DA LAVANDERIA AO OCEANO: COMO AS MICROFIBRAS TÊXTEIS COMPROMETEM O SISTEMA DIGESTIVO DE OSTRAS.

FROM THE LAUNDRY TO THE OCEAN: HOW TEXTILE MICROFIBERS COMPROMISE THE DIGESTIVE SYSTEM OF OYSTERS.

Laura Lima Denardi, Laís Adrielle de Oliveira Santos, Leticia Fernanda Da Silva, Renata de Brito Mari

Universidade Estadual Paulista, Instituto de Biociências-Campus Litoral Paulista, Curso de Ciências Biológicas
E-mail para contato: laura.denardi@unesp.br

RESUMO – Microfibras de poliéster são poluentes comuns em ambientes aquáticos, afetando organismos filtradores como a ostra Crassostrea gasar. Este estudo avaliou alterações nas glândulas digestivas de ostras expostas a microfibras obtidas por máquina de lavar, simulando condições ambientais. Ostras foram expostas por 21 dias a 531 MFs/L em cada tanque, com poliéster extraído do filtro e da mangueira da máquina de lavar. Os resultados indicam efeitos lesivos, como necrose intratubular, fibrose e infiltração de hemócitos, causados pela exposição ao poliéster extraído da máquina de lavar nas glândulas digestivas das ostras, mostrando modificações estruturais e funcionais sobre organismos filtradores e, potencialmente, sobre a saúde humana.

Palavras-chave: microplásticos; ecotoxicidade; glândula digestiva; efluentes; poluição ambiental.

ABSTRACT – Polyester microfibers are common pollutants in aquatic environments, impacting filter-feeding organisms such as the oyster Crassostrea gasar. This study examined changes in the digestive glands of oysters exposed to microfibers from washing machines, simulating environmental conditions. Oysters were exposed to 531 MFs/L for 21 days, in each tank, with polyester extracted from the filter and washing machine hose. The results indicate harmful effects, such as intratubular necrosis, fibrosis, and hemocyte infiltration, caused by exposure to washing machine-extracted polyester in the oysters' digestive glands, demonstrating structural and functional changes in filter-feeding organisms and, potentially, in human health.

Keywords: microplastics; ecotoxicity; digestive gland; effluents; environmental pollution.

1 INTRODUÇÃO

Os microplásticos são contaminantes emergentes que se distribuem amplamente em ambientes aquáticos, representando uma ameaça crescente para os organismos marinhos. Entre esses microplásticos, como as microfibras, especialmente as de poliéster, destacam-se pela sua prevalência e potencial de bioacumulação (Boucher e Friot, 2017; Mishra et al., 2019). A liberação dessas fibras ocorre principalmente por processos domésticos, como a lavagem de tecidos sintéticos, que libera fibras na água residual direcionada a ambientes costeiros (Napper e Thompson, 2016; Fernandes et al., 2024).

Em ecossistemas estuarinos, como manguezais, as microfibras podem ser incorporadas por bivalves filtradores, incluindo ostras da espécie *Crassostrea gasar*, as quais atuam como bioindicadores da qualidade ambiental e são relevantes para cadeias alimentares humanas (Ribeiro et al., 2023; Van Cauwenberghe e Janssen, 2014). Estudos indicam que essas fibras podem se acumular nas glândulas digestivas, órgãos responsáveis pelo metabolismo e desintoxicação, ocasionando efeitos histopatológicos e morfométricos que comprometem a saúde desses organismos (Costa et al., 2013; Lins et al., 2024).

Diversas pesquisas demonstram efeitos tóxicos em moluscos expostos a microfibras, como inflamação tecidual, necrose e danos genotóxicos, porém, ainda são escassos os estudos específicos para o potencial lesivo das fibras de poliéster provenientes de diferentes métodos de extração (Alnajar, Jha e Turner, 2021; Choi et al., 2022). A comparação entre fibras obtidas em condições mais ambientais, como a lavagem doméstica, é essencial para a compreensão da toxicidade real e para o desenvolvimento de protocolos experimentais (Napper e Thompson, 2016; Lins et al., 2024).

Para produzir dados relevantes, é fundamental simular condições ambientais reais na produção das microfibras. Segundo a PNAD Contínua do IBGE (2022), cerca de 70% dos domicílios brasileiros possuem máquinas de lavar, tornando o método de obtenção de fibras pela lavagem doméstica adequado e representativo para estudos ambientais (Fernandes et al., 2024). Além disso, o uso da ostra *Crassostrea gasar*, espécie comum nos manguezais do Brasil e economicamente importante, fornece uma avaliação direta dos impactos da poluição por microfibras em ecossistemas costeiros e na segurança alimentar (Machado; De Maio; Kira, 2002).

Diante disso, o presente estudo tem como objetivo avaliar alterações morfométricas e histopatológicas nas glândulas digestivas de ostras *Crassostrea gasar* expostas a microfibras de poliéster obtidas por lavagem em máquina de lavar, simulando condições ambientais reais de exposição.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Este estudo avaliou os efeitos histopatológicos e morfométricos em ostras *Crassostrea gasar* expostas a microfibras de poliéster obtidas por um processo ambientalmente realista, simulando a liberação doméstica de fibras sintéticas. As microfibras foram extraídas por lavagem de tecidos 100% poliéster em máquina de lavar roupas, coletadas do filtro e da mangueira de drenagem. A água coletada da máquina foi filtrada em um sistema filtrante a vácuo, com uma membrana de vidro (Whatman 0,45µm) e as fibras foram coletadas dessa membrana. Posteriormente, foram caracterizadas quanto ao tamanho, utilizando o software ImageProPlus, e quanto à composição química, por espectroscopia de infravermelho com transformada de Fourier (FT-IR).

Inicialmente, as ostras foram aclimatadas por 11 dias em condições laboratoriais controladas. Em seguida, foram expostas por 21 dias a dois tratamentos: grupo controle, contendo somente água do mar filtrada, e grupo poliéster, contendo água do mar filtrada e 531 microfibras de poliéster por litro, extraídas da máquina de lavar. Cada aquário continha três ostras, com capacidade de 2 litros, preenchidas com água do mar previamente filtrada. Durante todo o experimento, os parâmetros físico-químicos da água foram monitorados diariamente. As ostras eram alimentadas com microalgas a cada dois dias, e a água dos aquários era renovada a cada três dias. Ao final do período experimental, as glândulas digestivas foram coletadas para análises histológicas, morfométricas e patológicas.

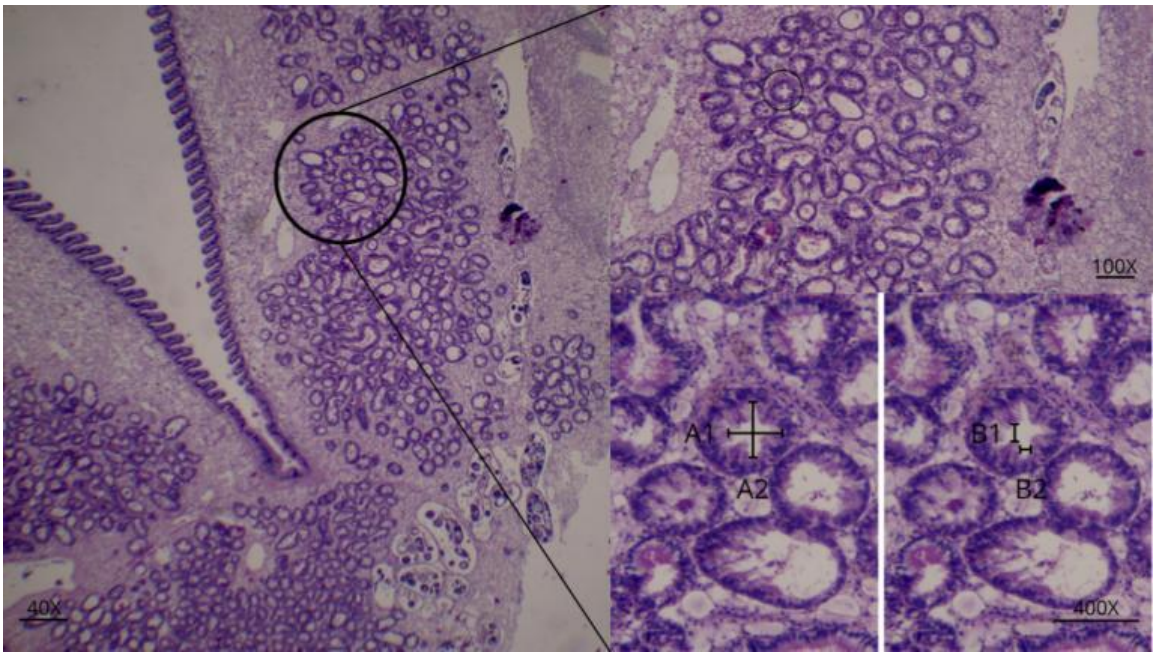
O processamento histológico utilizou cortes seriados corados com hematoxilina e eosina, com avaliação de patologia, utilizando-se a tabela 1, baseada nas metodologias de Ellis et al. (1998), Bernet et al., (1999), Costa et al., (2013) e Dos Reis et al., (2015); e complexidade do lúmen dos túbulos digestivos por fotomicrografias, utilizando-se do cálculo da razão do lúmen dos túbulos digestivos, calculada utilizando a fórmula: (b1 + b2) / (a1 + a2), método baseado em Winstead (1995), Fogelson et al. (2011) e Da Silva et al. (2024),

conforme mostra a Figura 1. A análise estatística incluiu testes de normalidade, homocedasticidade, ANOVA e PERMANOVA para comparações entre grupos, garantindo a validade e replicabilidade dos resultados obtidos.

Tabela 1. Tabela histopatológica, com patologias e fator de importância.

Patologias		**Fator de Importância**
Alterações Tubulares	Infiltração de hemócitos	1
	Agregados Hemocíticos	1
	Agregados de lipofuscina	1
	Atrofia tubular	**2**
	Necrose	**3**
	Vacuolizaçao	1
	Células Marrons	1
	Descamação do epitélio	1
	Ruptura do epitélio	1
Alterações Intertubulares	Infiltração de hemócitos	1
	Agregados de lipofuscina	1
	Fibrose	**2**
	Granulocitomas	**2**
	Agregados de lipofuscina	1
	Células Marrons	1
Parasitas	Parasitas	**3**

Figura 1:Medidas dos diâmetros perpendiculares externos e internos do lúmen dos túbulos digestivos.



3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A caracterização das microfibras de poliéster obtidas pela máquina de lavar indicou comprimento médio de 905,82 ± 573,39 μm e diâmetro médio de 23,18 ± 3,31 μm, apresentando uma razão de aspecto de 39, demonstrando fibras longas e finas, compatíveis com aquelas encontradas em efluentes domésticos (Pedrotti et al., 2021; Fernandes et al., 2024). A análise espectroscópica (FT-IR) confirmou a composição química das fibras como poliéster, conforme a figura 2 e descrito por Shama et al. (2020) e Abd Halim et al. (2018). A representação fotomicrográfica evidencia a morfologia típica da microfibra produzida por lavagem.

As análises morfométricas evidenciaram uma redução significativa na razão do lúmen dos túbulos digestivos das ostras expostas às microfibras de poliéster da máquina de lavar em comparação ao grupo controle, conforme mostra a figura 3, o que indica alterações estruturais nos túbulos digestivos (Winstead, 1995; Fogelson et al., 2011). Este desempenho morfométrico sugere uma resposta tecidual relevante à exposição, possivelmente vinculada a processos de inflamação e adaptação celular (Costa et al., 2013), ou que corroboram as alterações histopatológicas associadas bloqueadas.

Figura 2: Espectros FT-IR (UATR) de amostras de poliéster cobrindo a faixa espectral de 550 a 4000 cm⁻¹ e fitomicrografia das microfibras de poliéster extraídas do filtro e da mangueira da máquina de lavar.

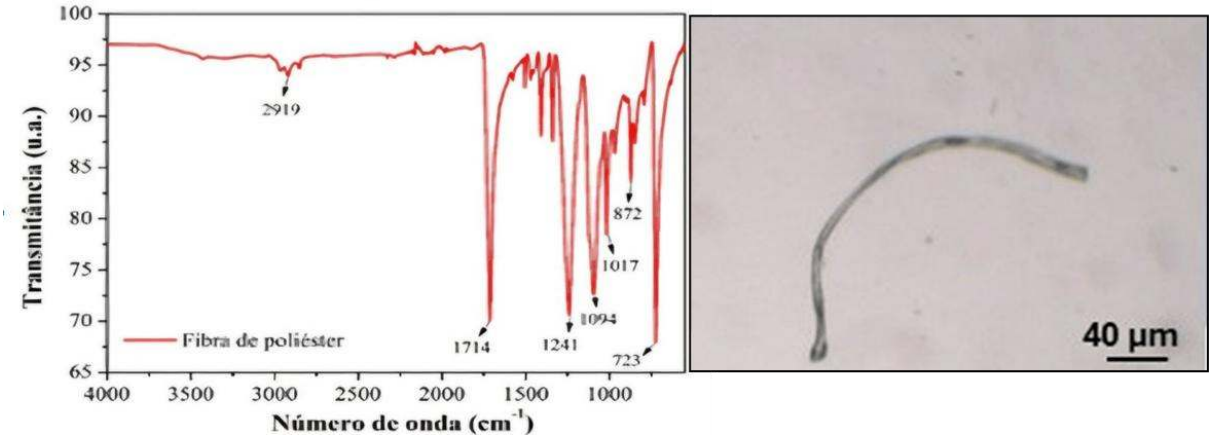
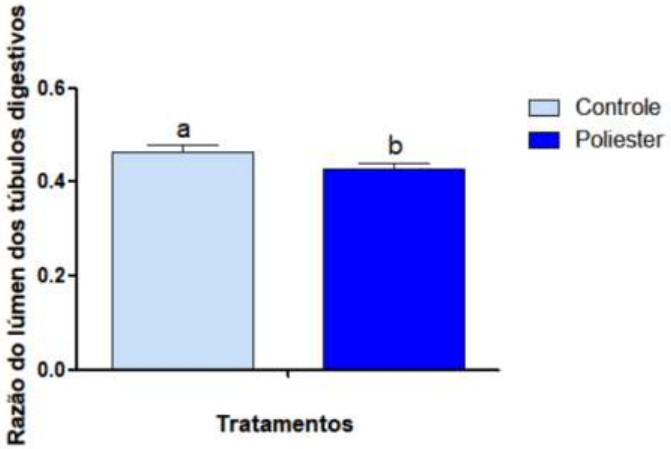


Figura 3: Média e desvio padrão da razão do lúmen dos túbulos digestivos de Crassostrea gasar. Letras minúsculas diferentes indicam diferenças significativas (p<0,05) entre comparações dos níveis de concentração.



Não foi observada diferença estatística significativa no índice histopatológico entre o grupo controle e o grupo exposto ao poliéster oriundo da máquina de lavar (Figura 4). Contudo, as análises histopatológicas evidenciaram, no grupo exposto, lesões nas glândulas digestivas, como necrose intratubular, fibrose e infiltração de hemócitos (Figura 5). Tais alterações são consistentes com aquelas previamente descritas em organismos submetidos à exposição a contaminantes (Von Moos; Burkhardt-Holm; Köhler, 2012; Alnajar; Jha; Turner, 2021). Além disso, a presença de células marrons, associadas ao sistema imunológico dos

bivalves, sugere um processo de resposta imunomediada frente ao contato com fibras, em concordância com relatos em outros moluscos filtradores (Alnajar; Jha; Turner, 2021).

Figura 4: Média e desvio padrão da razão do índice histopatológico de Crassostrea gasar expostas à microfibras de poliéster extraído da máquina de lavar. Letras minúsculas diferentes indicam diferenças significativas (p<0,05) entre comparações dos níveis de concentração.

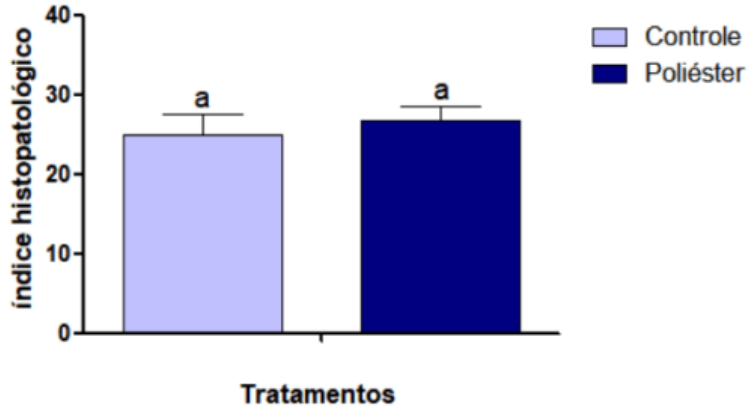
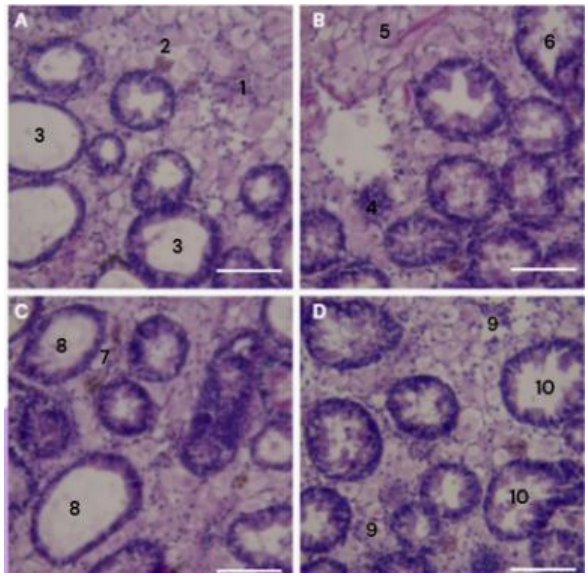


Figura 5:Fotomicrografia dos túbulos digestivos de C. gasar expostos às microfibras de poliéster extraídas da máquina de lavar. A) infiltração de hemócitos (1), presença de células marrons (2) e atrofia tubular (3) B) infiltração de hemócitos (4), fibrose (5) e descamação epitelial (6) C) células marrons (7) e atrofia tubular (8) D) descamação epitelial e infiltração de hemócitos. Coloração = Hematoxilina-eosina, barra = 400µm.



A variabilidade dos efeitos observados pode estar relacionada às características físicas das microfibras, como tamanho e razão de aspecto, que influenciam sua interação com os tecidos filtradores e o potencial de toxicidade (Lins et al., 2024; Pittura et al., 2022). O

modelo experimental adotado, baseado em concentração ambientalmente relevante e em um período de exposição de 21 dias, fornece subsídios para a compreensão dos possíveis riscos às populações de bivalves em áreas contaminadas, ressaltando a vulnerabilidade dos filtradores estuarinos frente aos impactos das microfibras sintéticas (Ribeiro et al., 2023).

Os resultados obtidos reforçam a relevância do monitoramento da poluição por microfibras em ambientes costeiros e indicam potenciais consequências estruturais e histopatológicas em organismos filtradores, como *Crassostrea gasar*, espécie de importância ecológica tanto para a cadeia alimentar quanto para a manutenção da qualidade ambiental (Van Cauwenberghe; Janssen, 2014; Ding et al., 2022). Ademais, os achados apontam para a necessidade de políticas públicas eficazes voltadas ao controle e à mitigação da liberação de microfibras domésticas em ecossistemas aquáticos.

.

4 CONCLUSÃO

A exposição de ostras *Crassostrea gasar* às microfibras de poliéster obtidas por lavagem em máquina de lavar, em concentração ambientalmente relevante, resultou em alterações morfométricas significativas no lúmen dos túbulos digestivos, evidenciando efeitos lesivos do polímero. Embora não tenha ocorrido aumento significativo nas lesões histopatológicas, foram observados danos patológicos significativos, como necrose e fibrose nos túbulos das glândulas digestivas. Estes resultados ressaltam a importância de políticas públicas para monitoramento da poluição por microfibras e o uso de métodos experimentais realistas para avaliação ambiental e seus impactos a longo prazo.Agradecemos ao LABMA, ao suporte da UNESP IB/CLP, ao CNPq e Fapesp e aos laboratórios parceiros para a realização deste estudo, LECOTOX (UNISANTA) e POEEMA (UNIFESP). Processo CNPq: 2024/15665; Processo Fapesp: 2023/02394-8.

5 REFERÊNCIAS

ALNAJAR, N.; JHA, A. N.; TURNER, A. Impacts of microplastic fibres on the marine mussel, Mytilus galloprovinciallis. Chemosphere, v. 262, p. 128290, jan. 2021.

BERNET, D. et al. Histopathology in fish: proposal for a protocol to assess aquatic pollution. Journal of Fish Diseases, v. 22, n. 1, p. 25-34, 1999.

BOUCHER, J.; FRIOT, D. Primary microplastics in the oceans: A global evaluation of sources. IUCN, 2017.

CHOI, J. S. et al. Long-term exposure of the Mediterranean mussels, Mytilus galloprovincialis to polyethylene terephthalate microfibers: Implication for reproductive and neurotoxic effects. Chemosphere, v. 299, p. 134317, 2022.

COSTA, P. M. et al. Development of histopathological indices in a commercial marine bivalve (Ruditapesdecussatus) to determine environmental quality. Aquatic toxicology, v. 126, p. 442-54, 2013.

DA SILVA, Letícia Fernanda et al. Exposure to microplastics contaminated with pharmaceuticals and personal care products: Histological effects on Ucidescordatus. Science of The Total Environment, v. 956, p. 177042, 2024.

DING, J. et al. Microplastics in global bivalve mollusks: a call for protocol standardization. Journal of Hazardous Materials, v. 438, p. 129490, 2022.

DOS REIS, I. M. et al. Histological responses and localization of the cytochrome P450 (CYP2AU1) in Crassostrea brasiliana exposed to phenanthrene. Aquatic toxicology, v. 169, p. 79–89, 2015.

ELLIS, M. S. et al. Histopathology analysis. Sampling and Analytical Methods of the NationalStatus and Trends Program Mussel Watch Project: 1993–1996 Update, p. 198, 1998.

FERNANDES, A. N. et al. Effect of the age of garments used under real-life conditions on microfibre release from polyester and cotton clothing. Environmental pollution, v. 348, 2024.

FOGELSON, S. B. et al. Histopathology of the Digestive Tissues and Whole-Body Anaerobic Bacteria Counts of the Eastern Oyster, Crassostrea virginica, After Experimental Exposure to Anoxia. Journal of Shellfish Research, Milford, v. 30, n. 3, p. 627-634, dez. 2011.

IBGE. Pesquisa Nacional por Amostras de Domicílio Contínua do IBGE: 2022.

LINS, Layse Rodrigues do Rozario Teixeira *et al*. Ingestion and depuration of polyester microfibers by *Crassostrea gasar* (Adanson, 1757). *Marine Environmental Research*, v. 196, 2024, p. 106433.

MACHADO, I. C.; MAIO, F. D. D.; KIRA, C. S.; CARVALHO, M. D. F. H. Estudo da ocorrência dos metais pesados Pb, Cd, Hg, Cu e Zn na ostra de mangue Crassostrea brasiliana do estuário de Cananéia-SP, Brasil. Rev. Inst. Adolfo Lutz, v. 61, n. 1, p. 13-18, 2002.

MISHRA, S.; SINGH, R.; SINGH, R. P. Microplastics - An overview. Environmental Science and Pollution Research, v. 26, n. 4, p. 3097-3101, 2019.

NAPPER, I. E.; THOMPSON, R. C. Release of synthetic microplastic plastic fibres from domestic washing machines: Effects of fabric type and washing conditions. Marine Pollution Bulletin, v. 112, n. 1-2, p. 39-45, 2016.

PEDROTTI, M. L. et al. Pollution by anthropogenic microfibers in North-West Mediterranean Sea and efficiency of microfiber removal by a wastewater treatment plant. Science of the Total Environment, v. 758, p. 144195, 2021.

PITTURA, L. et al. Cellular disturbance and thermal stress response in mussels exposed to synthetic and natural microfibers. Frontiers in Marine Science, v. 9, p. 981365, 2022.

RIBEIRO, V. V. et al. Oysters and mussels as equivalent sentinels of microplastics and natural particles in coastal environments. Science of The Total Environment, v. 874, p. 162468, 2023.

VAN CAUWENBERGHE, L.; JANSSEN, C. R. Microplastics in bivalves cultured for human consumption. Environmental pollution, v. 193, p. 65-70, 2014.

VON MOOS, N.; BURKHARDT-HOLM, P.; KÖHLER, A. Uptake and effects of microplastics on cells and tissue of the blue mussel Mytilus edulis L. after an experimental exposure. Environmental Science & Technology, v. 46, n. 20, p. 11327-11335, 2012.

WINSTEAD, J. T. Digestive tubule atrophy in eastern oysters, Crassostrea virginica (Gmelin, 1791), exposed to salinity and starvation stress. Journal of Shellfish Research, Milford, v. 14, n. 1, p. 105–111, 1995.