

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO DE CIÊNCIAS HUMANAS E NATURAIS
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS

POLIANA TINELLI BACETTE

**IMPACTOS CLIMÁTICOS EM MANGUEZAIS AFETAM A ESTRUTURA DA
MACROFAUNA BENTÔNICA EM UM ESTUÁRIO TROPICAL, LESTE DO
BRASIL**

VITÓRIA
2019

POLIANA TINELLI BACETTE

**IMPACTOS CLIMÁTICOS EM MANGUEZAIS AFETAM A ESTRUTURA DA
MACROFAUNA BENTÔNICA EM UM ESTUÁRIO TROPICAL, LESTE DO
BRASIL**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Departamento de Ciências Biológicas da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Ciências Biológicas.

Orientador: Prof. Dr. Angelo Fraga Bernardino

Co-orientador: MSc. Luiz Eduardo de Oliveira Gomes

VITÓRIA

2019

POLIANA TINELLI BACETTE

**IMPACTOS CLIMÁTICOS EM MANGUEZAIS AFETAM a ESTRUTURA DA
MACROFAUNA BENTÔNICA EM UM ESTUÁRIO TROPICAL, LESTE DO BRASIL**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Departamento de Ciências Biológicas da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Ciências Biológicas.

Orientador: Prof. Dr. Angelo Fraga Bernardino

Co-orientador: MSc. Luiz Eduardo de Oliveira Gomes

Aprovada em ____ de _____ de _____

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Angelo Fraga Bernardino
Universidade Federal do Espírito Santo
Orientador

Dr. Ana Carolina de Azevedo Mazzuco
Universidade Federal do Espírito Santo

Me. Luiz Eduardo de Oliveira Gomes
Universidade Federal do Espírito Santo

AGRADECIMENTOS

Chegar a essa etapa é celebrar a realização de alguns sonhos. É ter certeza que esforço, dedicação e amor ao que se acredita são ingredientes inerentes ao sucesso. Portanto, agradecer aos que me ajudaram é indispensável.

Aprender sobre a perfeição da criação pelos olhares de mestres apaixonados pelo que ensinavam, me fizeram vibrar e observar além do óbvio. Ter bons exemplos de professores-humanos foi um alívio para os momentos extenuantes e poder dividir a carga com bons amigos foi fundamental. Muitos foram importantes, em especial Dani e Douglas que estiveram comigo desde sempre.

Ter tido as experiências mais empolgantes da graduação não seria possível sem as oportunidades que recebi no Laboratório de Ecologia Bêntica da Universidade Federal do Espírito Santo. Ainda suspiro com alegria ao lembrar do último embarque – outro sonho realizado.

Foram muitas oportunidades, momentos de café com boas conversas e amizades conquistadas durante todos esses anos. Fabris, Tice, Giu, Lucas, André, Gustavo, Pati, Ana, Thiago, Nati e todos outros tantos amigos e parceiros de laboratório, vocês fazem parte dessa caminhada.

É muito bom quando pessoas competentes acreditam em nosso trabalho, nos dão oportunidades, nos ajudam a tomar boas decisões e querem nosso bem, Angelo, obrigada por isso. Não é por menos que você ganhou carinhosamente o apelido de “papai Angelo”. Outras pessoas, tão importantes quanto, enxergam nossas dificuldades além das palavras, tem convicção dos nossos esforços e limitações, não menos exigente, mas igualmente empático, nos ensina e encaminha. Obrigada por ser assim Baiano (Luiz), essas atitudes foram essenciais para que eu conseguisse chegar até aqui com mérito.

Uma caminhada tão longa quanto a formação de uma carreira profissional em universidade federal é dispendiosa em amplos sentidos portanto, à todos envolvidos, deixo meus sinceros agradecimentos. Não poderia deixar de registrar gratidão aos meus pais por todo apoio, aos amigos de vida Isadora, Paola, Eliana, Rennan, e a todos que de alguma maneira me impulsionaram. Meu Deus Jeová faz parte de quem eu fui, de quem eu sou e de quem eu busco me tornar, portanto, meus agradecimentos são diários.

RESUMO

O aumento da frequência e intensidade de eventos climáticos extremos apoia os esforços em entender seus efeitos sobre os ecossistemas e organismos. O estuário Piraquê-Açú-Mirim, Ecorregião Leste do Brasil sofreu profundas modificações estruturais e funcionais devido à tempestade de tempestade em 2016. As maiores diferenças nas assembleias macrofaunísticas foram observadas comparativamente entre habitats de mangue impactados e não impactados. A densidade total sofreu uma perda de 53,3 %, nas regiões impactadas. Enquanto os depositívoros mesmo com redução de 53% na densidade mantiveram sua dominância em ambas as regiões. Polichaetas e Oligochaetas foram os mais abundantes e portanto os mais afetados. Espacialmente, áreas menores demonstraram de maneira mais expressiva os impactos gerados. A perda de riqueza e densidade da macrofauna mesmo 1.5 anos após a tempestade de granizo sugere que eventos climáticos extremos podem impactar as cadeias alimentares estuarinas, com potenciais consequências para os ecossistemas costeiros próximos.

Palavras chaves: Mudanças climática, ecologia estuarina, macrofauna, grupo funcional, manguezal

ABSTRACT

The increase in the frequency and intensity of climate events supports the need of knowledge about their effects in mangroves and organisms. The Piraquê-Açú-Mirim estuary, Eastern Brazil marine Ecoregion changes in structure and function through the hailstorm of 2016. Higher differences were found between the impacted and not impacted regions. Total density decreases 53.3 % in the impacted regions. While deposit-feeders still being dominant at both impacted and not impacted regions, despite it decreases 53% in total density. Polychaets and Oligochaets were the most abundant taxa and the most effected by the hailstorm. The impact effect was more expressive in site scale. Macrofaunal richness and density loss 1.5yr after the hailstorm highlights that extreme climate events should impact estuarine food-webs with potential impacts in nearby ecosystems.

Keywords: Climate change, Estuarine Ecology, macrofauna, functional groups, mangrove

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 - Mapa do Estuário Piraquê-Açú-Mirim indicando os manguezais impactados e não impactados pela tempestade de granizo em 2016. Não impactado (verde); Ligeiramente impactado (amarelo); Moderadamente impactado (vermelho); e Severamente impactadas (cinza). Imagem referenciando 08 de julho de 2018200
- Figura 2 - Densidade média (ED, ind · m²) dos grupos funcionais de assembleias macrofaunísticas distribuídos nos períodos chuvoso 2017 e seco 2018 no estuário Piraquê-Açú-Mirim. Regiões PM (Piraquê-Mirim), PM-i (Piraquê-Mirim impactada), PA (Piraquê-Açú) e PA-i (Piraquê-Açú impactada). OCO (Onívoro, carnívoro e outro alimentador).....20
- Figura 3 - Índices e grupos funcionais da assembleia macrofaunal no período chuvoso de 2017 ao período seco de 2018 no estuário Piraquê-Açú-Mirim. Regiões PM (Piraquê-Mirim), PM-i (Piraquê-Mirim impactada), PA (Piraquê-Açú) e PA-i (Piraquê-Açú impactada). Densidade média (ED, ind · m²), Biomassa (WW), Riqueza (S), Diversidade de Shannon (H'), Equitabilidade de Pielou (J') e OCO (Onívoro, carnívoro e outro alimentador).221
- Figura 4 - Índices e grupos funcionais (ind · m²) significativos (p < 0,005) entre regiões impactadas e não impactadas no estuário Piraquê-Açú-Mirim. Regiões PM (Piraquê-Mirim), PM-i (Piraquê-Mirim impactada), PA (Piraquê-Açú) e PA-i (Piraquê-Açú impactada). Riqueza (S), Equitabilidade de Pielou (J'), Diversidade de Shannon (H') e OCO (Onívoro, carnívoro e outro alimentador).222

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Densidade média e erro padrão (ED, ind · m²) erro padrão e abundância relativa (Rel. %) de assembleias macrofaunais no período chuvoso de 2017 ao período seco de 2018 no estuário Piraquê-Açú-Mirim. Regiões PM (Piraquê-Mirim), PM-i (Piraquê-Mirim impactada), PA (Piraquê-Açú) e PA-i (Piraquê-Açú impactada); \$ = cinco taxa mais abundantes; Grupos funcionais: DT = detritívoro, S = suspensívoro, F = filtrador, O = OCO – oportunista, carnívoro e outros e D = depositívoro.233

Tabela 2 - PERMANOVA resultados da abundância e índices da assembleias macrofaunísticas e seus grupos funcionais no estuário Piraquê-Açú-Mirim. Permutação. entre Pe –períodos (chuvoso 2017 e seco 2018), Re- entre regiões (PA, PA-i, PM, PM-i), Si(Re) – sítios entre regiões, PexRe – períodos entre regiões, PexSi(Re) – período entre sítio entre regiões, Res – entre réplicas. Valores em **negrito** indicam valores p significativos.....255

Tabela 3 - Densidade média (ind · m²) e desvio padrão para dados de Biomassa (g.m²; WW), Riqueza (S), Densidade (N), Equitabilidade de Pielou (J'), Diversidade de Shannon (H') e Tipos de alimentação: D = Alimentador de depósito de superfície, DT = Alimentador Detritívoro, OCO = Onívoro, carnívoro e outro alimentador, F = Alimentador filtrador. Separados entre estações e respectivas regiões PM (Piraquê-Mirim), PM-i (Piraquê-Mirim impactada), PA (Piraquê-Açú), PA-i (Piraquê-Açú impactada) para estuário Piraquê-Açú-Mirim. PERMANOVA.....29

Tabela 4 - Pos hoc. Significativo (p <0,005) entre regiões PM (Piraquê-Mirim), PM-i (Piraquê-Mirim impactada), PA (Piraquê-Açú) e PA-i (Piraquê-Açú impactada) no estuário Piraquê-Açú-Mirim. Riqueza (S), Diversidade de Shannon (H'), Equitabilidade de Pielou (J') e OCO (Onívoro, carnívoro e outro alimentador).....30

SUMÁRIO

1. Introdução	10
2. Materiais e Métodos	11
2.1. <i>Área de estudo e desenho amostral</i>	11
2.2. <i>Análises laboratoriais</i>	12
2.3. <i>Análises estatísticas</i>	13
3. Resultados	13
3.1. <i>Assembleias macrobentônicas</i>	13
3.2. <i>Grupos funcionais</i>	14
4. Discussão e Conclusão	14
Referências	16

Impactos climáticos em manguezais afetam estrutura da macrofauna bentônica em um estuário tropical, Leste do Brasil

Poliana Tinelli, Luiz Eduardo de Oliveira Gomes*, Angelo Fraga Bernardino

Grupo de Ecologia Bêntica, Departamento de Oceanografia e Ecologia, Universidade Federal do Espírito Santo, Av. Fernando Ferrari, 514, Goiabeiras, Vitória, ES, 29055-460.

Autor correspondente: luiz.e.o.gomes@gmail.com (Gomes, LEO)

Resumo: O aumento da frequência e intensidade de eventos climáticos extremos apoia os esforços em entender seus efeitos sobre os ecossistemas e organismos. O estuário Piraquê-Açú-Mirim, Ecorregião Leste do Brasil sofreu profundas modificações estruturais e funcionais devido à tempestade de tempestade em 2016. As maiores diferenças nas assembleias macrofaunísticas foram observadas comparativamente entre habitats de mangue impactados e não impactados. A densidade total sofreu uma perda de 53,3 %, nas regiões impactadas. Enquanto os depositívoros mesmo com redução de 53% na densidade mantiveram sua dominância em ambas as regiões. Polichaetas e Oligochaetas foram os mais abundantes e portanto os mais afetados. Especialmente, áreas menores demonstraram de maneira mais expressiva os impactos gerados. A perda de riqueza e densidade da macrofauna mesmo 1.5 anos após a tempestade de granizo sugere que eventos climáticos extremos podem impactar as cadeias alimentares estuarinas, com potenciais consequências para os ecossistemas costeiros próximos.

Palavras chaves: Mudanças climática, ecologia estuarina, macrofauna, grupo funcional, manguezal

1. Introdução

2 Eventos extremos provocados por mudanças climáticas têm sido reconhecidos como
3 impulsionadores das alterações nas dinâmicas ecológicas, atuais e futuras (Parmesan e Yohe,
4 2003; Greenville et al., 2018). Essas alterações são observadas em diversos processos, como
5 acidificação oceânica, mudanças no nível do mar e no fluxo de água doce, fortes tempestades e
6 chuvas de granizo (Currie e Small, 2005; Doney et al., 2012; Duke et al., 2017; Sippo et al.,
7 2018). Tendo em vista o aumento de intensidade e frequência desses eventos, é necessária uma
8 avaliação detalhada dos impactos gerados em diferentes ecossistemas (Parmesan e Yohe, 2003;

9 MacKay et al., 2010, Wiens e Bachelet, 2010). Em ambientes estuarinos - regiões costeiras de
10 transição entre o rio e o mar, com habitats altamente diversificados e ampla variedade de
11 serviços ambientais – (Elliott e Whit, 2011) tais eventos podem acarretar prejuízos imediatos
12 nas florestas de mangue (ex. morte da vegetação), e em longo prazo, degradação contínua com
13 perda de biodiversidade e funções ecossistêmicas (Houston, 1999; Servino et al., 2018).

14 Estes desequilíbrios alteram a estrutura e diversidade das comunidades com efeito
15 cascata para toda a cadeia trófica (Currie e Small, 2005; Cheung et al., 2009; Grilo et al., 2011;
16 Doney et al., 2012). A macrofauna bentônica é amplamente utilizada como Proxy ambiental
17 por suas rápidas respostas à alterações antropogênicas (ex. desmatamento e poluição; Brauko
18 et al., 2016; Gomes et al., 2017) e variações ambientais naturais (ex. salinidade, temperatura,
19 alteração de nível do mar, granulometria; Lucero et al., 2006; Fujii, 2007; Magalhães et al.,
20 2019). A exposição aos estressores pode acarretar em alterações espaciais na estrutura e função
21 da comunidade, recomposição da abundância e diversidade, e mudança taxonômica com
22 substituição de espécies funcionalmente semelhantes ou não (Currie e Small, 2005; Fujii, 2007;
23 Grilo et al., 2011; Egres et al. 2019; Taupp e Wetzel, 2019).

24 A macrofauna bentônica é composta por diversos filos, principalmente por anelídeos
25 (poliquetas), crustáceos e moluscos (Fujii, 2007; Gomes et al., 2017; Magalhães et al., 2019).
26 Tais organismos realizam importantes funções no sedimento como aeração, ciclagem de
27 nutrientes, produção de biomassa e enterramento de carbono (Penniford e Davis, 2001). Eventos
28 extremos podem impactar em sua composição, havendo perda de espécies sensíveis, alternância
29 de taxa dominantes e por vezes grupos funcionais inteiros (Norkko et al., 2006). Além disso,
30 podem causar alterações diretas em seus serviços ecossistêmicos como resposta à dominância
31 por espécies oportunistas (Grilo et al., 2011; Bernardino et al., 2018).

32 Baseado no aumento de frequência e intensidade de eventos extremos e suas influências
33 nos padrões espaciais e temporais da macrofauna bentônica (Servino et al., 2018; Sippo et al.,
34 2018), nossa hipótese é que os ecossistemas estuarinos impactados por tais ocorrências
35 apresentem alta dominância de taxa oportunistas e perda de seus grupos funcionais. Este estudo
36 buscou avaliar (i) como um impacto climático extremo em florestas de manguezal afetou a
37 estrutura da macrofauna bentônica de planícies lamosas próximas e (ii) como essas alterações
38 macrofaunais ocorreram em diferentes escalas espaciais ao longo do tempo.

39

40 **2. Materiais e Métodos**

41 *2.1. Área de estudo e desenho amostral*

42

43 Este estudo foi realizado no estuário Piraquê-Açú-Mirim (17°58'S; 40°00'W), inserido
44 na Ecorregião Marinha Leste do Brasil (Bernardino et al., 2018; Figura 1). É formado por dois
45 rios com morfologia em Y, sendo Piraquê-Açú (PA) - braço superior e Piraquê-Mirim (PM) -
46 braço inferior. Além da presença de canais sinuosos, apresenta em sua formação planícies
47 lamosas e manguezais (~12 km²; vegetação dominada por *Rhizophora mangle* (83,8%;
48 Bernardino et al., 2018; Servino et al., 2018). Os períodos, onde o estuário está inserido, são
49 bem definidos, sendo inverno seco (abril a setembro) e verão chuvoso (outubro a março). A
50 pluviometria média é de $111,1 \pm 25,2$ mm.y⁻¹, a temperatura do ar varia de 24-26 °C e o regime
51 diurno de maré é de <2 m (Alvares et al., 2013; Bernardino et al., 2015; Servino et al., 2018).
52 Em junho de 2016 o estuário sofreu o impacto de um evento de tempestade de granizo que
53 afetou 24% da área de manguezal acarretando morte repentina e maciça ao longo da orla do
54 mangue. (Servino et al., 2018).

55 As campanhas amostrais ocorreram a cada dois meses iniciando no período chuvoso de
56 2017 e finalizando no período seco de 2018 (outubro/2017 - agosto/2018) totalizando 12 meses.
57 No setor polihalino, selecionamos quatro regiões de estudo, sendo duas não impactadas PM
58 (Piraquê-Mirim) e PA (Piraquê-Açú) e duas impactadas pelo evento de granizo, PM-i (Piraquê-
59 Mirim impactada) e PA-i (Piraquê-Açú impactada). Em cada região, selecionamos dois sítios,
60 um em cada margem do rio escolhidos de forma aleatória (distante ~100 m) e cada sítio foi
61 subdividido em duas áreas (distantes ~10 m) na planície de maré. Em cada área, foram coletadas
62 três réplicas de fauna (0,008 m²; <10 cm da superfície), em planície lamosa (~1m das florestas
63 de mangue próximas). O mapa de intensidade de impacto foi desenvolvido baseado na evolução
64 dos dados de Servino et al (2018; ver para mais detalhe).

65

66 2.2. Análises laboratoriais

67

68 As mostras de sedimento para macrofauna foram armazenadas em formol (10%),
69 posteriormente peneiradas (malha de 500µm) e conservadas em etanol (70%) até a análise. No
70 laboratório, todos os organismos foram classificados e identificados ao nível taxonômico mais
71 baixo possível (espécie quando possível). Após a triagem a biomassa dos taxa da macrofauna
72 (peso úmido em nível de família) foi aferida utilizando balança de precisão de 0,001g. Os
73 grupos funcionais (detritívoro, suspensívoro, filtrador, depositívoro e OCO – oportunista,

74 carnívoro e outros) da macrofauna foram definidos de acordo com Magalhães e Barros (2011)
75 e Jumars et al., (2015).

76

77 2.3. Análises estatísticas

78

79 Índices da macrofauna bentônica (composição da comunidade, densidade (N), biomassa
80 total (WW), riqueza de espécies (S), diversidade de Shannon (H'), equitabilidade de Pielou (J')
81 e seus grupos funcionais (detritívoros, suspensívoros, filtradores, OCO e depositívoros) foram
82 analisados utilizando PERMANOVA (Anderson et al., 2008). A PERMANOVA foi aplicada
83 com três fatores Período (Períodos seco e chuvoso, dois níveis), Região (região impactada e
84 não impactada do Piraquê-Açú e região impactada e não impactada do Piraquê-Mirim, quatro
85 níveis) e Sítio (S1 e S2 referente cada nível de Região) aninhado em Região. PERMANOVA
86 foi realizada em matriz de similaridade Bray-Curtis (raiz quadrada) para composição da
87 comunidade. Distância Euclidiana foi utilizada para os demais fatores (parâmetros
88 univariados). As análises de PERMANOVA foram realizadas utilizando o software PRIMER
89 v 6.0 com PERMANOVA + (Clarke et al.,2006; Anderson et al., 2008).

90

91 3. Resultados

92 3.1. Assembleias macrobentônicas

93

94 Foram coletados um total de 2.609 indivíduos, distribuídos em 46 taxa (42 taxa
95 presentes nas regiões não impactadas e 28 taxas nas regiões impactadas) e 7 grupos
96 taxonômicos, aos quais dominaram os Polichaetas (28 taxa, 60,9%) e Molluscas (9 taxa, 19,6%,
97 Tabela 1). Dentre a abundância total, os Anelídeos representaram os cinco taxa com maior
98 número de indivíduos (2098 ind., 80,4%,) predominando os Oligochaetas (647 ind., 24,8%),
99 seguido das quatro Polichaetas *Mediomastus sp.* (473, 18,1%), *Magelona posterelongata* (407
100 ind., 15,6%), *Boccardia sp.* (310 ind., 11,9%) e *Capitella capitata* (261, 10,0%). Em contra
101 partida 14 taxa representam menos de 1% da abundância relativa.

102 A composição da macrofauna bentônica mudou entre o período seco e chuvoso
103 (PERMANOVA, df = 1, Pseudo-F = 5,2182, p = 0,005; Tabela 2). *Magelona posterelongata*,
104 *Lumbrineris sp.* e outros taxa menos importantes como *Paraprionospio sp.* e *Spiophanes sp.*
105 não ocorreram nas regiões impactadas no período chuvoso de 2017, passando a ocorrer no
106 período seco de 2018. *Boccardia sp.* e *Oligochaeta* apresentaram aumento no número de

107 indivíduos no período seco ($12 \pm 4 \text{ ind} \cdot \text{m}^2$; $153 \pm 32 \text{ ind} \cdot \text{m}^2$, respectivamente) comparado ao
108 período chuvoso ($257 \pm 54 \text{ ind} \cdot \text{m}^2$; $409 \pm 54 \text{ ind} \cdot \text{m}^2$, respectivamente). Os Molluscas
109 *Anomalocardia flexuosa*, *Tellina sp.* e *Heleobia australis* ocorreram apenas no período seco.

110 As regiões não impactadas e impactadas apresentaram diferenças na composição da
111 macrofauna (PERMANOVA, $df = 3$, Pseudo-F = 11,335, $p = 0,001$). O bivalve *Corbula sp.* e
112 os crustáceos *Uca uruguayensis* e *U. maracoani* só ocorreram nas regiões não impactadas, em
113 contra partida o crustáceo *Gammaridae sp* só ocorreu nas regiões impactadas. De mesmo modo
114 a composição da macrofauna bentônica possui alta variabilidade espacial entre os sítios, assim
115 como entre sítios ao longo do tempo (PERMANOVA, $p < 0,011$; Tabela 2).

116 S e H' foram menores no período chuvoso ($S = 2,11 \pm 0,19$; $H' = 0,53 \pm 0,05$) comparado
117 ao período seco ($S = 3,32 \pm 0,24$; $H' = 0,82 \pm 0,06$; PERMANOVA, $df = 1$, $p < 0,04$; Tabela
118 3). O S e H' das regiões impactadas foram menores (PM-i, $S = 1,47 \pm 0,26$; $H' = 0,39 \pm 0,07$;
119 PA-i, $S = 1,31 \pm 0,29$; $H' = 0,26 \pm 0,06$) comparado ao das regiões não impactadas (PM, $S = 3,6$
120 $\pm 0,3$; $H' = 0,9 \pm 0,1$; PA, $S = 4,5 \pm 0,3$; $H' = 1,1 \pm 0,1$; PERMANOVA, $df = 3$, $p < 0,07$; Tabela
121 3). A Equitabilidade de Pielou (J') das regiões impactadas foi menor (PM-i, $0,35 \pm 0,05$; PA-i,
122 $0,29 \pm 0,05$) comparado ao das regiões não impactadas (PM, $0,83 \pm 0,02$; PA, $0,79 \pm 0,03$;
123 PERMANOVA, $df = 3$, $p = 0,002$) e assim como na densidade, apresentou alta variabilidade
124 entre os sítios ao longo do tempo (PERMANOVA, $p < 0,02$). A densidade da macrofauna
125 apresentou alta variabilidade espacial também entre os sítios (PERMANOVA, $df = 4$, $p = 0,01$).

126

127 3.2. Grupos funcionais

128

129 O estuário estudado apresentou ser dominado por depositívoros (91,2%), seguido por
130 OCO (5,9%). Suspensívoros, filtradores e detritívoros corresponderam a 2,9% da densidade de
131 organismos (Figura 2). A densidade de OCO foi maior na região PA não impactada (69 ± 16
132 $\text{ind} \cdot \text{m}^2$) comparada a PA impactada ($21 \pm 9 \text{ ind} \cdot \text{m}^2$; PERMANOVA, $df = 3$, Pseudo-F =
133 16,831, $p = 0,011$; Tabela 2). A densidade de depositívoros e suspensívoros apresentaram alta
134 variabilidade espacial entre os sítios (PERMANOVA, $df = 4 = p < 0,011$). Depositívoros
135 apresentam alta variabilidade entre sítios ao longo do tempo (PERMANOVA, $df = 4,02$, $p =$
136 $0,003$).

137

138 4. Discussão

139

140 Eventos climáticos extremos como a elevação do nível do mar, ciclones e tempestades
141 de granizo têm aumentado de frequência e intensidade, além de ocorrerem em novos locais em
142 todo o mundo. No geral, impactam o ecossistema como um todo, desde a perda de estrutura
143 vegetal e seus fluxos de carbono, até mudanças na estrutura da macrofauna bentônica com perda
144 correlata de grupos funcionais e espécies raras, além de demais serviços ecossistêmicos
145 (Houston, 1999; Currie e Small, 2005; Dolbeth et al., 2011; Servino et al., 2018; Sippo et al.,
146 2018). Apesar disso, a resposta a estes impactos varia espacial e temporalmente. Especialmente
147 pela própria variabilidade do sedimento (Ysebaert e Herman, 2002; Carvalho e Barros, 2017) e
148 pela capacidade de colonização de espécies oportunistas a estes espaços vagos na comunidade
149 bentônica devido a perda de densidade e alguns taxa (Norkko et al., 2006). Baseado nisso é de
150 suma importância saber como regiões sem ocorrência prévia de impactos climáticos extremos
151 respondem em diferentes escalas espaciais (mudanças de temperatura, salinidade, tamanho de
152 grão, suprimento de matéria orgânica, composição da vegetação) e temporais a estes desastres
153 naturais.

154 Após 1.5 anos do impacto da tempestade de granizo de 2016 no manguezal do estuário
155 Paraquê-Açú-Mirim (ver Servino et al., 2018), o presente estudo evidencia que o evento
156 extremo desencadeou diferenças na estrutura da macrofauna bentônica e seus grupos tróficos.
157 No geral, regiões impactadas possuem menor composição taxonômica, diversidade, biomassa,
158 além de uma drástica redução de 53,3% da densidade total comparando com as regiões não
159 impactadas. Apesar da diferente dominância entre os taxa bentônicos comparando regiões
160 impactadas (*Capitella capitata*, *Spiophanes sp.* e *Boccardia sp.*(1.576 ind · m², 54,7%) e
161 regiões não impactadas (polichaetas *Magelona posterelongata* e *Mediomastus sp.*, 2.691 ind ·
162 m², 43,6% e Oligochaetas, 1.851 ind · m², 30%) o predomínio de alimentadores depositívoros
163 (45,6%) correspondeu a estrutura espacial para ambientes estuarinos com grande aporte de
164 matéria orgânica. (Bernardino et al., 2018). O estresse causado pela tempestade de granizo
165 influenciou a resposta macrofaunística de forma semelhante à estressores antropogênicos. O
166 Polichaeta *Capitella capitata* é comumente descrito como oportunista presente em ambiente
167 poluídos com enriquecimento de matéria orgânica (Norkko et al., 2006), *Magelona*
168 *posterelongata* e *Mediomastus sp.* foram descritos em ambientes naturais com presença de
169 floresta de manguezal (Bernardino et al, 2018, Bissoli e Bernardino, 2018).

170 De maneira geral há uma menor densidade de OCO nas regiões impactadas
171 principalmente em reflexo à queda na densidade de depositívoros. Outros grupos, mesmo não
172 significativamente expressivos, influenciam diretamente a densidade desses carnívoros

173 oportunistas pois sua redução responde a menor disponibilidade de alimento no meio. As
174 regiões não impactadas do estuário Piraquê-Açu-Mirim apresentam baixas densidades
175 bent/ônicas em comparação à outros estuários da Ecorregião Leste do Brasil. (Bissoli e
176 Bernardino, 2018) Tendo em vista a distribuição espacial de organismos macrobentônicos
177 estuarinos ocorrerem em mosaico de manchas mantidas por variedades de fatores bióticos e
178 abióticos (Morrisey et al., 2006), a maior parte das respostas significativas ocorreu em escalas
179 menores. Espécies oportunistas - tamanho pequeno, crescimento rápido, alta capacidade
180 reprodutiva e boa capacidade de dispersão (Norkko et al., 2006), predominaram a densidade
181 dos taxa.

182 Em todo o globo eventos climáticos extremos vêm ocorrendo em ecossistemas que
183 anteriormente não havia documentação destes, além de estarem aumentando em frequência e
184 intensidade onde ocorriam previamente (IPCC, 2014; Servino et al., 2018; Sippo et al., 2018).
185 Ecossistemas costeiros, como os manguezais, sofrerão as maiores taxas de impacto,
186 apresentando potencial de causar grandes danos ambientais, econômicos e sociais, uma vez que
187 toda a sociedade e principalmente populações tradicionais tem sua subsistência dependente
188 destes ecossistemas e seus serviços relacionados (Parmesan e Yohe, 2003). Tal problemática se
189 intensifica em países subdesenvolvidos e em desenvolvimento, como América do Sul e África,
190 onde estes ecossistemas sofrem efeitos de perturbações antrópicas bem conhecidos como
191 descargas de águas residuais, poluentes orgânicos e químicos, dragagem para atividades
192 comerciais e aquelas áreas que tiveram suas margens liberadas para urbanização (Mirza e Nik,
193 2003; UN Environment, 2019). Este é o primeiro estudo a evidenciar como a perda de vegetação
194 em manguezais tropicais por tempestade de granizo afeta a estrutura e grupos funcionais
195 bentônicos de ecossistemas próximos. 1.5 anos depois do impacto a estrutura e grupos
196 funcionais da macrofauna não apresentaram recuperação. A redução no número de taxa nas
197 regiões impactadas comparado as não impactadas, juntamente com a redução de 79,6 % de
198 Oligochaetas, 59% de Polichaetas, 53% de alimentadores depositívoros e 90% da biomassa
199 (Figura 3) deve afetar diretamente nos fluxos de energia e nicho alimentar para grupos tróficos
200 superiores. Além disso, danos a seus serviços ecossistêmicos relacionados, como bioturbação
201 sedimentar e ciclagem de nutrientes, são esperados. Os resultados deste “*baseline*” devem vir a
202 ser uma importante referência internacional para entender como estes impactos agem nos
203 organismos bentônicos e assim propor melhores estratégias de mitigação para enfrentar os
204 impactos climáticos em ecossistemas estuarinos tropicais.

205

206 **Referências**

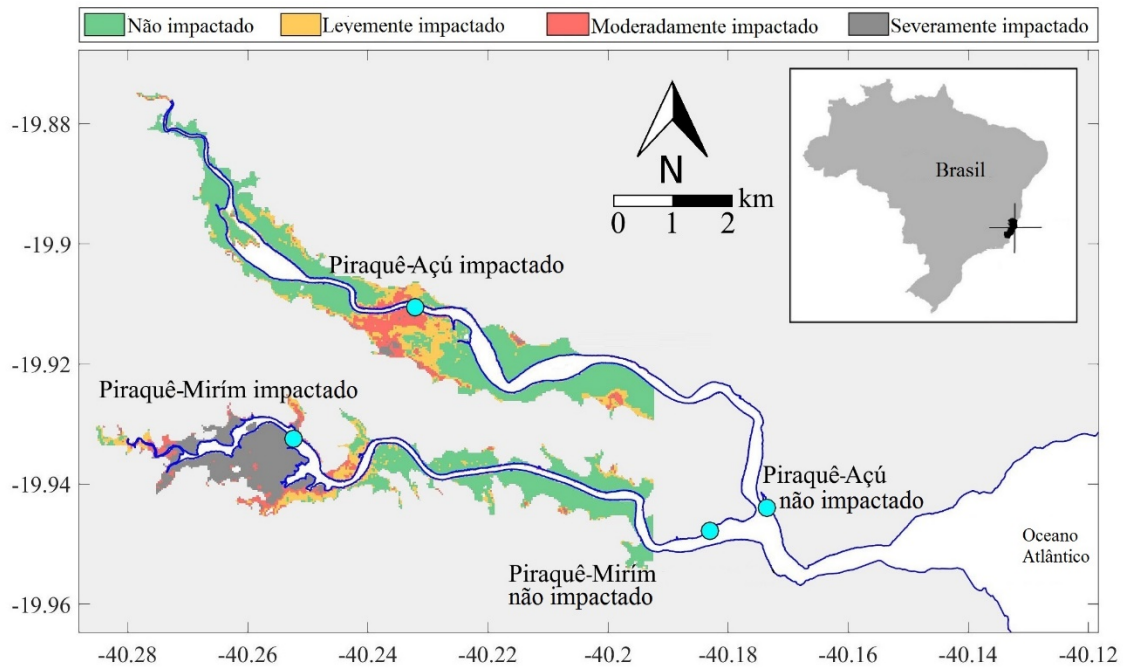
- 207 Alvares, C.A., Stape, J.L., Sentelhas, P.C., De Moraes Gonçalves, J.L., Sparovek, G., 2013.
208 Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorol. Zeitschrift* 22, 711–728.
209 <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>
- 210 Anderson, M.J., Gorley, R.N., Clarke, K.R., 2008. PERMANOVA. PRIMER: Guide to
211 Software and Statistical Methods. PRIMER-E Ltd., Plymouth 214 p.
- 212 Bernardino, A.F., Gomes, L.E. de O., Hadlich, H.L., Andrades, R., Correa, L.B., 2018.
213 Mangrove clearing impacts on macrofaunal assemblages and benthic food webs in a
214 tropical estuary. *Mar. Pollut. Bull.* 126, 228–235.
215 <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2017.11.008>
- 216 Bernardino, A.F., Netto, S.A., Pagliosa, P.R., Barros, F., Christofolletti, R.A., Rosa Filho, J.S.,
217 Colling, A., Lana, P.C., 2015. Predicting ecological changes on benthic estuarine
218 assemblages through decadal climate trends along Brazilian Marine Ecoregions. *Estuar.
219 Coast. Shelf Sci.* 166, 74–82. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2015.05.021>
- 220 Bissoli, L.B., Bernardino, A.F., 2018. Benthic macrofaunal structure and secondary production
221 in tropical estuaries on the Eastern Marine Ecoregion of Brazil. *PeerJ*
222 6:e4441. <https://doi.org/10.7717/peerj.4441>
- 223 Brauko, K.M., Muniz, P., Martins, C.D.C., Da Cunha Lana, P., 2016. Assessing the suitability
224 of five benthic indices for environmental health assessment in a large subtropical South
225 American estuary. *Ecol. Indic.* 64, 258–265. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2016.01.008>
- 226 Carvalho, L.R.S., Loiola, M., Barros, F., 2017. Journal of Experimental Marine Biology and
227 Ecology Manipulating habitat complexity to understand its influence on benthic
228 macrofauna. *J. Exp. Mar. Bio. Ecol.* 489, 48–57.
229 <https://doi.org/10.1016/j.jembe.2017.01.014>
- 230 Cheung, W.W.L., Lam, V.W.Y., Sarmiento, J.L., Kearney, K., Watson, R., Pauly, D., 2009.
231 Projecting global marine biodiversity impacts under climate change scenarios. *Fish Fish.*
232 10, 235–251. <https://doi.org/10.1111/j.1467-2979.2008.00315.x>
- 233 Clarke, K.R., Somerfield, P.J., Airoldi, L., Warwick, R.M., 2006. Exploring interactions by
234 second-stage community analyses. *J. Exp. Mar. Bio. Ecol.* 338, 179–192.
235 <https://doi.org/10.1016/j.jembe.2006.06.019>
- 236 Currie, D.R., Small, K.J., 2005. Macrobenthic community responses to long-term
237 environmental change in an east Australian sub-tropical estuary. *Estuar. Coast. Shelf Sci.*
238 63, 315–331. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2004.11.023>
- 239 Dolbeth, M., Cardoso, P.G., Grilo, T.F., Bordalo, M.D., Raffaelli, D., Pardal, M.A., 2011.
240 Estuarine, Coastal and Shelf Science Long-term changes in the production by estuarine
241 macrobenthos affected by multiple stressors. *Estuar. Coast. Shelf Sci.* 92, 10–18.
242 <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2010.12.006>
- 243 Doney, S.C., Ruckelshaus, M., Duffy, J.E., Barry, J.P., Chan, F., English, C.A., Galindo, H.M.,
244 Grebmeier, J.M., Hollowed, A.B., Knowlton, N., Polovina, J., Rabalais, N.N., Sydeman,
245 W.J., Talley, L.D., 2012. Climate Change Impacts on Marine Ecosystems. *Ann. Rev. Mar.
246 Sci.* 4, 11–37. <https://doi.org/10.1146/annurev-marine-041911-111611>

- 247 Duke, N.C., Kovacs, J.M., Griffiths, A.D., Preece, L., Hill, D.J.E., Van Oosterzee, P.,
 248 Mackenzie, J., Morning, H.S., Burrows, D., 2017. Large-scale dieback of mangroves in
 249 Australia's Gulf of Carpentaria: A severe ecosystem response, coincidental with an
 250 unusually extreme weather event. *Mar. Freshw. Res.* 68, 1816–1829.
 251 <https://doi.org/10.1071/MF16322>
- 252 Egres, A.G., Hatje, V., Miranda, D.A., Gallucci, F., Barros, F., 2019. Functional response of
 253 tropical estuarine benthic assemblages to perturbation by Polycyclic Aromatic
 254 Hydrocarbons. *Ecol. Indic.* 96, 229–240. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2018.08.062>
- 255 Elliott, M., Whit, A.K., 2011. Estuarine , Coastal and Shelf Science Challenging paradigms in
 256 estuarine ecology and management 94, 306–314.
 257 <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2011.06.016>
- 258 Fujii, T., 2007. Spatial patterns of benthic macrofauna in relation to environmental variables in
 259 an intertidal habitat in the Humber estuary, UK: Developing a tool for estuarine shoreline
 260 management. *Estuar. Coast. Shelf Sci.* 75, 101–119.
 261 <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2007.02.027>
- 262 Gomes, L.E. de O., Correa, L.B., Sá, F., Neto, R.R., Bernardino, A.F., 2017. The impacts of the
 263 Samarco mine tailing spill on the Rio Doce estuary, Eastern Brazil. *Mar. Pollut. Bull.* 120,
 264 28–36. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2017.04.056>
- 265 Greenville, A.C., Burns, E., Dickman, C.R., Keith, D.A., Lindenmayer, D.B., Morgan, J.W.,
 266 Heinze, D., Mansergh, I., Gillespie, G.R., Einoder, L., Fisher, A., Russell-Smith, J.,
 267 Metcalfe, D.J., Green, P.T., Hoffmann, A.A., Wardle, G.M., 2018. Biodiversity responds
 268 to increasing climatic extremes in a biome-specific manner. *Sci. Total Environ.* 634, 382–
 269 393. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.03.285>
- 270 Grilo, T.F., Cardoso, P.G., Dolbeth, M., Bordalo, M.D., Pardal, M.A., 2011. Effects of extreme
 271 climate events on the macrobenthic communities' structure and functioning of a temperate
 272 estuary. *Mar. Pollut. Bull.* 62, 303–311. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2010.10.010>
- 273 Houston, W.A., 1999. Severe hail damage to mangroves at Port Curtis, Australia. *Mangroves*
 274 *Salt Marshes* 3, 29–40. <https://doi.org/10.1023/A:1009946809787>
- 275 IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 2014. Fifth assessment report: Summary
 276 for policymakers. In *Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution*
 277 *of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on*
 278 *Climate Change.* Edenhofer, O., Pichs-Madruga, R., Sokona, Y., Farahani, E., Kadner, S.,
 279 Seyboth, K., Adler, A., Baum, I., Brunner, S., Eickemeier, P., et al. (eds.). Cambridge:
 280 Cambridge University Press.
- 281 Jumars, P.A., Dorgan, K.M., Lindsay, S.M., 2015. Diet of Worms Emended: An Update of
 282 Polychaete Feeding Guilds. *Ann. Rev. Mar. Sci.* 7, 497–520.
 283 <https://doi.org/10.1146/annurev-marine-010814-020007>
- 284 Kristensen, E., Delefosse, M., Quintana, C.O., Flindt, M.R., Valdemarsen, T., 2014. Influence
 285 of benthic macrofauna community shifts on ecosystem functioning in shallow estuaries.
 286 *Front. Mar. Sci.* 1. <https://doi.org/10.3389/fmars.2014.00041>
- 287 Lucero R., C.H., Cantera K., J.R., Romero, I.C., 2006. Variability of macrobenthic assemblages
 288 under abnormal climatic conditions in a small scale tropical estuary. *Estuar. Coast. Shelf*
 289 *Sci.* 68, 17–26. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2005.11.037>

- 290 MacKay, F., Cyrus, D., Russell, K.L., 2010. Macrobenthic invertebrate responses to prolonged
291 drought in South Africa's largest estuarine lake complex. *Estuar. Coast. Shelf Sci.* 86,
292 553–567. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2009.11.011>
- 293 Magalhães, L., Pires, A., Velez, C., Martins, R., Figueira, E., Soares, A.M.V.M., Freitas, R.,
294 2019. Seasonal and spatial alterations in macrofaunal communities and in *Nephtys cirrosa*
295 (*Polychaeta*) oxidative stress under a salinity gradient: A comparative field monitoring
296 approach. *Ecol. Indic.* 96, 192–201. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2018.08.045>
- 297 Magalhães, W.F., Barros, F., 2011. Structural and functional approaches to describe polychaete
298 assemblages : ecological implications for estuarine ecosystems. *Mar. Freshw. Res.* 62,
299 918–926. <https://doi.org/10.1071/MF10277>
- 300 Mirza, M., Nik, Z.B., 2003. Volatile constituents of *Phlomis olivieri* Benth . from Iran. *Flavour*
301 *Fragr. J.* 18, 131–132. <https://doi.org/10.1002/ffj.1156>
- 302 Morrisey, D.J., Howitt, L., Underwood, J., Stark, J.S., 2006. Spatial variation in soft-sediment
303 benthos 81, 197–204.
- 304 Netto, S.A., Lana, P.C., 1999. The role of above- and below-ground components of *Spartina*
305 *alterniflora* (Loisel) and detritus biomass in structuring macrobenthic associations of
306 Paranagua Bay (SE, Brazil). *Hydrobiologia* 400, 167–177.
307 <https://doi.org/10.1023/A:1003753001411>
- 308 Norkko, A., Rosenberg, R., Thrush, S.F., Whitlatch, R.B., 2006. Scale- and intensity-dependent
309 disturbance determines the magnitude of opportunistic response. *J. Exp. Mar. Bio. Ecol.*
310 330, 195–207. <https://doi.org/10.1016/j.jembe.2005.12.027>
- 311 Parmesan, C., Yohe, G., 2003. A globally coherent fingerprint of climate change impacts across
312 natural systems. *Nat. Publ. Gr.* 421, 37–42.
- 313 Penniford, M., Davis, J., 2001. Macrofauna and nutrient cycling in the Swan River Estuary,
314 Western Australia: Experimental results. *Hydrol. Process.* 15, 2537–2553.
315 <https://doi.org/10.1002/hyp.294>
- 316 Servino, R.N., Eduardo, L., Gomes, D.O., Bernardino, A.F., 2018. Extreme weather impacts on
317 tropical mangrove forests in the Eastern Brazil Marine Ecoregion. *Sci. Total Environ.* 628–
318 629, 233–240. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.02.068>
- 319 Sippo, J.Z., Lovelock, C.E., Santos, I.R., Sanders, C.J., Maher, D.T., 2018. Mangrove mortality
320 in a changing climate: An overview. *Estuar. Coast. Shelf Sci.* 215, 241–249.
321 <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2018.10.011>
- 322 Taupp, T., Wetzel, M.A., 2019. Functionally similar but taxonomically different: Benthic
323 communities in 1889 and 2006 in an industrialized estuary. *Estuar. Coast. Shelf Sci.* 217,
324 292–300. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2018.11.012>
- 325 UN Environment. 2019. *Global Environment Outlook – GEO-6: Healthy Planet, Healthy*
326 *People*. Nairobi, 745 pp. Doi: 10.1017/9781108627146
- 327 Wiens, J.A., Bachelet, D., 2010. Matching the multiple scales of conservation with the multiple
328 scales of climate change: Special section. *Conserv. Biol.* 24, 51–62.
329 <https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2009.01409.x>
- 330 Ysebaert, T., Herman, P.M.J., 2002. Spatial and temporal variation in benthic macrofauna and
331 relationships with environmental variables in an estuarine , intertidal soft-sediment

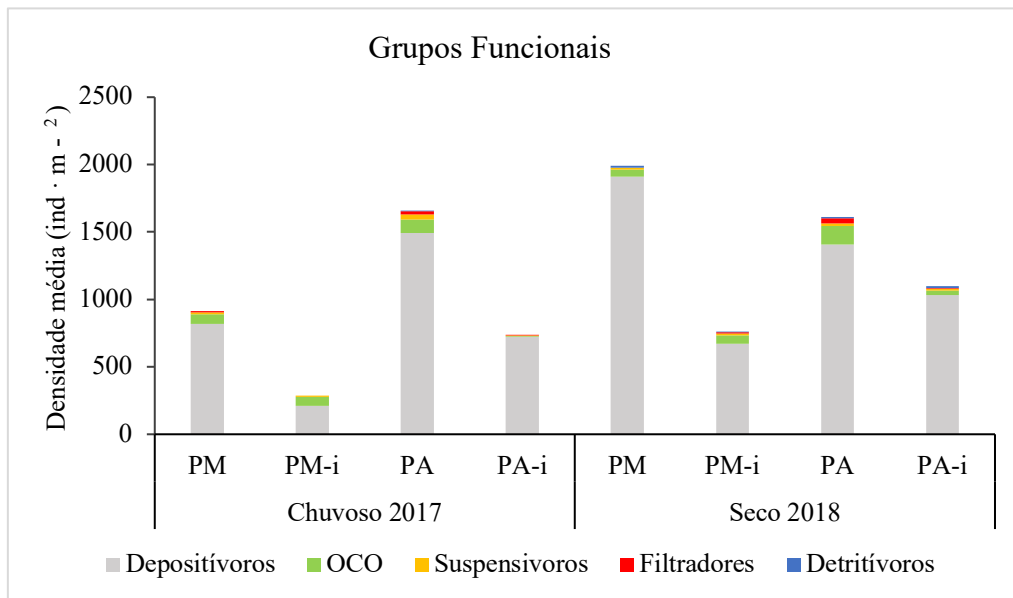
332 environment 244, 105–124

333 **Capítulo de Figuras**



334
335
336
337
338
339

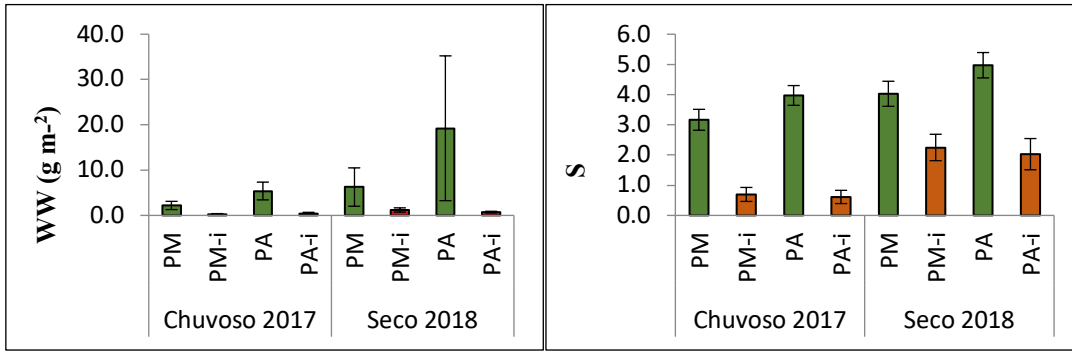
Figura 1 - Mapa do Estuário Piraquê-Açú-Mirim indicando os manguezais impactados e não impactados pela tempestade de granizo em 2016. Não impactado (verde); Ligeiramente impactado (amarelo); Moderadamente impactado (vermelho); e Severamente impactadas (cinza). Imagem referenciando 08 de julho de 2018.



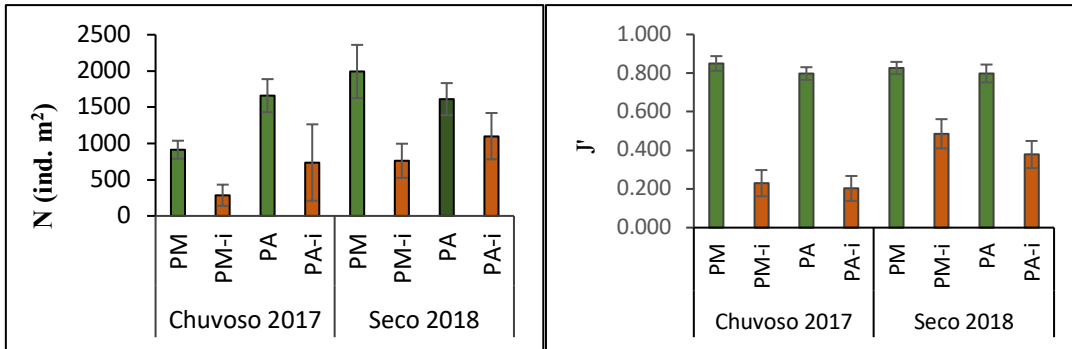
340
341
342
343
344
345

Figura 2 - Densidade média (ED, ind · m²) dos grupos funcionais de assembléias macrofaunísticas distribuídos nos períodos chuvoso 2017 e seco 2018 no estuário Piraquê-Açú-Mirim. Regiões PM (Piraquê-Mirim), PM-i (Piraquê-Mirim impactada), PA (Piraquê-Açú) e PA-i (Piraquê-Açú impactada). OCO (Onívoro, carnívoro e outro alimentador).

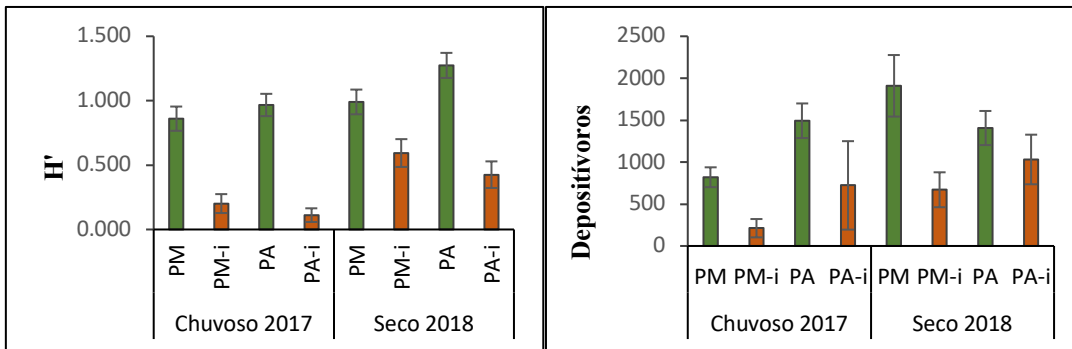
346



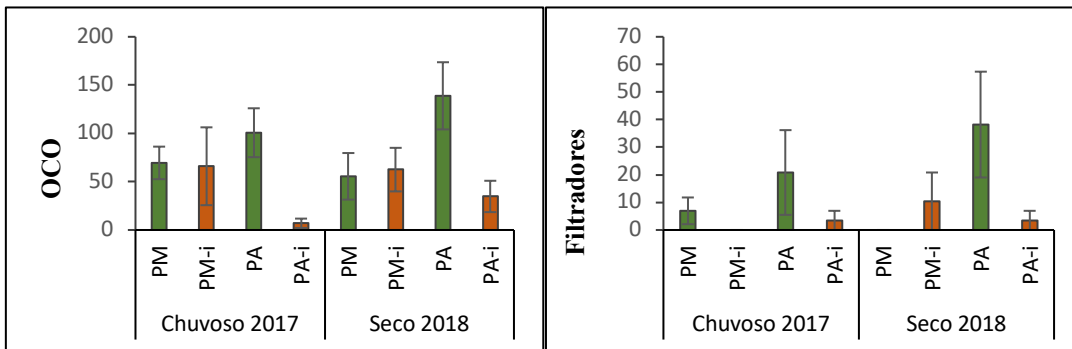
347



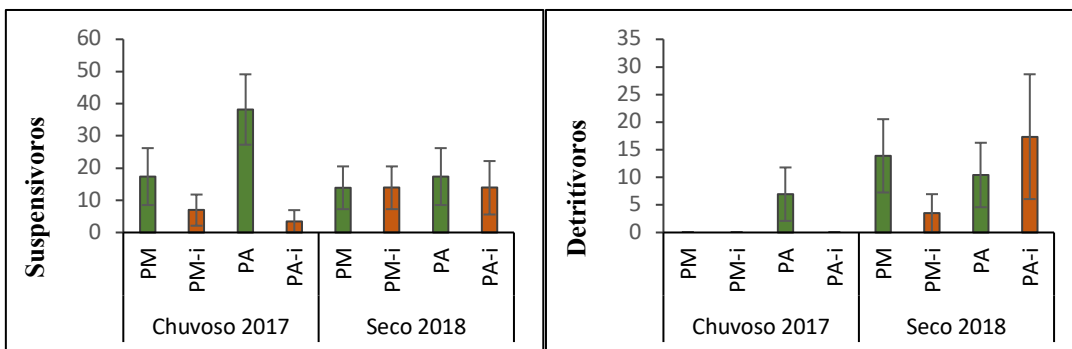
348



349

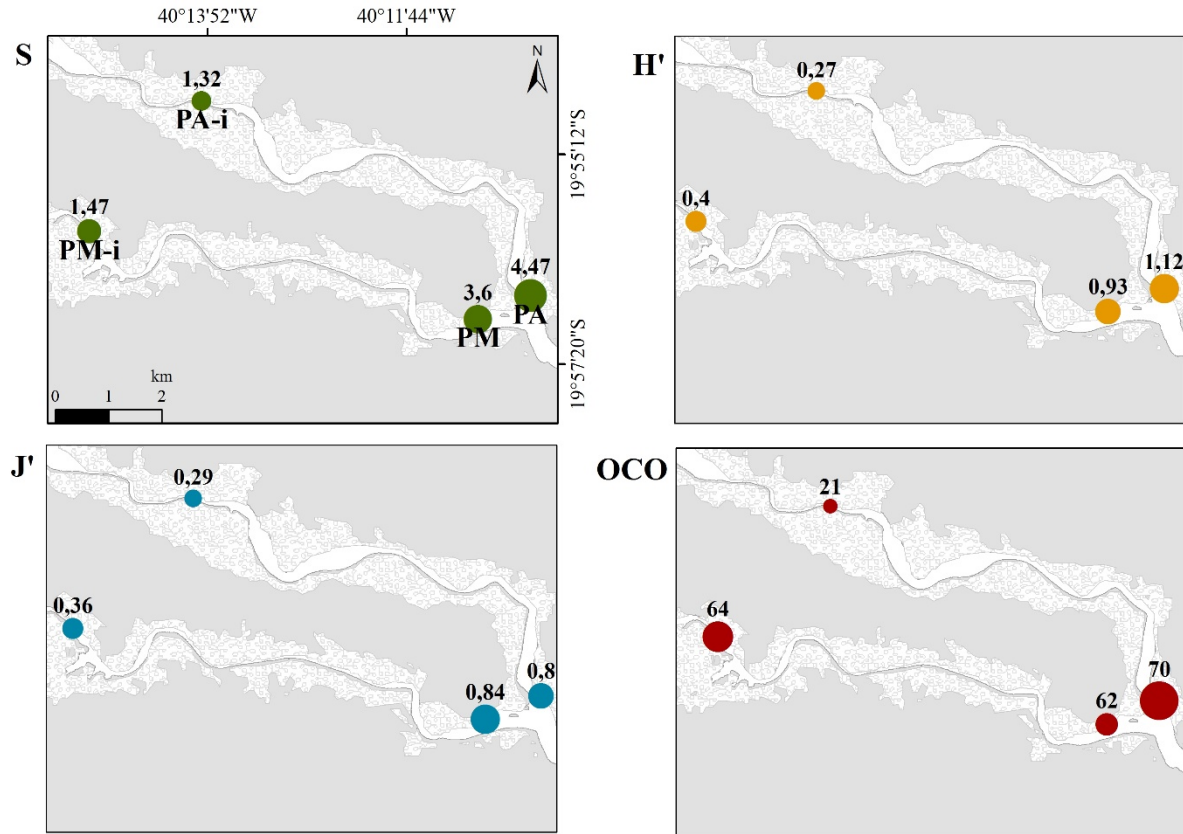


350



351 Figura 3 - Índices e grupos funcionais da assembleia macrofaunal no período chuvoso de 2017 ao período seco de
 352 2018 no estuário Piraquê-Açú-Mirim. Regiões PM (Piraquê-Mirim), PM-i (Piraquê-Mirim impactada), PA
 353 (Piraquê-Açú) e PA-i (Piraquê-Açú impactada). Densidade média (ED, ind. m²), Biomassa (WW), Riqueza (S),
 354 Diversidade de Shannon (H'), Equitabilidade de Pielou (J') e OCO (Onívoro, carnívoro e outro alimentador).

355



356
 357 Figura 2 - Índices e grupos funcionais (ind · m²) significativos (p < 0,005) entre regiões impactadas e não
 358 impactadas no estuário Piraquê-Açú-Mirim. Regiões PM (Piraquê-Mirim), PM-i (Piraquê-Mirim impactada), PA
 359 (Piraquê-Açú) e PA-i (Piraquê-Açú impactada). Riqueza (S), Equitabilidade de Pielou (J'), Diversidade de
 360 Shannon (H') e OCO (Onívoro, carnívoro e outro alimentador).

Capítulo de tabelas

Tabela 1 - Densidade média e erro padrão (ED, ind · m⁻²) erro padrão e abundância relativa (Rel. %) de assembleias macrofaunais no período chuvoso de 2017 ao período seco de 2018 no estuário Piraquê-Açú-Mirim. Regiões PM (Piraquê-Mirim), PM-i (Piraquê-Mirim impactada), PA (Piraquê-Açú) e PA-i (Piraquê-Açú impactada); \$ = cinco taxa mais abundantes; Grupos funcionais: DT = detritívoro, S = suspensívoro, F = filtrador, O = OCO – oportunista, carnívoro e outros e D = depositívoro.

	Período chuvoso 2017								Período seco 2018							
	PM		PM-i		PA		PA-i		PM		PM-i		PA		PA-i	
	Dens. (ED)	Ab. Rel. %	Dens. (ED)	Ab. Rel. %	Dens. (ED)	Ab. Rel. %	Dens. (ED)	Ab. Rel. %	Dens. (ED)	Ab. Rel. %	Dens. (ED)	Ab. Rel. %	Dens. (ED)	Ab. Rel. %	Dens. (ED)	Ab. Rel. %
Polichaeta																
<i>Magelona postereelongata</i> D \$	326 (49)	35,7	0 (0)	0,0	528 (91)	31,8	0 (0)	0,0	313 (47)	15,7	38 (16)	5,0	198 (33)	12,3	10 (10)	0,9
<i>Paraprionospio</i> sp D	3 (3)	0,4	0 (0)	0,0	10 (6)	0,6	0 (0)	0,0	3 (3)	0,2	35 (22)	4,6	28 (13)	1,7	3 (3)	0,3
<i>Spiophanes</i> sp D	7 (5)	0,8	0 (0)	0,0	17 (7)	1,0	0 (0)	0,0	10 (6)	0,5	0 (0)	0,0	31 (16)	1,9	184 (102)	16,7
<i>Boccardia</i> sp D	14 (8)	1,5	10 (8)	3,7	10 (10)	0,6	14 (8)	1,9	69 (36)	3,5	240 (101)	31,5	132 (70)	8,2	406 (145)	36,9
<i>Sternaspis</i> sp D	3 (3)	0,4	3 (3)	1,2	7 (5)	0,4	0 (0)	0,0	14 (8)	0,7	10 (6)	1,4	35 (12)	2,2	10 (8)	0,9
<i>Capitella capitata</i> D \$	63 (21)	6,8	0 (0)	0,0	122 (54)	7,3	601 (515)	81,6	35 (15)	1,7	28 (18)	3,7	24 (13)	1,5	94 (39)	8,5
<i>Mediomastus</i> sp D \$	153 (50)	16,7	73 (45)	25,6	413 (136)	24,9	21 (11)	2,8	594 (152)	29,8	101 (61)	13,2	167 (35)	10,3	59 (33)	5,4
<i>Laeonereis</i> sp O	10 (6)	1,1	45 (39)	15,9	14 (7)	0,8	0 (0)	0,0	14 (8)	0,7	0 (0)	0,0	28 (12)	1,7	7 (5)	0,6
<i>Alitta succinea</i> O	3 (3)	0,4	0 (0)	0,0	7 (5)	0,4	3 (3)	0,5	0 (0)	0,0	14 (8)	1,8	10 (6)	0,6	3 (3)	0,3
<i>Lumbrineris</i> sp O	28 (9)	3,0	0 (0)	0,0	28 (10)	1,7	0 (0)	0,0	7 (5)	0,3	7 (7)	0,9	7 (5)	0,4	3 (3)	0,3
<i>Hesionidae</i> sp O	0 (0)	0,0	3 (3)	1,2	0 (0)	0,0	0 (0)	0,0	14 (11)	0,7	17 (12)	2,3	45 (15)	2,8	45 (23)	4,1
<i>Longosomatidae</i> sp D	3 (3)	0,4	0 (0)	0,0	10 (10)	0,6	3 (3)	0,5	3 (3)	0,2	7 (5)	0,9	7 (5)	0,4	14 (10)	1,3
<i>Cossura longocirrata</i> D	24 (8)	2,7	0 (0)	0,0	10 (8)	0,6	0 (0)	0,0	49 (17)	2,4	3 (3)	0,5	17 (7)	1,1	0 (0)	0,0
<i>Goniada</i> sp O	7 (5)	0,8	10 (6)	3,7	24 (8)	1,5	3 (3)	0,5	10 (6)	0,5	14 (8)	1,8	42 (17)	2,6	10 (8)	0,9
<i>Sabella</i> sp F	0 (0)	0,0	0 (0)	0,0	17 (14)	1,0	0 (0)	0,0	0 (0)	0,0	0 (0)	0,0	3 (3)	0,2	0 (0)	0,0
<i>Magelomma</i> sp F	0 (0)	0,0	0 (0)	0,0	0 (0)	0,0	0 (0)	0,0	0 (0)	0,0	0 (0)	0,0	3 (3)	0,2	0 (0)	0,0
<i>Sabellariidae</i> sp F	0 (0)	0,0	0 (0)	0,0	3 (3)	0,2	0 (0)	0,0	0 (0)	0,0	0 (0)	0,0	0 (0)	0,0	0 (0)	0,0

<i>Cirratulidae sp D</i>	3 (3)	0,4	0 (0)	0,0	7 (5)	0,4	0 (0)	0,0	21 (8)	1,0	0 (0)	0,0	3 (3)	0,2	0 (0)	0,0
<i>Aricidea sp O</i>	0 (0)	0,0	0 (0)	0,0	0 (0)	0,0	0 (0)	0,0	10 (6)	0,5	3 (3)	0,5	0 (0)	0,0	0 (0)	0,0
<i>Sigalionidae sp D</i>	0 (0)	0,0	0 (0)	0,0	0 (0)	0,0	0 (0)	0,0	3 (3)	0,2	0 (0)	0,0	0 (0)	0,0	0 (0)	0,0
<i>Cirrophorus sp D</i>	10 (6)	1,1	0 (0)	0,0	17 (11)	1,0	3 (3)	0,5	21 (12)	1,0	3 (3)	0,5	59 (15)	3,7	42 (20)	3,8
<i>Sigambra grubii D</i>	7 (5)	0,8	76 (48)	26,8	31 (19)	1,9	7 (5)	0,9	7 (5)	0,3	69 (27)	9,1	52 (15)	3,2	21 (9)	1,9
<i>Scalibregmatidae sp D</i>	0 (0)	0,0	0 (0)	0,0	0 (0)	0,0	0 (0)	0,0	3 (3)	0,2	0 (0)	0,0	0 (0)	0,0	0 (0)	0,0
<i>Phyllodocidae sp O</i>	3 (3)	0,4	0 (0)	0,0	0 (0)	0,0	0 (0)	0,0	0 (0)	0,0	0 (0)	0,0	0 (0)	0,0	0 (0)	0,0
<i>Ampharetidae sp D</i>	0 (0)	0,0	0 (0)	0,0	0 (0)	0,0	0 (0)	0,0	3 (3)	0,2	0 (0)	0,0	0 (0)	0,0	0 (0)	0,0
<i>Eunice sp O</i>	14 (8)	1,5	7 (7)	2,4	21 (18)	1,3	0 (0)	0,0	0 (0)	0,0	0 (0)	0,0	0 (0)	0,0	0 (0)	0,0
<i>Oeonidae sp1 O</i>	0 (0)	0,0	0 (0)	0,0	0 (0)	0,0	0 (0)	0,0	0 (0)	0,0	3 (3)	0,5	0 (0)	0,0	0 (0)	0,0
<i>Oeonidae sp2 O</i>	3 (3)	0,4	0 (0)	0,0	0 (0)	0,0	0 (0)	0,0	0 (0)	0,0	0 (0)	0,0	0 (0)	0,0	17 (17)	1,6
Oligochaeta																
Oligochaeta D \$	188 (52)	20,5	49 (24)	17,1	302 (101)	18,2	73 (45)	9,9	753 (218)	37,8	128 (60)	16,9	608 (143)	37,7	128 (57)	11,7
Mollusca																
<i>Anomalocardia flexuosa F</i>	0 (0)	0,0	0 (0)	0,0	0 (0)	0,0	0 (0)	0,0	0 (0)	0,0	0 (0)	0,0	3 (3)	0,2	3 (3)	0,3
<i>Tellina sp D</i>	0 (0)	0,0	0 (0)	0,0	0 (0)	0,0	0 (0)	0,0	0 (0)	0,0	3 (3)	0,5	3 (3)	0,2	0 (0)	0,0
<i>Corbula sp F</i>	7 (5)	0,8	0 (0)	0,0	0 (0)	0,0	0 (0)	0,0	0 (0)	0,0	0 (0)	0,0	7 (7)	0,4	0 (0)	0,0
<i>Nucula sp D</i>	7 (5)	0,8	0 (0)	0,0	7 (5)	0,4	0 (0)	0,0	7 (7)	0,3	3 (3)	0,5	0 (0)	0,0	0 (0)	0,0
<i>Mytilus edulis D</i>	3 (3)	0,4	0 (0)	0,0	0 (0)	0,0	0 (0)	0,0	0 (0)	0,0	0 (0)	0,0	0 (0)	0,0	0 (0)	0,0
<i>Tagelus plebeius S</i>	10 (8)	1,1	3 (3)	1,2	17 (7)	1,0	3 (3)	0,5	7 (5)	0,3	10 (6)	1,4	17 (9)	1,1	3 (3)	0,3
<i>Heleobia australis D</i>	0 (0)	0,0	0 (0)	0,0	0 (0)	0,0	0 (0)	0,0	0 (0)	0,0	0 (0)	0,0	42 (32)	2,6	0 (0)	0,0
<i>Cyclostremiscus sp DT</i>	0 (0)	0,0	0 (0)	0,0	0 (0)	0,0	0 (0)	0,0	0 (0)	0,0	3 (3)	0,5	0 (0)	0,0	3 (3)	0,3
Aplacophora DT	0 (0)	0,0	0 (0)	0,0	0 (0)	0,0	0 (0)	0,0	0 (0)	0,0	0 (0)	0,0	0 (0)	0,0	14 (11)	1,3
Arthropoda																
<i>Uca uruguayensis DT</i>	0 (0)	0,0	0 (0)	0,0	7 (5)	0,4	0 (0)	0,0	14 (7)	0,7	0 (0)	0,0	7 (5)	0,4	0 (0)	0,0
<i>Uca maracoani DT</i>	0 (0)	0,0	0 (0)	0,0	0 (0)	0,0	0 (0)	0,0	0 (0)	0,0	0 (0)	0,0	3 (3)	0,2	0 (0)	0,0
<i>Atyidae sp O</i>	0 (0)	0,0	0 (0)	0,0	7 (7)	0,4	0 (0)	0,0	0 (0)	0,0	0 (0)	0,0	7 (5)	0,4	0 (0)	0,0

<i>Gammaridae</i> sp O	0 (0)	0,0	0 (0)	0,0	0 (0)	0,0	0 (0)	0,0	0 (0)	0,0	3 (3)	0,5	0 (0)	0,0	3 (3)	0,3
<i>Kalliapseudes</i> sp F	0 (0)	0,0	0 (0)	0,0	0 (0)	0,0	3 (3)	0,5	0 (0)	0,0	10 (10)	1,4	21 (12)	1,3	3 (3)	0,3
Echinodermata																
<i>Ophiuroidea</i> sp O	0 (0)	0,0	0 (0)	0,0	0 (0)	0,0	0 (0)	0,0	0 (0)	0,0	0 (0)	0,0	0 (0)	0,0	3 (3)	0,3
Nemertea																
Nemertea S	7 (5)	0,8	3 (3)	1,2	21 (9)	1,3	0 (0)	0,0	7 (5)	0,3	3 (3)	0,5	0 (0)	0,0	7 (5)	0,6
Sipuncula																
Sipuncula D	3 (3)	0,4	0 (0)	0,0	0 (0)	0,0	0 (0)	0,0	0 (0)	0,0	0 (0)	0,0	0 (0)	0,0	0 (0)	0,0

Tabela 2 - PERMANOVA resultados da abundância e índices da assembleias macrofaunísticas e seus grupos funcionais no estuário Piraquê-Açú-Mirim. Permutação. entre Pe – períodos (chuvoso 2017 e seco 2018), Re- entre regiões (PA, PA-i, PM, PM-i), Si(Re) – sítios entre regiões, PexRe – períodos entre regiões, PexSi(Re) – período entre sítio entre regiões, Res – entre réplicas. Valores em negrito indicam valores p significativos.

Source	df	SS	MS	Pseudo-F	p	Unique permes	Source	df	SS	MS	Pseudo-F	p	Unique permes
<i>Assembléia Macrofaunal</i>							<i>Detritivoro</i>						
Pe	1	16669	16669	5,2182	0,005	999	Pe	1	6564,7	6564,7	2,814	0,188	210
Re	3	1,28E+05	42817	11,335	0,001	105	Re	3	2332,9	777,63	0,33333	0,812	18
Si(Re)	4	15110	3777,4	2,5454	0,004	999	Si(Re)	4	9331,6	2332,9	2,2219	0,066	266
PexRe	3	11171	3723,7	1,1657	0,376	999	PexRe	3	2766,9	922,31	0,39535	0,764	480
PexSi(Re)	4	12778	3194,4	2,1526	0,011	999	PexSi(Re)	4	9331,6	2332,9	2,2219	0,074	252
Res	272	4,04E+05	1484				Res	272	2,86E+05	1050			
Total	287	5,88E+05					Total	287	3,16E+05				
<i>Densidade</i>							<i>Suspensivoro</i>						
Pe	1	1,59E+07	1,59E+07	1,3772	0,316	997	Pe	1	217,01	217,01	0,15385	0,711	355
Re	3	5,55E+07	1,85E+07	1,7833	0,291	105	Re	3	16059	5353	0,78307	0,579	14

Si(Re)	4	4,15E+07	1,04E+07	3,5082	0,01	999
PexRe	3	1,19E+07	3,96E+06	0,34374	0,773	999
PexSi(Re)	4	4,61E+07	1,15E+07	3,8965	0,001	999
Res	272	8,05E+08	2,96E+06			
Total	287	9,76E+08				

Biomassa

Pe	1	1660,3	1660,3	1,5886	0,273	999
Re	3	6548,1	2182,7	2,2095	0,227	105
Si(Re)	4	3951,5	987,88	0,78468	0,569	997
PexRe	3	2107,3	702,42	0,67208	0,593	999
PexSi(Re)	4	4180,5	1045,1	0,83016	0,52	999
Res	272	3,42E+05	1259			
Total	287	3,61E+05				

J'

Pe	1	0,74113	0,74113	2,1778	0,209	998
Re	3	17,799	5,9331	41,907	0,002	105
Si(Re)	4	0,56631	0,14158	1,2985	0,273	998
PexRe	3	1,0022	0,33406	0,98163	0,498	999
PexSi(Re)	4	1,3613	0,34031	3,1213	0,023	997
Res	272	29,656	0,10903			
Total	287	51,126				

H'

Pe	1	6,0708	6,0708	12,625	0,023	997
Re	3	35,933	11,978	18,487	0,01	105

Si(Re)	4	27344	6835,9	3,3364	0,011	535
PexRe	3	10634	3544,6	2,5128	0,209	692
PexSi(Re)	4	5642,4	1410,6	0,68847	0,59	551
Res	272	5,57E+05	2048,9			
Total	287	6,17E+05				

Filtrador

Pe	1	1953,1	1953,1	0,38298	0,583	439
Re	3	35156	11719	8,3077	0,041	14
Si(Re)	4	5642,4	1410,6	0,41231	0,79	703
PexRe	3	6293,4	2097,8	0,41135	0,758	764
PexSi(Re)	4	20399	5099,8	1,4907	0,2	693
Res	272	930560	3421,2			
Total	287	1,00E+06				

OCO

Pe	1	10634	10634	0,20545	0,658	928
Re	3	3,56E+05	1,19E+05	16,831	0,011	101
Si(Re)	4	28212	7053	0,30771	0,878	994
PexRe	3	33203	11068	0,21384	0,903	994
PexSi(Re)	4	2,07E+05	51758	2,2581	0,068	991
Res	272	6,23E+06	22920			
Total	287	6,87E+06				

Depositívoro

Pe	1	1,42E+07	1,42E+07	1,3073	0,314	999
Re	3	4,72E+07	1,57E+07	1,4315	0,352	105

Si(Re)	4	2,5916	0,64791	2,2368	0,067	999
PexRe	3	0,56942	0,18981	0,39472	0,771	999
PexSi(Re)	4	1,9235	0,48087	1,6601	0,168	999
Res	272	78,789	0,28967			
Total	287	125,88				

Si(Re)	4	4,40E+07	1,10E+07	4,065		0,007	998
PexRe	3	1,31E+07	4,36E+06	0,40088		0,764	999
PexSi(Re)	4	4,35E+07	1,09E+07		4,02	0,003	998
Res	272	7,36E+08	2,71E+06				
Total	287	8,98E+08					

Riqueza

Pe	1	106,34	106,34	9,8631	0,034	995
Re	3	528,04	176,01	23,328	0,007	105
Si(Re)	4	30,181	7,5451	1,507	0,212	998
PexRe	3	5,566	1,8553	0,17209	0,892	999
PexSi(Re)	4	43,125	10,781	2,1533	0,074	999
Res	272	1361,8	5,0067			
Total	287	2075,1				

Tabela 3 - Densidade média (ind · m²) e desvio padrão para dados de Biomassa (g.m²; WW), Riqueza (S), Densidade (N), Equitabilidade de Pielou (J'), Diversidade de Shannon (H') e Tipos de alimentação: D = Alimentador de depósito de superfície, DT = Alimentador Detritívoro, OCO = Onívoro, carnívoro e outro alimentador, F = Alimentador filtrador. Separados entre estações e respectivas regiões PM (Piraquê-Mirim), PM-i (Piraquê-Mirim impactada), PA (Piraquê-Açú), PA-i (Piraquê-Açú impactada) para estuário Piraquê-Açú-Mirim. PERMANOVA.

Índices	Período Chuvoso 2017			
	PM	PM-i	PA	PA-i
WW	2,2 ± 0,91	0,24 ± 0,16	5,39 ± 1,96	0,39 ± 0,3
S	3,17 ± 0,35	0,69 ± 0,23	3,97 ± 0,33	0,61 ± 0,22
N	913 ± 124	285 ± 147	1660 ± 228	736 ± 527
J'	0,85 ± 0,04	0,23 ± 0,07	0,79 ± 0,03	0,29 ± 0,06
H'	0,86 ± 0,09	0,2 ± 0,07	0,97 ± 0,09	0,11 ± 0,05
Grupos Funcionais				
D	819 ± 118	212 ± 109	1493 ± 206	722 ± 527
OCO	69 ± 17	66 ± 40	101 ± 25	7 ± 5
F	7 ± 5	0 ± 0	21 ± 15	3 ± 3
S	17 ± 9	67 ± 5	38 ± 11	3 ± 3
DT	0 ± 0	0 ± 0	7 ± 5	0 ± 0
Índices	Período Seco 2018			
	PM	PM-i	PA	PA-i
WW	6,26 ± 4,23	1,2 ± 0,47	19,24 ± 15,98	0,73 ± 0,19
S	4,03 ± 0,41	2,25 ± 0,44	4,97 ± 0,42	2,03 ± 0,52
N	1993 ± 367	760 ± 236	1611 ± 221	1101 ± 319
J'	0,83 ± 0,03	0,49 ± 0,08	0,8 ± 0,05	0,38 ± 0,07
H'	0,99 ± 0,1	0,59 ± 0,11	1,27 ± 0,1	0,43 ± 0,1

Grupos Funcionais				
D	1910 ± 367	670 ± 208	1406 ± 203	1031 ± 296
OCO	56 ± 24	62 ± 23	139 ± 35	35 ± 16
F	0 ± 0	10 ± 10	38 ± 19	3 ± 3
S	14 ± 7	14 ± 7	17 ± 9	14 ± 8
DT	14 ± 7	3 ± 3	10 ± 6	17 ± 11

Tabela 4 - Pos hoc. Significativo ($p < 0,005$) entre regiões PM (Piraquê-Mirim), PM-i (Piraquê-Mirim impactada), PA (Piraquê-Açú) e PA-i (Piraquê-Açú impactada) no estuário Piraquê-Açú-Mirim. Riqueza (S), Diversidade de Shannon (H'), Equitabilidade de Pielou (J') e OCO (Onívoro, carnívoro e outro alimentador).

Regiões		t	p	Regiões		t	p
<i>Assembléia macrofaunal</i>				<i>S</i>			
PM	PM-i	3,2821	0,001	PM	PM-i	4,2157	0,045
	PA	0,7105	0,812		PA	1,775	0,226
	PA-i	3,3101	0,004		PA-i	3,7543	0,069
PM-i	PA	5,7317	0,001	PM-i	PA	12,728	0,003
	PA-i	1,2821	0,256		PA-i	0,37229	0,733
PA	PA-i	5,397	0,001	PA	PA-i	7,6828	0,023
<i>H'</i>				<i>J'</i>			
PM	PM-i	3,7974	0,071	PM	PM-i	8,7951	0,009

	PA	1,4073	0,293		PA	0,74395	0,531
	PA-i	3,7367	0,072		PA-i	6,3009	0,027
PM-i	PA	9,4018	0,014	PM-i	PA	25,887	0,003
	PA-i	1,0518	0,447		PA-i	0,97694	0,415
PA	PA-i	6,4768	0,024	PA	PA-i	7,2631	0,016
<i>Filtrador</i>				<i>OCO</i>			
PM	PM-i	0,27735	0,801	PM	PM-i	0,106	0,928
	PA	4,1603	0,057		PA	3,498	0,088
	PA-i	Negative			PA-i	2,6833	0,118
PM-i	PA	3,2998	0,08	PM-i	PA	4,5255	0,055
	PA-i	0,27735	0,817		PA-i	3,9043	0,075
PA	PA-i	4,1603	0,051	PA	PA-i	8,9019	0,013