunda todo o estuário, praias arenosas localizadas na foz do estuário, além da região costeira influenciada pela pluma do rio (BARLETTA & COSTA, 2009). O canal principal foi dividido de acordo com sua morfologia e salinidade (Figura 1) em estuário superior (Área 1: salinidade < 5), intermediário (Área 2: salinidade 5 – 20) e inferior (Área 3: salinidade > 20) (BARLETTA & COSTA, 2009).

Devido a sua importância socioeconômica e para a biodiversidade, no ano de 2007 foi criada uma unidade de conservação do tipo reserva extrativista no estuário do Rio Goiana (Resex Acaú-Goiana, PE/PB), que tem como objetivo desenvolver o uso sustentável dos recursos naturais

do ambiente pelas populações tradicionais (BARLETTA & COSTA, 2009). O clima da região é classificado como tropical, com uma temperatura média do ar de 27°C, apresentando uma pequena amplitude de 2°C. De acordo com as características pluviométricas, a sazonalidade deste ambiente apresenta quatro estações: o início do período chuvoso (março, abril e maio), o fim do período chuvoso (junho, julho e agosto), o início da seca (setembro, outubro e novembro) e o final da seca (dezembro, janeiro e fevereiro) (BARLETTA & COSTA, 2009).

Figura 1 - Estuário do Rio Goiana, situado na região nordeste do Brasil entre os estados de Pernambuco e Paraíba. Os pontos marcados por $\circ$ representam a entrada dos canais de maré e $\bullet$ indica a estação meteorológica. As diferentes áreas do canal principal (superior, intermediário e inferior) estão representadas por um retângulo [---].



Fonte: LEGECE - UFPE.

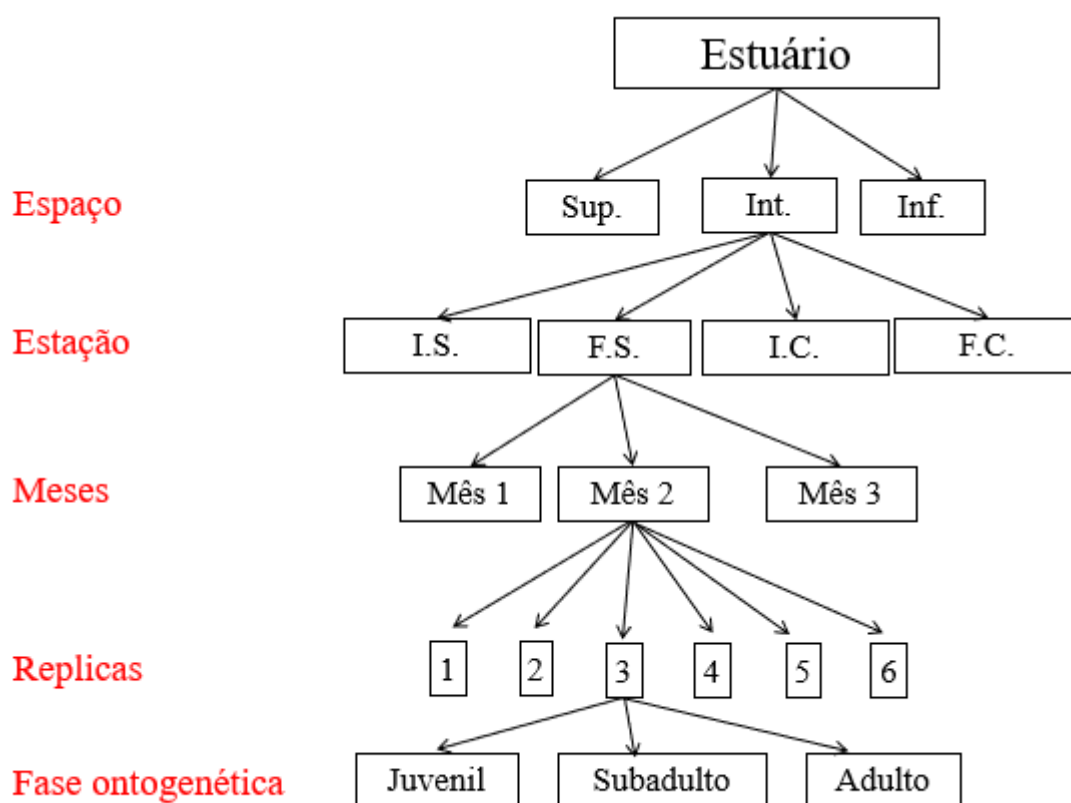
3.2 PROCEDIMENTO AMOSTRAL

A coleta da ictiofauna e das variáveis abióticas deste estudo foram realizadas, durante a execução de diversos projetos de pesquisa (Projeto FACEPE Nº: APQ-0586-1.08/06, APQ- 0911-1.08/12; Projeto Universal CNPq Nº: 37384/2004-7, 474736/2004 e 482921/2007-2, CT- Hidro 29/2007/CNPq Nº: 552896/2007-1, 405818/2012-2/COAGR/PESCA) realizados com o suporte de uma autorização ambiental para atividades com finalidade científica (SISBIO nº 11050-1).

No canal principal, as amostragens foram realizadas por uma rede de arrasto com portas, com malha de 35 mm no copo da rede, 22 mm no saco e 5 mm no sobre saco. Seis réplicas foram realizadas mensalmente em cada área do estuário entre dezembro de 2005 e novembro de 2006. Adicionalmente, foram realizadas amostragens complementares (seis réplicas) no fim do período chuvoso (junho, julho e agosto) e no fim do período de seca (dezembro, janeiro e fevereiro) entre 2006 e 2009 (Figura 2). Os arrastos foram realizados durante a maré de quadradura, por um período de 15 min, em uma profundidade média de 2 a 5 metros (BARLETTA *et al.*, 2005, 2008).

Nos canais de maré, as coletas foram realizadas com o auxílio de uma rede de tapagem de 35 m de comprimento e 5 m de altura (malha de 10 mm), entre os meses de abril e maio de 2008 (três réplicas por fase lunar), para obtenção de exemplares que utilizam esse habitat durante a fase juvenil de *C. edentulus* e *A. clupeoides*. A rede foi fixada na entrada dos canais de maré durante a preamar e posteriormente retirada na baixa-mar (RAMOS *et al.*, 2011).

Figura 2 - Delineamento amostral para o uso do habitat segundo BARLETTA *et al.*, (2020).



Fonte: Modificado de BARLETTA *et al.*, 2020.

3.3 VARIÁVEIS AMBIENTAIS

Antes de cada amostragem da ictiofauna, foram obtidos diversos parâmetros físico- químicos da água de superfície e de fundo, como temperatura (°C), salinidade (Salinometer WTW LF 197), oxigênio dissolvido (mg/L) (Oximeter WTW Oxi 340) e profundidade do Disco de Secchi (cm). Os dados meteorológicos referentes à pluviometria foram coletados *in situ* por uma estação meteorológica situada na área de estudo (Figura 1). Adicionalmente, uma série histórica de dados de pluviometria foi compilada do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 2014).

3.4 CLASSIFICAÇÃO ECOLÓGICA E IDENTIFICAÇÃO DAS FASES ONTOGENÉTICAS DAS ESPÉCIES DE PEIXES

A classificação ecológica das espécies *A. clupeioides* e *C. edentulus* foi realizada através das guildas propostas por ELLIOTT et al., (2007) em função à distribuição e sazonalidade. Espécies estuarinas são aquelas que completam o seu ciclo de vida no estuário (eg. *A. clupeioides*). A outra guilda que foi identificada foi para espécies marinhas estuarinas dependentes (eg. *C. edentulus*), que são aquelas espécies que utilizam dos habitats estuarinos no final do período de seca para reprodução e desova de ovos e larvas. Nas outras estações do ano essas espécies vivem na região costeira.

Para a identificação das fases ontogenéticas, o ponto de inflexão da curva entre peso total vs. comprimento total foi utilizado para distinguir a fase juvenil da subadulta (VAZZOLER, 1996), sendo o coeficiente de crescimento calculado por meio da função potência do comprimento total, usando o seguinte modelo:

$$W_{gi} = \beta_0 TL_i^{\beta_1} + \varepsilon_i$$

Onde, W_{gi} (peso total) é a variável dependente, TL_i (comprimento total) é a variável independente, β_0 é o intercepto, β_1 é o coeficiente de crescimento e ε_i é o resíduo (HUXLEY, 1924).

Além disso, o comprimento da primeira maturação (L_{50}) foi utilizado para separar indivíduos subadultos dos adultos e obtido através da análise das gônadas (LEWIS & FONTOURA, 2005). Este procedimento estabelece a frequência relativa de indivíduos maduros por meio da seguinte equação:

$$F = -1/(1+e^{\beta_0 + \beta_1 * L})$$

Onde, F representa a frequência de indivíduos maduros de cada intervalo de classe de tamanho, L o ponto central de cada intervalo de classe de tamanho e a e b são os parâmetros estimados pelos mínimos quadrados da forma linearizada da equação:

$$-\ln[(1/F)-1] - \beta_0 + \beta_1 * L$$

Portanto, o tamanho na primeira maturação (L_{50}) é estimado por:

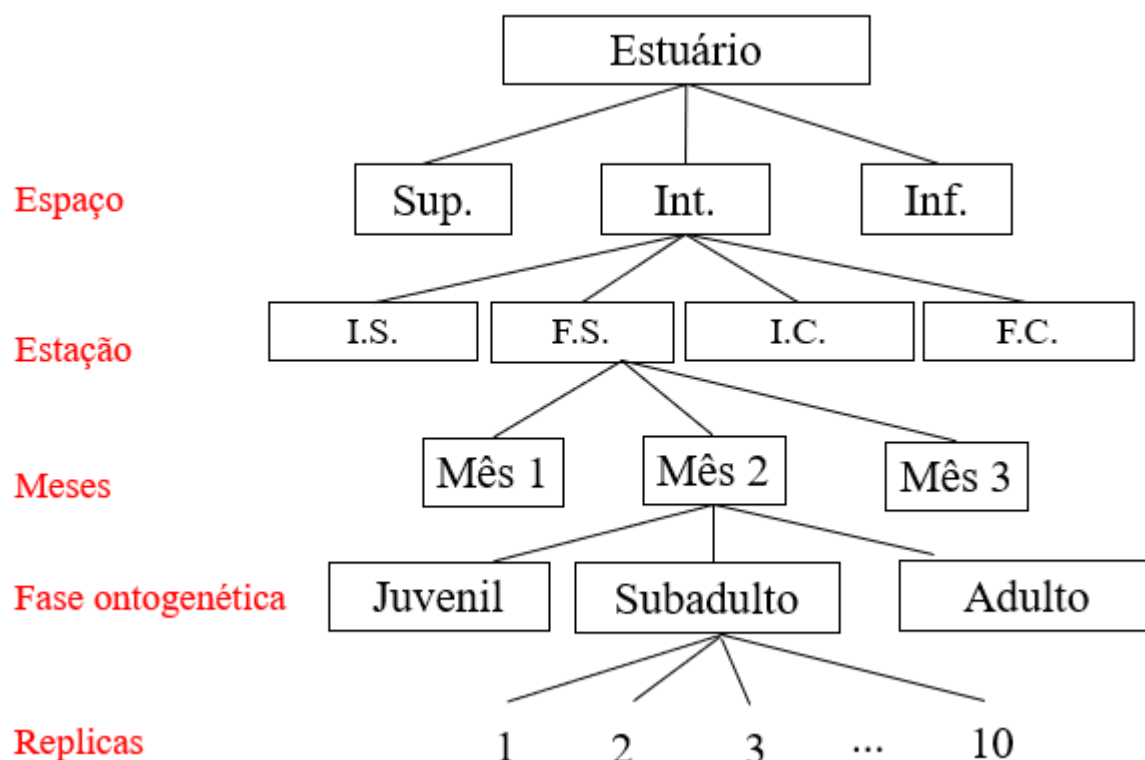
$$(L_{50}) = \beta_0 / \beta_1$$

3.5 ECOLOGIA ALIMENTAR E DA CONTAMINAÇÃO POR MICROPLÁSTICOS (MPs)

Após a coleta, os exemplares foram etiquetados, congelados e mantidos a -24°C . Em laboratório, os indivíduos foram descongelados à temperatura ambiente, triados e identificados, em seguida tomadas as medidas de comprimento total (TL_i) e o peso total (W_{gi}) aferido. Além disso, outras medidas foram tomadas como: Comprimento padrão, Largura da cabeça e Comprimento da cabeça.

Utilizou-se 10 peixes por fase ontogenética por amostra (por mês, por estação do ano e por área) no estuário (Figura 3). Os peixes foram eviscerados e o trato digestivo (estômago e intestino) removido para análise. As amostras utilizadas para a identificação e contagem do fitoplâncton e zooplâncton foram retiradas do conteúdo estomacal dos peixes das espécies *C. edentulus* e *A. clupeioides*.

Figura 3 - Delineamento amostral de alimentação e contaminação por microplásticos segundo BARLETTA *et al.*, (2020).



Fonte: Modificado de BARLETTA *et al.*, 2020.

Após a remoção, o trato digestório foi depositado em uma placa de Petri para a retirada de todo o conteúdo estomacal. Para auxiliar na remoção do conteúdo estomacal, adicionou-se água destilada à placa de Petri. Ao final deste procedimento, o conteúdo estomacal foi armazenado em um frasco transparente com água e uma quantidade de formol a 4% para a fixação da amostra, totalizando 25 mL. Em seguida, foram preparadas três lâminas, cada uma contendo uma subamostra (2 mL) da amostra fixada. As amostras foram identificadas e quantificadas utilizando um microscópio óptico Lumen nos aumentos de 100x (objetiva de 10x) e 400x (objetiva de 40x). Realizou-se a identificação do fitoplâncton e zooplâncton até o menor nível taxonômico possível com o auxílio de bibliografia especializada: BALECH (1988), BICUDO & MENEZES (2006), HUSTEDT (1959), KOMÁREK & KOMÁRKOVÁ-LEGNEROVÁ (2007), MORGADO *et al.*, (2014), RUPPERT *et al.*, (2004), SILVA-CUNHA *et al.*, (2019), dentre outros.

O fitoplâncton e o zooplâncton quantificados foram fotografados e medidos utilizando um microscópio Zeiss.

As fibras de Microplásticos foram separadas por cores (Preto, azul, vermelho e verde) e amaceadas em tubos eppendorf com água destilada para ser submetidos às análises por Microscopia Óptica (MO), infravermelho por Transformada de Fourier (FTIR), Microscopia

Eletrônica de Varredura (MEV) e pela técnica EDS (espectroscopia de raios-X por dispersão de energia), para determinar a composição do detrito plástico e interpretar a sua provável origem.

Para evitar a contaminação por via aérea entre amostras, segundo a metodologia de BARLETTA *et al.*, (2020), foram usados espaços em branco e placas de Petri abertas para avaliar a contaminação. Para evitar a contaminação pelo ar e entre amostras, a estação de trabalho e todos os equipamentos usados na evisceração estiveram limpos com água destilada e etanol antes dos procedimentos de identificação do conteúdo do trato digestivo. Seguidamente, pinças, tesouras, bisturis e placas de Petri também foram secos em estufa e verificados duas vezes quanto à contaminação sob estereomicroscópio antes do próximo uso.

3.6 ANÁLISE DA ESTRUTURA DO POLÍMERO MICROPLÁSTICO

As amostras de microplástico foram analisadas por Microscopia Óptica (MO), infravermelho por Transformada de Fourier (FTIR), Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) e por Espectroscopia de Raios X por Dispersão de Energia (EDS). A MO foi utilizada para avaliar as características do MP, como cor e forma. Por outro lado, o MEV foi usado para avaliar a estrutura do polímero plástico base na amostra e o FTIR para identificar o tipo de polímero que originou o microplástico. Para avaliar a presença de metais ou microrganismos na amostra de MP, foi feita uma abordagem refinada da composição do MP pela técnica EDS que é analítica e utilizada para a análise elementar de uma amostra. A técnica baseia-se na investigação de uma amostra por meio de interações entre partículas e matéria, analisando os raios X emitidos pela matéria em resposta à incidência de partículas carregadas. A caracterização se deve ao princípio de que cada elemento possui uma estrutura atômica própria, que é única. Portanto, os raios X emitidos são característicos desse elemento.

3.7 ANÁLISE DOS DADOS

Para análise da distribuição espacial de *C. eduntulus* e *A. clupeoides*, foram utilizadas informações de densidade (ind.ha^{-1}) e biomassa dos indivíduos (g.ha^{-1}) para cada amostra.

A densidade dos peixes (D) foi calculada por meio da equação:

$$D = C_N A^{-1} (\text{ind.ha}^{-1})$$

e a biomassa por meio da equação:

$$B = C_M A^{-1} (\text{g.ha}^{-1})$$

Onde, CN é a captura em número, CM é a captura em massa de peixes e A é a área varrida pela rede durante o arrasto.

A área varrida (A) foi estimada, para cada amostra, a partir da equação:

$$A = DhX_2$$

Onde, D é a distância percorrida pela rede durante o arrasto, h é o comprimento do cabo superior da rede e X_2 é a fração do cabo ($h X_2$) que é igual à largura do caminho varrido pela rede de arrasto (SPARRE & VENEMA, 1995).

3.7.1 ANÁLISE DA DIETA DAS ESPÉCIES DE PEIXES PLANCTÓFAGAS

Para o cálculo da densidade do zoo- e fitoplâncton consumido por cada predador, o conteúdo estomacal de cada peixe foi retirado e armazenado em um frasco de 5 ml. Em seguida cada amostra foi homogeneizada e foi retirado uma subamostra de 1 ml. Após a identificação e quantificação dos espécimens de plâncton, a quantidade total de presas e MPs ingeridos foi calculada através da equação:

$$Dt = D * Vt$$

Onde, Dt é a densidade total de presas ingeridas (ind.ml^{-1}), D é a quantificação total dos indivíduos de zooplâncton e/ou de fitoplâncton em uma subamostra de 1 ml, e Vt é o volume total da amostra (5 ml).

A quantificação dos itens alimentares ingeridos seguiu três critérios:

A porcentagem de frequência de ocorrência de cada presa de acordo com a equação:

$$\%Fi = (Fi/Ft) \times 100$$

Onde Fi é o número de estômagos contendo o item alimentar i e Ft é o número total de estômagos examinados (HYSLOP, 1980).

A porcentagem de abundância das presas em número ($\%N$) de acordo com a equação:

$$\%Ni = (Ni/Nt) \times 100$$

Onde Ni é o número de itens alimentares i e Nt é o número total de itens alimentares nos estômagos examinados (HYSLOP, 1980).

3.8 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Os dados referentes a flutuação sazonal e espacial da densidade, biomassa e contaminação por MPs de ambas as espécies de peixes estudadas foram modelados através do modelo linear generalizado (GLM) (NELDER & MCCULLAGH, 1983). O GLM permite acomodar distribuições contínuas e discretas (KUTNER *et al.*, 2005). Neste estudo, as variáveis respostas densidade, biomassa e contaminação por MPs, denominadas de Y, têm uma importante característica por apresentarem dados positivos. Por essa razão, para densidade e biomassa de *A. clupeioides* a distribuição Gamma com zeros ajustados (ZAGA) foi a distribuição mais apropriada para o ajuste dos dados (RIGBY *et al.* 1999). No caso de *C. edentulus* as mesmas variáveis foram melhor ajustadas na distribuição Gamma (GA). A distribuição ZAGA depende de três parâmetros (μ , σ , ν) e a distribuição GA depende de dois (μ , σ).

Para *A. clupeioides* a variável randômica Y, a distribuição ZAGA (μ , σ , ν), com a probabilidade funcional dada por:

$$f_Y(y|\mu, \sigma, \nu) = \begin{cases} \nu & \text{if } y = 0 \\ (1 - \nu) \left[\frac{1}{(\sigma^2 \mu)^{1/\sigma^2}} \frac{y^{1/\sigma^2 - 1} \exp\{-y/(\sigma^2 \mu)\}}{\Gamma(1/\sigma^2)} \right] & \text{if } y > 0 \end{cases} \quad (1)$$

para $0 \leq y < \infty$ onde $0 < \nu < 1$, $\mu > 0$, e $\sigma > 0$ com $E(Y) = (1 - \nu) \mu$, $\sigma > 0$, $\text{Var}(Y) = (1 - \nu) \mu^2 (\nu + \sigma^2)$

Para *C. edentulus* a variável randômica Y, a distribuição segue GA (μ , σ), com a probabilidade funcional dada pela equação 2:

(2)

$$f_Y(y|\mu, \sigma) = \left[\frac{1}{(\sigma^2 \mu)^{1/\sigma^2}} \frac{y^{1/\sigma^2 - 1} \exp\{-y/(\sigma^2 \mu)\}}{\Gamma(1/\sigma^2)} \right] \quad \text{se } y > 0$$

para $y > 0$ onde $\mu > 0$, e $\sigma > 0$ como $E(Y) = \mu$, $\text{Var}(Y) = \mu^2 \sigma^2$

O modelo de regressão ZAGA proposto para a densidade (Equação 3) e biomassa (Equação 4) para *A. clupeioides* é dado por:

$$\text{Log}(\mu) = \beta_0 + \sum_{i=1}^3 \beta_{1i} \text{Area}_i + \sum_{i=1}^4 \beta_{2i} \text{Season}_i + \sum_{i=1}^3 \beta_{3i} \text{Phase}_i + \beta_4 O_2 + \beta_5 \text{Secchi}$$

(Equação 3)

como, $\sum_{i=1}^3 \beta_{1i} = 0$, $\sum_{i=1}^4 \beta_{2i} = 0$ e $\sum_{i=1}^3 \beta_{3i} = 0$

$$\text{Log}(\sigma) = \alpha_0$$

$$1 \text{Log} \left(\frac{v}{1-v} \right) = \theta_0$$

$$\text{Log}(\mu) = \beta_0 + \sum_{i=1}^3 \beta_{1i} \text{Area}_i + \sum_{i=1}^4 \beta_{2i} \text{Season}_i + \sum_{i=1}^3 \beta_{3i} \text{Phase}_i + \beta_4 O_2 + \beta_5 \text{Secchi} + \beta_6 \text{Temp} \quad (\text{Equação 4})$$

como, $\sum_{i=1}^3 \beta_{1i} = 0$, $\sum_{i=1}^4 \beta_{2i} = 0$ e $\sum_{i=1}^3 \beta_{3i} = 0$

$$\text{Log}(\sigma) = \alpha_0$$

$$\text{Log} \left(\frac{v}{1-v} \right) = \theta_0$$

Para *C. edentulus* o modelo de regressão GA para as variáveis densidade (Equação 5) e biomassa (Equação 6) é dado por:

$$\text{Log}(\mu) = \beta_0 + \sum_{i=1}^3 \beta_{1i} \text{Area}_i + \sum_{i=3}^4 \beta_{2i} \text{Season}_i + \sum_{i=2}^3 \beta_{3i} \text{Phase}_i + \beta_4 \text{Secchi} \quad (\text{Equação 5})$$

como, $\sum_{i=1}^3 \beta_{1i} = 0$, $\sum_{i=3}^4 \beta_{2i} = 0$ e $\sum_{i=2}^3 \beta_{3i} = 0$

$$\text{Log}(\sigma) = \alpha_0$$

$$\text{Log}(\mu) = \beta_0 + \sum_{i=2}^3 \beta_{1i} \text{Phase}_i \quad (\text{Equação 6})$$

como, $\sum_{i=2}^3 \beta_{1i} = 0$

$$\text{Log}(\sigma) = \alpha_0$$

No caso da contaminação das espécies de peixes planctófagas por microplásticos (MPs), essa variável possui duas características que foi levada em consideração. A primeira característica foi que essa variável possui valores de contagem e a segunda que contém zero. Por essa razão, para a modelagem da contaminação por MPs em *A. clupeioides* os dados foram ajustados na distribuição Binomial Negativa inflada com zero tipo II (ZINBI). Essa distribuição depende de três parâmetros (μ , σ , ν) (RIGBY *et al.*, 1999).

A variável aleatória, Y , segue a distribuição ZINBI (μ , σ , ν) com função de densidade de probabilidade dada por:

$$p_Y(y|\mu, \sigma, \nu) = \begin{cases} \nu + (1 - \nu)p_{Y'}(0|\mu, \sigma) & \text{if } y = 0 \\ (1 - \nu)p_{Y'}(y|\mu, \sigma, \nu) & \text{if } y = 1, 2, \dots \end{cases} \quad (\text{Equação 7})$$

para $\mu > 0$, $\sigma > 0$, e $0 < \nu < 1$ onde $Y' \sim NBI(\mu, \sigma)$ onde:

$$p_{Y'}(0|\mu, \sigma) = (1 + \sigma\mu)^{-\frac{1}{\sigma}}$$

$$p_{Y'}(y|\mu, \sigma) = \frac{\Gamma(y + \frac{1}{\sigma})}{\Gamma(\frac{1}{\sigma})\Gamma(y + 1)} \left(\frac{\sigma\mu}{1 + \sigma\mu} \right)^y \left(\frac{1}{1 + \sigma\mu} \right)^{\frac{1}{\sigma}} \quad (\text{Equação 8})$$

para $y = 0, 1, 2, \dots$ onde $E(Y) = (1 - \nu)\mu$, $\sigma > 0$, $\text{Var}(Y) = (1 - \nu)\mu[1 + (\sigma + \nu)\mu]$

Para *C. edentulus*, o modelo Zero inflated Poisson (ZIP) foi considerado o mais apropriado para esta situação dessa variável resposta para essa espécie. A distribuição ZIP depende de dois parâmetros (μ , σ) (RIGBY *et al.*, 1999). Deixando $Y = 0$ com probabilidade e $Y \sim \text{Poisson}(\mu)$ com probabilidade $(1 - \sigma)$, logo Y tem uma distribuição de Poisson inflada de zeros, denotado por ZIP (μ , σ), dado por:

$$\mu > 0, 0 < \sigma < 1$$

onde, $E(Y) = (1 - \sigma)\mu$ e $\text{Var}(Y) = \mu(1 - \sigma)[1 + \mu\sigma]$.

O modelo de regressão ZINBI para MP é dado por:

$$\text{Log}(\mu) = \beta_0 + \sum_{i=1}^4 \beta_{1i} \text{Season}_i + \beta_2 \text{Secchi} + \beta_3 \text{Zoo}_{\text{prey}} + \beta_4 \text{O}_2 \quad (\text{Equação 9})$$

Como $\sum_{i=1}^4 \beta_{1i} = 0$

$$\text{Log}(\sigma) = \alpha_0$$

$$\text{Log} \left(\frac{v}{1-v} \right) = \theta_0$$

Para *C. edentulus*, o modelo ZIP é apropriado para esta situação. A distribuição depende de dois parâmetros (μ , σ) (RIGBY *et al.*, 1999). Deixando $Y = 0$ com probabilidade σ e $Y \sim \text{Poisson}(\mu)$ com probabilidade $(1 - \sigma)$, logo Y tem uma distribuição de Poisson inflada a zero a zero, denotado por ZIP (μ , σ), dado por $\mu > 0$, $0 < \sigma < 1$, onde $E(Y) = (1 - \sigma)\mu$ e $\text{Var}(Y) = \mu(1 - \sigma)[1 + \mu\sigma]$.

O modelo de regressão ZIP para MP é dado por:

$$\text{Log}(\mu) = \beta_0 + \sum_{i=3}^4 \beta_{1i} \text{Area}_i + \sum_{i=3}^4 \beta_{2i} \text{Season}_i + \sum_{i=2}^3 \beta_{3i} \text{Phase}_i + \beta_4 \text{Sal} + \beta_5 \text{Phyto}_{\text{prey}}$$

(Equação 10)

Como $\sum_{i=3}^4 \beta_{1i} = 0$, $\sum_{i=3}^4 \beta_{2i} = 0$ e $\sum_{i=2}^3 \beta_{3i} = 0$.

$$\text{Log}(\sigma) = \alpha_0$$

3.9 ANÁLISE MULTIVARIADA (ANÁLISE DE CORRESPONDÊNCIA CANÔNICA – ACC):

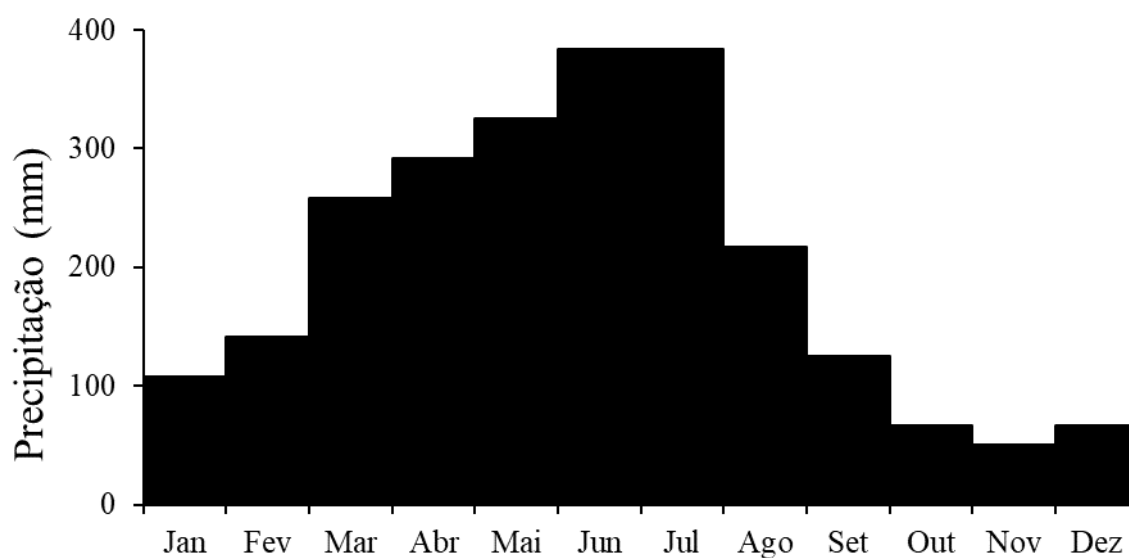
A Análise de Correspondência Canônica (ACC) foi utilizada para investigar as interações ecológicas entre variáveis ambientais (Salinidade, Temperatura, Oxigênio dissolvido e Secchi), itens alimentares (Copepodas, Larvas de Gastropodos, Larvas de Decapodas Zoe, Larvas de *Anomolocardia flexuosa*, *Coscinodiscus* sp, e *Actinophthycus* sp), contaminação por MP (fibras azuis, pretos, vermelhos e verdes), estação do ano (IS; início da seca, FS; final da seca, IC; início da chuva e FC; final da chuva) e fases ontogenéticas de *A. clupeoides* e *C. edentulus* (juvenil, subadulto e adulto) no estuário (PALMER, 1993; TER BRAAK & SMILAUER, 2002). Os itens mais comuns consumidos pelas espécies e os microplásticos foram incluídos na análise como número de itens ingeridos. Para realizar a análise, foi calculada uma regressão múltipla de mínimos quadrados com as pontuações do local (derivadas de médias ponderadas de microplásticos e conteúdo de alimentos) como variáveis dependentes e os dados ambientais (salinidade, temperatura, oxigênio dissolvido e Secchi) como variáveis independentes. As variáveis dependentes foram analisadas por meio de um gradiente direto para extrair padrões de variabilidade em relação às variáveis independentes (TER BRAAK, 1986; PALMER, 1993).

4. RESULTADOS

4.1 VARIÁVEIS AMBIENTAIS

A precipitação apresentou os maiores valores (> 300 mm) nos meses de junho e julho (Figura 4). Os menores valores (< 60 mm) foram registrados durante os meses de novembro e dezembro.

Figura 4 – Precipitação média total (mm) por mês no estuário do Rio Goiana entre 2005 e 2009.

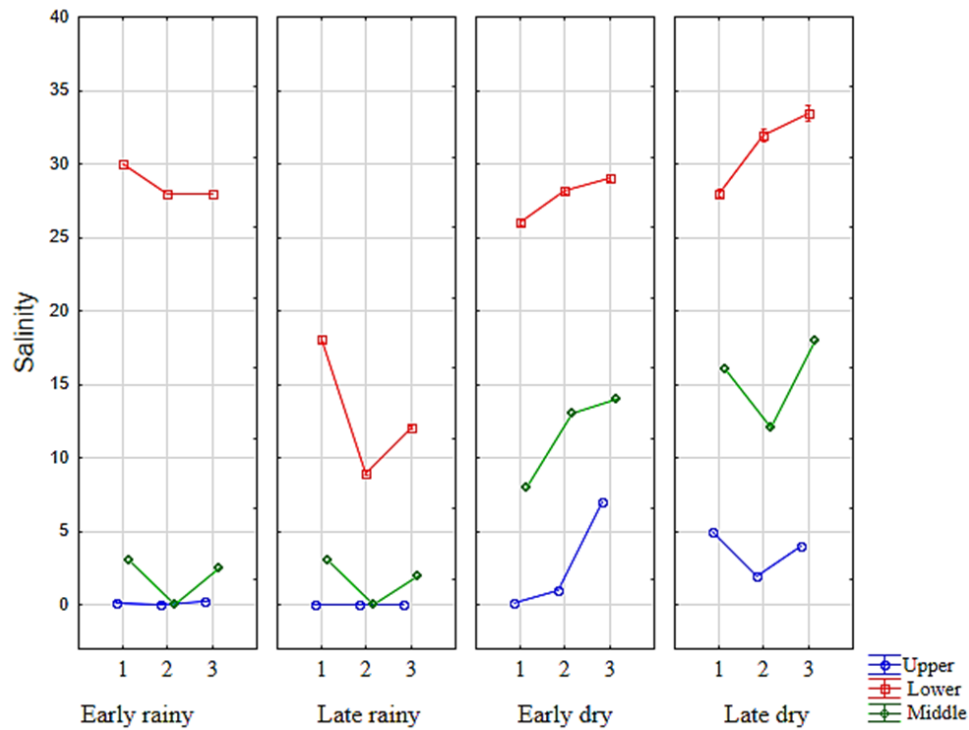
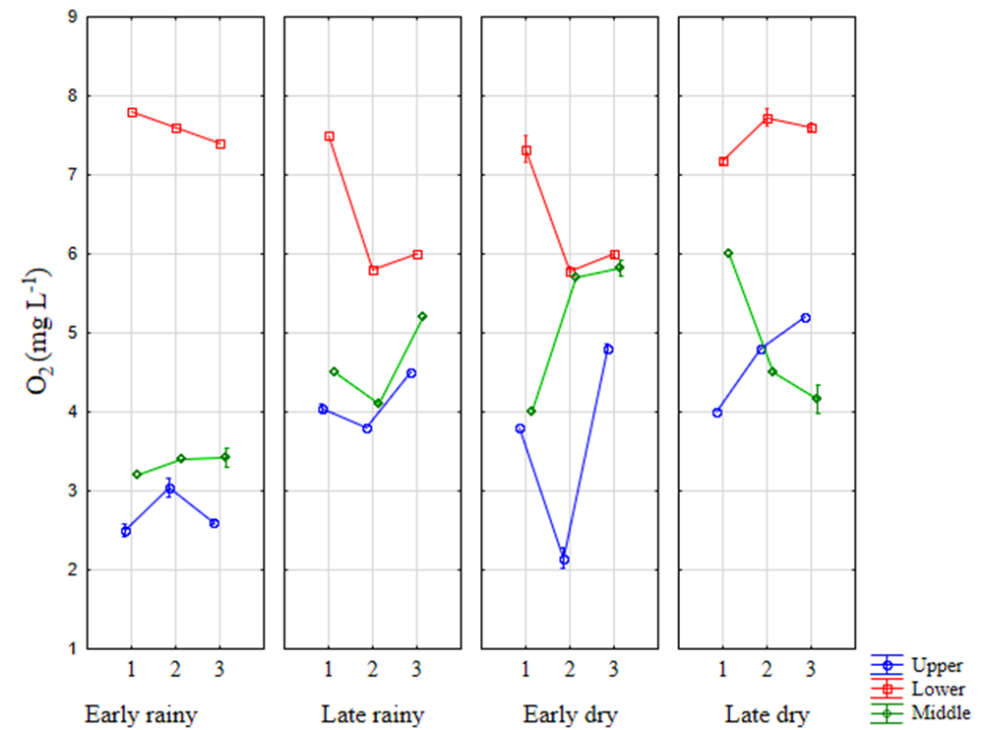


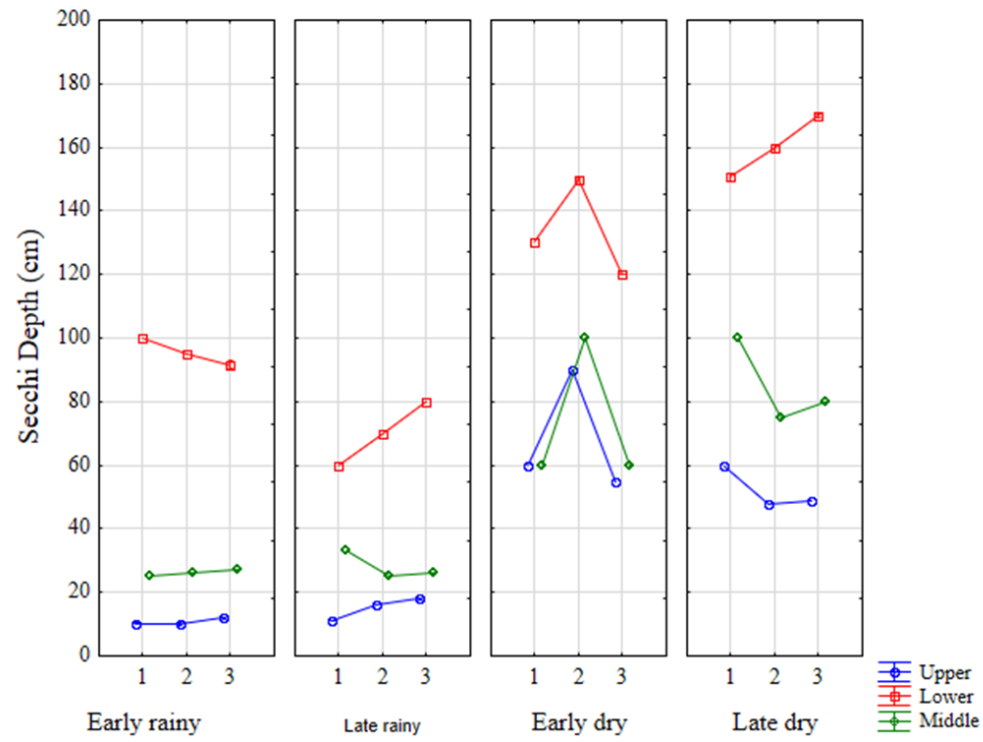
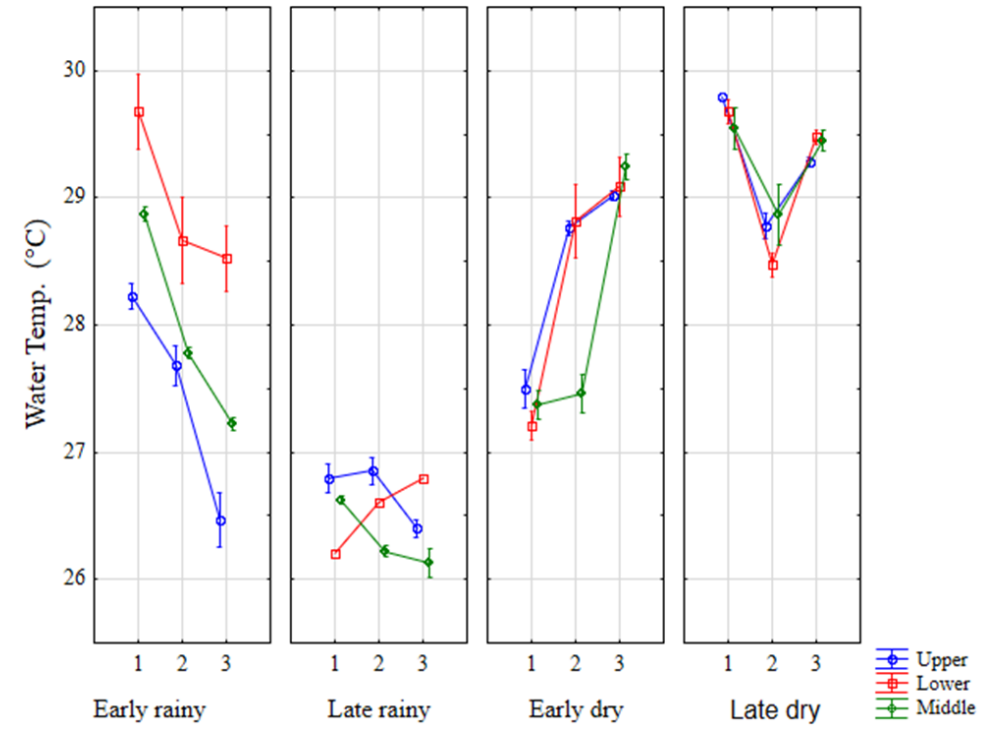
Em relação a salinidade, a área superior do estuário foi caracterizada por apresentar baixos valores (~ 0), especialmente na estação chuvosa (Figura 5a). Por outro lado, a área inferior, quando comparada com as outras regiões do estário apresentou os valores mais alto independente da estação do ano. Essa porção do estuário apresentou os maiores valores de oxigênio dissolvido ($7 - 8 \text{ mg.L}^{-1}$) (Figura 5b). A área intermediária apresentou valores altos em todas as estações ($5 - 6 \text{ mg.L}^{-1}$) exceto no início da chuva ($3 - 4 \text{ mg.L}^{-1}$). A área superior apresentou os valores mais altos ($4 - 6 \text{ mg.L}^{-1}$) durante final da estação da seca (Figura 5b). A profundidade de Secchi apresentou valores altos na área inferior do estuário durante o final da estação da seca ($160 - 180 \text{ cm}$) e os valores mais baixos na área superior na estação chuvosa ($0 - 20 \text{ cm}$) (Figura 5c). A temperatura da água mais alta ($> 30^\circ\text{C}$) foi registrada na área inferior

do estuário durante o início da estação chuvosa e durante a estação seca (Figura 5d). Nas demais áreas os maiores valores foram registrados durante a estação seca.

Fonte: O autor (2024)

- 1 Figura 5 – Média e Erro padrão dos parâmetros físico-químicos do estuário do Rio Goiana, salinidade (a), oxigênio dissolvido (mg/L)
- 2 (b), profundidade de Secchi (cm) (c) e temperatura (°C) (d); na área superior (linha azul), intermediária (linha verde), inferior (linha
- 3 vermelha) nas estações: Early rainy (1 - março, 2 – abril, 3 – maio), Late rainy (1 - junho, 2 – julho, 3 – agosto), Early dry (1 - setembro,
- 4 2 – outubro, 3 – novembro) e Late rainy (1 - dezembro, 2 – janeiro, 3 – fevereiro) entre 2005 e 2009.

a**b**

c**d**

Fonte: O autor (2024).

4.2 DEFINIÇÃO DAS FASES ONTOGENÉTICAS

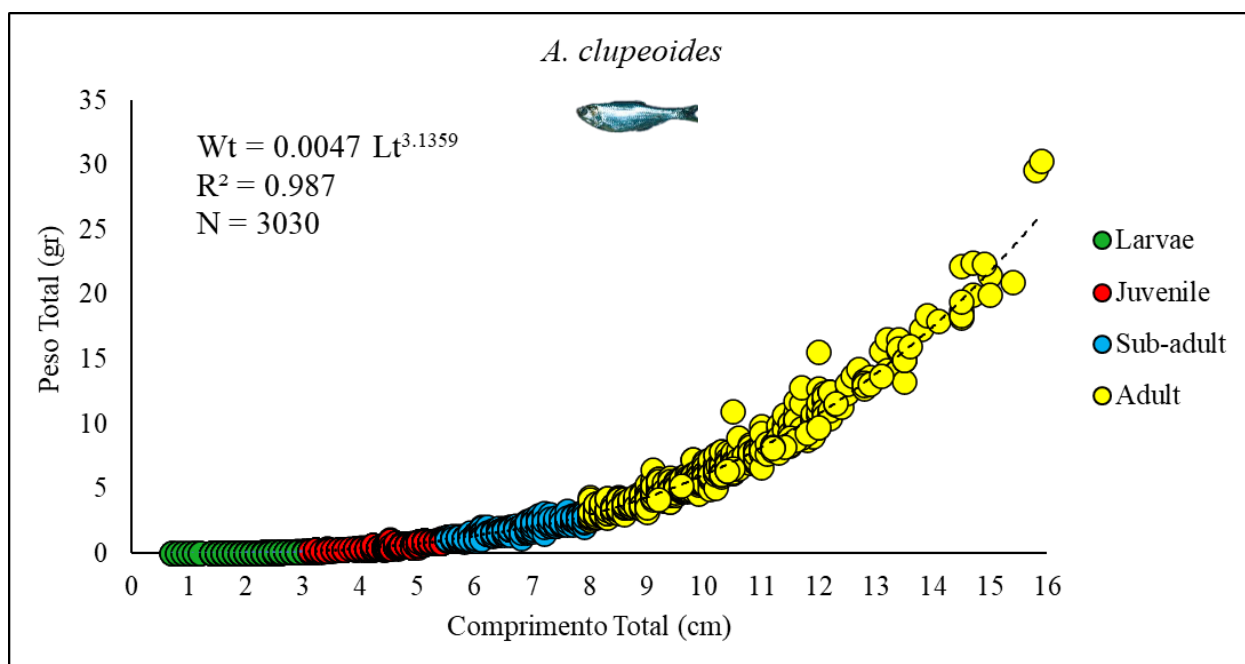
Foram obtidos o peso e comprimento de 3030 exemplares de *A. clupeioides* e 1106 exemplares de *C. edentulus*. a partir desses dados foi determinada a relação entre peso e comprimento para ambas as espécies (Figura 6 e 7). essa relação possibilitou a observação de três áreas distintas no gráfico gerado: na primeira, os indivíduos possuíam um comportamento de crescimento alométrico positivo (só crescem em tamanho), na segunda área, o crescimento da espécie se mostrou isométrico (crescem em tamanho e aumentam em peso), e na terceira área, o crescimento apresentava-se alométrico negativo (só ganham peso) (Figuras 6 e 7).

A definição das áreas de crescimento possibilitou a diferenciação entre duas fases ontogenéticas, os juvenis possuem maior crescimento em comprimento do que ganho de peso e encontravam-se agregados na área alométrica positiva do gráfico e os subadultos apresentam uma relação proporcional entre o ganho de comprimento e peso, logo essa fase ontogenética ficou restrita à área isométrica do modelo e os indivíduos adultos possuem um maior ganho de peso em detrimento do comprimento, ficando localizados na região alométrica negativa do gráfico (Figuras 6 e 7).

Para a determinação da fase adulta, fez-se necessária a utilização de uma regressão logística para obter o comprimento da frequência da primeira maturação dos indivíduos (L_{50}) (comprimento onde 50% dos indivíduos estão maduros) (Figuras 8 e 9).

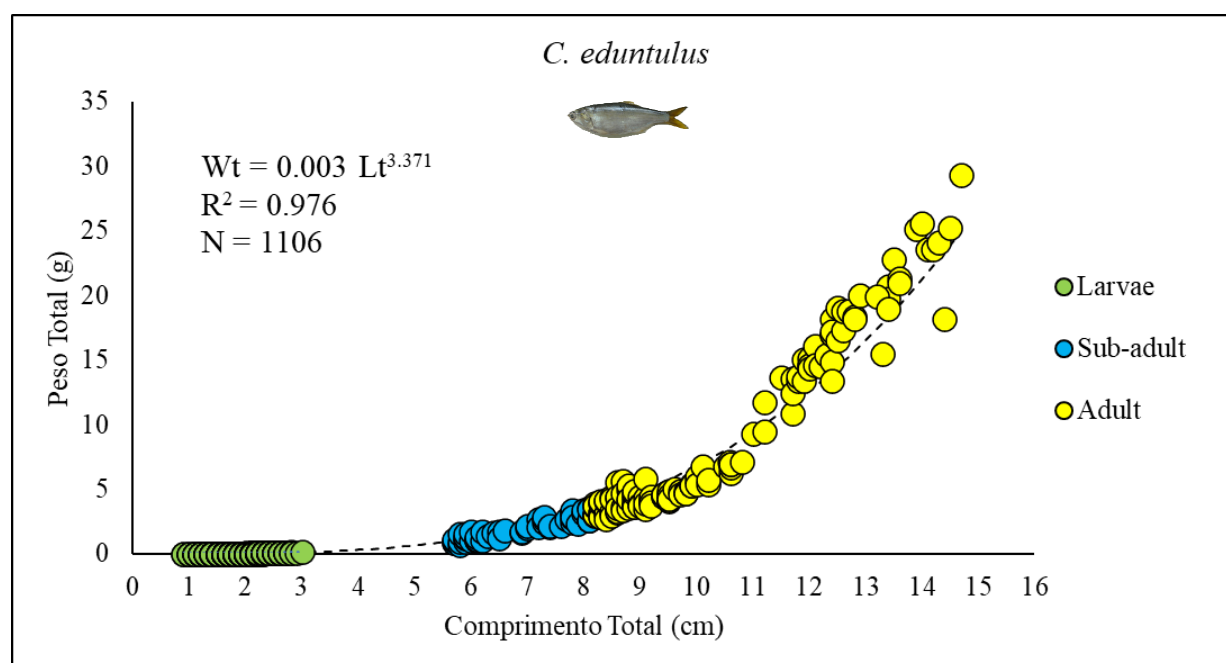
A regressão logística revelou um L_{50} de 8 cm de comprimento total para *A. clupeioides* e 8,2 cm para *C. edentulus*. com os resultados dessa classificação ficou definido para *A. clupeioides* que o intervalo de comprimento para cada fase ontogenética foi: juvenil igual a 3,1 cm, nos subadulto igual a 5,5 cm e adulto igual a 8 cm (Figuras 6 e 8). para *C. edentulus* que o intervalo de comprimento para cada fase ontogenética foi: juvenil igual a 3,1 cm, subadulto igual a 5,7 cm e adulto igual a 8,2 cm (Figuras 7 e 9).

Figura 6 - Classificação ontogenética do *A. clupeioides* em Larva (verde), Juvenil (vermelho), Subadulto (azul) e Adulto (amarelo).



Fonte: O autor (2024).

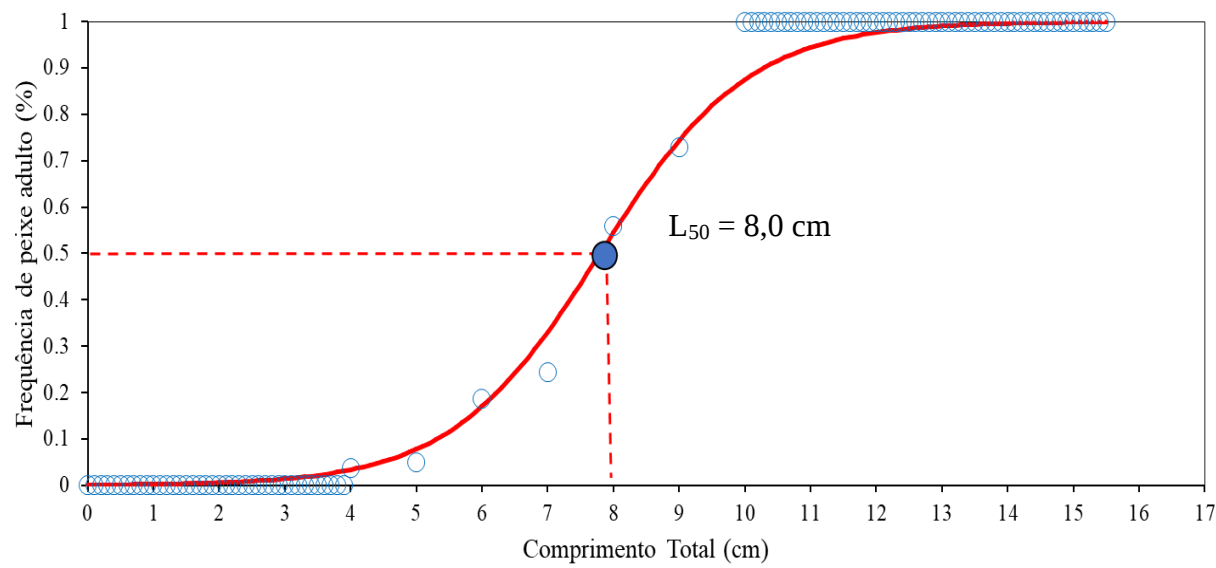
Figura 7 - Classificação ontogenética do *C. eduntulus* em Larva (verde), Subadulto (azul) e Adulto (amarelo).



Fonte: O autor (2024).

54 Figura 8 - Regressão logística para machos e fêmeas de *A. clupeioides*.

$$Y = \frac{\text{EXP}(-6,885 + (0,883) * CT)}{1 + \text{EXP}(-6,885 + (0,883) * CT)}$$



55

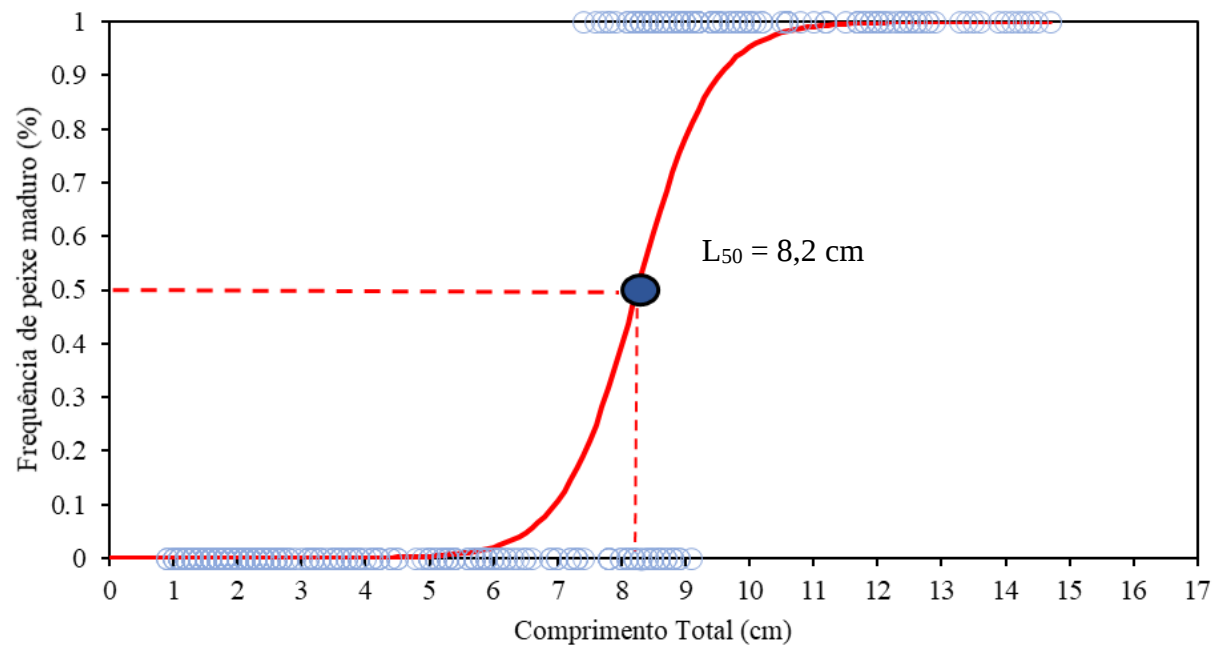
56

57

58

59 Figura 9 - Regressão logística para machos e fêmeas de *C. edentulus*.

$$Y = \frac{\text{EXP}(-14,1 + (1,71) * CT)}{1 + \text{EXP}(-14,1 + (1,71) * CT)}$$



60

61

62

Fonte: O autor (2024).

4.3 MODELOS DE DISTRIBUIÇÃO ESPAÇO TEMPORAL

Os modelos de regressão ZAGA para Densidade (Figura 14a) e Biomassa (Figura 15a) de *A. clupeioides* (Tabela 1) e Gamma para Densidade (Figura 14b) e Biomassa (Figura 15b) de *C. edentulus* (Tabela 2), respectivamente; demonstraram diferenças significativas para a estação, fase ontogenética, área e variáveis ambientais no estuário ($p < 0,01$) (Tabelas 1 e 2). Isso significa que a concentração de cada fase ontogenética no estuário varia em função das estações e nas diferentes áreas do estuário.

Tabela 1 - Sumário da distribuição ZAGA para os dados da densidade e biomassa de *A. clupeioides* com as áreas superior, intermediária e inferior, estações início da seca (IS), final da seca (FS), início da chuva (IC) e final da chuva (FC), fases ontogenéticas (juvenil, subadulto e adulto), variáveis ambientais (O_2 , Secchi, temperatura e salinidade) no estuário do Rio Goiana (PE/PB) (Códigos de Significância: NS não significativo, 0 ****, 0,001 ***, 0,01 **, 0,05 ', 0,01 ' ' 1).

a) Densidade				b) Biomassa	
β	Covariadas	Estimativa	Significância	Estimativa	Significância
β_0	Intercepto	10,3	***	22	**
β_1	Área 1	-1,4	**	-1,4	**
	Área 2	-0,7	**	-0,8	**
β_2	Estação 1	-1,5	NS	-0,8	NS
	Estação 2	-0,7	NS	-1,6	*
	Estação 3	1,1	*	1,1	*
β_3	Fase 1	0,8	**	-0,1	NS
	Fase 2	-0,8	***	-0,9	***
β_4	O_2	-0,5	*	-0,5	*
β_5	Secchi	-0,03	**	-0,03	***
β_6	Temp			-0,4	.

Fonte: O autor (2024).

Tabela 2 - Sumário da distribuição Gamma para os dados da densidade e biomassa de *C. edentulus* com as áreas superior, intermediária e inferior, estações início da seca (IS), final da seca (FS), início da chuva (IC) e final da chuva (FC), fases ontogenéticas (juvenil, subadulto e adulto), variáveis ambientais (O_2 , Secchi, temperatura e salinidade) no

estuário do Rio Goiana (PE/PB) (Códigos de Significância: NS não significativo, 0 ****, 0,001 ***, 0,01 **, 0,05 ', 0,01 ' ' 1).

β	Covariadas	a) Densidade		b) Biomassa	
		Estimativa	Significância	Estimativa	Significância
β_0	Intercepto	9,6	**	6,2	***
β_1	Área 1	-4,5	*		
	Área 3	-4,1	**		
β_2	Estação 4	-6,7	**		
β_3	Fase 3	-0,6	*	-1	**
β_4	Secchi	-0,1	*		

Fonte: O autor (2024).

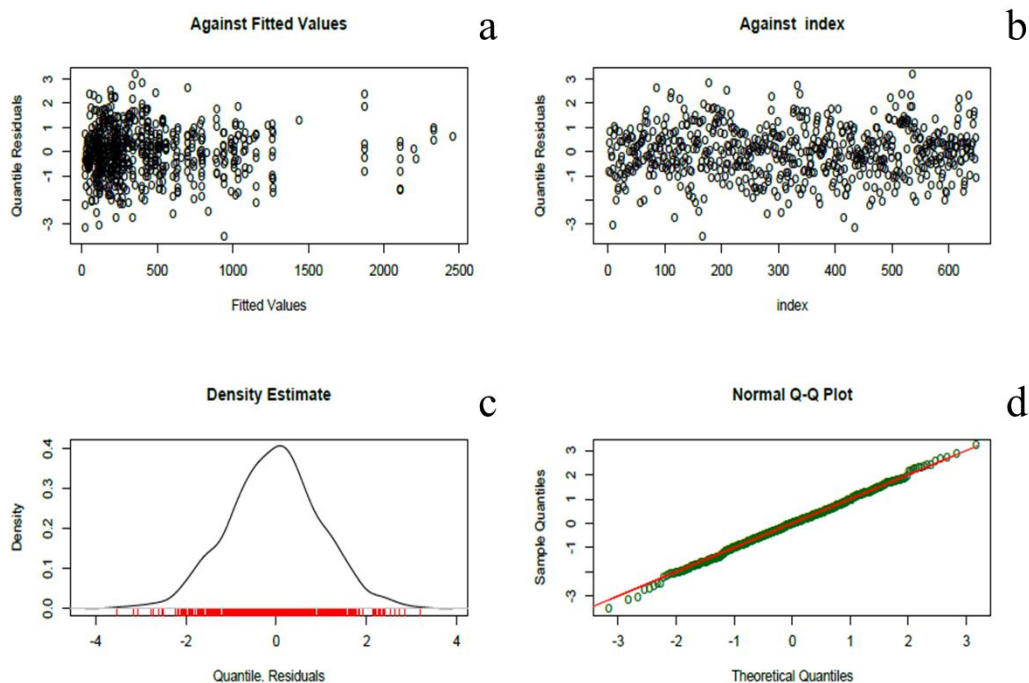
O modelo ajustado tem um valor de desvio global na Densidade e Biomassa de *A. clupeioides* de 1692,6 e 1861,1, respectivamente; e um AIC de 1716,6 e 1887,1, respectivamente. Para *C. edentulus* tem um valor de desvio global na Densidade e Biomassa de 124,9 e 180,9, respectivamente; e um AIC de 138,9 e 186,9, respectivamente. Os gráficos dos resíduos de desvio versus valores ajustados (Figuras 10a, 11a, 12a e 13a) e versus gráficos de índice (Figuras 10b, 11b, 12b e 13b) demonstraram que eles se comportam de uma forma aleatória com uma dispersão constante. As Figuras 10c, 11c, 12c e 13c evidenciam que os resíduos têm uma boa aproximação da distribuição normal. Os gráficos de probabilidade normal mostram que não existem fortes evidências de violações do modelo de suposições (Figuras 10d, 11d, 12d e 13d). Portanto os modelos ajustado ZAGA e Gamma é considerado adequado para prever a Densidade e Biomassa de *A. clupeioides* e *C. edentulus*, respectivamente. Além disso, o 94,4% e 94,3% (Densidade e Biomassa de *A. clupeioides*, respectivamente) e 91,7% e 100% (Densidade e Biomassa de *C. edentulus*, respectivamente) dos resíduos pertencem [-2 ; 2].

Na média e erro padrão (E.P.) total da densidade e biomassa de *A. clupeioides* (Figuras 14a e 15a) no canal principal do estuário foi $53,6 \pm 33,5 \text{ ind.ha}^{-1}$ (juvenis: $61 \pm 44,3 \text{ ind.ha}^{-1}$; subadultos: $34,3 \pm 20,5 \text{ ind.ha}^{-1}$; adultos: $65,6 \pm 35,7 \text{ ind.ha}^{-1}$) e $151,6 \pm 83,8 \text{ g.ha}^{-1}$,

106 (juvenis: $41,3 \pm 30 \text{ g.ha}^{-1}$; subadultos: $59,1 \pm 33,6 \text{ g.ha}^{-1}$; adultos: $354,5 \pm 187,6 \text{ g.ha}^{-1}$),
 107 respectivamente.

108 Foram observadas altas densidades de adultos na área superior do estuário ($277,9 \pm$
 109 $110,7 \text{ ind.ha}^{-1}$) durante a estação final da seca; em subadultos ($220,4 \pm 124,8 \text{ ind.ha}^{-1}$) e
 110 juvenis ($544,6 \pm 344,6 \text{ ind.ha}^{-1}$) apresentaram altas densidades na porção inferior do
 111 estuário durante a estação final da chuva (Figura 14a). Os maiores valores de biomassa
 112 de adultos ($1635 \pm 727,4 \text{ g.ha}^{-1}$)

113 Figura 10 – Gráficos dos Resíduos versus valores ajustados (a), resíduos versus índice
 114 (b), estimativa de densidade (c) e ajuste à distribuição normal (d) do modelo de regressão
 115 ZAGA para a densidade de *A. clupeioides*.

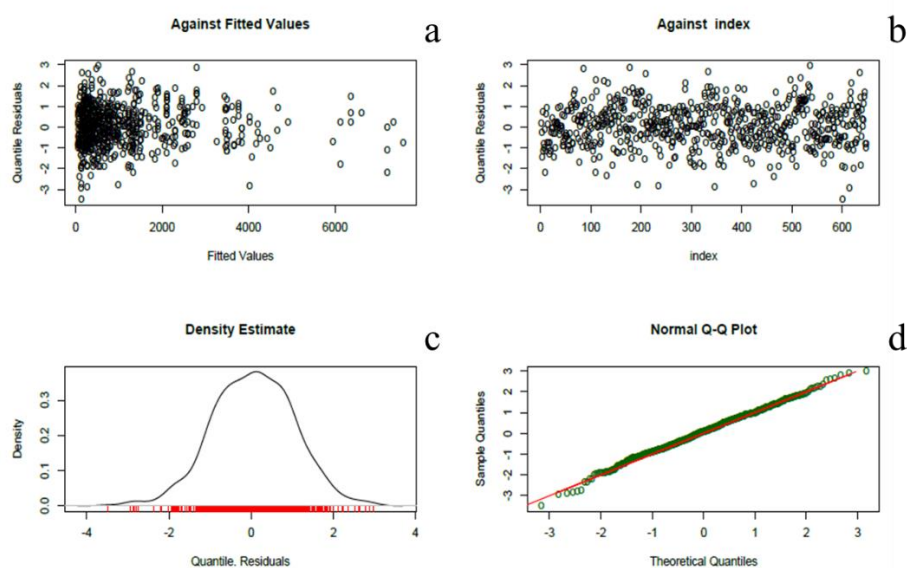


116

117

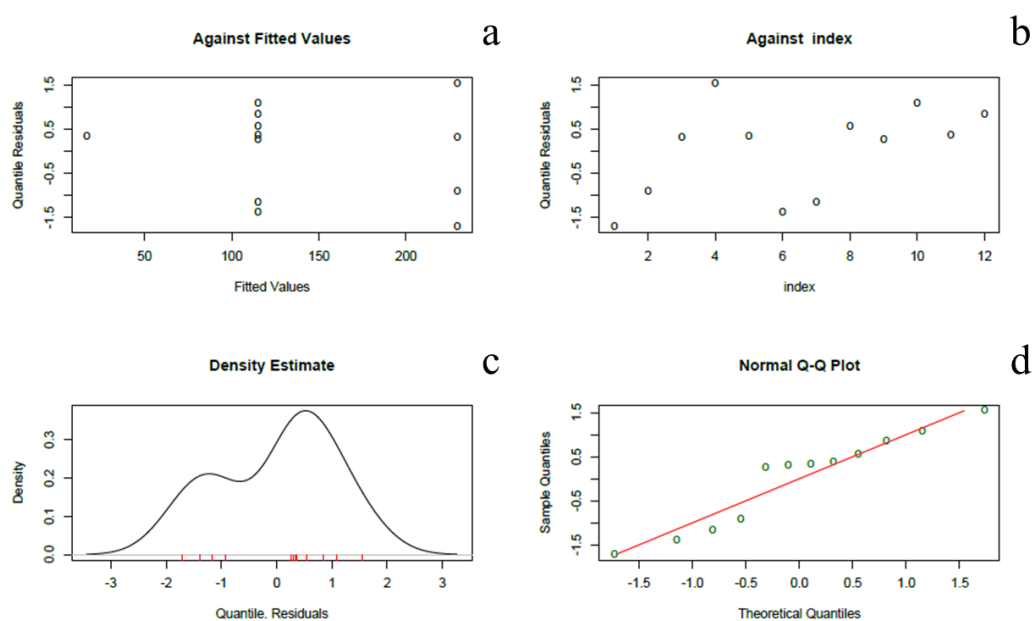
Fonte: O autor (2024).

118 Figura 11 – Gráficos dos Resíduos versus valores ajustados (a), resíduos versus índice
 119 (b), estimativa de biomassa (c) e ajuste à distribuição normal (d) do modelo de regressão
 120 ZAGA para a biomassa de *A. clupeioides*.



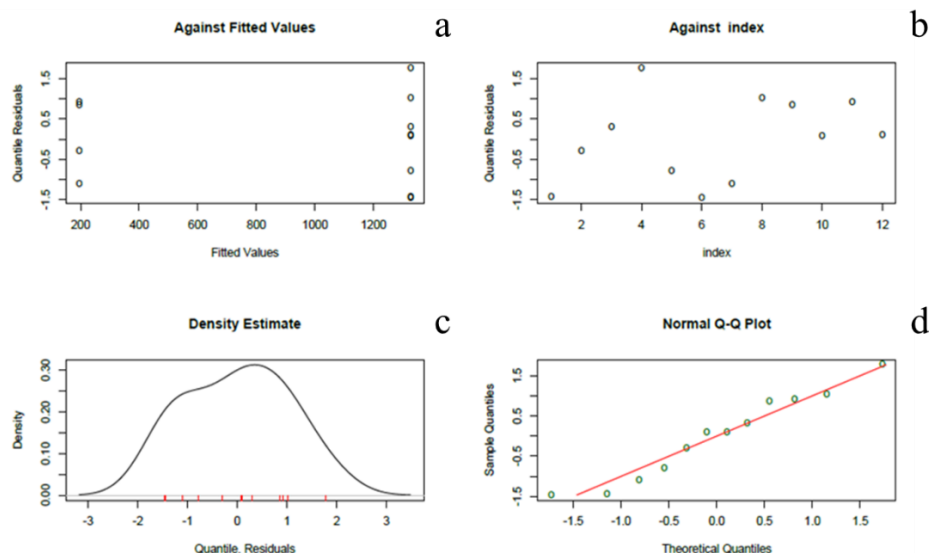
Fonte: O autor (2024).

Figura 12 – Gráficos dos Resíduos versus valores ajustados (a), resíduos versus índice (b), estimativa de densidade (c) e ajuste à distribuição normal (d) do modelo de regressão Gamma para a densidade de *C. edentulus*.



Fonte: O autor (2024).

Figura 13 – Gráficos dos Resíduos versus valores ajustados (a), resíduos versus índice (b), estimativa de biomassa (c) e ajuste à distribuição normal (d) do modelo de regressão Gamma para a biomassa de *C. edentulus*.



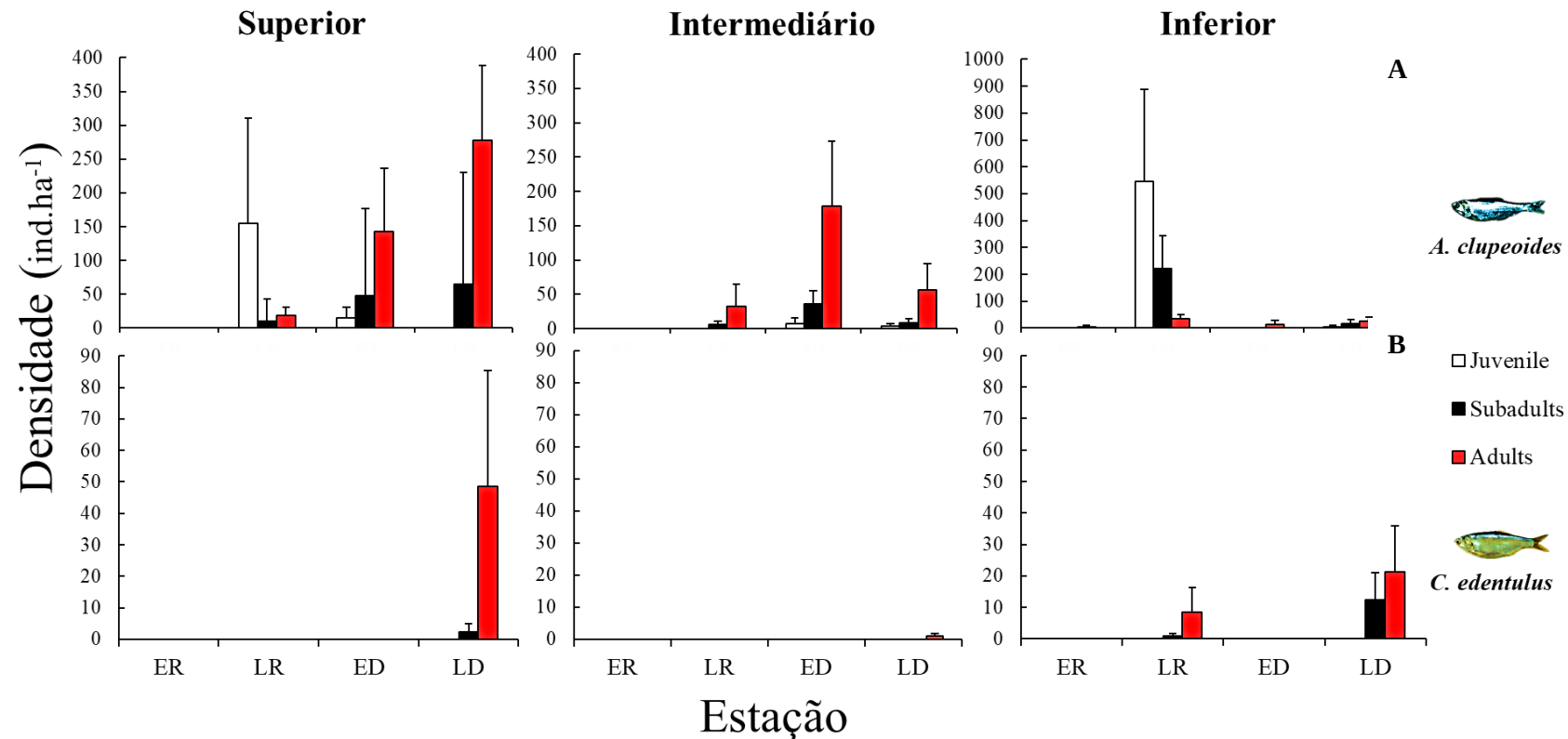
Fonte: O autor (2024).

estiveram na área superior do estuário durante a estação final da seca. Em subadultos ($297,8 \pm 150,1 \text{ g.ha}^{-1}$) e juvenis ($354,1 \pm 219,5 \text{ g.ha}^{-1}$) foram observadas valores altos na porção inferior do estuário durante a estação final da chuva (Figura 14b).

Na média e erro padrão (E.P.) total na densidade total e biomassa de *C. edentulus* (Figuras 14b e 15b) no canal principal do estuário foi $2,6 \pm 2 \text{ ind.ha}^{-1}$ (subadultos: $1,3 \pm 1 \text{ ind.ha}^{-1}$ e adultos: $6,6 \pm 5 \text{ ind.ha}^{-1}$) e $17,3 \pm 13,7 \text{ g.ha}^{-1}$ (subadultos: $3,6 \pm 2,7 \text{ g.ha}^{-1}$ e adultos: $48,4 \pm 38,5 \text{ g.ha}^{-1}$) respectivamente.

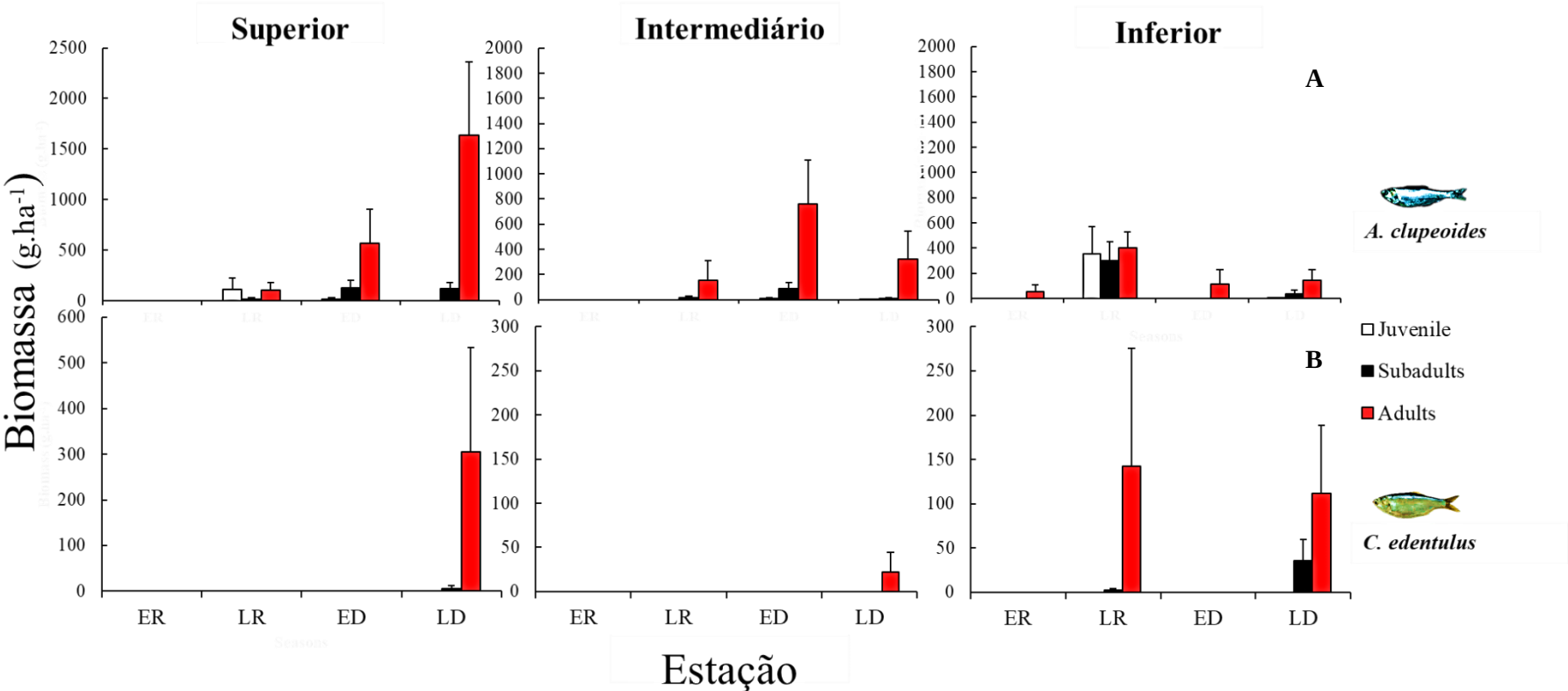
Densidades mais altas de adultos foram observadas na área superior do estuário ($48,5 \pm 37 \text{ ind.ha}^{-1}$) na estação final da seca, enquanto os subadultos apresentaram densidades mais elevadas na porção inferior ($12,5 \pm 8,6 \text{ ind.ha}^{-1}$) durante a estação final da seca (Figura 14b). Os maiores valores de biomassa de adultos estão na área superior ($304,6 \pm 229,5 \text{ g.ha}^{-1}$) na estação final da seca, enquanto os subadultos tiveram valores altos na área inferior ($35,4 \pm 24,3 \text{ g.ha}^{-1}$) na estação final da seca (Figura 15b).

148 Figura 14 – Media e Erro padrão (E.P.) da densidade nas diferentes fases ontogenéticas (juvenil: branco; subadulto: preto; adulto:
149 vermelho) de *A. clupeoides* (A) e *C. edentulus* (B) (juvenil, subadulto e adulto) nas estações de início da seca (ED), final da seca (LD),
150 início da chuva (ER) e final da chuva (LR) para as diferentes áreas (superior, intermediário e inferior) do estuário do Rio Goiana
151 (PE/PB).



Fonte: O autor (2024).

Figura 15 - Media e Erro padrão (E.P.) da biomassa nas diferentes fases ontogenéticas (juvenil: branco; subadulto: preto; adulto: vermelho) de *A. clupeioides* (A) e *C. edentulus* (B) nas estações de início da seca (ED), final da seca (LD), início da chuva (ER) e final da chuva (LR) para as diferentes áreas (superior, intermediário e inferior) do estuário do Rio Goiana (PE/PB).



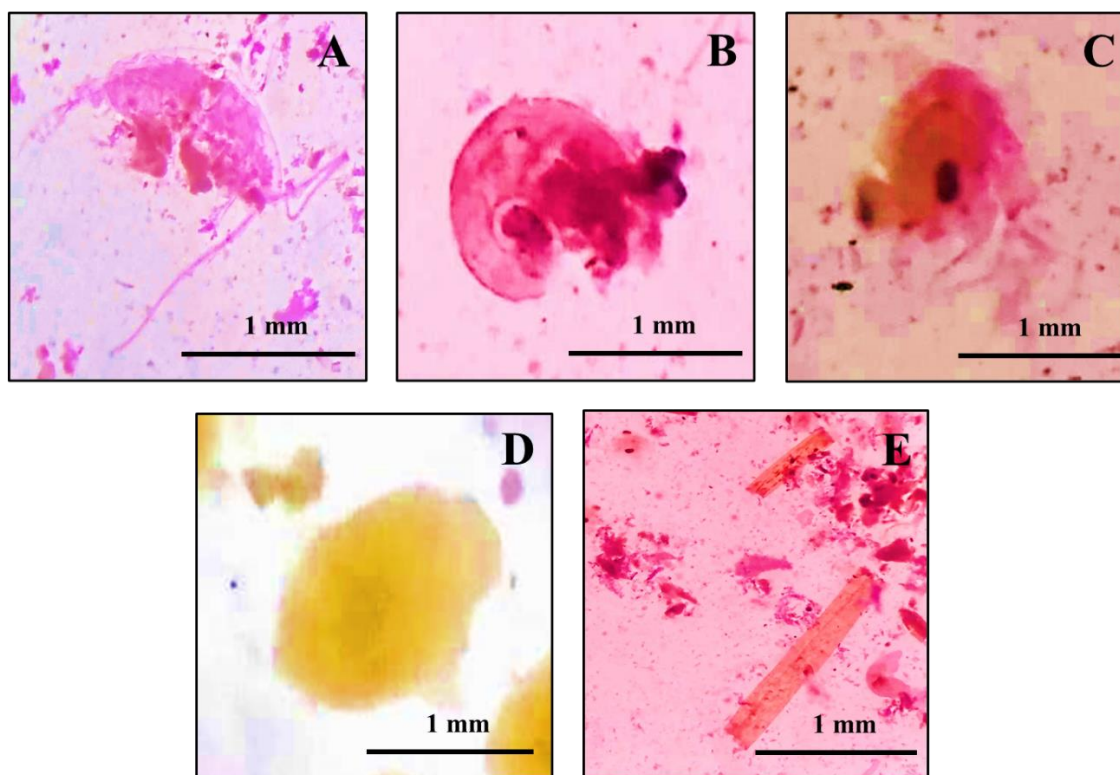
Fonte: O autor (2024).

4.4. MUDANÇAS ONTOGENÉTICAS NA DIETA, PADRÕES DE ALIMENTAÇÃO ESPAÇO-TEMPORAIS E CONTAMINAÇÃO POR MICROPLÁSTICOS.

4.4.1 ECOLOGIA ALIMENTAR E DA CONTAMINAÇÃO POR MICROPLÁSTICOS DA *ANCHOVIA CLUPEOIDES*.

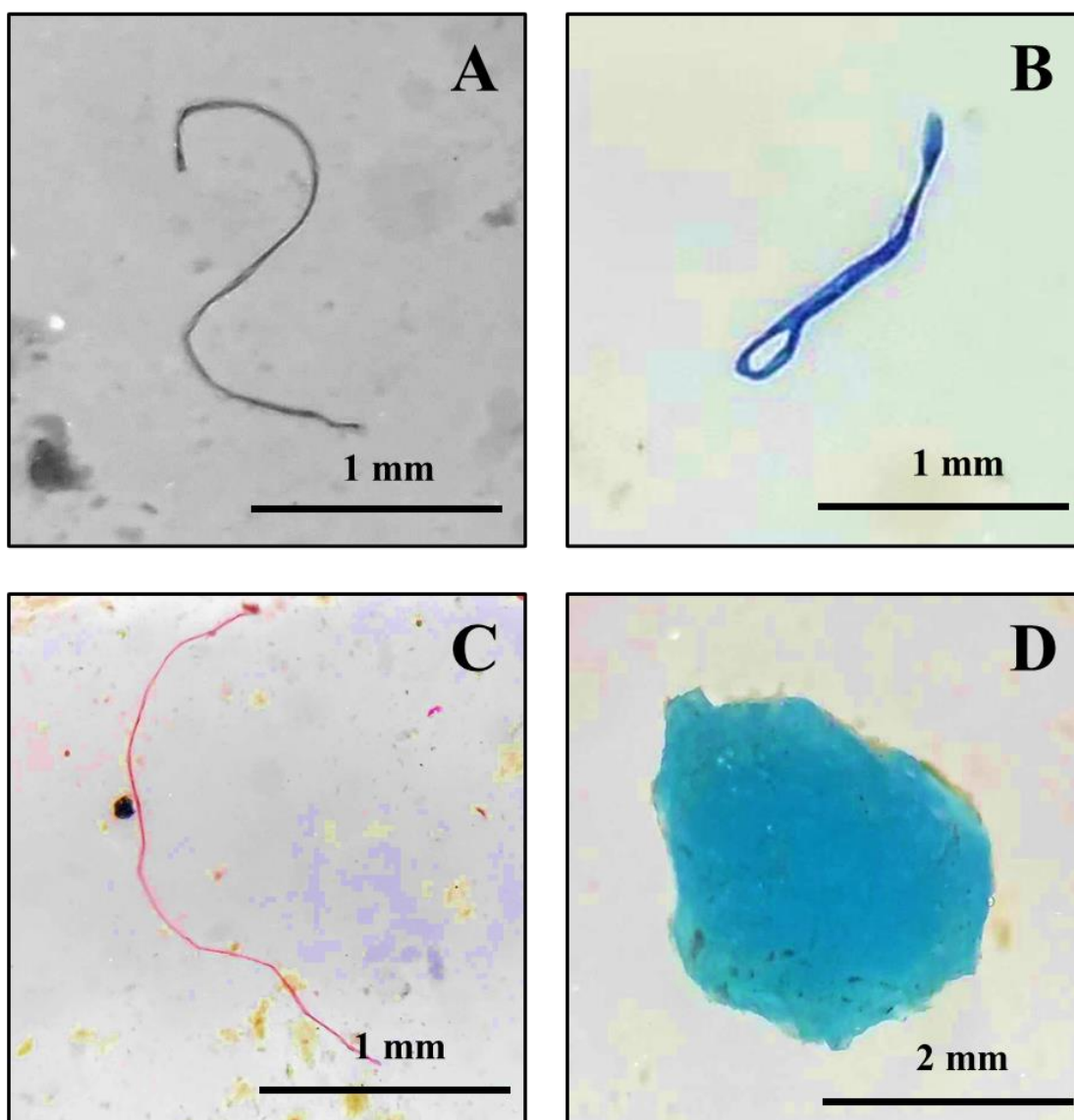
De um total de 498 indivíduos analisados (59 juvenis, 188 subadultos e 251 adultos), foram encontrados 19 itens alimentares (Figura 16) e 3 cores diferentes de MPs (Figura 17).

Figura 16 - Alimentação de *A. clupeioides*: (A) Copepoda, (B) Larva de Gastropoda, (C) Larvas de Zoe, (D) Larva de *Anomalocardia flexuosa* e (E) *Halodule wrightii*.



Fonte: O autor (2024).

Figura 17 - Contaminação por MP em *A. clupeioides*. (A) Fibra Preta; (B) Fibra Azul; (C) Fibra Vermelha e (D) Filme Azul.

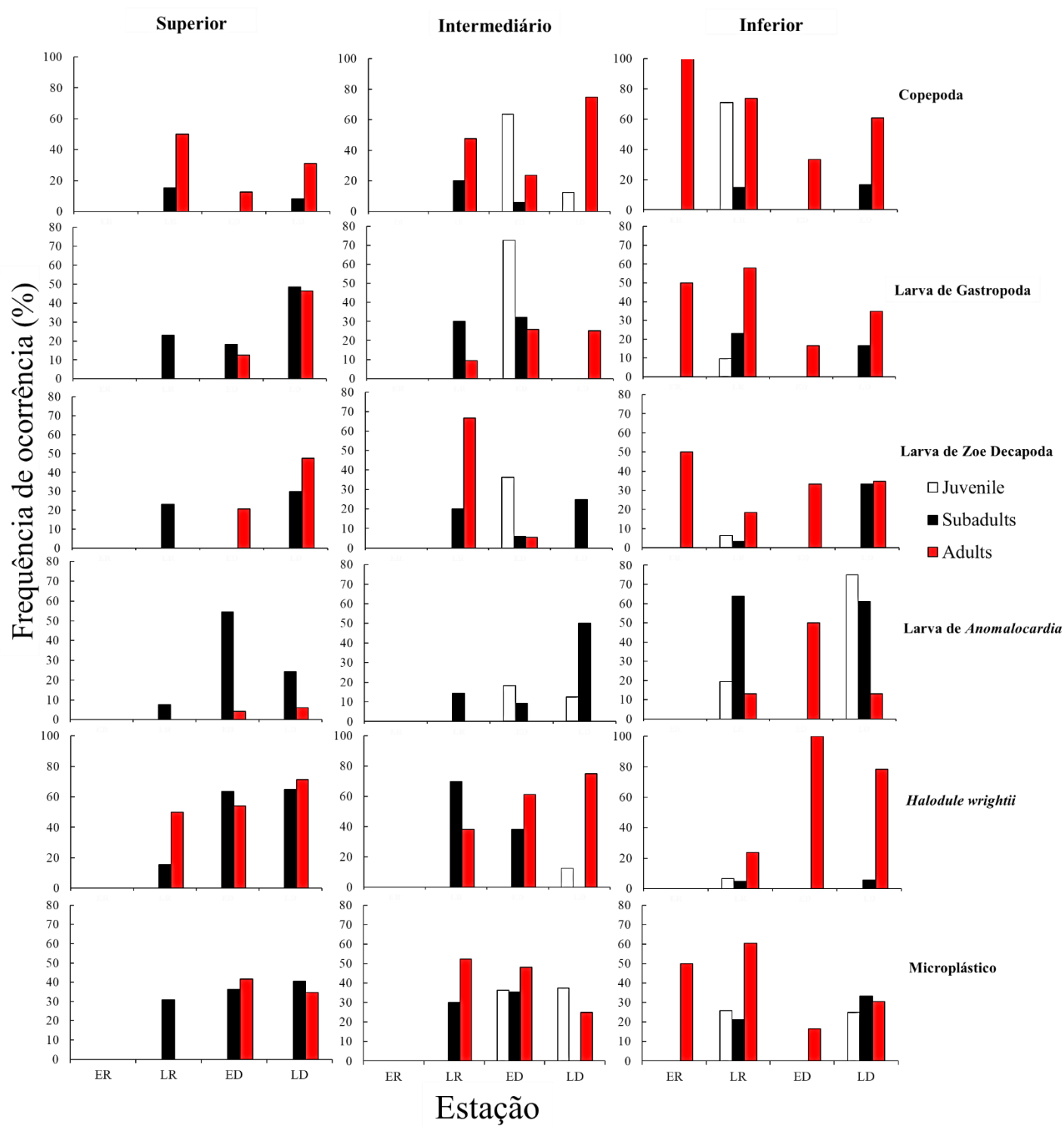


Fonte: O autor (2024).

Copépoda foi o item mais frequentemente consumido na dieta dos adultos (FO = 100%; $47,52 \pm 33,61$ presa.peixe⁻¹) na porção inferior do estuário durante a estação início da chuva (Figuras 18 e 19). No entanto, as larvas de *A. flexuosa* apresentaram maior frequência em subadultos (FO = 63,9%; $33,61 \pm 1,64$ presa.peixe⁻¹) na porção inferior durante a estação final da chuva e em juvenis (FO = 75%; $12,5 \pm 8,66$ presa.peixe⁻¹) na porção inferior durante a estação final da seca. Além disso, as larvas de Gastropoda também apresentaram maior frequência em juvenis (FO = 72,73%; $9,09 \pm 3,66$ presa.peixe⁻¹) na porção intermediária durante a estação início da seca.

A maior frequência de MPs em adultos ($FO = 60,53\%$; $10,53 \pm 3,8$ part.peixe⁻¹) foi observada na porção inferior do estuário durante a estação final da chuva, enquanto em subadultos ($FO = 40,54\%$; $8,11 \pm 1,81$ part.peixe⁻¹) a maior frequência foi observada na porção superior durante a estação final da seca. Para os juvenis, a maior frequência de contaminação por MPs ($FO = 37,5\%$; $25,11 \pm 13,36$ part.peixe⁻¹) foi observada na porção intermediária durante a estação final da seca.

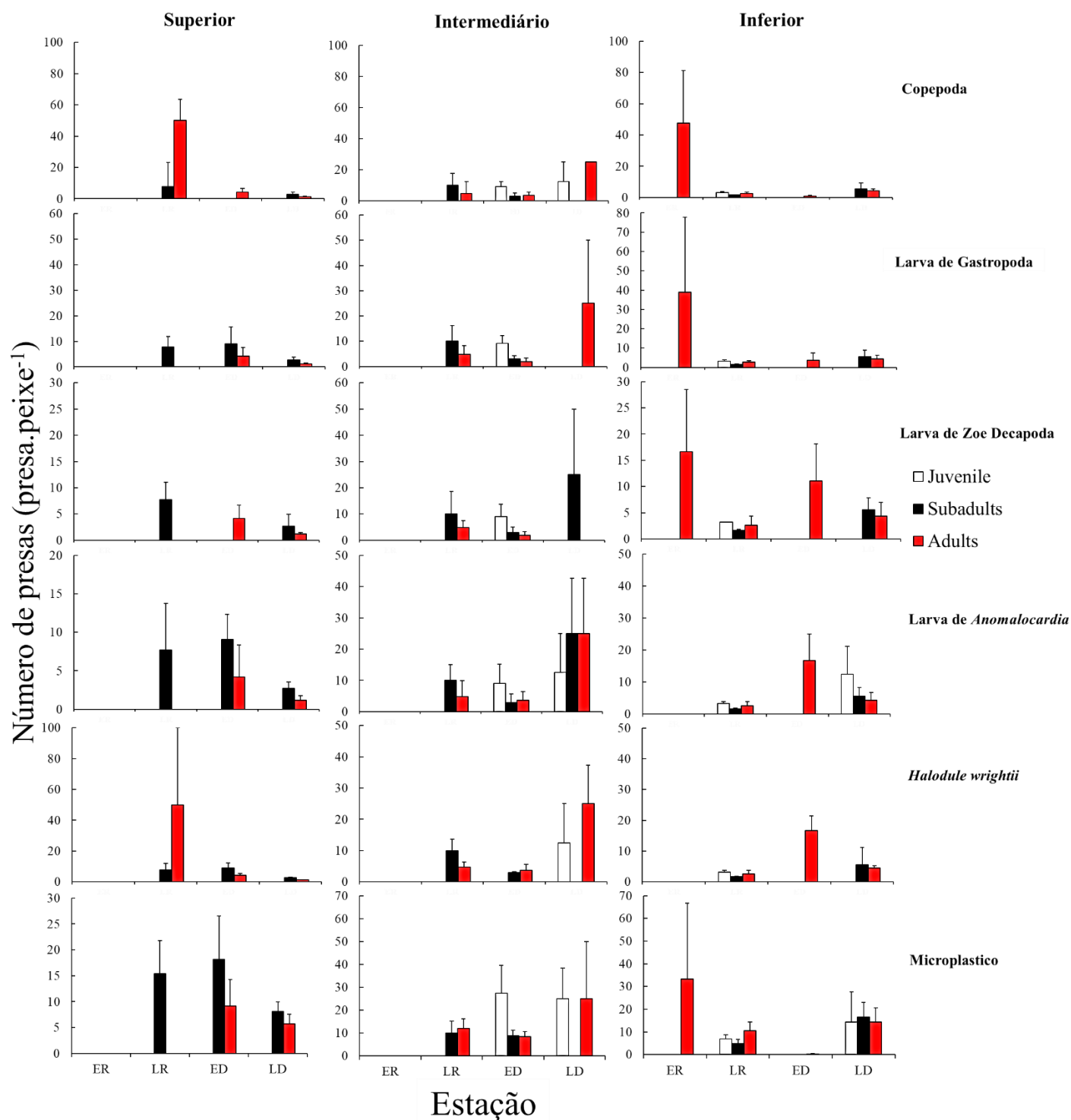
Figura 18 - Frequências de ocorrência em porcentagem (FO%) das presas ingeridas nas diferentes fases ontogenéticas (juvenil: branco; subadulto: preto; adulto: vermelho) de *A. clupeioides* nas estações de início da seca (ED), final da seca (LD), início da chuva (ER) e final da chuva (LR) para as diferentes áreas (superior, intermediário e inferior) do estuário do Rio Goiana (PE/PB).



Fonte: O autor (2024).

Figura 19 - Média e erro padrão (E.P.) do número das presas ingeridas nas diferentes fases ontogenéticas (juvenil: branco; subadulto: preto; adulto: vermelho) de *A. clupeioides* nas estações de início da seca (ED), final da seca

(LD), início da chuva (ER) e final da chuva (LR) para as diferentes áreas (superior, intermediário e inferior) do estuário do Rio Goiana (PE/PB).

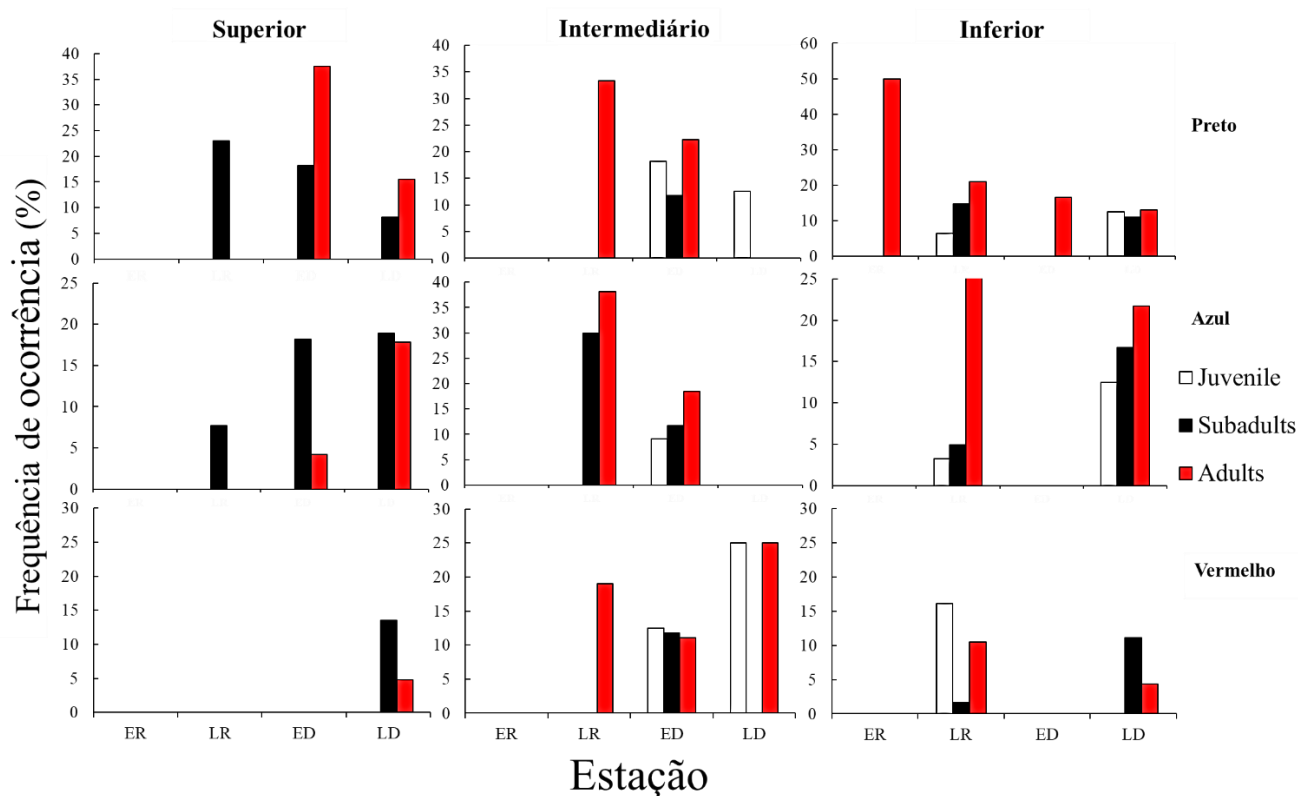


Fonte: O autor (2024).

Os MPs pretos apresentaram alta frequência em todas as fases ontogenéticas (Figura 20, 21). Os adultos se contaminaram por MPs (FO = 50%; $33,33 \pm 23,57$

part.peixe⁻¹) principalmente na porção inferior do estuário durante a estação chuvosa. Enquanto que os subadultos (FO = 23,08%; $7,69 \pm 3,19$ part.peixe⁻¹) apresentaram maior contaminação por microplásticos na porção superior durante a estação final da chuva.

Figura 20 - Frequências de ocorrência em porcentagem (FO%) das cores mais relevantes dos microplásticos (preto, azul e vermelho) ingeridas nas diferentes fases ontogenéticas (juvenil: branco; subadulto: preto; adulto: vermelho) de *A. clupeioides* nas estações início da seca (ED), final da seca (LD), início da chuva (ER) e final da chuva (LR) para as diferentes áreas (superior, intermediário e inferior) do estuário do Rio Goiana (PE/PB).

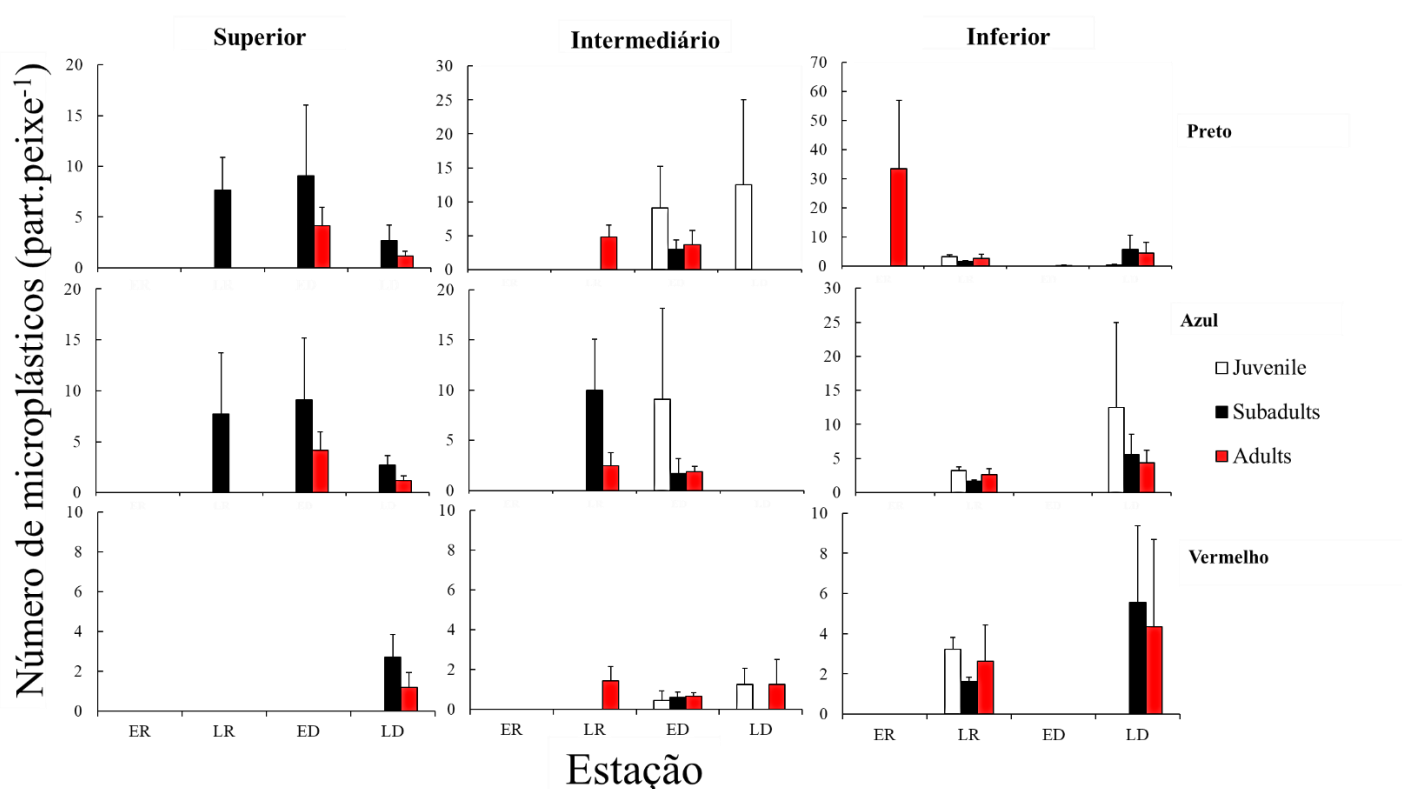


Fonte: O autor (2024).

Os juvenis (FO = 18,18%; $9,09 \pm 6,1$ part.peixe⁻¹) apresentaram uma maior contaminação por MPs na porção intermediária durante a estação início da seca. Em relação aos MPs azuis, os adultos apresentaram a maior frequência (FO = 38,1%; $2,49 \pm 1,3$ part.peixe⁻¹) principalmente na porção intermediária durante a estação final da chuva. Os MPs vermelhos contaminaram principalmente juvenis

(FO = 25%; $1,25 \pm 0,82$ part.peixe⁻¹) e adultos (FO = 25%; $1,25 \pm 1,25$ part.peixe⁻¹) na porção intermediária durante a estação final da seca.

Figura 21 - Média e erro padrão (E.P.) do número das cores mais relevantes dos microplásticos (preto, azul e vermelho) ingeridas nas diferentes fases ontogenéticas (juvenil: branco; subadulto: preto; adulto: vermelho) de *A. clupeioides* nas estações início da seca (ED), final da seca (LD), início da chuva (ER) e final da chuva (LR) para as diferentes áreas (superior, intermediário e inferior) do estuário do Rio Goiana (PE/PB).

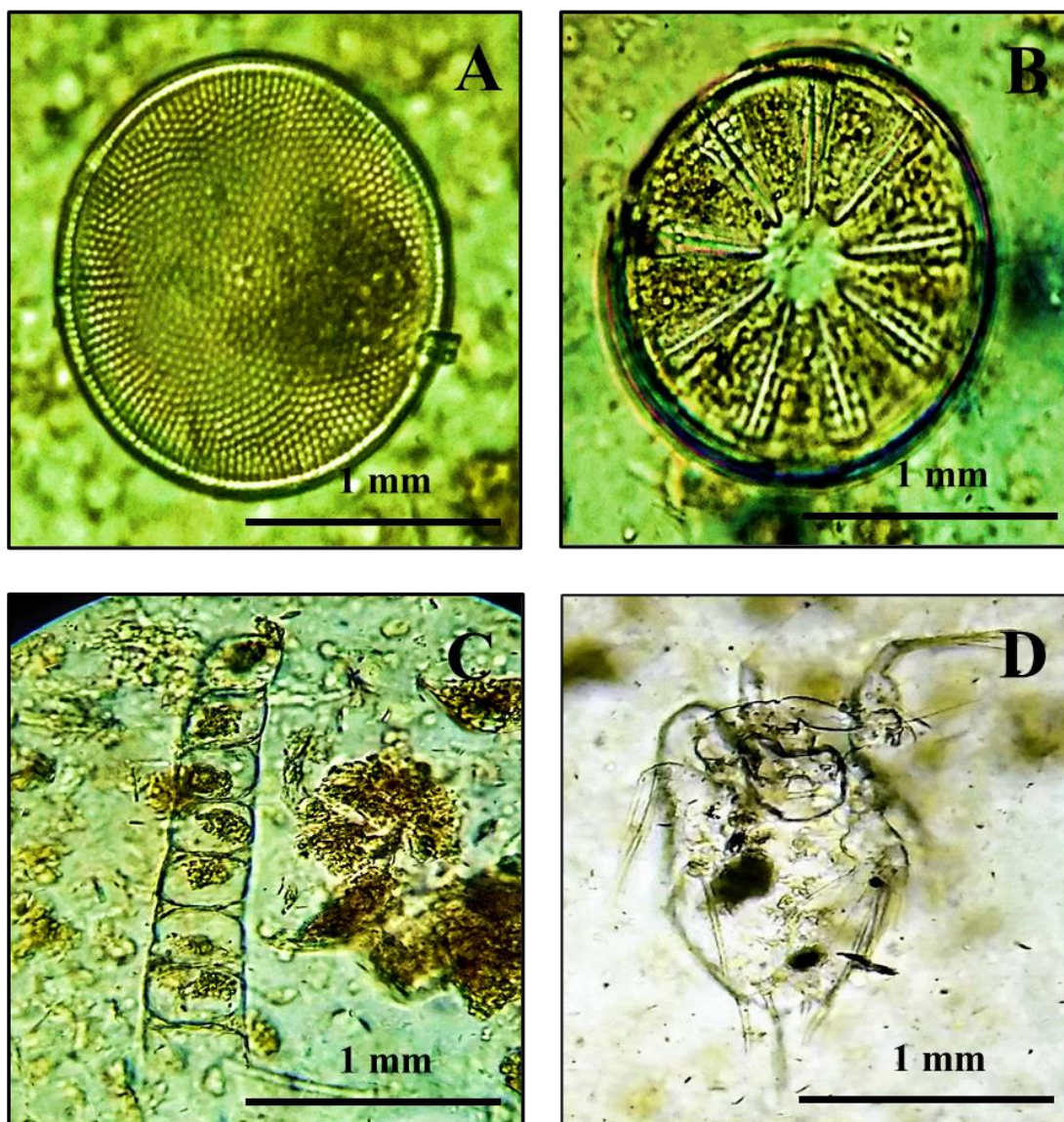


Fonte: O autor (2024).

4.4.2 ECOLOGIA ALIMENTAR E DA CONTAMINAÇÃO POR MICROPLÁSTICOS DE *CETENGAULIS EDENTULUS*.

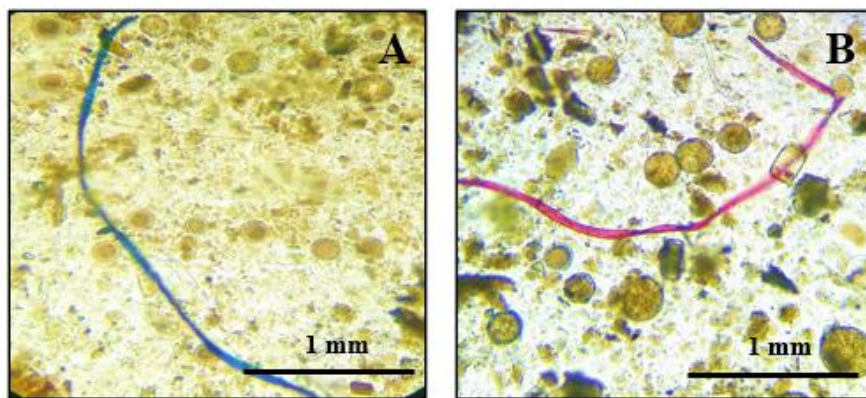
De um total de 161 indivíduos analisados (21 subadultos e 140 adultos), foram encontrados 19 itens alimentares (Figura 22) e 2 cores diferentes de MPs (Figura 23).

Figura 22 - Alimentação de *C. edentulus*: (a) *Coscinodiscus* sp e (b) *Actinophthycus* sp, (c) *Chaetoceros* sp e (d) Copepoda.



Fonte: O autor (2024).

Figura 23 - Contaminação por MP em *C. edentulus*. (A) Fibra Azul e (B) Fibra Vermelha.

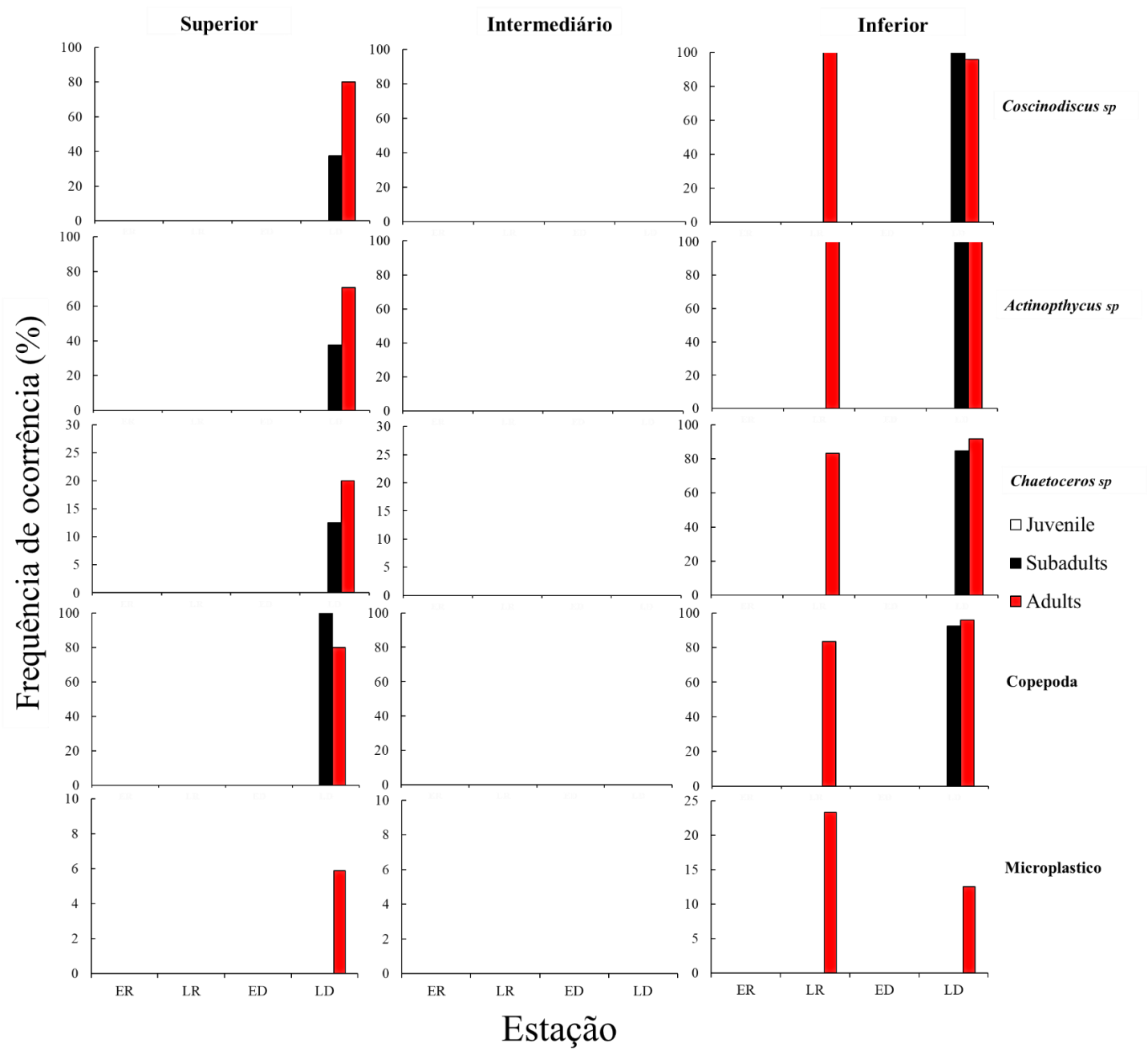


Fonte: O autor (2024).

Os gêneros *Coscinodiscus* sp. (FO = 100%; $3,33 \pm 0,26$ presa.peixe⁻¹) e *Actinophthycus* sp (FO = 100%; $4,17 \pm 3,47$ presa.peixe⁻¹) foram a principal dieta dos adultos na porção inferior do estuário durante a estação final da chuva (Figuras 24 e 25). Para os subadultos, *Coscinodiscus* sp. (FO = 100%; $12,5 \pm 0,35$ presa.peixe⁻¹) e *Actinophthycus* sp. (FO = 100%; $12,5 \pm 0,36$ presa.peixe⁻¹) foram a principal dieta na porção superior do estuário durante a estação final da seca.

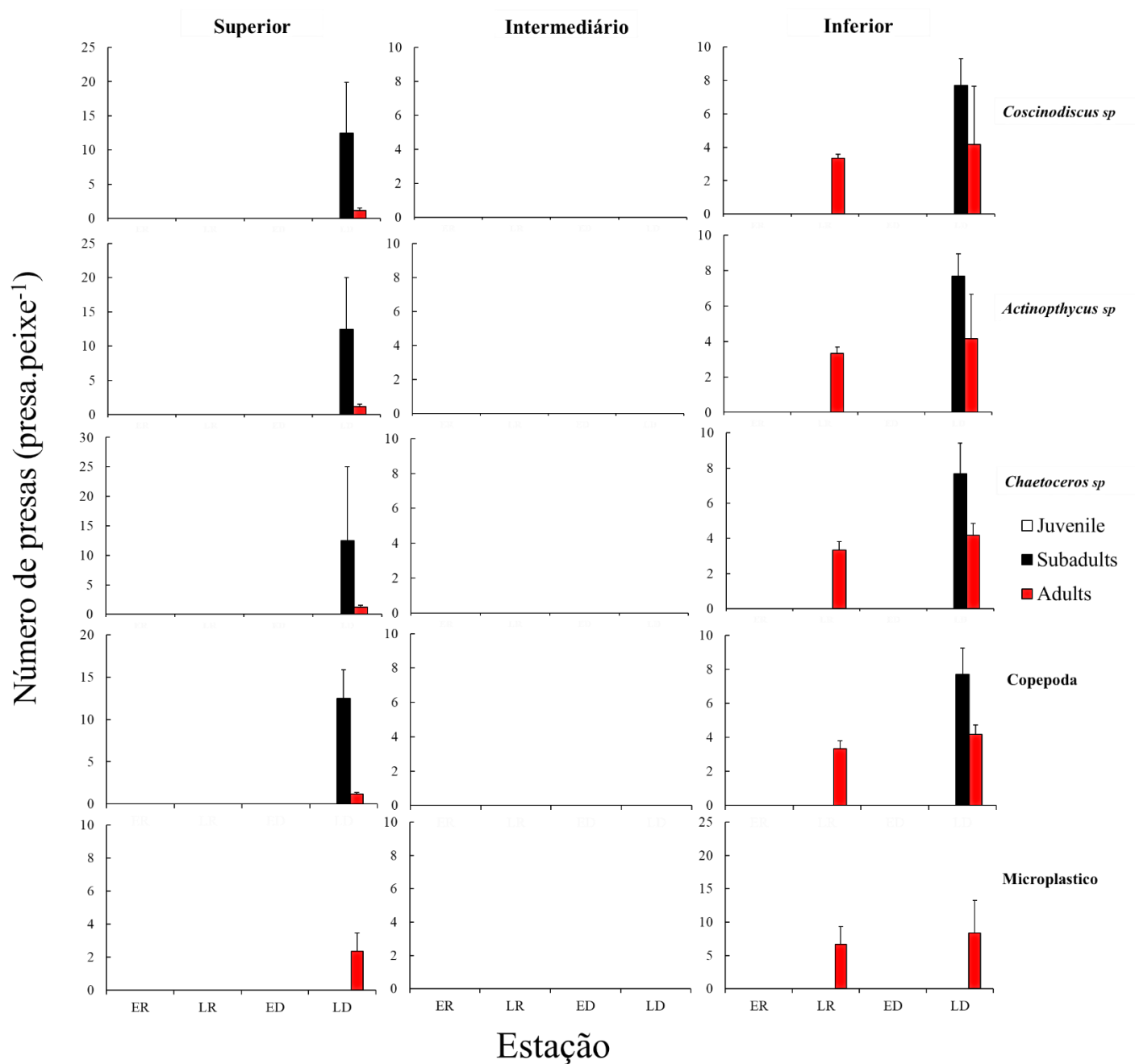
A maior frequência de MPs adultos (FO = 23,33%; $6,67 \pm 2,64$ part.peixe⁻¹) foi observada na porção inferior durante a estação final da chuva (Figuras 26 e 27). Tanto os MPs azuis (FO = 20%; $3,33 \pm 1,32$ part.peixe⁻¹) como os MPs vermelhos (FO = 10%; $3,33 \pm 1,86$ part.peixe⁻¹) apresentaram frequências mais altas na porção inferior durante a estação final da chuva. Os subadultos não apresentaram contaminação.

Figura 24 - Frequências de ocorrência em porcentagem (FO%) das presas ingeridas nas diferentes fases ontogenéticas (juvenil: branco; subadulto: preto; adulto: vermelho) de *C. edentulus* nas estações de início da seca (ED), final da seca (LD), início da chuva (ER) e final da chuva (LR) para as diferentes áreas (superior, intermediário e inferior) do estuário do Rio Goiana (PE/PB).



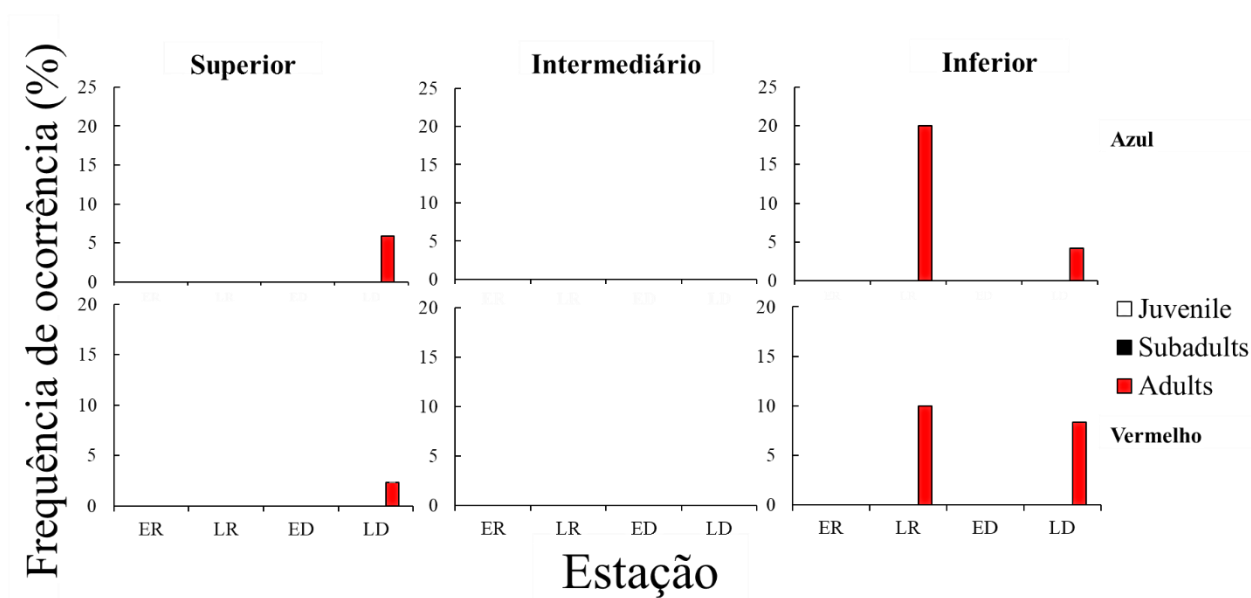
Fonte: O autor (2024).

Figura 25 - Média e erro padrão (E.P.) do número das presas ingeridas nas diferentes fases ontogenéticas (juvenil: branco; subadulto: preto; adulto: vermelho) de *C. edentulus* nas estações de início da seca (ED), final da seca (LD), início da chuva (ER) e final da chuva (LR) para as diferentes áreas (superior, intermediário e inferior) do estuário do Rio Goiana (PE/PB).



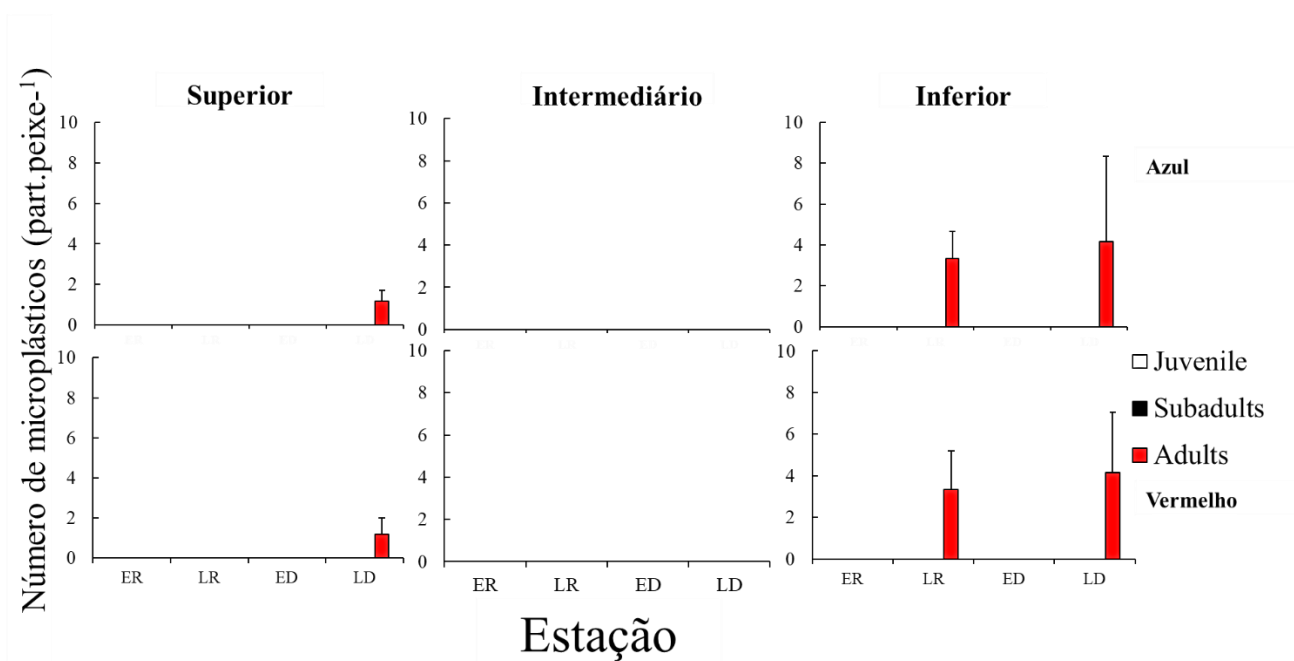
Fonte: O autor (2024).

Figura 26 - Frequências de ocorrência em porcentagem (FO%) das cores mais relevantes dos microplásticos (azul e vermelho) ingeridas nas diferentes fases ontogenéticas (juvenil: branco; subadulto: preto; adulto: vermelho) de *C. edentulus* nas estações início da seca (ED), final da seca (LD), início da chuva (ER) e final da chuva (LR) para as diferentes áreas (superior, intermediário e inferior) do estuário do Rio Goiana (PE/PB).



Fonte: O autor (2024)

Figura 27 - Média e erro padrão (E.P.) do número das cores mais relevantes dos microplásticos (azul e vermelho) ingeridas nas diferentes fases ontogenéticas (juvenil: branco; subadulto: preto; adulto: vermelho) de *C. edentulus* nas estações início da seca (ED), final da seca (LD), início da chuva (ER) e final da chuva (LR) para as diferentes áreas (superior, intermediário e inferior) do estuário do Rio Goiana (PE/PB).



Fonte: O autor (2024)

4.4.3. MODELO DE REGRESSÃO DA CONTAMINAÇÃO POR MPs EM ESPÉCIES DE PEIXES PLANTÓFAGAS

Para espécie *A. clupeioides*, o modelo de regressão que foi ajustado é a distribuição ZINBI, que apresentou um desvio global de 1963,6 e um AIC de 1981,6. As variáveis que foram significativas e, por isso, entraram no modelo foram: estação (início da chuva, final da chuva e início da seca), variáveis ambientais (O_2 dissolvido na água e a profundidade do disco de Secchi) e presa (Zooplâncton) (Tabela 3).

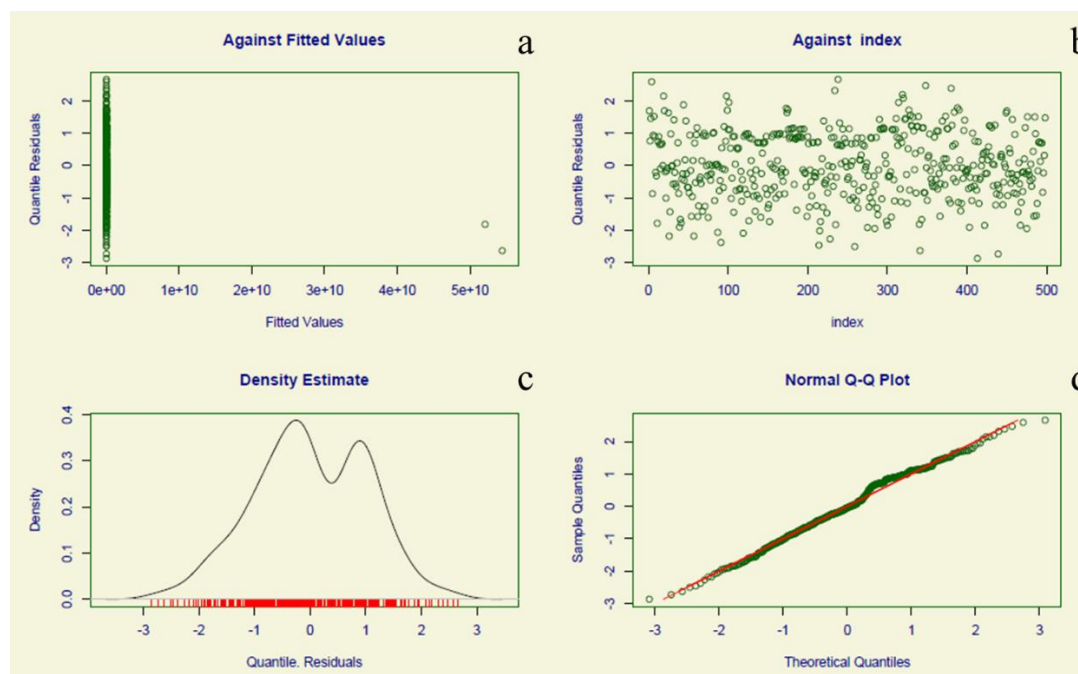
Tabela 3 - Resumo do modelo de regressão ZINBI para os dados de contaminação por MP em *A. clupeioides* com os fatores estações (início da chuva, final da chuva e início da seca), variáveis ambientais (O_2 dissolvido na água e a profundidade do disco de Secchi) e presa (Zooplâncton) (Códigos de Significância: NS não significativo, 0 '***' 0,001 '**' 0,01 '*' 0,05 '.' 0,01 ' ' 1).

β	Covariadas	Estimativa	Significância
β_0	Intersepto	10,7	***
β_1	Estação 1	-6,3	***
	Estação 2	-6	***
	Estação 3	17,9	***
β_2	O ₂	-0,3	**
β_3	Secchi	-0,03	**
β_4	Zoo_Presa	-0,001	***

Fonte: O autor (2024).

A análise dos resíduos de desvio versus valores ajustados sugere que não houve violações significativas na distribuição dos dados (Figura 28a). Além disso, o gráfico de probabilidade normal (Figura 28c), com envelopes simulados, indicou que não houve fortes evidências de violações das suposições propostas pelo modelo. Os resíduos demonstraram que eles se comportam de uma forma aleatória com uma dispersão constante (Figura 28b). Além disso, 96% dos dados encontram-se no intervalo de $[-2; 2]$, portanto, o modelo ajustado pode ser considerado adequado.

Figura 28 – Gráficos dos Resíduos versus valores ajustados (a), resíduos versus índice (b), estimativa de densidade (c) e ajuste à distribuição normal (d) do modelo de regressão binomial ZINBI para a contaminação por MP de *A. clupeioides*.



Fonte: O autor (2024).

Para *C. edentulus* o modelo de regressão ZIP, apresentou um valor de desvio global de 1286,1 e AIC de 286,1. As variáveis que foram significativas e, por isso, entraram no modelo foram: estação (final da seca), áreas (superior e inferior), fase ontogenética (adulto), salinidade e presa (Fitoplâncton) (Tabela 4).

A análise dos resíduos mostra que não houve fortes evidências de violações do modelo de suposições (Figura 29a). Além disso, os resíduos mostraram que os valores ajustados têm um comportamento aleatório e com dispersão constante (Figura 29b). O gráfico de probabilidade normal sugere que não existem fortes evidências de violações das suposições do modelo (Figura 29d). Levando em consideração essas evidências pode-se concluir que o modelo ajustado é adequado.

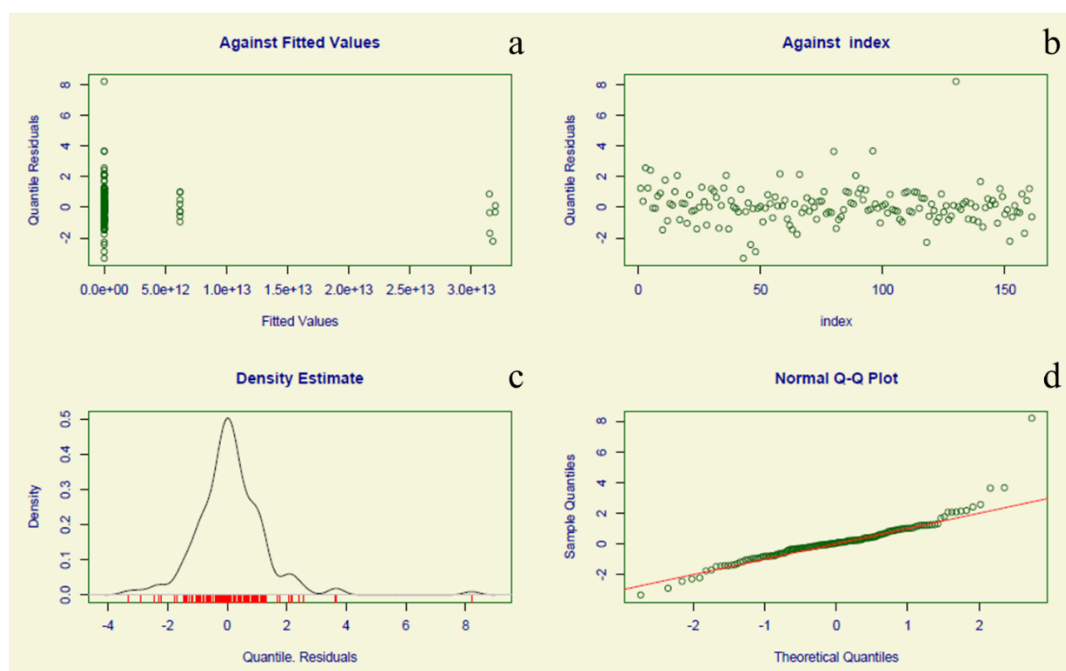
Tabela 4 – Resumo do modelo de regressão ZIP para os dados de contaminação de MP em *C. edentulus* para os fatores: área (superior, intermediário e inferior), estações (início da chuva, final da chuva, início da seca e final da seca) e para as variáveis ambientais (Salinidade) e presas (Fitoplâncton) (Códigos de Significância: NS não significativo, 0 '****' 0,001 '***' 0,01 '**' 0,05 '.' 0,01 ' ' 1).

β	Covariadas	Estimativa	Significância
β_0	Intercepto	-19,3	***
β_1	Área 1	26,9	***
β_2	Estação 4	3,3	***
β_3	Fase 3	14,1	***
β_4	Sal	2,7	***
β_5	Fito_Presa	-0,00005	***

Fonte: O autor (2024).

Além disso, 92% dos resíduos estão dispersos no intervalo de $[-2 ; 2]$ (Figura 29b).

Figura 29 – Gráficos dos Resíduos versus valores ajustados (a), resíduos versus índice (b), estimativa de densidade (c) e ajuste à distribuição normal (d) do modelo de regressão binomial ZINBI para a contaminação por MP de *C. edentulus*.



Fonte: O autor (2024).

4.4.4. ESTRUTURA BÁSICA DO MPs (POLÍMERO)

As amostras de MPs foram analisadas com microscopia óptica, espectroscopia transformada de Fourier (FTIR), em solução, com subtração do sinal da água. A faixa do infravermelho utilizada foi de 4000 a 400 cm^{-1} .

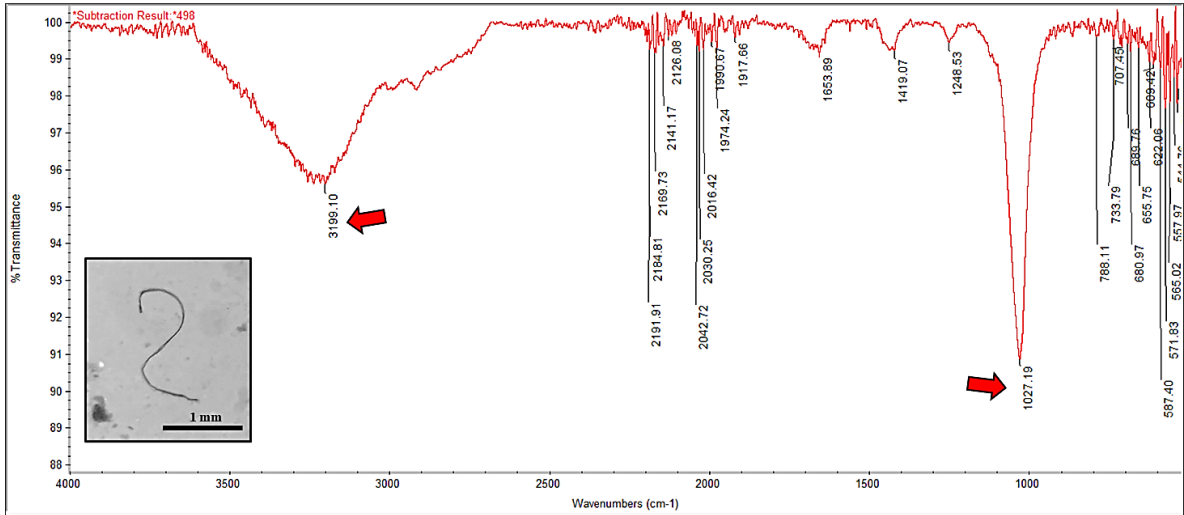
Todas as amostras apresentaram um alto grau de degradação e de acordo com as análises químicas todas as fibras são materiais plásticos oriundos do polietileno (Figuras 30 a 34).

Os sinais de maior intensidade detectados em todas as amostras estão centrados em torno de 3200 cm^{-1} e em 1200 cm^{-1} , que são sinais referentes aos grupos OH (hidratação) e C-OH (oxidação) das fibras de MPs (Figuras 30 a 34). Pelas intensidades dos picos nota-se que este processo de degradação está bem avançado.

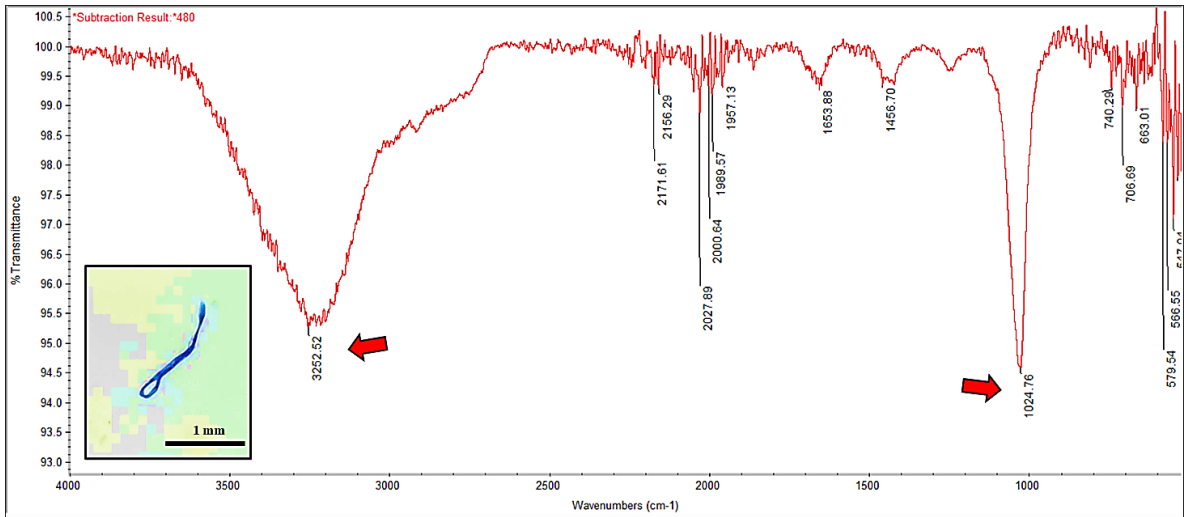
Além desses sinais de hidratação e oxidação das fibras de MPs, também foram observados sinais menos frequentes referentes aos grupos metilênicos do polietileno na faixa de 2.980 cm^{-1} e os picos referentes aos tipos de carbonila, formados durante o processo de degradação (e.g. cetonas e ésteres) nas faixas de absorção entre 1650 e 1450 cm^{-1} .

Figura 30 - O espectro FTIR da amostra de Microplásticos em juvenis de *A. clupeioides*, fibras pretas (a) e fibras azuis (b), os gráficos mostraram que o polímero base está degradado.

a

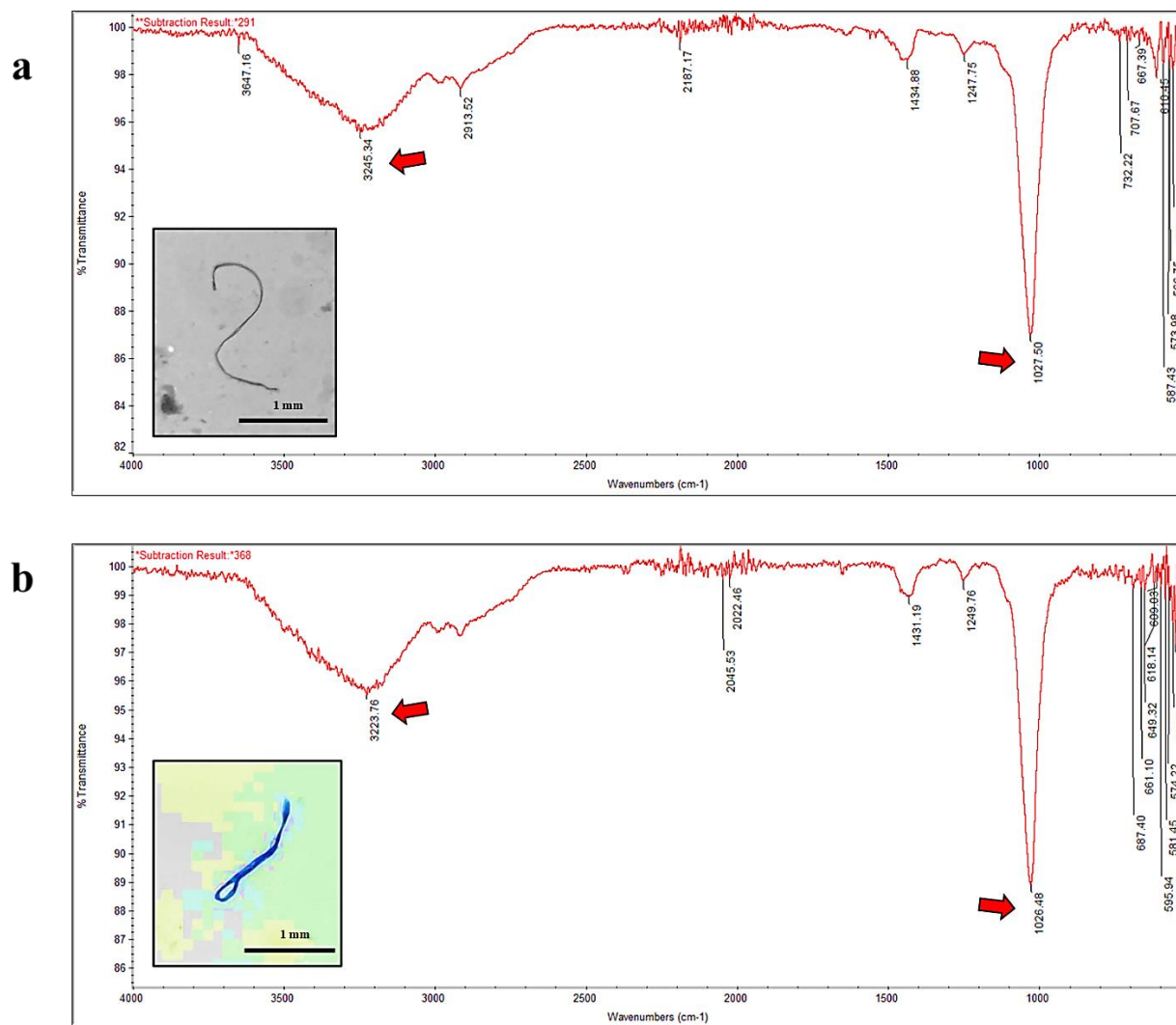


b



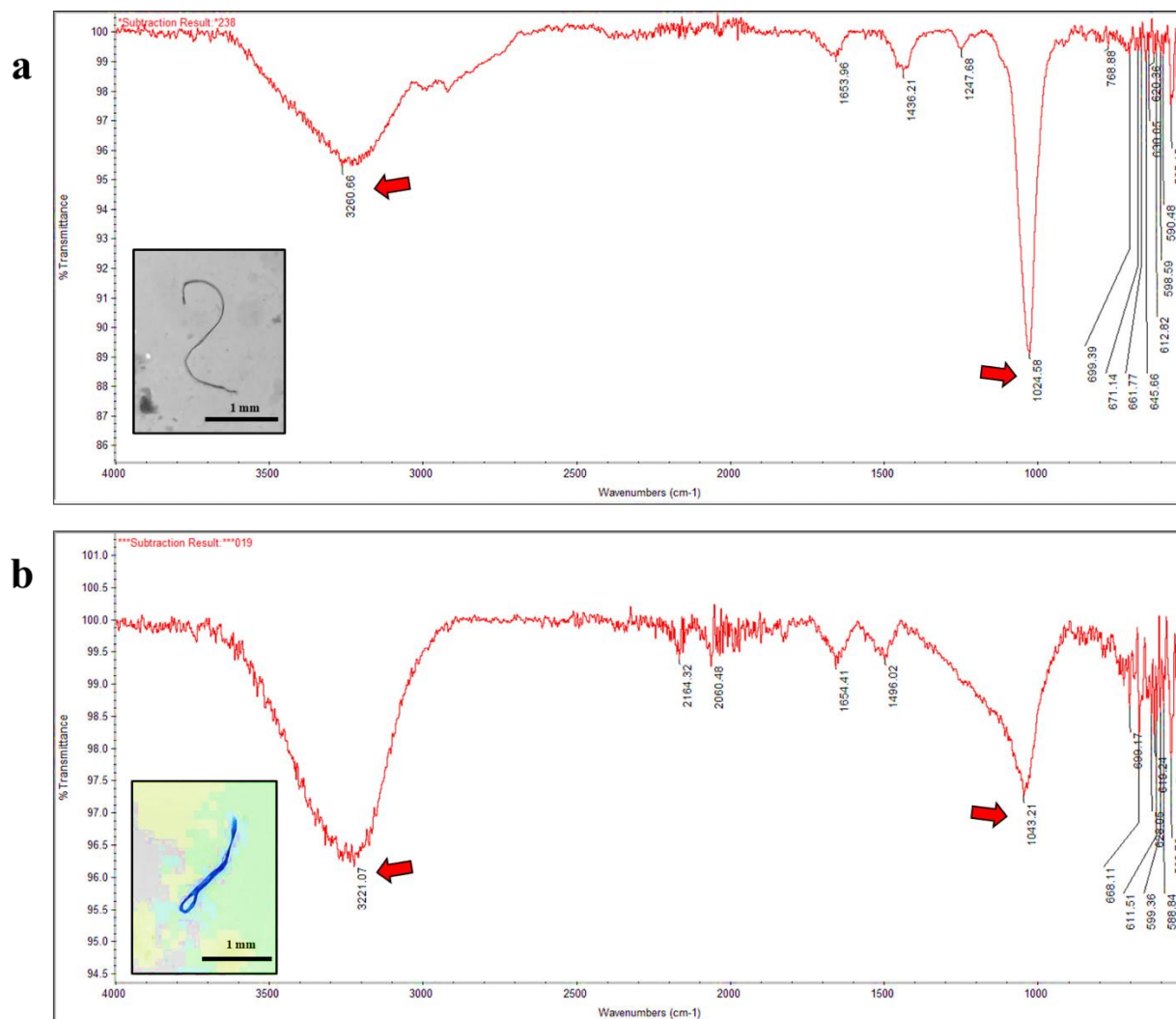
Fonte: O autor (2024).

Figura 31 - O espectro FTIR da amostra de Microplásticos em subadultos de *A. clupeioides*, fibras pretas (a) e fibras azuis (b), os gráficos mostraram que o polímero base está degradado.



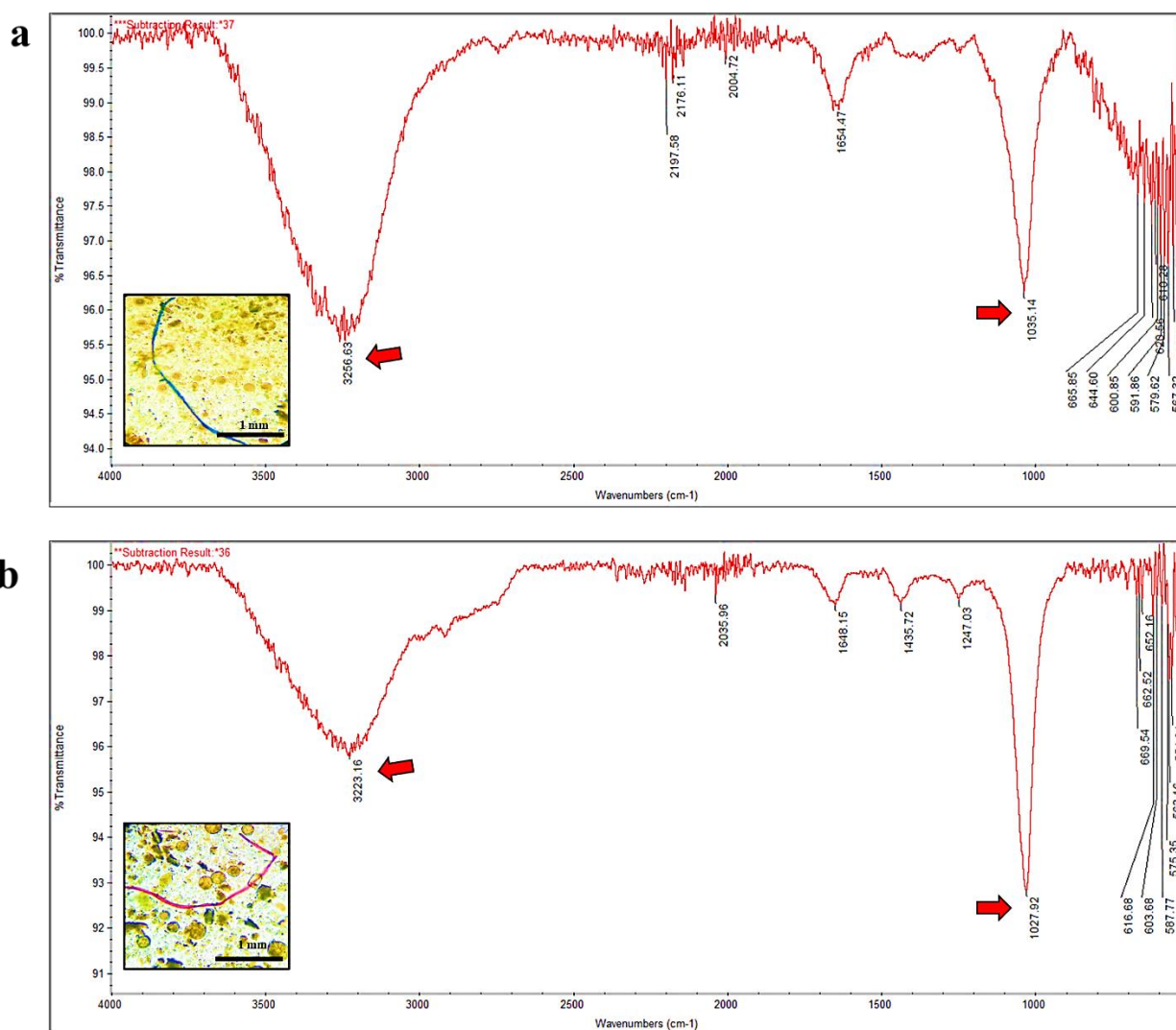
Fonte: O autor (2024).

Figura 32 - O espectro FTIR da amostra de Microplásticos em adultos de *A. clupeioides*, fibras pretas (a) e fibras azuis (b), os gráficos mostraram que o polímero base está degradado.



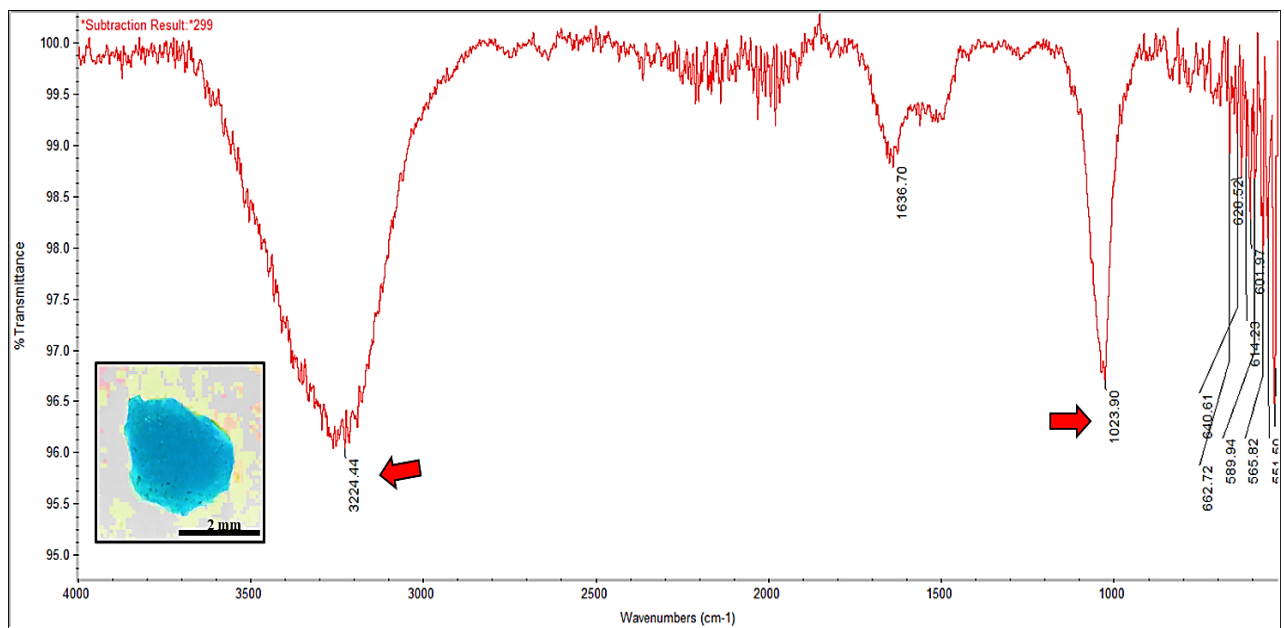
Fonte: O autor (2024).

Figura 33 - O espectro FTIR da amostra de Microplásticos em adultos de *C. edentulus*, fibras azuis (a) e fibras vermelhas (b), os gráficos mostraram que o polímero base está degradado.



Fonte: O autor (2024).

Figura 34 - O espectro FTIR da amostra de plástico em adultos de *A. clupeioides* o gráfico mostrou que o polímero base está degradado.

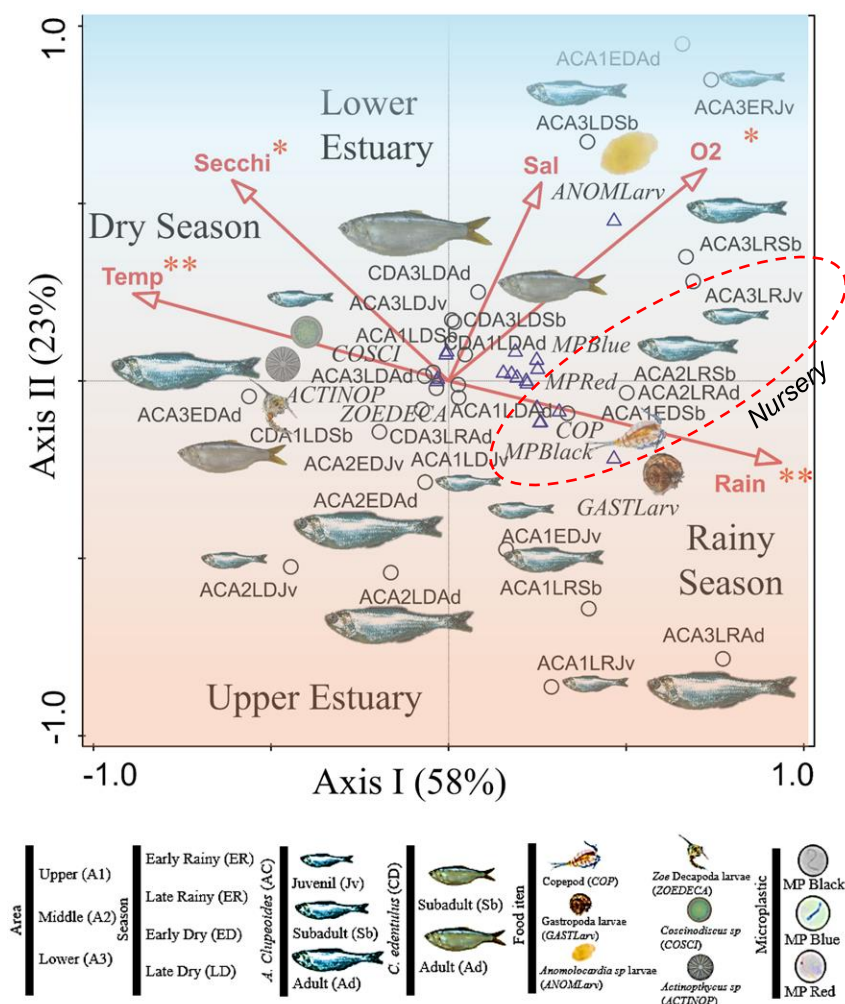


Fonte: O autor (2024).

5. INFLUÊNCIA DAS VARIÁVEIS AMBIENTAIS NOS PADRÕES DE CONTAMINAÇÃO POR MPs E NA INGESTÃO DAS PRESAS

Na Análise de Correspondência Canônica (ACC) o Eixo I representa as estações do ano. Este Eixo explicou 58% da distribuição dos dados em função da sazonalidade, onde a porção positiva corresponde a estação chuvosa e a porção negativa corresponde a estação seca (Figura 35 e Tabela 5). O Eixo II (23%) representa o gradiente de salinidade do ecossistema estuarino, onde a porção positiva corresponde a porção inferior do estuário, enquanto a porção negativa representa a porção superior do estuário. A precipitação e temperatura da água foram os vetores das variáveis responsáveis pela formação do Eixo I. Enquanto que a transparência da água (Secchi), salinidade e oxigênio dissolvido foram os vetores das variáveis responsáveis pela formação da porção positiva do Eixo II. Larva de *A. flexuosa* foi consumida principalmente por subadultos de *A. clupeoides* durante o final da chuva no inferior do estuário. Enquanto que as principais presas de adultos de *A. clupeoides* foram os copépodos no final da chuva e início da seca. Durante esse período os indivíduos adultos se contaminaram por MPs pretos e azuis. Enquanto que os subadultos de *A. clupeoides* se alimentaram de larvas de Gastropodas na área intermediária e superior. Durante esse momento os subadultos se contaminaram com MPs pretos. Os juvenis de *A. clupeoides* se contaminaram por MPs preto quando se alimentaram de copépodos durante o período final da chuva na área inferior do estuário. *Coscinodiscus sp* e *Actinophycus sp* foram consumidas por adultos e subadultos de *C. edentulus* na área inferior do estuário durante o final da seca. Durante esse momento os adultos se contaminaram por MPs azuis e vermelhos.

Figura 35 – A Análise de Correspondência Canônica (ACC) para correlações entre contaminação por MP, itens alimentares e variáveis ambientais. As setas representam os parâmetros ambientais chuva (Rain), temperatura (Temp), salinidade (Sal), O₂ oxigênio dissolvido e Secchi (Secchi). Os triângulos (Δ) representam a contaminação por MP azuis (MP Blue), MP pretos (MP Black) e MP vermelhos (MP Red) e os itens alimentares (copepoda (COP), Larva de gastropoda (GASTLarv), Larvas de *Anomolocardia* sp (ANOMLarv), Larvas de Decapoda Zoe (ZOEDECA), *Coscinodiscus* sp (COSCI), e *Actinophycus* sp (ACTINOP)). Os círculos (O) representam as interações entre os fatores área (A1; superior, A2; intermediário e A3; inferior), estação (ED; início da seca, LD; final da seca, ER; início da chuva e LR; final da chuva) e fases ontogenéticas de *A. clupeioides* e *C. edentulus* (juvenil, subadulto e adulto) no estuário do Rio Goiana (PE/PB).



Fonte: O autor (2024).

Tabela 5 - Resumo da Análise de Correspondência Canônica (ACC) utilizando as variáveis ambientais (chuva, temperatura, Secchi, O₂ e salinidade), as presas mais importantes e a contaminação por MP (fibras azuis, pretas e vermelhas) ingeridas por *A. clupeioides* e *C. edentulus* nas estações IS; início da seca, FS; final da seca, IC; início da chuva e FC; final da chuva no estuário do Rio Goiana (PE/PB) (Códigos de Significância: NS não significativo, 0 **** 0,001 *** 0,01 ** 0,05 ' 0,01 ' ' 1).

	Eixo 1	Eixo 2	Eixo 3	Eixo 4
Autovalores	0,6	0,3	0,2	0,02
Variância explicada	23,9	33,6	40,1	41,1
Correlação pseudo-canônica	0,8	0,7	0,7	0,3
Variância explicada ajustada	58	81,5	97,2	99,5

Variáveis ambientais	Contribuição (%)	Pseudo-F (%)	<i>p</i>	Significância
Chuva	53	7	0,004	****
Temperatura	47,4	6,1	0,004	**
Secchi	30,3	3,6	0,02	*
O ₂	30	3,2	0,04	*
Salinidade	12,2	1,3	0,3	NS

	Eixo 1	Eixo 2	Eixo 3
Autovalores	58%	23,5%	18,5%

Fonte: O autor (2024).

5. DISCUSSÃO

Os estuários são um dos ecossistemas aquáticos mais produtivos do planeta (ODUM, 1984). A floresta de manguezal e as descargas dos rios fornecem nutrientes ao ambiente e abastecem a comunidade planctônica, que funciona como a base da rede trófica estuarina e costeiras (BECK *et al.*, 2001).

No estuário do Rio Goiana, flutuações sazonais na precipitação e no gradiente de salinidade foram indicadas como as variáveis responsáveis pela distribuição de todas as fases ontogenéticas (larvas, juvenis, subadultos e adultos) de peixes e invertebrados no canal principal de um ecossistema estuarino tropical (DANTAS *et al.*, 2010, 2012a; LIMA *et al.*, 2015).

Esses ambientes estuarinos têm por característica uma grande densidade de espécies planctófagas tanto estuarinas como marinhas (BARLETTA & BARLETTA-BERGAN, 2009). No caso de um estuário localizado na Amazonia Oriental, as espécies planctófagas associadas a esses ambientes estuarinos tropicais são principalmente *A. clupeioides* e *C. edentulus* (BARLETTA *et al.*, 2003, 2005), no estágio larval apresentam abundância máxima na porção superior do estuário durante a estação seca e nas larvas de peixes marinhos (*C. edentulus*) migram para o alto estuário, ocupando os canais principais e suportando as variações anuais de salinidade (BARLETTA-BERGAN *et al.*, 2002 a, b; LIMA *et al.*, 2015; DA SILVA *et al.*, 2018). A evidência onde as larvas utilizam os canais de mares para desenvolver-se foi observada no estuário do Rio Goiana, a maior quantidade de indivíduos estava na fase de pós-flexão (LIMA *et al.*, 2016). Levando em consideração estas informações geradas neste estudo, adultos de *A. clupeioides* se alimentaram principalmente de copepodas na porção inferior do estuário durante a estação início da chuva e nesse momento se estavam contaminando principalmente por MPs pretos. Os subadultos se alimentaram de larvas de *A. flexuosa* na porção inferior durante a estação final da chuva, os juvenis também apresentaram uma preferência por larvas de *A. flexuosa* na porção inferior durante a estação final da seca. Além disso, também apresentaram uma maior preferência por larvas de Gastropoda na porção intermediária durante a estação início da seca quando se estavam contaminando principalmente por MPs pretos. Em base nestas informações poderíamos concluir neste estudo que *A. clupeioides* se alimenta principalmente

de Zooplâncton, por isso poderia ser considerado um consumidor secundário pelágico.

Em relação a *C. edentulus*, os gêneros *Coscinodiscus* sp e *Actinophthycus* sp fazem parte a dieta principal dos adultos na porção inferior do estuário durante a estação final da chuva quando se estavam contaminando por MPs azuis e vermelhos. Enquanto aos subadultos se alimentaram principalmente por *Coscinodiscus* sp. e *Actinophthycus* sp. na porção inferior do estuário durante a estação final da seca e não apresentaram contaminação por MPs. *C. edentulus* se alimentou principalmente de fitoplâncton, por isso foi considerado um consumidor primário pelágico (Figura 36).

Estudos realizados sobre a composição da dieta em outras espécies de peixes pertencentes a família Engraulidae indicou que a espécie *Engraulis encrasilocus*, tanto no golfo de Leão - França (COSTALAGO *et al.*, 2012), no mar de Mauritânia – norte da África (GUSHCHIN *et al.*, 2015), no mar Egeu - Turquia (AKALIN *et al.*, 2018), na Baía de Marcelle - França (CHEN *et al.*, 2022), no mar Adriático - Itália (FANELLI *et al.*, 2023), indicaram que os principais itens alimentar para esta espécie também foram os copépodos, larvas de crustáceos, matéria orgânica e diatomáceas. Por outro lado, em estudos realizados no estuário do Rio Chikugo, no Japão, larvas e juvenis de *Coilia nasus* alimentaram principalmente de copepoda, enquanto as larvas tem preferência por Mysidaceas (SUZUKI *et al.*, 2014). Esta situação foi diferente nos juvenis de *A. clupeioides*, porque a principal composição da dieta foram Larvas de *A. flexuosa* (Bivalvia), Larvas de Zoe (Crustacea) e copepoda. Por outro lado, adultos de *C. edentulus* apresentaram uma composição da dieta principalmente por diatomáceas, como também foi observado no estudo realizado no Rio Caeté (KRUMME *et al.*, 2009).

Levando em consideração aos estudos realizados no estuário do Rio Goiana que descreveram a distribuição espaço-temporal e ecologia alimentar de peixes pertencentes a níveis tróficos superiores da teia trófica, podemos concluir que *A. clupeioides* e *C. edentulus*, foram itens importantes para a dieta de *Cynoscion acoupa* e para as espécies de *Centropomus* spp. FERREIRA *et al.*, 2016, 2018, 2019). Onde subadultos de *C. acoupa* se alimentaram principalmente por *A. clupeioides* na porção intermediária do estuário durante o início da seca.

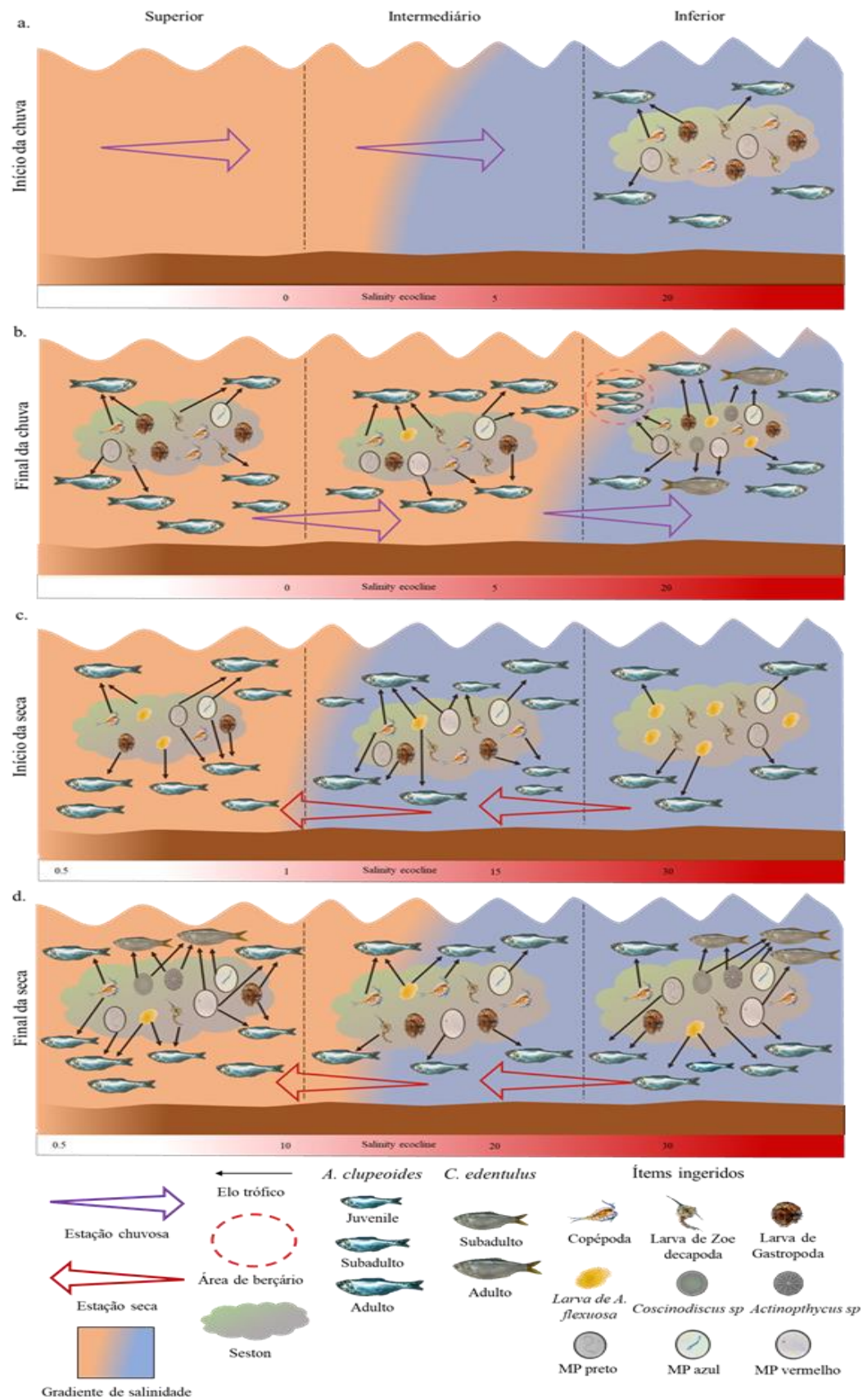
Enquanto que para os adultos de *C. undecimalis* se alimentaram de *A. clupeoides* na porção superior do estuário durante início da estação da chuva e por *C. edentulus* na porção inferior do estuário durante o início da estação da seca. Subadultos e adultos de *C. mexicanus* se alimentaram principalmente de *A. clupeoides* na porção intermediária do estuário durante o início da estação seca e por *C. edentulus* na região costeira durante o início da chuva. Além disso, na região costeira, exemplares adultos do tubarão *Rhysoprionodon porosus*, predou *A. clupeoides*, durante o início da seca (MELO *et al.*, 2024). Com base nestas informações, evidenciou que *A. clupeoides* e *C. edentulus* são presas importantes para predadores de topo em ecossistemas estuarino/costeiro da porção mais oriental da América do Sul. Além disso, é importante ressaltar que a maioria dos exemplares referente destas espécies estavam contaminadas por MPs (DANTAS *et al.*, 2025, SILVA *et al.*, 2018, FERREIRA *et al.*, 2016, 2018, 2019). De acordo com POSSATTO *et al.*, (2011) e WATSON *et al.*, (2022), a principal fonte de MPs provém das atividades da pesca e turismo. A origem dos MPs está também associada ao descarte inapropriado de resíduos plásticos nas bacias hidrográficas (BARLETTA *et al.*, 2023). No estuário do Rio Goiana, os MPs foram encontrados em todo o estuário durante todo o ano (LIMA *et al.*, 2015). No entanto, durante o final da estação chuvosa, quando o Rio Goiana apresenta uma maior vazão induz a descarga de MPs em direção a região costeira.

A análise de FITR determinou que os MPs que foram encontrados no tracto digestivo de indivíduos de *A. clupeoides* e *C. edentulus* eram compostos de polietileno. Levando em consideração essa informação podemos inferir que os predadores de topo do estuário do Rio Goiana, podem ser suscetíveis, por estar expostos tanto à ingestão direta de MPs, quanto através da transferência trófica de uma presa previamente contaminada (FERREIRA *et al.*, 2016, 2018, 2019a, b; NELMS *et al.*, 2018). Estudos anteriores determinaram que a contaminação por MPs é maior à medida que o nível trófico aumenta (POSSATO *et al.*, 2011; SÁ *et al.*, 2015; SILVA *et al.*, 2018; FERREIRA *et al.*, 2018; 2019a). Os MPs são encontrados em grandes quantidades no canal principal no estuário do Rio Goiana, podendo afetar as relações entre presas e predadores. *A. clupeoides* e *C. edentulus* pertencem ao nível trófico inferior (consumidores secundários e

primarios) e ao ser presas de outros predadores, acredita-se que a contaminação por MPs na teia trófica poderia ser transferida para níveis tróficos superiores através dos indivíduos contaminados por MPs estas espécies (Fig. 37).

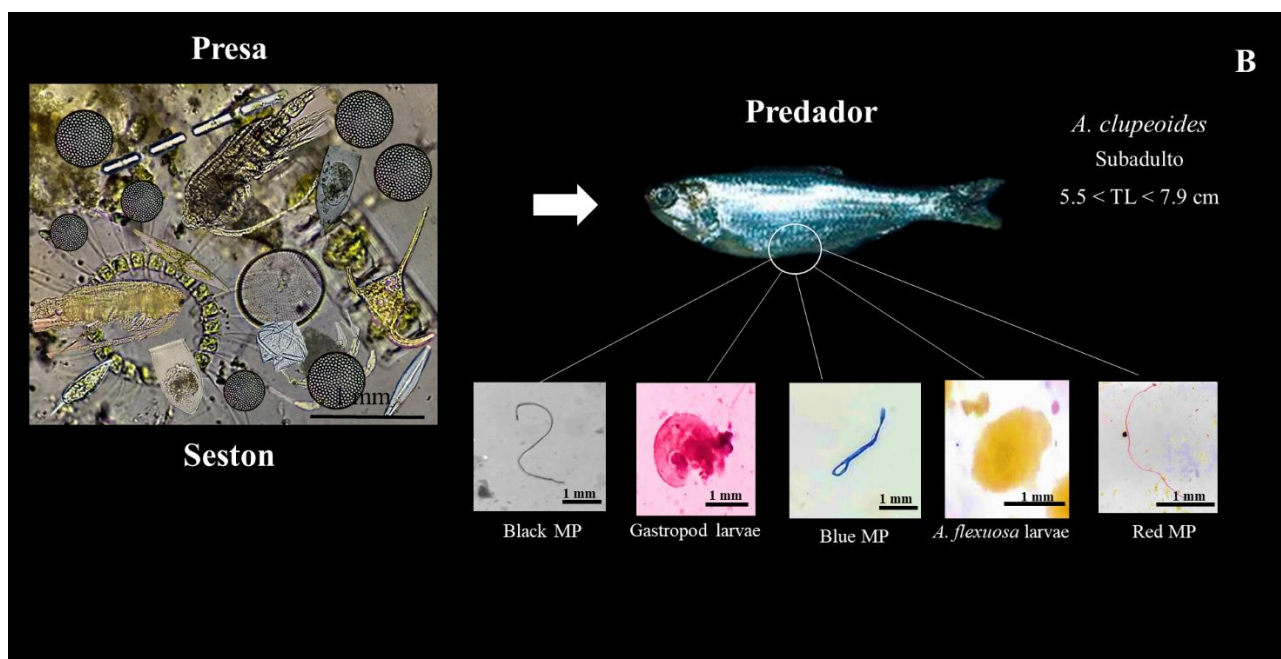
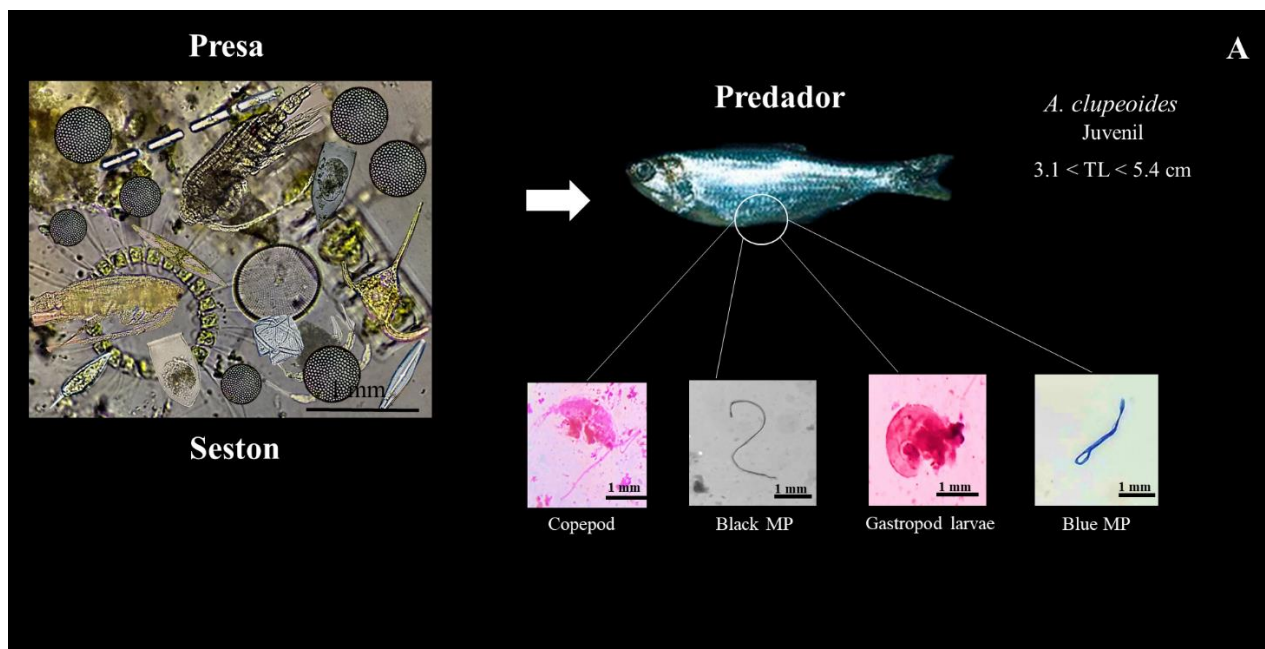
O estuário de Goiana, apesar de ser uma Unidade de Conservação Marinha (UCM) do tipo Reserva Extrativista (RESEX) desde 2007, os habitats que compõe esse ecossistema estuarino, têm sofrido degradação pela atividade humana, como o desmatamento, o despejo de esgoto e lixo doméstico (BARLETTA *et al.*, 2023, 2017). Apesar de todos esses impactos esse ecossistema estuarino é um dos mais bem preservados para essa região. Por isso, medidas deveriam ser tomadas pelas entidades governamentais com o objetivo de restaurar e manter o funcionamento desse ambiente aquático para a região (WALTHAM *et al.*, 2020).

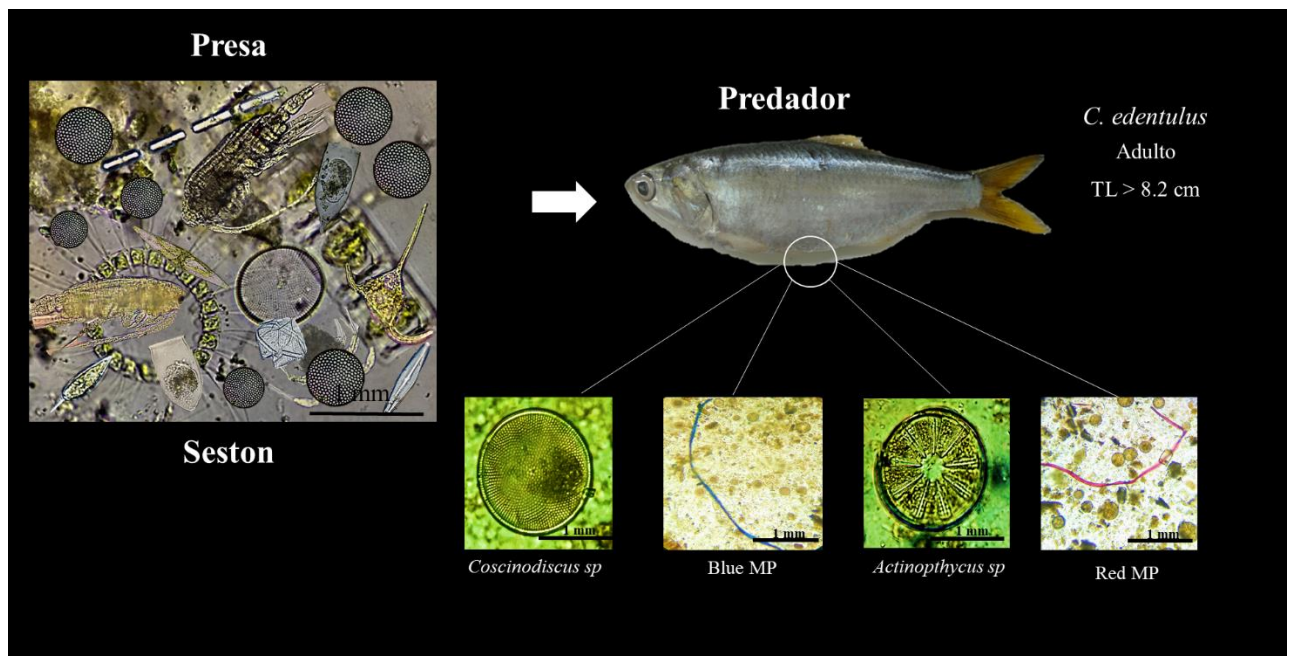
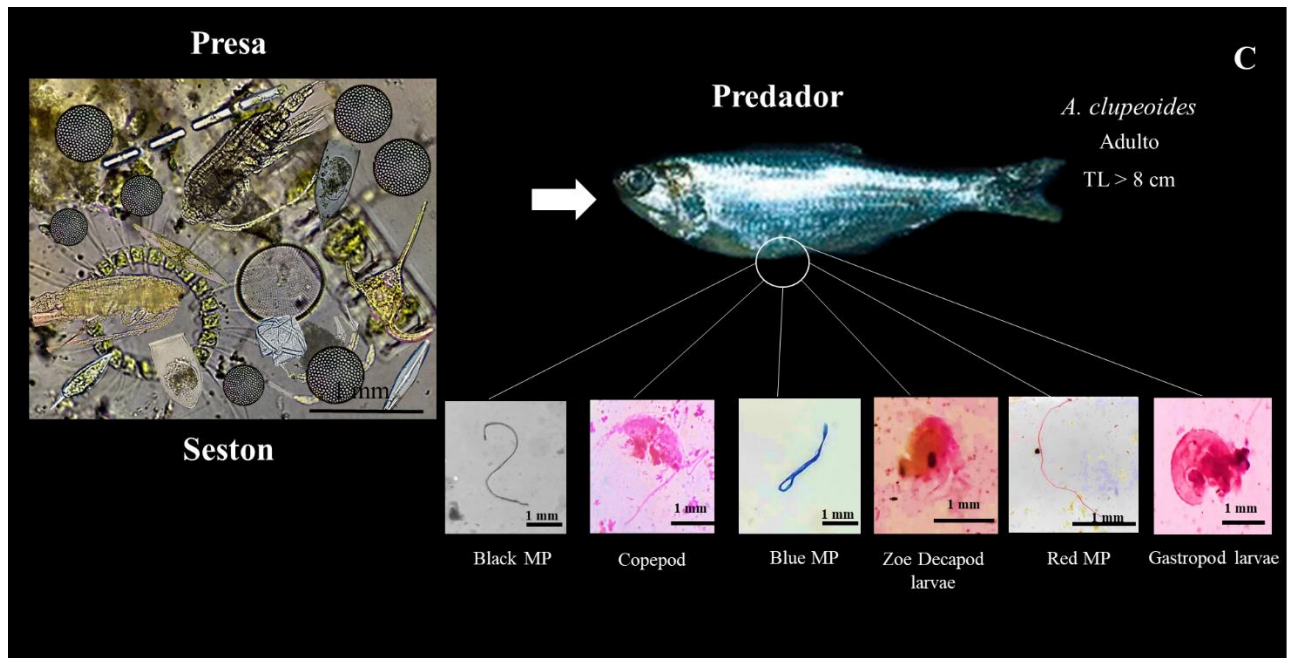
Figura 36 – Modelo conceptual da distribuição, ecologia alimentar e contaminação por MP das fases ontogenéticas (juvenil, subadulto e adulto) de *A. clupeioides* e *C. edentulus* em função das estações (início da seca, Final da seca, início da chuva e final da chuva) e áreas (Superior, Intermediário e Inferior) no estuário do Rio Goiana (PE/PB).



Fonte: O autor (2024).

Figura 37 - Evidência de contaminação por MPs em indivíduos de *A. clupeioides* e *C. edentulus*. (A) juvenil de *A. clupeioides* contaminado com MPs pretos e azuis. (B) subadulto de *A. clupeioides* contaminados com MPs pretos, azuis e vermelhos. (C) adultos de *A. clupeioides* contaminados com MPs pretos, azuis e vermelhos. (D) adultos de *C. edentulus* contaminados com MPs azuis e vermelhos.





Fonte: O autor (2024).

6. CONCLUSÕES

As conclusões deste estudo sobre o ciclo de vida e ecologia alimentar de *A. clupeioides* e *C. edentulus* no estuário são de grande importância. A pesquisa revelou que essas espécies utilizam o estuário para completar seu ciclo de vida, com as fases ontogenéticas de cada espécie mostrando uma distribuição nas diferentes estações e áreas no estuário. Os adultos de *A. clupeioides* desovam na área superior do estuário principalmente no final da seca; os juvenis são mais densamente distribuídos na porção inferior do estuário na estação final da chuva indicando que essas áreas são berçários para essa espécie. Da mesma forma para adultos de *C. edentulus* a maior densidade foi observada na porção superior do estuário durante o final da seca, onde eles utilizam essa porção do estuário para desovar. O estuário desempenha um papel crucial no ciclo de vida de *A. clupeioides* e *C. edentulus*. O estudo constatou que a porção intermediária do estuário apresentou valores mínimos, sugerindo que essas espécies só usam esse ambiente de transição para chegar à área superior para a desova. A época do ano em que a maioria dos indivíduos foi encontrada foi no final da estação seca, indicando que eles aproveitam a entrada do mar durante a estação seca para entrar na porção estuarina do rio Goiana. A ausência de juvenis em *C. edentulus* indica que essa espécie marinha dependente entra no estuário durante a estação seca para completar seu ciclo de vida.

As interações na distribuição, nas estações e nas diferentes fases ontogenéticas são cruciais para entender a alimentação e a contaminação por MPs de *A. clupeioides* e *C. edentulus*. *A. clupeioides* mostrou maior preferência por espécies de zooplâncton e *C. edentulus* por fitoplâncton. Ambas espécies, devido aos seus hábitos planctófagos, sugerem que a contaminação por MPs ocorre principalmente quando os espécimes estão filtrando o seston. De acordo com estudos realizados na região, as espécies deste estudo são presas de outros predadores de níveis tróficos superiores. Tanto o predador quanto a presa apresentaram contaminação por MPs. Portanto, a contaminação por MPs na rede trófica começa com as espécies planctófagas. Este estudo é outra evidência que reforça a transferência trófica de MPs no estuário do Rio Goiana. O estatuto de conservação dessas espécies está ameaçado por atividades antropogênicas nesse estuário, destacando a necessidade urgente de esforços de conservação.

Além disso, outra espécie de Engraulidae que ocorre no estuário do Rio Goiana também poderia ser estudada usando a mesma metodologia para gerar informações sobre a ecologia da alimentação e a contaminação por MPs.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esta pesquisa mostrou por primeira vez o estudo da distribuição, ecologia alimentar e contaminação por microplásticos em *A. clupeioides* e *C. edentulus*, elas são espécies da costa oeste da América do Sul. Se determinou que as concentrações de MPs encontradas nessas espécies variam de acordo a porção do estuário, estação do ano e fase ontogenética.

As interações entre as fases ontogenéticas, estações do ano e nas diferentes porções do estuário em *A. clupeioides* e *C. edentulus*, é chave para entender a ecologia alimentar e contaminação por MPs seguindo o delineamento amostral proposta nesta pesquisa para determinar quais foram os itens de preferência, quando e onde aconteceu a contaminação de MPs que estão na coluna de água, se sugere utilizar este desenho para futuras pesquisas em estudo de Engraulidae.

A importância de *A. clupeioides* e *C. edentulus*, é principalmente porque são presas de outros predadores de níveis tróficos superiores, em pesquisas que foram feitas no estuário do Rio Goiana sobre isso predadores se determinou alta contaminação de MPs, em base nestas informações a contaminação por MPs começa nestas espécies de Engraulidae. Esta é a primeira evidência de contaminação por MPs em espécies planctofagas em um estuário no Oceano Atlântico Sul.

As características ecológicas de estas espécies de Engraulidae são diferentes porque uma é estuarina residente (*A. clupeioides*) e marinha estuarina dependente (*C. edentulus*), para futuras pesquisas é recomendável utilizar o mesmo delineamento amostral em outros estuários e também nas regiões costeiras adjacentes para determinar em que porções dos ambientes se desenvolvem para terminar seus ciclos de vida.

Além disso, se sugere fazer estudos nas interações das espécies de Fitoplâncton e Zooplâncton para ter informações sobre a distribuição deles nas diferentes porções do estuário e nas estações do ano no estuário.

REFERÊNCIAS

AKALIN, S.; MURAT SEVER, T.; ILHAN, D.; UNLUOGGLU, A. The diet composition of european anchovy, *Engraulis encrasicolus* (Linnaeus, 1758) in Izmir Bay, Aegean sea. *Turk. j. fish.& aquat. sci.* 19(5), 431-445

ARAÚJO, F. G, M. A. SILVA, J. N. S. SANTOS & R. M. VASCONCELLOS. 2008a. Habitat selection by anchovies (Clupeiformes: Engraulidae) in a tropical bay at Southeastern Brazil. **Neotropical Ichthyology**, 6: 583-590.

BALECH, E. **Los dinoflagelados del Atlántico sudoccidental**. Madrid: Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación. Publicaciones Especiales Instituto Español de Oceanografía, v. 1, 310 p., 1988.

BARLETTA-BERGAN, A.; BARLETTA, M.; SAINT-PAUL, U. Community structure and temporal variability of ichthyoplankton in North Brazilian mangrove creeks. **Journal of Fish Biology**, v. 61, p. 33-51, 2002a.

BARLETTA-BERGAN, A.; BARLETTA, M.; SAINT-PAUL, U. Structure and seasonal dynamics of larval fish in the Caeté River Estuary in North Brazil. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 54, n. 2, p. 193-206, 2002b.

BARLETTA, M.; BARLETTA-BERGAN, A.; SAINT-PAUL, U.; HUBOLD, G. Seasonal changes in density, biomass, and diversity of estuarine fishes in tidal mangrove creeks of the lower Caeté Estuary (northern Brazilian coast, east Amazon). **Marine Ecology Progress Series**, v. 256, p. 217-228, 2003.

BARLETTA, M.; BARLETTA-BERGAN, A.; SAINT-PAUL, U. S. G. H.; HUBOLD, G. The role of salinity in structuring the fish assemblages in a tropical estuary. **Journal of fish biology**, v. 66, n. 1, p. 45-72, 2005.

BARLETTA, M; AMARAL, C. S; CORRÊA, M. F. M; GUEBERT, F.; DANTAS, D. V.; LORENZI, L.; SAINT-PAUL, U. Factors affecting seasonal variations in demersal fish assemblages at an ecocline in a tropical–subtropical estuary. **Journal of Fish Biology**, v. 73, n. 6, p. 1314-1336, 2008.

BARLETTA, M.; COSTA, M. F. Living and non-living resources exploitation in a tropical semi-arid estuary. **Journal of Coastal Research**, p. 371-375, 2009.

BARLETTA, M.; CYSNEIROS, F. J. A.; LIMA, A. R. A. Effects of dredging operations on the demersal fish fauna of a South American tropical–subtropical transition estuary. **Journal of Fish Biology** (2016) doi:10.1111/jfb.12999.

BARLETTA, M.; MELO, R. C. B.; WHITFIELD, A. K. Past and present conservation of south American estuaries. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 295 (2023) 108542.

BECK, M. W., HECK, K. L., ABLE, K. W., CHILDERS, D. L., EGGLESTON, D. B., GILLANDERS, B. M., HALPERN, B., HAYS, C. G., HOSHINO, K., MINELLO, T. J., ORTH, R. J., SHERIDAN, P. F. & WEINSTEIN, M. P. (2001). The identification, conservation, and management of estuarine and marine nurseries for fish and invertebrates. **BioScience** **51**, 633.

BICUDO, C. E. M.; MENEZES, M., **Gêneros de algas de águas continentais: chave para identificação e descrições**. Livraria RiMa Editora, 2006.

BOX, G. E. P.; COX, D. R. An analysis of transformations. **Journal of the Royal Statistical Society**, v. 26, n. 2, p. 211-252, 1964.

BROWNE, M.A., DISSANAYAKE, A., GALLOWAY, T.S., LOWE, D.M., THOMPSON, R.C., 2008. Ingested microscopic plastic translocates to the circulatory system of the mussel, *Mytilus edulis* (L.). **Environ. Sci. Technol.** 42, 5026–5031.

CHEN, C.; CARLOTTI, F.; HARMELLIN-VIVIEN, M.; LEBRETON, B.; GUILLOU, G.; VASALLO, L.; LE BIJAN, M.; BANARU, D. Diet and trophic interactions of Mediterranean planktivorous fishes. **Marine Biology** (2022) 169: 119

COSTA, M. F., SILVA-CAVALCANTI, J. S., BARBOSA, C. C., PORTUGAL, J. L. & BARLETTA, M. Plastics buried in the inter-tidal plain of a tropical estuarine ecosystem. **J. Coast. Res.** 64, 339–343 (2011).

COSTALAGO, D.; NAVARRO J.; ÁLVAREZ-CALLEJA, I.; PALOMERA, I. Ontogenetic and seasonal changes in the feeding habits and trophic levels of two small pelagic fish species. **Mar Ecol Prog Ser.** Vol. 460: 169–181, 2012.

DANTAS, D. V.; BARLETTA, M.; COSTA, M. F.; BARBOSA-CINTRA, S. C. T.; POSSATTO, F. E.; RAMOS, J. A. A.; LIMA, A. R. A.; SAINT-PAUL, U. Movement patterns of catfishes (Ariidae) in a tropical semi-arid estuary. **Journal of Fish Biology** (2010) 76, 2540–2557.

DANTAS, D. V.; BARLETTA, M.; COSTA, M. F. The seasonal and spatial patterns of ingestion of polyfilament nylon fragments by estuarine drums (Sciaenidae). **Environ Sci Pollut Res** (2012a) 19:600–606.

DANTAS, D. V.; BARLETTA, M.; COSTA, M. F. Feeding ecology and seasonal diet overlap between *Stellifer brasiliensis* and *Stellifer stellifer* in a tropical estuarine ecocline. **Journal of Fish Biology**, v. 86, n. 2, p. 707-733, 2015.

DA SILVA V. E. L., TEIXEIRA E. C., BATISTA V. S., FABRÉ N. N. 2018. Spatial distribution of juvenile fish species in nursery grounds of a tropical coastal area of the south-western Atlantic. **Acta Ichthyol. Piscat.** 48 (1): 9–18.

DUQUE, G. & A. ACERO P. 2003. Feeding Selectivity of *Anchovia clupeioides* (Pisces: Engraulidae) in the Ciénaga Grande de Santa Marta, Colombian Caribbean. **Gulf and Caribbean Research** 15 (1): 21-26.

ELLIOTT, M., WHITFIELD, A. K., POTTER, I. C., BLABER, S. J. M., CYRUS, D. P., NORDLIE, F. G. & HARRISON, T. D. (2007). The guild approach to categorizing estuarine fish assemblages: a global review. **Fish and Fisheries** 8, 241–268.

FANELLI, E, DA ROS, Z, MENICUCCI, S, MALAVOLTI, S, BIOAGIOTTI, I, CANDUCI, G, DE FELICE, A.; LEONORI, I. The pelagic food web of the Western Adriatic Sea: a focus on the role of small pelagics. **Scientific Reports** (2023) 13:14554

FERREIRA, G. V. B.; BARLETTA, M.; LIMA, A. R. A.; DANTAS, D. V.; JUSTINO, A. K. S.; COSTA, M. F. Plastic debris contamination in the life cycle of Acoupa weakfish (*Cynoscion acoupa*) in a tropical estuary. **ICES Journal of Marine Science** (2016), doi:10.1093/icesjms/fsw108

FERREIRA, G. V. B.; BARLETTA, M.; LIMA, A. R. A.; MORLEY, S. A.; JUSTINO A. K. S.; COSTA, M. F. High intake rates of microplastics in a Western Atlantic predatory fish, and insights of a direct fishery effect. **Environmental pollution** 236 (2018) 706-717.

FERREIRA, G. V. B.; BARLETTA, M.; LIMA, A. R.; MORLEY, S. A.; COSTA, M. F. Dynamics of Marine Debris Ingestion by Profitable Fishes Along The Estuarine Ecocline. **Scientific reports**, v. 9, n. 1, p. 1-12, 2019a.

FERREIRA, G. V. B.; BARLETTA, M.; LIMA, A. R. A. Use of estuarine resources by top predator fishes. How do ecological patterns affect rates of contamination by microplastics?. **Science of the Total Environment**, v. 655, p. 292-304, 2019b.

GUSHCHIN, A. V. & CORTEN A. Feeding of Pelagic Fish in Waters of Mauritania: 1. European Anchovy *Engraulis encrasicolus*, European Sardine *Sardina pilchardus*, Round Sardinella *Sardinella aurita*, and Flat Sardinella *S. maderensis*1 ISSN 0032_9452, **Journal of Ichthyology**, 2015, Vol. 55, No. 1, pp. 77–85.

HILDEBRAND, S. F. 1963. Family Engraulidae. Memories Sears Foundation for Marine Research, 1: 152-249.

HUSTEDT, F. Die Kieselalgen Deutschlands, Osterreichs und der Schweiz, Teil II. **Rabenhorst's Kryptogamen-Flora von Deutschland, Osterreich und der Schweiz**, p. 845, 1959.

HUXLEY, J. S. Constant differential growth-ratios and their significance. **Nature**, v. 114, n. 2877, p. 895-896, 1924.

HYSLOP, E. J. Stomach contents analysis-a review of methods and their application. **Journal of Fish Biology** 17, 411–429, 1980. doi: 10.1111/j.1095-8649.1980.tb02775.x

KOMÁREK, J.; KOMÁRKOVÁ-LEGNEROVÁ, J. Several rare freshwater planktic Cyanobacteria (Cyanoprokaryotes) from reservoirs in South America. **Hoehnea**, v. 34, n. 1, p. 49-58, 2007.

KRUMME, U.; KEUTHEN, H.; BARLETTA, M.; SAINT-PAUL, U.; VILLWOCK W. Resuspended intertidal microphytobenthos as major diet component of planktivorous Atlantic anchoveta *Cetengraulis edentulus* (Engraulidae) from equatorial mangrove creeks. **ECOTROPICA** 14: 121–128, 2008

KUTNER, M.H., NACHTSHEIM, C.J., NETER, J. & LI, W. Applied Linear Statistical Models. 5th Edition, **McGraw-Hill**, Irwin, New York. 2005.

LAEGDSGAARD P. & JOHNSON C. 2001. Why do juvenile fish utilize mangrove habitats? **J. Exp. Mar. Biol. Ecol.** 257: 229–253.

LEBRETON, L.C.M., VAN DER ZWET, J., DAMSTEEG, J.-W., SLAT, B., ANDRADY, A.L., REISSER, J., 2017. River plastic emissions to the world's oceans. **Nat. Commun.** 8, 15611. <https://doi.org/10.1038/ncomms15611>.

LEWIS, S.; FONTOURA, N. F. Maturity and growth of *Paralichthys brasiliensis* females in southern Brazil (Teleostei, Perciformes, Sciaenidae). **Journal of Applied Ichthyology**, v. 21, n. 2, p. 94-100, 2005.

LIMA, A. R. A.; BARLETTA M.; COSTA M. F. Distribution patterns of microplastics within the plankton of a tropical estuary. **Environmental Research** 132 (2014) 146-155.

LIMA, A. R. A.; BARLETTA M.; COSTA M. F. Seasonal distributions and interactions between plankton and microplastics in a tropical estuary. **Estuarine Coastal and Shelf Science** 165 (2015) 213-225.

LIMA, A. R. A.; BARLETTA M.; COSTA M. F.; RAMOS A. A.; DANTAS D. V.; MELO P. A. M. C.; JUSTINO A. K. S.; FERREIRA G. V. B. Changes in the composition of ichthyoplankton assemblage and plastic debris in mangrove creeks relative to moon phases. **Journal of Fish Biology** (2016) 89, 619-640.

LIMA, A. R. A.; BARLETTA M. Lunar influence on prey availability, diet shifts and niche overlap between Engraulidae larvae in tropical mangrove creeks. **Journal of Fish Biology** (2016) 89, 2133–2152.

LLORET, J.; LLEONART, J.; SOLE, I.; FROMENTIN, JM. (2001) Fluctuations of landings and environmental conditions in the northwestern Mediterranean Sea. **Fish Oceanogr** 10: 33–50

LUSHER, A.L., HOLLMAN, P., MANDOZA-HILL, J., 2017a. Microplastics in Fisheries and Aquaculture. 1st ed. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.

MELO, R. R. C. B.; BARLETTA, M.; CYSNEIROS, F. F. J. A.; TAVARES M. I. B.; SANTANA K. S.; CARTY, S; MORLEY S. A. Top Predator Feeding Ecology and Microplastic (MP) Contamination on the far Eastern South American Coast: Evidence of MP Trophic Biotransfer. **Estuarine, Coastal and shelf Science**. (2024).

MOORE, C.J.; LATTIN, G.L.; ZELLERS, A.F. Quantity and type of plastic debris flowing from two urban rivers to coastal waters and beaches of Southern California. *Journal of Integrated Coastal Zone Management* 11(1):65-73 (2011).

MORGADO, F.; VIEIRA, L. R.; SOARES, P. R. A. **Atlas do zooplâncton marinho e estuarino da costa atlântica**. Porto: Edições Afrontamento, 2014.

NELMS, S.E., GALLOWAY, T.S., GODLEY, B.J., JARVIS, D.S., LINDEQUE, P.K., 2018. Investigating microplastic trophic transfer in marine top predators. **Environ. Pollut.** 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.02.016>.

PALMER, M.W., 1993. Putting things in even better order: the advantages of canonical correspondence analysis. **Ecology** 74, 2215–2230. <https://doi.org/10.2307/1939575>.

POSSATTO, F. E., BARLETTA, M., COSTA, M. F., IVAR DO SUL, J. A., & DANTAS, D. V. 2011. Plastic debris ingestion by marine catfish: an unexpected fisheries impact. **Marine Pollution**, 62: 1098–1102.

ODUM, W. E. Dual-gradient concept of detritus transport and processing in estuaries. **Bulletin of Marine Science**, v. 35, n. 3, p. 510-521, 1984.

QUINN, G. P.; KEOUGH, M. J. **Experimental design and data analysis for biologists**. Cambridge university press, 2002.

RAMOS, J. A. A.; BARLETTA, M.; DANTAS, D. V.; LIMA, A. R. A.; COSTA, M. F. Influence of moon phase on fish assemblages in estuarine mangrove tidal creeks. **Journal of Fish Biology**, v. 78, n. 1, p. 344-354, 2011.

RAMOS, J. A. A.; BARLETTA, M.; DANTAS, D. V.; COSTA, M. F. Ingestion of nylon threads by Gerreidae while using a tropical estuary as foraging grounds **Aquatic Biology** v. 17, p. 29-34, 2012.

RAMOS, J. A. A.; BARLETTA, M.; DANTAS, D. V.; COSTA, M. F. Seasonal and spatial ontogenetic movements of Gerreidae in a Brazilian tropical estuarine ecocline and its application for nursery habitat conservation. **Journal of fish biology**, v. 89, n. 1, p. 696-712, 2016.

R CORE TEAM (2022). R: A language and environment for statistical computing.

RIGBY R. A., D. STASINOPOULOS M. D., HELLER Z. G., DE BASTIANI, F. Distributions for Modeling Location, Scale, and Shape Using GAMLSS in R. Chapman and Hall/CRC. 1999.

ROCHMAN, C.M., BROWNE, M.A., HALPERN, B.S., HENTSCHEL, B.T., HOH, E., KARAPANAGIOTI, H.K., RIOS-MENDOZA, L.M., TAKADA, H., TEH, S., THOMPSON, R.C., 2013. Policy: classify plastic waste as hazardous. **Nature** 494, 169–171. <https://doi.org/10.1038/494169a>.

RUPERT, E. E.; FOX, R. S.; BARNES, R. D. **Invertebrate zoology: a functional evolutionary approach**. 7th. Ed. Belmont: Thomson Brooks/Cole, 2004.

SÁ, L.C., LUÍS, L.G., GUILHERMINO, L., 2015. Effects of microplastics on juveniles of the common goby (*Pomatoschistus microps*): confusion with prey, reduction of the predatory performance and efficiency, and possible influence of developmental conditions. **Environ. Pollut.** 196, 359–362.

SERGIPENSE, S., E. P. CARAMASCHI & I. SAZIMA. 1999. Morfologia e hábitos alimentares de duas espécies de Engraulidae (Teleostei, Clupeiforme) na Baía de Sepetiba, Rio de Janeiro. **Revista Brasileira de Oceanografia**, 47: 173-188.

SEQUINE BOLZAN M., ANDRADES R., LOUIS SPACH H. & HOSTIM-SILVA M. The influence of selected environmental parameters and habitat mosaics on fish assemblages in a South American estuary. **Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom**, page 1 of 9. Marine Biological Association of the United Kingdom, 2018 [doi:10.1017/S0025315418000012](https://doi.org/10.1017/S0025315418000012)

SILVA, M. A., F. G. ARAÚJO, M. C. C. AZEVEDO & P. MENDONÇA. 2003. Distribuição espacial e temporal de *Cetengraulis edentulus* (Cuvier, 1829) (Actinopterygii, Engraulidae) na Baía de Sepetiba, Rio de Janeiro, Brasil. *Revista Brasileira de Zoologia*, 20: 577-581.x

SILVA, J. D.B.; BARLETTA, M.; LIMA, A. R.; FERREIRA, G. V. Use of resources and microplastic contamination throughout the life cycle of grunts (Haemulidae) in a tropical estuary. **Environmental pollution**, v. 242, p. 1010-1021, 2018.

SILVA-CUNHA, M. G. G.; KOENING, M. L.; LEÇA, E. E.; OLIVEIRA, M. G. T. O. **Biodiversidade marinha da Bacia Potiguar/RN: Fitoplâncton**. Museu Nacional, Rio de Janeiro, 164 p., 2019.

SPARRE, P.; VENEMA C. **Introducción a la evaluación de recursos pesqueros tropicales**. Manual FAO, Documento técnico de pesca, 1995.

SUZUKI, K.; KANEMATSU, Y.; NAKAYAMA, K.; TANAKA, M. Microdistribution and feeding dynamics of *Coilia nasus* (Engraulidae) larvae and juveniles in relation to the estuarine turbidity maximum of the macrotidal Chikugo River estuary, Ariake Sea, Japan. **Fish. Oceanogr.** 23:2, 157–171, 2014

TER BRAAK, C.J.F., 1986. Canonical correspondence analysis: a new eigenvector technique for multivariate direct. *Gradient Anal. Author Cajo J. F. Ter Braak Source Ecol. Ecol.* 67, pp. 1167–1179. <https://doi.org/10.2307/1938672>.

TER BRAAK, C.J.F., SMILAUER, P., 2002. CANOCO references manual and CanocoDraw for windows user's guide: software for canonical community ordination (version 4.5). [WWW document]. URL. www.canoco.com.

UNDERWOOD, A. J. Experiments in ecology: their logical design and interpretation using analysis of variance. **Cambridge university press**, 1997.

VASLET A., BOUCHON-NAVARO Y., HARMELIN-VIVIEN M., LEPOINT G., LOUIS M., BOUCHON C. Foraging habits of reef fishes associated with mangroves and seagrass beds in a Caribbean lagoon: A stable isotope approach. **Ciencias Marinas** (2015), 41(3): 217–232
<http://dx.doi.org/10.7773/cm.v41i3.2494>

VAZZOLER, A. E. A. M. **Biologia da reprodução de peixes teleósteos: teoria e prática**. 1st. ed. Maringá: EDUEM, v. 169, 1996.

WATSON, A.R.; BLOUNT, C.; MCPHEE, D.P.; ZHANG, D.; LINCOLN SMITH, M.P.; REEDS, K.; WILLIAMSON, J.E. Source, fate and management of recreational fishing marine debris. *marine pollution bulletin* 178 (2022) 113500

WALTHAM, NJ ELLIOT, M LEE SY, LOVELOCK C, DUARTE CM, BUELOW C, SIMENSTAND D, NAGELKERKEN I, CLAASSENS L, WEN CK-C, BARLETTA M, CONNOLLY RM, GILLIES C, MITSCH WJ, OGBUM MB, PURANDARE J, POSSINGHAM H AND SHEAVES M (2020) UM Decade on Ecosystem Restoration 2021-2030-What Chance for Success in Restoring Coastal Ecosystems? **Frontiers of Marine Sciences**. 7:71-doi: 10.3389/fmars.2020.00071

WHITEHEAD, P. J. P. 1988. Clupeoid of the world (Suborder Clupeoidei): an annotated and illustrated catalogue of the herrings, sardines, pilchards, sprats, shads, anchovies and wolfherrings. FAO Fisheries Synopsis, Rome, 7 (125), 1-579.

WHITFIELD, A. K.; ABLE, K. W.; BARLETTA, M.; BLABER, S. J. M.; HARRINSON, T. D. Life-history guilds of fishes associated with estuaries: opportunism versus dependency. **Estuarine, Coastal and Shelf Science** 292 (2023) 108456.

WRIGHT, S. L., THOMPSON, R. C. & GALLOWAY, T. S. The physical impacts of microplastics on marine organisms: A review. *Environ. Pollut.* **178**, 483–492 (2013).

REFERÊNCIAS ELETRÔNICAS

FROESE, R.; D. PAULY. Editors. 2019. FishBase. World Wide Web electronic publication. www.fishbase.org, version (08/2019).

INMET. Precipitação Acumulada Mensal. 2014. Disponível em: www.inmet.gov.br

R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.Rproject.org/>.