

Universidade Federal de Pernambuco

Centro de Ciências Biológicas

Departamento de Zoologia

Programa de Pós-Graduação em Biologia Animal



Variação temporal da comunidade de Copepoda Harpacticoida de fita num
cenário de mudanças climáticas

Rodolfo Ferreira Martins do Nascimento

Recife, 2015

Rodolfo Ferreira Martins do Nascimento

Variação temporal da comunidade de Copepoda Harpacticoida de fital num
cenário de mudanças climáticas.

Dissertação apresentada ao Programa de
Pós-Graduação em Biologia Animal da
Universidade Federal de Pernambuco como
parte dos requisitos para obtenção do título de
Mestre em Biologia Animal.

Orientador: Paulo Jorge Parreira dos Santos

Recife, 2015

Catálogo na fonte
Elaine Barroso
CRB 1728

Nascimento, Rodolfo Ferreira Martins do

Variação temporal da comunidade de *Copepoda* Herpacticoida de fital num cenário de mudanças climáticas/ Rodolfo Ferreira Martins do Nascimento– Recife: O Autor, 2015.

42 folhas : il., fig., tab.

Orientador: Paulo Jorge Parreira dos Santos

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco. Centro de Biociências. Biologia Animal, 2015.

Inclui referências

- 1. Copepoda 2. Meiofauna 3. Acidificação I. Santos, Paulo Jorge Parreira dos (orientador) II. Título**

595.34

CDD (22.ed.)

UFPE/CCB-2016-200

Rodolfo Ferreira Martins do Nascimento

Variação temporal da comunidade de Copepoda Harpacticoida de fital num
cenário de mudanças climáticas.

Dissertação apresentada ao Programa
de Pós-Graduação em Biologia Animal da
Universidade Federal de Pernambuco como
parte dos requisitos para obtenção do título de
Mestre em Biologia Animal.

Aprovada em: 27/10/2015

Banca Examinadora

Prof°. Dr. Paulo Jorge Parreira dos Santos (Orientador)

Departamento de Zoologia, Universidade Federal de Pernambuco

Prof°. Dr. Ulisses dos Santos Pinheiro (membro interno)

Departamento de Zoologia, Universidade Federal de Pernambuco

Prof°. Dr. José Roberto Botelho de Souza (membro interno)

Departamento de Zoologia, Universidade Federal de Pernambuco

Prof(a)°. Dr(a). Adriane Wandeness (membro externo)

Departamento de Zoologia, Universidade Federal de Pernambuco

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por tornar tudo isso possível.

Agradeço aos meus pais, por me ensinarem todos os valores éticos e morais que carrego comigo e por sempre me apoiarem em todas as decisões que tomei durante a vida.

Agradeço ao Professor Paulo Santos, por ter me apoiado desde o processo de seleção, e estar presente para coletas, análises e estadias na praia, assim como por ter salvado minha GoPro perdida em coleta.

À Silvia Santos, por estar sempre me apoiando, me estimulando a ser melhor no que eu faço e sendo muito mais do que uma namorada para mim.

Agradeço aos meus amados integrantes do Labdin, que me acompanharam em coleta, me apoiaram durante todo o processo do mestrado e estavam lá para sorrir em qualquer situação, em especial à Latifa (nossa visita especial), Aliny, Cori, Marina, Tita, Thais Barreto e Thais Moraes que me ajudaram diretamente em minhas identificações e nos experimentos.

À Bruno Lustosa e Fernando Henrique, companheiros fora do laboratório, que sempre se preocupavam junto comigo.

Aos amigos do PPGBA, que acompanharam nas provas, nas reclamações, nas alegrias e nas tristezas.

Aos amigos do PPGBV, que se tornaram mais amigos durante esse período de 2 anos.

E a meus dois Melhores Amigos, Gleybson e Renan, que mesmo não fazendo parte da vida de biologia estavam lá para ajudar em qualquer fator que fosse atrapalhar em minha vida profissional e pessoal.

RESUMO

A partir do século XVIII, atividades humanas tais como as emissões de gases de efeito estufa têm se tornado um componente adicional que afeta o sistema climático. De acordo com o IPCC (Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas), a concentração atmosférica desses gases vai continuar a subir. Assim, é esperado um aumento da temperatura média entre 1,4 a 5,8°C até ao final do século 21. O aumento das concentrações de gases de efeito estufa, também podem causar um decréscimo no pH das águas da superfície oceânica de até 0,4 unidades em 2100. Essa alteração de pH, influencia na formação de recifes de corais, animais e algas calcificantes. O objetivo deste trabalho foi avaliar a variação temporal na composição e abundância das famílias de Copepoda Harpacticoida em ambiente natural e em condição experimental de diminuição de pH e aumento de temperatura da água do mar, com as hipóteses de que o aumento da acidez e temperatura da água do mar modifica a estrutura da associação e reduz significativamente a riqueza e equitabilidade de Harpacticoida. Trinta e duas algas (*Halimeda* sp.) coletadas na Praia de Serrambi – PE foram mantidas em condições laboratoriais de controle e de Cenário de mudança climática, no último sendo alterados o pH e temperatura da água de acordo com previsões para 2100, utilizando aquários preparados para injeção de CO₂ e controle de temperatura. O experimento de laboratório teve duração de 30 dias, sendo realizadas coletas de algas na mesma praia ao início de final do experimento. As algas foram processadas para retirada e identificação dos Copepoda Harpacticoida assim como para análises de clorofila. Foram registradas 17 famílias de Copepoda Harpacticoida. A família Ameiridae foi identificada ao nível específico, sendo encontradas 18 espécies. Os resultados das análises das algas indicaram um efeito significativo do cenário de mudança climática sobre a proporção de clorofilas e aumento da calcificação de *Halimeda* sp.. Resultados estatísticos mostraram diferenças significativas na estrutura da comunidade de Copepoda Harpacticoida entre a situação controle e o cenário previsto para 2100. A associação de espécies de Ameiridae não apresentou alteração sob condições de mudança climática, um maior tempo de exposição dos animais a condições de acidificação, poderia mostrar resultado significativo

para as espécies estudadas, aproximando a família Ameiridae ao resultado obtido para os Harpacticoida.

Palavras-chaves: Acidificação, meiofauna, Copepoda

ABSTRACT

From the eighteenth century, human activities such as emissions of greenhouse gases have become an additional component that affects the climate system. According to the IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), the atmospheric concentration of these gases will continue to rise. Thus, it is expected to increase the average temperature of 1.4 to 5.8 ° C by the end of the 21st century. The increase in greenhouse gas concentrations, can also cause a decrease in the pH of ocean surface waters of up to 0.4 units in 2100. This change of pH, influence the formation of coral reefs, animals and calcifying algae. The objective of this study was to evaluate the temporal variation in the composition and abundance of the families of Copepoda Harpacticoida natural environment and experimental condition of decreased pH and increased temperature of sea water, with the hypothesis that the increase in acidity and temperature seawater modifies the structure of the pool and significantly reduces the richness and evenness of Harpacticoida. Thirty-two algae (*Halimeda* sp.) Collected in Serrambi Beach - PE were kept in laboratory conditions control and climate change scenario, the latter being altered pH and temperature according to forecasts water to 2100, using prepared aquariums for injection of CO₂ and temperature control. The laboratory experiment lasted 30 days, algae collections being held on the same beach at the beginning of the end of the experiment. The algae were removed and processed for identification of Copepoda Harpacticoida as well as of chlorophyll analysis. 17 families of Copepoda Harpacticoida were recorded. The Ameiridae family was identified to species level, and found 18 species. The results of the analysis of algae showed a significant effect of climate change scenario on the proportion of chlorophylls and increased calcification of *Halimeda* sp .. Statistical results showed significant differences in Copepoda Harpacticoida community structure between the control situation and the scenario for 2100. the combination of species Ameiridae showed no change under conditions of climate change, a longer exposure of animals acidification conditions, could show significant results for the species studied, approaching Ameiridae family to the result for Harpacticoida.

Keywords : Acidification, meiofauna, Copepod

Lista de figuras

Figura 1: Localização da área de coleta, localizada na Praia de Serrambi, Ipojuca-PE, Brasil. Seta inserida no mapa detalhado indica o ponto de coleta das amostras.....	16
Figura 2: Montagem do sistema em laboratório, com aquário maior (contendo água doce aquecida), aquecedor e aquários menores contendo água salgada	18
Figura 3: Resultado da taxa de calcificação para os tratamentos, Controle (azul) e Cenário de Mudança Climática (vermelho). As barras representam o intervalo de confiança de $\pm 95\%$	22
Figura 4: Frequência relativa em porcentagem das famílias de Copepoda Harpacticoida presentes no Controle e no CMC.	24
Figura 5: Ordenação MDS da estrutura da comunidade de Copepoda Harpacticoida, onde os quadrados representam o Controle (C) e os triângulos representam o Cenário (S), e os números representam as semanas dos tratamentos.	24
Figura 6: Ordenação MDS da estrutura da comunidade de Copepoda Harpacticoida, onde os quadrados representam o controle e os triângulos representam o ambiente, e os números representam as semanas dos tratamentos.	28

Lista de tabelas

Tabela 1: Média ($\pm$ desvio padrão) dos valores de temperatura, pH, salinidade e oxigênio dissolvido para os diferentes tratamentos no final do experimento.	22
Tabela 2: Resultado das Análises de variância para as clorofilas α e β contidas na <i>Halimeda</i> sp., (Clorofila α , clorofila β e $\alpha + \beta$) e sua razão ($\alpha / (\alpha + \beta)$). (trat. = Tratamento).....	22
Tabela 3: Resultados dos testes t, para comparação da taxa de calcificação do CMC a uma média populacional teórica de 0.....	23
Tabela 4: Análise multifatorial PERMANOVA para a estrutura da comunidade de Copepoda Harpacticoida sobre o fator Tratamento (Tr) e Semana (Se).	25
Tabela 5: Resultados da análise para a estrutura da comunidade de Copepoda Harpacticoida sobre o fator Semana, em ambos os tratamentos.....	25
Tabela 6: Resultados da análise multifatorial SIMPER para a estrutura da comunidade de Copepoda Harpacticoida sobre o fator Tratamento.	26
Tabela 7: Resultados da análise multifatorial SIMPER para a estrutura da comunidade de Copepoda Harpacticoida sobre o fator Semana.	26
Tabela 8: Resultados da análise multifatorial SIMPER para a estrutura da comunidade de Copepoda Harpacticoida sobre o fator Semana.	27
Tabela 9: Resultados da análise multifatorial PERMANOVA para a estrutura da comunidade de Copepoda Harpacticoida entre o tratamento Controle e o Ambiente sobre o fator Tratamento (Tr) e Semana (Se).	28
Tabela 10: Resultados da análise para a estrutura da comunidade de Copepoda Harpacticoida sobre o fator Semana para o Controle e Ambiente.....	29
Tabela 11: Resultados da análise para a estrutura da comunidade de Copepoda Harpacticoida sobre o fator Tratamento para o Controle e Ambiente.....	29
Tabela 12: Resultados da análise multifatorial SIMPER para a estrutura da comunidade de Copepoda Harpacticoida sobre o fator tratamento.	29
Tabela 13: Resultados da análise multifatorial SIMPER para a estrutura da comunidade de Copepoda Harpacticoida sobre o fator Semana.	30
Tabela 14: Lista das espécies de Ameiridae (Copepoda Harpacticoida) identificadas nas amostras de CMC, Controle e Ambiente.	30
Tabela 15: Resultados da análise multifatorial PERMANOVA para as espécies de Copepoda Harpacticoida sobre o fator Tratamento (Tr) e Semana (Se).	31

Sumário

AGRADECIMENTOS

RESUMO

ABSTRACT

Lista de figuras

Lista de tabelas

MATERIAL E MÉTODOS	15
Área de Estudo	15
Coleta.....	16
Laboratório.....	17
Algas: clorofila, biomassa e taxa de calcificação	18
Análise dos dados.....	21
Resultados	21
Sistema experimental.....	21
<i>Halimeda</i> sp.	22
Famílias de Copepoda Harpacticoida	23
Discussão.....	31
Referências	35

INTRODUÇÃO

O sistema climático da Terra apresenta naturalmente uma variedade de escalas temporais, incluindo ciclos sazonais ou alterações em escala multimilenar como as transições do período glacial para o interglacial. Entretanto, ao longo dos últimos séculos, as atividades humanas se tornaram um componente adicional para o sistema climático terrestre (Harley et al. 2006, Feely et al. 2004).

As ações climáticas de origem antropogênica são mediadas principalmente pela emissão de gases do efeito estufa (principalmente o CO₂) para a atmosfera. Esses gases aprisionam parte da energia/calor que re-irradiaria para o espaço ajudando a aquecer o planeta (Harley et al. 2006, Feely et al. 2004).

Desde o início da revolução industrial a liberação de dióxido de carbono (CO₂), principalmente devido à queima de combustíveis fósseis, resultou em um aumento da concentração de CO₂ atmosférico de aproximadamente 280 para 380 ppm (Feely et al. 2004). Atualmente, estima-se que essa elevação nas emissões de CO₂ tenha causado um aumento de 0,74 [entre 0,56 e 0,92]°C na temperatura global (IPCC 2007) e uma diminuição do pH da água superficial oceânica de 0,1 unidades durante o século passado (Caldeira e Wickett 2003).

Esta diminuição vai acarretar um processo de acidificação do oceano que consiste de reações químicas que irão reduzir o pH da água do mar a partir da liberação de íons carbonato, afetando também o estado de saturação de minerais biologicamente importantes como calcita e aragonita (Caldeira e Wickett 2003, Feely 2009). De acordo com o “Intergovernmental Panel on Climate Change” (IPCC) as concentrações desses gases continuarão aumentando e deverão alcançar cerca de 490–1260 ppm no ano de 2100. O aumento contínuo dessas concentrações também poderá causar mudanças drásticas na bioquímica dos oceanos. Estima-se uma diminuição no pH da água superficial oceânica de até 0,4 unidades em 2100 (Caldeira e Wickett 2003, Feely et al. 2004) e de cerca de 0,7 unidades em 2250 (Caldeira e Wickett 2003). Dependendo do cenário de emissão utilizado nesses modelos poderá haver uma redução de até 1,4 unidades nos próximos 300 anos (Caldeira e Wickett 2005).

Como o CO₂ é um gás de efeito estufa, mudanças no CO₂ atmosférico também induzem o aquecimento global. Mudanças na temperatura média anual observada forneceram dados suficientes para construir modelos de previsão robustos mostrando um aumento mais ou menos drástico de temperatura (IPCC 2014). É previsto um aumento na temperatura média global de 1,4–5,8°C até o final do século 21, podendo atingir de 2–6,4°C dependendo do cenário de emissão utilizado (IPCC 2007).

É amplamente aceito que as previsões de redução no pH oceânico e de aquecimento global terão efeitos negativos sobre os organismos bentônicos, principalmente devido às alterações fisiológicas e/ou metabólicas que podem desencadear mudanças no crescimento e sobrevivência (Byrne et al. 2010, Findlay et al. 2010, Anthony et al. 2011, Dissanayake e Ishimatsu 2011, Wood et al. 2011). Entretanto, as respostas às mudanças climáticas globais variam bastante entre os grupos taxonômicos, inclusive ao nível de filo: enquanto os equinodermos, moluscos e cnidários demonstram grande vulnerabilidade, os artrópodes e anelídeos parecem ser menos vulneráveis (Orr et al. 2005, Bibby et al. 2007, Widdicombe e Spicer 2008, Hale et al. 2011).

Apesar do crescente número de trabalhos sobre os impactos das mudanças climáticas, a maioria é conduzida ao nível de organismos (e.g. Bibby et al. 2007, Byrne et al. 2010, Findlay et al. 2010, Dissanayake e Ishimatsu 2011, Hart e Gotelli 2011, Haye et al. 2011, Wood et al. 2011).

Embora os experimentos que investigam as respostas das espécies às alterações de pH e temperatura em comunidades bentônicas intactas ou em comunidades multi-específicas sejam escassos (Kurihara et al. 2007, Widdicombe et al. 2009, Hale et al. 2011) acredita-se que a tolerância ou sensibilidade espécie-específicas somada às interações biológicas devem representar um papel chave na resposta das comunidades bentônicas marinhas às mudanças climáticas (Widdicombe e Spicer 2008, Widdicombe et al. 2009, Hale et al. 2011).

Neste contexto, ainda se sabe muito pouco sobre como as mudanças climáticas podem afetar os indivíduos e provocar mudanças em níveis de organização superiores como populações, comunidades e ecossistemas.

Ambientes recifais são regiões rochosas ou coralíneas, que constituem cerca de um sexto da linha costeira mundial e suportam centenas de milhares de espécies animais e vegetais, estando entre os ecossistemas marinhos de maior diversidade e significado econômico para nações costeiras tropicais (Sale 1991; Birkeland 1997; Roberts et al. 2002; Venn 2011). Eles são usados como zona de reprodução, berçário, abrigo e alimentação por diversos organismos, e fornecem uma variedade de bens e serviços como proteção do litoral contra a ação das ondas, uso recreativo, turístico e econômico (Moberg e Folke, 1999).

Apesar da grande importância ecológica e econômica, os recifes de coral de áreas rasas estão sujeitos a diversos tipos de impactos locais como a sobrepesca, aporte de nutrientes, poluição relacionada à agricultura e indústria, turismo e obras de engenharia (Leão e Kikuchi 2005, Davenport e Davenport 2006, Defeo et al. 2009). Somado a estas ameaças, é crescente o número de estudos que vêm demonstrando a susceptibilidade destas comunidades às mudanças climáticas globais (Harley et al. 2006, Byrne et al. 2010, Ainsworth et al. 2011, Anthony et al. 2011, Hale et al. 2011).

O processo de acidificação, altera a concentração e capacidade de associação de íons minerais. Dentre esses íons, os formadores do CaCO_3 : calcita (Ω_{Ca}) e aragonita (Ω_{Ar}) são afetados (Caldeira e Wickett 2003, Feely 2009). A liberação de CO_2 advinda de ações antropogênicas podem alterar a concentração iônica em cerca de 60% das águas superficiais do oceano (Feely et al., 2004, Jokiel et al. 2008). Isto induz um aumento de carbono inorgânico dissolvido e uma queda no pH e estado de saturação de carbonato (Feely et al., 2004).

A superfície dos recifes é normalmente recoberta por espessos tapetes de algas (Maida e Ferreira, 2004). Este ambiente, denominado fital (do grego phyton, planta), é definido como um habitat marinho dominado por macrófitas (ou planta-substrato) permitindo a existência de uma diversidade enorme de animais e epífitas associadas (Masunari, 1987). A comunidade de meiofauna é um dos componentes do ambiente fital, e se utiliza da grande diversidade de recursos desse habitat, usufruindo-o como superfície para viver e/ou se alimentar ou ainda como refúgio contra predadores (Giere, 2009).

Em meio ao ambiente fital da Praia de Serrambi, as Halimeda se apresentam como uma das algas mais abundantes. Estudos como o de Price (2011), mostram que a alga Halimeda exhibe respostas negativas à acidificação, tendo uma redução na capacidade fotossintética após duas semanas de exposição a pH reduzido, e em algumas espécies mudando a forma de concentração de CaCO_3 para manter sua integridade estrutural. O exosqueleto da Halimeda sp. atua como uma barreira estrutural na ecologia da alga, tornando-a menos sensível à quebra na estrutura molecular (Ries 2009). Esse mesmo exoesqueleto calcário ainda funciona como proteção contra pastagem tornando a alga menos exposta a predação (Littler 1986). Esse exoesqueleto é encontrado de forma mais densamente calcificado em Halimeda de maiores profundidades, normalmente com segmentos menores e com adaptações morfológicas às condições ambientais (Johns e Moore 1988; Kooistra e Verbruggen 2005).

Dentre os grupos da meiofauna, Harpacticoida (juntamente com Nematoda) é um dos táxons mais abundantes no ambiente fital (Coull et al. 1983, Hall e Bell 1993, Giere, 2009) e apresenta altos valores de diversidade (Hicks 1977). Os Harpacticoida desempenham um papel importante na transferência de energia no sistema bentônico, servindo como um elo trófico entre os produtores, principalmente diatomáceas, e consumidores secundários do macrobentos ou peixes (Coull, 1988). Harpacticoida é uma das nove Ordens da Subclasse Copepoda, sendo constituída por pequenos animais que variam de 0,2 a 2,5 mm de comprimento (Boxshall e Halsey 2004). Segundo Wells (2007) até outubro de 2006 foram registradas aproximadamente 4.300 espécies de Harpacticoida em 589 gêneros e 56 famílias. Sendo esses animais relatados como ameaçados diretamente pelos efeitos da mudança climática (Danovaro et al. 2007, Giere 2009, Sarmiento et al. 2015).

Apesar do grande esforço da comunidade científica internacional para compreender os potenciais efeitos das mudanças climáticas globais sobre os organismos e ecossistemas marinhos, estudos ao nível de comunidades bentônicas ainda são incipientes (Kurihara et al. 2007, Widdicombe et al. 2009, Hale et al. 2011). O presente trabalho tem como objetivo avaliar a variação

temporal na composição e abundância das famílias de Copepoda Harpacticoida em ambiente natural e em condição experimental de elevação de pH e de temperatura da água do mar, além disso foi avaliado esse efeito sobre as algas substrato (*Halimeda* sp.), com as hipóteses de que o aumento da acidez e temperatura da água do mar modifica a estrutura da associação reduzindo significativamente a riqueza, e equitabilidade de Harpacticoida.

MATERIAL E MÉTODOS

Área de Estudo

A coleta foi realizada na praia de Serrambi (8°33'36,36"S e 35°00'20,82"O), localizada no município de Ipojuca, Pernambuco. A área de estudo (figura 1) é constituída por recifes de formação arenítica com cobertura orgânica do tipo franja ou margem com uma área total de aproximadamente 4,5 km ao longo da praia, e está situada a cerca de 57 km da cidade de Recife (Pereira e Accioly, 1989; Guerra e Manso, 2003). A região se destaca por uma alta diversidade faunística, com atividade de pesca artesanal, prática de pesca submarina e esportes náuticos sendo protegida pela Lei Federal 7.661/88 (institui o Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro - PNGC), pelo Decreto Federal de 23/10/1997 (cria a APA Costa dos Corais) e pelo Decreto Estadual 21.135/98 (aprova o Zoneamento Ecológico-Econômico e cria o Conselho Gestor da APA de Guadalupe) (CPRH, 1999).

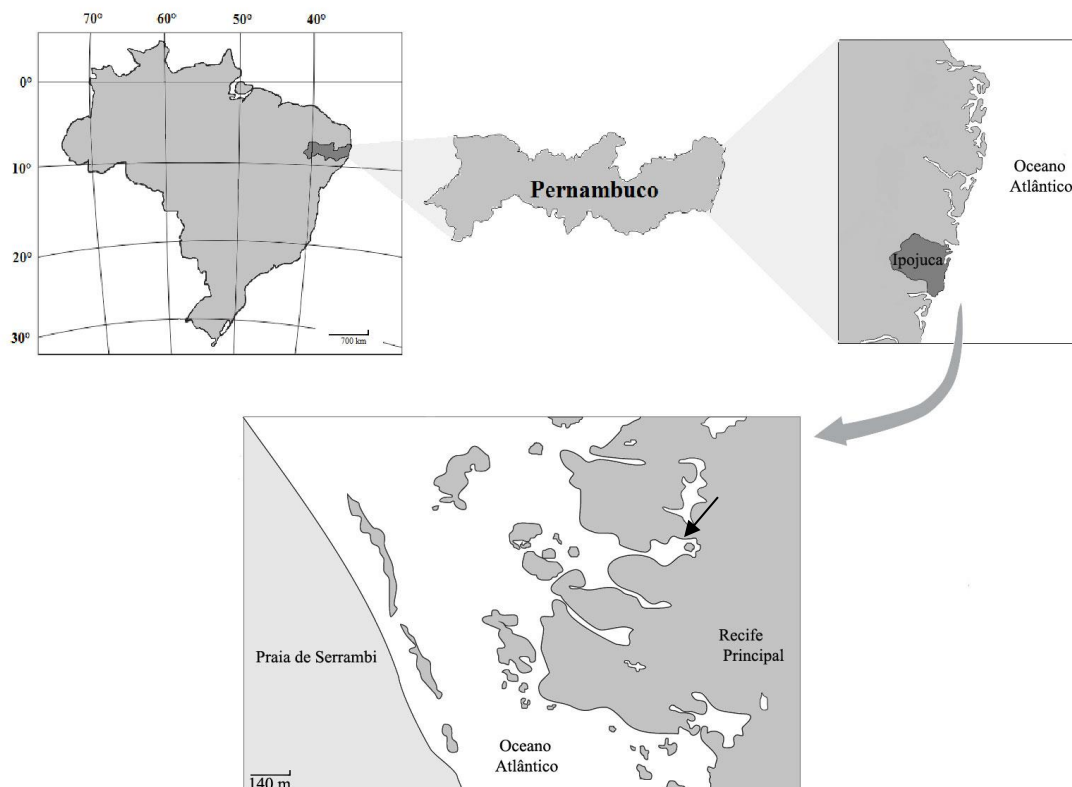


Figura 1: Localização da área de coleta, localizada na Praia de Serrambi, Ipojuca-PE, Brasil. Seta inserida no mapa detalhado indica o ponto de coleta das amostras.

Coleta

O experimento consistiu em duas coletas em campo, com experimento de laboratório com duração de um mês, realizado entre os dias 29 de setembro de 2014 e 28 de outubro de 2014.

A primeira coleta foi realizada no dia 29 de setembro de 2014 (sob maré 0,5 m), onde foram coletadas algas (*Halimeda* sp.) sob a condição de apneia. Para padronizar o tamanho das algas levadas ao laboratório, foi utilizado um corer de 10 cm de diâmetro, e espátula, para facilitar a desafixar a alga. Desta forma foram coletadas 34 algas, quatro réplicas, que representaram o dia 0 de experimento em situação de Campo, e mais 32, que foram levadas aos tratamentos de Controle e Cenário de Mudança Climática (CMC).

Ao final do experimento de laboratório, dia 28 de outubro de 2014 (maré 0,5 m). Foram coletadas quatro réplicas de algas do ambiente natural, utilizando a

mesma metodologia de coleta. Com o objetivo de retratar as diferenças do ambiente entre o dia 0 e o período após um mês.

Laboratório

Após a chegada das amostras ao laboratório, as algas que caracterizam o dia 0 foram fixadas em formalina 4%. As demais algas, foram distribuídas aleatoriamente entre os tratamentos Controle e CMC, sendo 16 para cada um dos tratamentos seguindo a metodologia de Sarmiento et al. 2015 com algumas alterações.

Para alcançar as condições de temperatura e pH necessárias, foi montada no laboratório de dinâmica de populações de invertebrados marinhos bentônicos na UFPE uma estrutura simulando um ambiente de mudança climática prevista para o ano de 2100, aumento de 2,5°C e diminuição de 0,3 unidades de pH (IPCC, 2007). Essa estrutura foi formada por quatro aquários grandes com capacidade de 50 litros (Figura 2), e cerca de vinte litros de água doce, equipados com termostatos com aquecedor (RESUN; SUNLIKE – 100W) e circuladores de água (BOYU; SP-601E), com a intenção de manter a temperatura homogênea em todo o aquário. Cada um dos grandes aquários recebeu 8 aquários menores com capacidade de 3 litros, com água salgada, coletada na praia de Serrambi, onde foram colocadas as algas para o experimento de laboratório. Os aquários no tratamento controle, receberam aeração de O₂ continua. Enquanto os aquários no tratamento cenário receberam aeração continua de O₂ e injeção controlada de CO₂ individualmente. Todos os aquários eram iluminados com lâmpadas especiais de simulação da luz solar (lâmpadas BOYU; 20W; Red e Blue Sunlight), ligadas a um temporizador, a fim de criar um fotoperíodo de 15:9h claro - escuro. A injeção de gases na água de cada aquário do tratamento de CMC foi feita com a ajuda de cilindros de CO₂ com regulagem fina do tipo (T3) e bombas de oxigênio (BOYU; ACQ – 001).

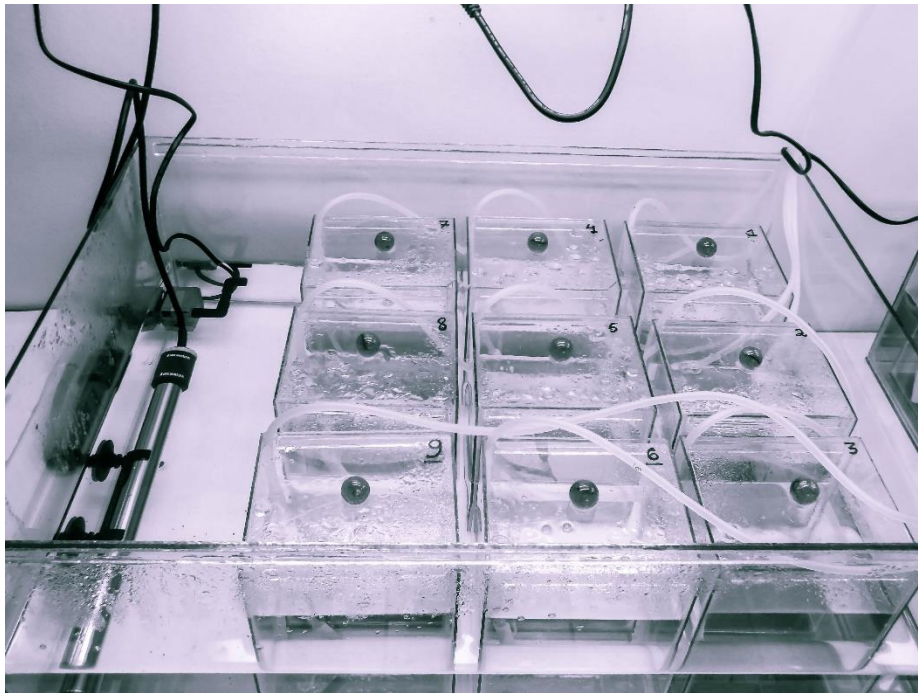


Figura 2: Montagem do sistema em laboratório, com aquário maior (contendo água doce aquecida), aquecedor e aquários menores contendo água salgada

Os tratamentos estabelecidos foram: Controle, no qual foram mantidas as condições de pH e temperatura observadas no ambiente natural na Praia de Serrambi; Cenário de Mudança Climática (CMC), no qual foi utilizado aumento de 2,5°C na temperatura e redução do pH em 0,3 unidades. Este cenário é um intermediário entre os previstos para o ano de 2100 considerando um aumento contínuo nas emissões de gases do efeito estufa (IPCC, 2007; IPCC, 2014).

Durante o período de experimento o pH e temperatura foram medidos diariamente com a ajuda de um pHmetro (HANNA; HI 991003). O oxigênio dissolvido (INSTRUTHERM; MO-910) e a salinidade foram medidos semanalmente, a fim de verificar problemas causados pela evaporação da água dos aquários e quantidade de oxigênio injetada no sistema.

Semanalmente quatro aquários pequenos eram retirados de cada tratamento, para o acompanhamento dos efeitos da mudança climática durante o tempo. As algas retiradas desses aquários, foram submetidas as metodologias a seguir.

Algas: clorofila, biomassa e taxa de calcificação

As concentrações de clorofila α e β foram quantificadas seguindo metodologia de Santos et al. (2004), afim de detectar variações no sistema fotossintético geradas pelo estresse a qual as algas foram submetidas durante o experimento em laboratório. As réplicas retiradas do experimento de laboratório tiveram artigos com cerca de 100 mg retirados, secos em papel absorvente e macerados com adição de 5 ml de acetona 80%. Após a maceração o material foi colocado em frascos âmbar, resfriados e sem exposição à luz, durante 12 horas. Após extração em acetona, o material foi filtrado em papel filtro qualitativo (Celab) apenas sob luz verde a fim de não degradar a clorofila e analisado em espectrofotômetro, em comprimentos de onda de 645 e 663 nm, utilizando como branco, acetona 80%. A quantidade de clorofila α e β , foi calculada subtraindo os comprimentos de onda corrigidos, sendo esses valores somados posteriormente para calcular a clorofila total.

Após a retirada do material necessário para quantificação de clorofila, as algas foram fixadas em formalina 4% e posteriormente lavadas com água filtrada sobre peneiras de 500 μm e 0,45 μm com a intenção de separar a meiofauna, que foi estudada neste trabalho. Em seguida, as algas foram levadas à estufa a 80°C onde permaneceram por 24 horas. Após esse período as algas foram pesadas em balança analítica de precisão para obtenção da biomassa em peso seco.

No dia 30 de Abril de 2015, novas algas foram coletadas em ambiente natural utilizando a mesma técnica do experimento anterior, então outro teste foi realizado utilizando apenas algas para medir sua taxa de calcificação a partir da alcalinidade total, seguindo a metodologia descrita por Smith e Key (1975). A retirada dos animais das algas foi realizada utilizando uma solução de 73,2 g/L de cloreto de magnésio dissolvidos em água salina (Hulings e Gray 1971), para anestesia da fauna, sendo as algas expostas à solução por 15 minutos, passando posteriormente por 2 lavagens em água salgada para a retirada dos animais retidos e de vestígios da solução.

No total 10 algas foram submetidas a condições experimentais semelhantes às do experimento anterior (5 controles e 5 CMC) durante 1 semana, sendo posteriormente incubadas por 3 horas em recipiente de plástico

acrílico transparente. Após a incubação foram retirados 250 ml do recipiente de incubação, que foram fixados com 100 µl de cloreto de mercúrio supersaturado, e posteriormente realizados testes para quantificar a alcalinidade total no laboratório de Oceanografia Química (Departamento de Oceanografia, UFPE). Ao início da incubação uma amostra de 250 ml de água foi coletada para representar a alcalinidade inicial.

A alcalinidade total (G) deste experimento foi determinada por titulação potenciométrica do HCl (0,1 N) conforme descrito em Dickson et al. (2007) com precisão de 5,1 µmol Kg⁻¹ e 0,25% usando o titulador automático Apollotion SciTech. A titulação foi calculada a partir da quantidade de HCl necessária para retirada de todos os íons base da água, com no mínimo 2 repetições para obter melhor precisão de medida.

Foi utilizada a fórmula de Riebesell (2010) descrita abaixo:

$$G = (0,5 * \Delta AT * (V_{chamber} - Valga) * \text{seawater density}) / (\Delta T * \text{Dry weight} * 1000)$$

G: Alcalinidade total

ΔAT: Alcalinidade final – alcalinidade total inicial (µmol)

Seawater density: Densidade da água do mar (1.03)

Dry Weight: Peso seco (mg)

Vchamber: Volume do recipiente de incubação (ml)

Valga: Volume da alga (ml)

ΔT: Tempo de incubação (3 horas)

Após obtenção dos resultados de calcificação, as taxas de calcificação do Cenário de mudança climática, foram comparadas a uma média populacional igual a 0, afim de observar se essas diferenças seriam significativas.

Análise material biológico

Foi realizada uma contagem de Copepoda Harpacticoida com a ajuda de estereomicroscópio, para verificar a abundância total dos Copepoda em

ambiente natural e nos tratamentos. Após a contagem, 30 indivíduos de Harpacticoida foram retirados de cada réplica de ambos os tratamentos para identificação ao nível de família, sendo os indivíduos da família Ameiridae identificados ao menor nível taxonômico possível. A identificação das famílias dos Harpacticoida e espécies de Ameiridae foi baseada na chave de Wells (2007) e bibliografias especializadas.

Análise dos dados

Para as análises estatísticas foram utilizados os seguintes testes: PERMANOVA para avaliar o efeito dos diferentes tratamentos (controle e CMC) ou a variação ao longo das diferentes semanas (ambiente natural e controle) sobre as comunidades de Copepoda Harpacticoida. Para esta análise foi utilizado o índice de Bray-Curtis para avaliar a similaridade entre réplicas. O MDS representou graficamente a similaridade entre réplicas. ANOVA 2-fatores foi utilizada para avaliar as diferenças entre os níveis dos fatores sobre a densidade, riqueza e diversidade das famílias de Copepoda Harpacticoida. O teste de Similaridade (SIMPER) foi realizado para identificar a porcentagem de participação de cada grupo no resultado da similaridade de cada tratamento. As análises multivariadas seguem as recomendações de Anderson (2001), McArdle e Anderson (2001) e Clarke e Warwick (1994), enquanto que as análises paramétricas univariadas seguem as sugestões de Zar (1996). Foi adotado o nível de significância de 5% para todas as análises.

Resultados

Sistema experimental

O sistema manteve-se estável durante todo o experimento, com médias de temperatura e pH acompanhando a situação determinada (Controle – 27,55°C e 7,98; CMC - 30,25°C e 7,67) com baixa variação (tabela 1).

Tabela 1: Média ($\pm$ desvio padrão) dos valores de temperatura, pH, salinidade e oxigênio dissolvido para os diferentes tratamentos no final do experimento.

	T°C	pH	Salinidade (Refratômetro)	OD (Oxigênio dissolvido)
Controle	27,55 (0,33)	7,98 (0,07)	35,41 (2,73)	7,08 (0,41)
CMC	30,25 (0,42)	7,67 (0,09)	35,83 (2,18)	6,46 (0,34)

Halimeda sp.

O resultado da ANOVA (tabela 2) indicou diferenças significativas na proporção de clorofila α , que diminui com a exposição ao cenário de mudança climática.

Tabela 2: Resultado das Análises de variância para as clorofilas α e β contidas na *Halimeda* sp., (Clorofila α , clorofila β e $\alpha + \beta$) e sua razão ($\alpha / (\alpha + \beta)$). (trat. = Tratamento).

clorofila α	df	MS	F	p	clorofila β	df	MS	F	p
Trat	1	0,000034	0,13	0,725956	Trat	1	0,000097	1,07	0,330223
erro	8	0,000254			erro	8	0,000091		

clorofila $\alpha + \beta$	df	MS	F	p	razão $\alpha / (\alpha + \beta)$	df	MS	F	p
Trat	1	0,000043	0,60	0,462585	Trat	1	0,001193	6,97	0,029686
erro	8	0,000071			erro	8	0,000171		

A taxa de calcificação das algas em ambos os tratamentos após a incubação é mostrada na figura abaixo (figura 3).

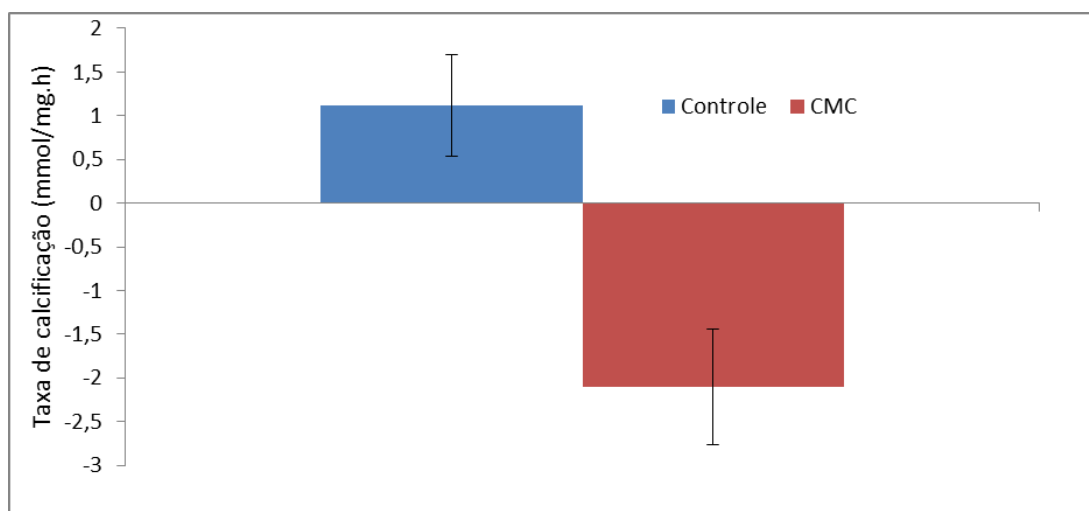


Figura 3: Resultado da taxa de calcificação para os tratamentos, Controle (azul) e Cenário de Mudança Climática (vermelho). As barras representam o intervalo de confiança de $\pm 95\%$.

A taxa de calcificação foi positiva para as algas em condição controle e negativa para as algas em condição de CMC. Apesar da pequena variação absoluta da calcificação entre os tratamentos, o teste t para a comparação da calcificação entre o controle e o CMC foi significativo ($t=7,1476$; $p < 0,0001$).

O resultado do teste t para comparar a taxa de calcificação no CMC a uma média populacional teórica igual a 0 (zero), mostrou que o valor negativo de calcificação era significativo ($t= -6,2027$; $p = 0,0017$ unilateral) (tabela 3).

Tabela 3: Resultados dos testes t, para comparação da taxa de calcificação do CMC a uma média populacional teórica de 0.

	t	p	
Controle x CMC	7,1476	<0,0001	Bilateral
Controle x 0	-6,2027	0,0017	Unilateral

Famílias de Copepoda Harpacticoida

Os indivíduos das famílias mais representativas de Copepoda Harpacticoida são mostrados no gráfico abaixo (figura 4).

A variação na estrutura da comunidade de Copepoda Harpacticoida quanto aos fatores tratamento e tempo pode ser observada na representação MDS (figura 5).

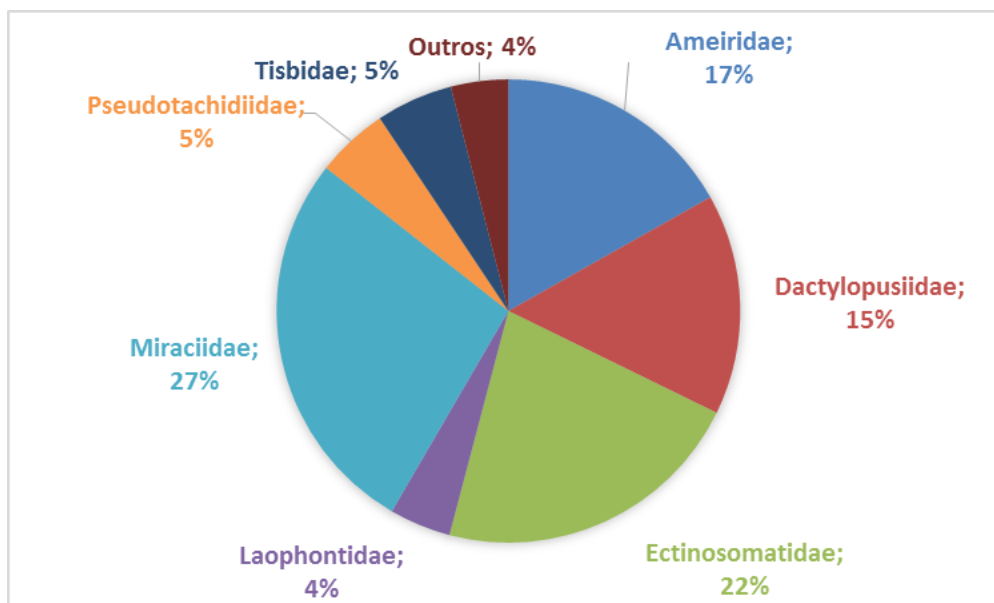


Figura 4: Frequência relativa em porcentagem das famílias de Copepoda Harpacticoida presentes no Controle e no CMC.

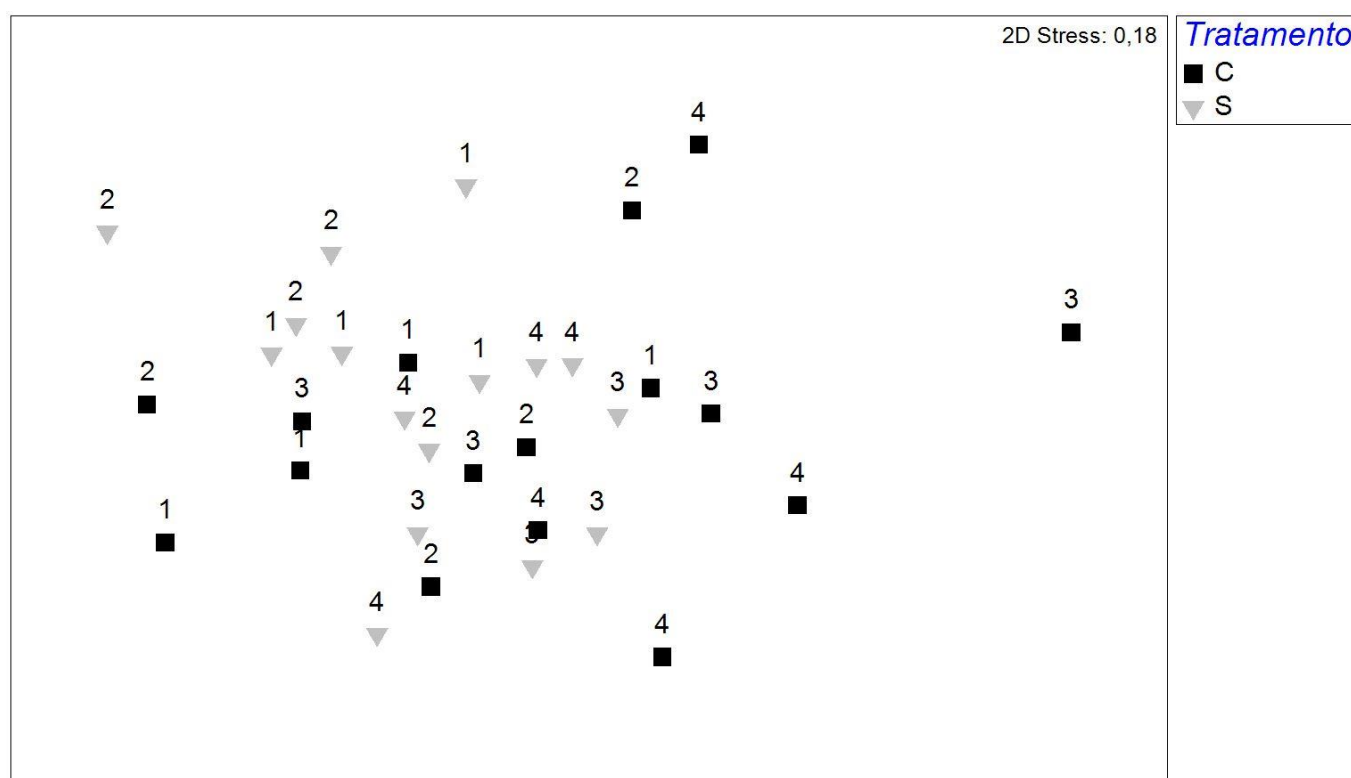


Figura 5: Ordenação MDS da estrutura da comunidade de Copepoda Harpacticoida, onde os quadrados representam o Controle (C) e os triângulos representam o Cenário (S), e os números representam as semanas dos tratamentos.

O resultado da análise multivariada PERMANOVA, para avaliar estatisticamente a variação da comunidade de Copepoda Harpacticoida,

mostrou diferenças significativas entre os tratamentos (Controle e CMC) e entre os tempos de exposição (Semana 1, 2, 3, 4), porém não houve interação entre os tratamentos e o tempo (tabela 4).

Tabela 4: Análise multifatorial PERMANOVA para a estrutura da comunidade de Copepoda Harpacticoida sobre o fator Tratamento (Tr) e Semana (Se).

Source	df	SS	MS	Pseudo-F	P(perm)
Tr	1	2859,9	2859,9	2,2488	0,0364
Se	3	7789	2596,3	2,0416	0,0093
TrxSe	3	4246,9	1415,6	1,1132	0,334

O teste t, a posteriori da ANOVA, demonstrou diferença entre as semanas 1x3, 1x4 e 2x4 demonstrado na tabela abaixo (tabela 5).

Tabela 5: Resultados da análise para a estrutura da comunidade de Copepoda Harpacticoida sobre o fator Semana, em ambos os tratamentos.

Groups	t	P(perm)	Unique perms
1, 2	0,83156	0,6746	9940
1, 3	1,5954	0,0419	9930
1, 4	1,888	0,004	9939
2, 3	1,517	0,0475	9933
2, 4	1,6494	0,0209	9939
3, 4	0,72966	0,7933	9940

Os resultados do SIMPER para comparação dos tratamentos são apresentados na tabela 6.

Tabela 6: Resultados da análise multifatorial SIMPER para a estrutura da comunidade de Copepoda Harpacticoida sobre o fator Tratamento.

Controle		Controle x Cenário	
Average similarity: 42,76	Cum.%	Average dissimilarity = 50,80	Cum.%
Miraciidae	33,25	Ameiridae	22,12
Ameiridae	53,89	Miraciidae	41,02
Ectinosomatidae	74,23	Ectinosomatidae	57,02
Dactylopusiidae	84,59	Dactylopusiidae	71,6
Laophontidae	91,93	Tisbidae	81,12
		Laophontidae	87,3
		Pseudotachidiidae	93,12
Cenário			
Average similarity: 61,08	Cum.%		
Miraciidae	34,98		
Ectinosomatidae	66,2		
Dactylopusiidae	80,67		
Ameiridae	92,19		

O resultado do SIMPER para comparação das semanas, são apresentados nas duas tabelas abaixo (tabela 7 e 8).

Tabela 7: Resultados da análise multifatorial SIMPER para a estrutura da comunidade de Copepoda Harpacticoida sobre o fator Semana.

Semana 1		Semana 3	
Average similarity: 54,74	Cum.%	Average similarity: 50,26	Cum.%
Miraciidae	32	Miraciidae	39,77
Ectinosomatidae	55,36	Ectinosomatidae	67,89
Dactylopusiidae	77,14	Ameiridae	85,34
Ameiridae	83,73	Dactylopusiidae	93,02
Laophontidae	90,26		
Semana 2		Semana 4	
Average similarity: 50,29	Cum.%	Average similarity: 52,39	Cum.%
Miraciidae	31,96	Miraciidae	33,57
Ectinosomatidae	61,69	Ameiridae	61,12
Dactylopusiidae	77,4	Ectinosomatidae	87,2
Ameiridae	87,16	Dactylopusiidae	92,65
Pseudotachidiidae	95,16		

Tabela 8: Resultados da análise multifatorial SIMPER para a estrutura da comunidade de Copepoda Harpacticoida sobre o fator Semana.

Semana 1 x 2		Semana 2 x 3	
Average dissimilarity = 46,89	Cum.%	Average dissimilarity = 55,68	Cum.%
Dactylopusiidae	26,39	Miraciidae	22,01
Ectinosomatidae	45,86	Ameiridae	44
Miraciidae	62,79	Ectinosomatidae	63,1
Ameiridae	76,37	Tisbidae	74,11
Tisbidae	81,24	Dactylopusiidae	84,87
Laophontidae	86,1	Pseudotachidiidae	91,48
Pseudotachidiidae	90,7		
Semana 1 x 3		Semana 2 x 4	
Average dissimilarity = 52,60	Cum.%	Average dissimilarity = 54,25	Cum.%
Ameiridae	20,63	Ameiridae	31,67
Dactylopusiidae	40,31	Miraciidae	52,88
Miraciidae	57,12	Ectinosomatidae	67,74
Ectinosomatidae	72,7	Tisbidae	77,1
Tisbidae	84,54	Dactylopusiidae	84,6
Pseudotachidiidae	91,07	Pseudotachidiidae	90,2
Semana 1 x 4		Semana 3 x 4	
Average dissimilarity = 53,28	Cum.%	Average dissimilarity = 48,03	Cum.%
Ameiridae	29,1	Ameiridae	24,77
Miraciidae	46,95	Miraciidae	46,03
Dactylopusiidae	64,54	Ectinosomatidae	61,32
Ectinosomatidae	77,05	Tisbidae	75,56
Tisbidae	85,62	Dactylopusiidae	84,97
Pseudotachidiidae	91,13	Pseudotachidiidae	91,89

A variação na estrutura da comunidade de Copepoda Harpacticoida do controle e do ambiente nas semanas 1 e 4, pode ser observada graficamente no MDS (figura 6).

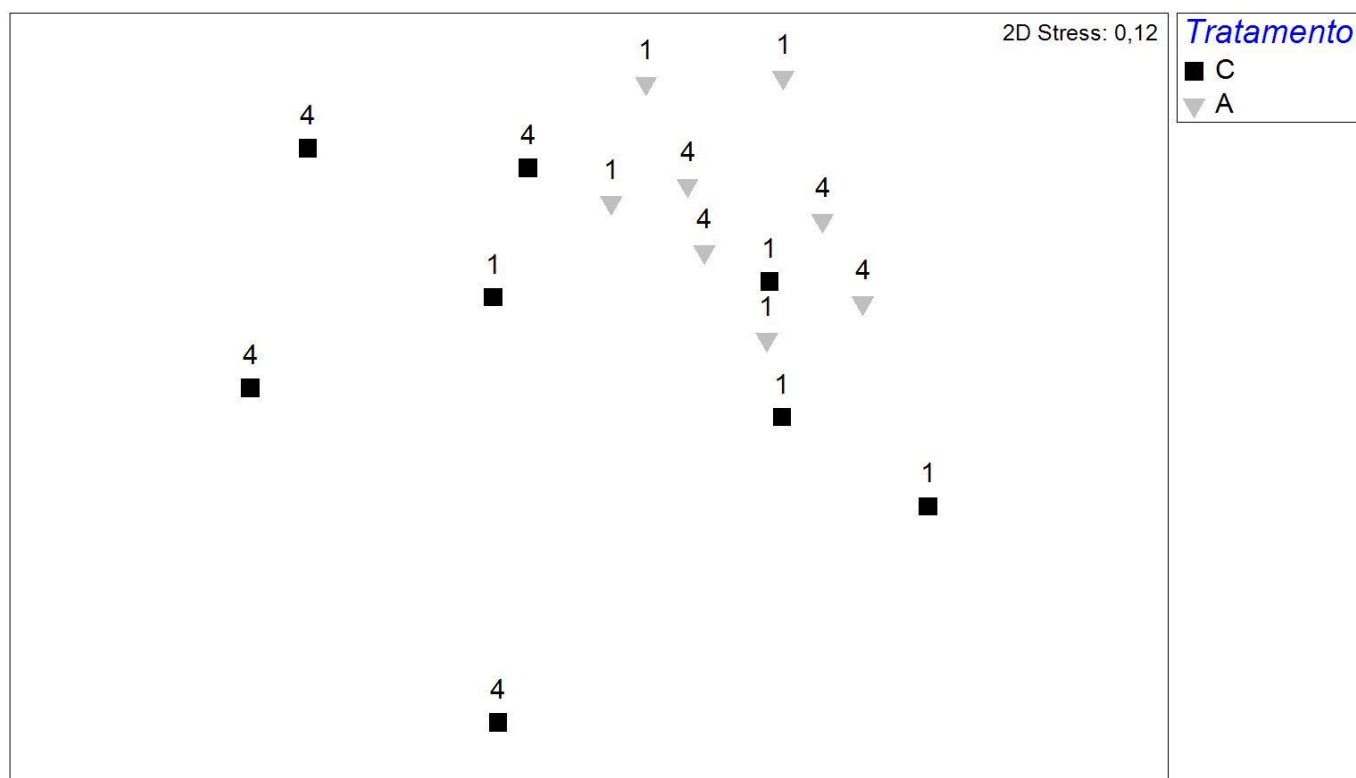


Figura 6: Ordenação MDS da estrutura da comunidade de Copepoda Harpacticoida, onde os quadrados representam o controle e os triângulos representam o ambiente, e os números representam as semanas dos tratamentos.

O resultado da análise multivariada PERMANOVA, para avaliar estatisticamente a variação da comunidade de Copepoda Harpacticoida, entre o tratamento Controle e o Ambiente, mostrou diferenças significativas entre os tratamentos (Ambiente e Controle), assim como interação entre os tratamentos e os tempos (tabela 9).

Tabela 9: Resultados da análise multifatorial PERMANOVA para a estrutura da comunidade de Copepoda Harpacticoida entre o tratamento Controle e o Ambiente sobre o fator Tratamento (Tr) e Semana (Se).

Source	df	SS	MS	Pseudo-F	P(perm)
Tr	1	2952,1	2952,1	2,6043	0,0113
Se	1	1393	1393	1,2289	0,3068
TrxSe	1	2785,4	2785,4	2,4572	0,0272

O teste t, a posteriori da ANOVA, para o tratamento (Controle) e o ambiente comparando a primeira e a última semana de experimento, não demonstrou diferença entre as semanas, demonstrado na tabela abaixo (tabela 10).

Tabela 10: Resultados da análise para a estrutura da comunidade de Copepoda Harpacticoida sobre o fator Semana para o Controle e Ambiente.

	Groups	t	P(perm)	Unique perms	P(MC)
Controle	1, 4	1,4375	0,0847	35	0,1154
Ambiente	1, 4	1,1826	0,2037	35	0,2574

Já para os tempos comparando as semanas, demonstrou diferença significativa entre o controle e o ambiente na quarta semana de experimento, mostrado na tabela 11.

Tabela 11: Resultados da análise para a estrutura da comunidade de Copepoda Harpacticoida sobre o fator Tratamento para o Controle e Ambiente

	Groups	t	P(perm)	Unique perms	P(MC)
Semana 1	C, A	0,96305	0,5763	35	0,4635
Semana 4	C, A	2,0505	0,0312	35	0,0218

Os resultados do SIMPER para comparação dos tratamentos são apresentados na tabela 12.

Tabela 12: Resultados da análise multifatorial SIMPER para a estrutura da comunidade de Copepoda Harpacticoida sobre o fator tratamento.

Controle		Controle x Ambiente	
Average similarity: 46,66	Cum.%	Average dissimilarity = 54,39	Cum.%
Miraciidae	31,77	Miraciidae	23,25
Ectinosomatidae	54,55	Ameiridae	45,59
Ameiridae	73,16	Dactylopusiidae	63,56
Laophontidae	82,79	Ectinosomatidae	74
Dactylopusiidae	90,87	Tisbidae	80,13
		Pseudotachidiidae	85,56
Ambiente		Laophontidae	90,71
Average similarity: 61,97	Cum.%		
Miraciidae	31,6		
Dactylopusiidae	57,01		
Ectinosomatidae	80,57		
Ameiridae	92,3		

O resultado do SIMPER para comparação das semanas, são apresentados na tabela abaixo (tabela 14).

Tabela 13: Resultados da análise multifatorial SIMPER para a estrutura da comunidade de Copepoda Harpacticoida sobre o fator Semana.

Semana 1		Semana 1 x 4	
Average similarity: 53,08	Cum.%	Average dissimilarity = 50,40	Cum.%
Miraciidae	36,83	Miraciidae	24,4
Ectinosomatidae	61,06	Ameiridae	45,06
Ameiridae	71,16	Dactylopusiidae	62,15
Dactylopusiidae	81,22	Ectinosomatidae	74,81
Laophontidae	88,72	Tisbidae	82,13
Tisbidae	93,55	Pseudotachidiidae	86,78
		Laophontidae	90,8
Semana 4			
Average similarity: 55,55	Cum.%		
Miraciidae	26,75		
Dactylopusiidae	52,27		
Ectinosomatidae	74,53		
Ameiridae	93,6		

No presente estudo, a alteração do pH e temperatura da água do mar levaram à alteração na estrutura da comunidade de Copepoda da meiofauna

Foram identificadas 18 espécies identificadas para a família Ameridae, sendo *Ameira* sp1, *Ameira* sp 2 e *Ameira* sp3 as espécies mais abundantes e encontradas em todos os dias de coleta (tabela 14).

Tabela 14: Lista das espécies de Ameiridae (Copepoda Harpacticoida) identificadas nas amostras de CMC, Controle e Ambiente.

Ordem Harpacticoida Sars, 1903	
Família Ameridae Boeck, 1865	
<i>Ameira parvula nana</i>	Dinet 1971
<i>Ameira</i> sp1	
<i>Ameira</i> sp2	
<i>Ameira</i> sp3	
<i>Ameira</i> sp4	
<i>Ameira spinipes</i>	Nicholls 1940
<i>Ameira tenuicornis</i>	Lang 1948
<i>Ameiropsis angulifera</i>	Lang 1948
<i>Ameiropsis robinsoni</i>	Gurney 1927
<i>Leptomesochra hirsuta</i>	Wiborg 1964
<i>Nitocra australis</i>	Soyer 1974
<i>Nitocra hamata</i>	Bodin 1970
<i>Nitocra swelli</i>	Gurney 1927
<i>Pseudameira reducta</i>	Klie 1950
<i>Pseudameira perplexa</i>	Soyer 1974
<i>Psyllocamptus psyllocamptus</i>	Lang 1965
<i>Sarsameira knorri</i>	Reidenauer & Thistle 1983
<i>Stenocopia reducta</i>	Cottarelli, Saporito & Puccetti 1986

Os resultados da análise multivariada PERMANOVA, para avaliar estatisticamente a variação da estrutura da associação das espécies de Ameiridae, não mostrou diferença significativa entre os tratamentos (Controle e CMC) ou entre os tempos de exposição (Semana 1, 2, 3, 4), assim como interação entre os tratamentos e os tempos (tabela 15).

Tabela 15: Resultados da análise multifatorial PERMANOVA para as espécies de Copepoda Harpacticoida sobre o fator Tratamento (Tr) e Semana (Se).

Source	df	SS	MS	Pseudo-F	P(perm)
Tr	1	2424,7	2424,7	1,1263	0,3469
Se	3	9755,9	3252	1,5105	0,1075
TrxSe	3	5289,2	1763,1	0,81893	0,6631

No presente estudo, a associação de espécies de Ameiridae não apresentou alteração sob condições de mudança climática, mostrando ou uma falta de poder estatístico devido ao baixo número de animais identificados ou uma possível resistência às condições de estresse que podem ser encontradas no final do século.

Discussão

Em nossos resultados *Halimeda* apresentou uma diminuição da proporção de clorofila α em situação de estresse sob condição de mudança climática. Assim como uma diminuição da taxa de calcificação nas algas em condição de acidificação da água do mar. Os estudos de efeitos da mudança climática sobre as algas vêm crescendo nos últimos anos, sendo possível afirmar que alterações de luminosidade e de temperatura, assim como a pressão de CO_2 podem causar alterações significativas na produção primária de algas (Şükran, 1998, Price 2011). Apesar de existir um aumento do número de estudos sobre o assunto, o foco da maioria desses estudos ainda são os corais formadores de recifes como (Kamenos, 2013, Gaylord, 2015, Ries, 2015), que recebem maior atenção, aparentemente devido à maior sensibilidade, quando comparados às algas ou à comunidade da meiofauna. Outros estudos mostram resultados conflitantes, onde Ries et al. (2009) em experimento in situ não identificou efeito de aumento de pCO_2 no recrutamento de alga *Halimeda*, porém no mesmo trabalho foi visto

uma alteração na calcificação das algas, que pode ter sido causada pela alteração da pressão de CO₂.

Embora a relação entre a fotossíntese e a calcificação seja complexa, o aumento do CO₂ na água do mar pode aumentar a taxa de fotossíntese do organismo e o aumento de temperatura aumenta a capacidade de detecção para potenciais efeitos de acidificação (Smith et al., 2004, Ries et al 2009). Segundo a revisão bibliográfica feita por Koch et al. (2013), as algas sob condições de acidificação apresentam taxa de calcificação diferentes das algas controle, apresentando sempre taxas de calcificação negativas. Nas temperaturas elevadas previstas para 2100, os efeitos negativos da elevação de CO₂ na calcificação foram comprovados em todos os estudos sobre Chlorophytas (divisão da *Halimeda*) (Ries et al., 2009, Porzio, 2011, Olischläger et al., 2013).

O metabolismo das algas possivelmente não apresenta facilidade de aclimação ao aumento de temperatura e diminuição do pH. Anthony et al. (2008) observaram diminuição de produtividade das algas, em tratamentos de 8 semanas em condições previstas pelo IPCC para 2020 – 2060, onde essa diminuição caracterizou o ambiente como insustentável para dois tipos de algas coralíneas incrustantes.

Quando comparada com outras algas, *Halimeda* tem variações mais sutis. Isso pode ser explicado pelos vários caminhos da calcificação, a *Halimeda* é um depositante de CaCO₃ em forma de aragonita, precipitando aragonita de forma intercelular (Borowitzka e Vesk, 1978, 1979).

Wizemann et al. (2014) relataram que o desenvolvimento das características microestruturais, como formação interna do exoesqueleto e a maior concentração de carbonato não são características controladas biologicamente pelas algas. A resposta da alga está diretamente associada à química da água do mar. Além disso, a diferença entre fotossíntese e calcificação pode explicar as diferenças de resposta com o efeito, Langdon e Atkinson (2005) mostraram uma interação de concorrência entre a calcificação e a fotossíntese utilizando o método de alcalinidade total. Assim, a alta pressão de CO₂ deve aumentar a taxa de fotossíntese e reduzir a disponibilidade de íons disponíveis para a calcificação. Essas mudanças químicas no oceano, acarretadas pela

acidificação, podem tornar as algas do gênero *Halimeda* altamente sensíveis aos níveis de CO₂ estimados para 2100.

A alteração na estrutura da comunidade de Copepoda encontrada em nosso trabalho pode ser corroborada por estudos, que mostram a acidificação como uma das principais causadoras de impactos para organismos calcificadores e os dependentes desses.

Em estudo de animais calcificantes em fases larvais Kurihara (2008) registrou com a diminuição do pH a redução do crescimento relativo dos animais, inibição ou má formação da concha e em pHs mais ácidos foi registrado até 50% de mortalidade. Fabry (2008) também avaliou o efeito da acidificação sobre invertebrados em águas oceânicas, sob a visão das mudanças avaliadas pelo IPCC, tendo observado redução de calcificação em conchas, redução da taxa de crescimento e diminuição do metabolismo. Em estudo com macrofauna sob condições de acidificações vulcânicas Cigliano (2010) não encontrou diferenças significativas para os Copepoda, classificando esses como tolerantes a condições de altos níveis de CO₂.

Fitzer (2012) utilizou Copepoda do gênero *Tisbe* providos de fazendas de criação, em um gradiente de acidificação com pH entre 8,06 e 7,67. Neste estudo foram analisados diariamente o número de recrutas em condições de dieta de microalgas específicas, sendo observado um declínio da produção de nauplii ao longo do gradiente de pH previsto para os próximos 100 anos. O trabalho ainda contou com o acompanhamento do crescimento de *Tisbe*, que demonstrou significativa redução de tamanho, alcançando maturidade sexual com tamanhos menores quando comparados aos indivíduos do controle, assim como alteração na composição da cutícula do animal, que demonstra, segundo o autor, uma mudança na estratégia de vida do animal.

Em nosso estudo, a associação de espécies de Ameiridae não apresentou alteração sob condições de mudança climática, mostrando ou uma falta de poder estatístico devido ao baixo número de animais identificados ou uma possível resistência às condições de estresse que podem ser encontradas no final do século.

Algumas espécies de Copepoda apresentam resistência a essas condições. Kurihara (2004), mostrou que animais calcificantes em tais condições de acidificação, apesar de manterem-se presentes na comunidade, apresentam alteração no tempo de maturação e deficiência na alocação de nutrientes. Um resultado semelhante foi encontrado por Pascal (2010), que observou duas espécies de *Miraciidae* com alterações fisiológicas que permitiram a presença no ambiente de estresse. Fitzer (2012) e Hildebrandt (2014) encontraram espécies de Copepoda com uma redução na biomassa e no recrutamento. Essa capacidade resistiva dos Copepoda relatada por vários autores pode ser semelhante no comportamento de diversos dos Copepoda Harpacticoida estudados, porém nosso estudo mostrou um efeito claro ao nível de família para a ordem Harpacticoida, sendo assim um maior tempo de exposição dos animais a condição de acidificação poderia mostrar resultado significativo também para as espécies estudadas.

Referências

- Ainsworth, C. H. et al. 2011. Potential impacts of climate change on Northeast Pacific marine foodwebs and fisheries. – ICES J. Mar. Sci. 68: p. 1217 – 1229.
- Anthony, K.R.N., Kline D.I., Diaz-Pulido G., Dove S., Hoegh-Guldberg O. 2008. Ocean acidification causes bleaching and productivity loss in reef builders. - Proc Nat Acad Sci 105:17442–17446.
- Anthony, N. R. N. et al. 2011. Ocean acidification and warming will lower coral reef resilience. – Glob. Change Biol. 17: 1798 – 1808.
- Anthony, N. R. N. et al. 2011. Ocean acidification and warming will lower coral reef resilience. – Glob. Change Biol. 17: p. 1798 – 1808.
- Bibby, R. et al. 2007. Ocean acidification disrupts induced defences in the intertidal gastropod *Littorina littorea*. – Biol. Lett. 3: 699 – 701.
- Birkeland, C. 1997. Symbiosis, fisheries and economic development on coral reefs. - Trends in ecology & evolution, 12(9): p. 364-367.
- Bodin, P. (1970) Copépodes harpacticoïdes marins des environs de La Rochelle, 1 – Espèces de la vase intertidale de Chatellaillon. Tethys, 2, 385–436.
- Borowitzka, M. A. and Vesik, M. 1979. Ultrastructure of the Corallinaceae. II. The vegetative cells of *Lithothrix aspergillum*. - J. Phycol. 15, 146-153.
- Borowitzka, M. A. and Vesik, M. 1978. Ultrastructure of the Corallinaceae. I. The vegetative cells of *Corallina officinalis* and *C. cuvierii*. - Mar. Biol. 46: 295-304.
- Boxshall, G. A. e Halsey, S. H. 2004. An Introduction to Copepod Diversity. – The Ray Society, London, p. 966.
- Byrne, M. et al. 2010. Fertilization in a suite of coastal marine invertebrates from SE Australia is robust to near-future ocean warming and acidification. – Mar. Biol. 157: p. 2061 – 2069.
- Byrne, M. et al. 2010. Fertilization in a suite of coastal marine invertebrates from SE Australia is robust to near-future ocean warming and acidification. – Mar. Biol. 157:2061 – 2069.

- Caldeira, K. e Wickett, M. 2003. Anthropogenic carbon and ocean pH. – *Nature* 425:365.
- Caldeira, K. e Wickett, M. 2005. Ocean model predictions of chemistry changes from carbon dioxide emissions to the atmosphere and ocean. – *J. Geophys. Res.* 110 (C9).
- Cigliano, M., Gambi, M. C., Rodolfo-Metalpa, R., Patti, F. P., e Hall-Spencer, J. M. 2010. Effects of ocean acidification on invertebrate settlement at volcanic CO₂ vents. - *Marine Biology*, 157(11), 2489-2502.
- Cottarelli, V., Saporito, P.E. e Puccetti, A.C. (1986a) Un interessante arpacticoide di acque interstiziali della Tailandia: *Stenocopia reductan.* sp. (Crustacea, Copepoda). *Bolletino del Museo Civico di Storia Naturale, Verona*, 12, 307–317
- Coull BC e Chandler GT. 1992. Pollution and meiofauna: Field, laboratory and mesocosm studies. - *Oceanography and Marine Biology Annual Reviews*, 30: p. 191-271.
- Coull, B. C. 1988. Ecology of the marine meiofauna. – In: Higgins RP, Thiel H (eds), *Introduction to the study of meiofauna*. - Smithsonian Institution Press, Washington, p. 18–38.
- CPRH. Diagnóstico Socio-Ambiental – Litoral Sul de Pernambuco. P. 30-36, 1999.
- Danovaro, R. et al. 2007. Trophic importance of subtidal metazoan meiofauna: evidence from in situ exclusion experiments on soft and rocky substrates. – *Mar. Biol.* 152: p. 339 – 350.
- Davenport, J. e Davenport, J. L. 2006. The impact of tourism and personal leisure transport on coastal environments: A review. – *Estuar. Coast Shelf Sci.* 67: p. 280 –292.
- Defeo, O. et al. 2009. Threats to sandy beach ecosystems: A review. – *Estuar. Coast Shelf Sci.* 81: p. 1 – 12.

- Dickson, A.G., Sabine, C.L., Christian J.R. . 2007. Guide to best practices for ocean CO₂ measurements. - PICES special publication 3. IOCCP report No. 8.
- Dinet, A. (1971) Copépodes harpacticoïdes d'un sable fin organogène des environs de Marseille. *Tethys*, 2, 747–762.
- Dissanayake, A. e Ishimatsu, A. 2011. Synergistic effects of elevated CO₂ and temperature on the metabolic scope and activity in a shallow-water coastal decapods (*Metapenaeus joyneri*; Crustacea: Penaeidae). – *ICES J. Mar. Sci.* 68: 1147 – 1154.
- Fabry, V. J., Seibel, B. A., Feely, R. A., e Orr, J. C. 2008. Impacts of ocean acidification on marine fauna and ecosystem processes. - *ICES Journal of Marine Science: Journal du Conseil*, 65(3), 414-432.
- Feely, R. A. et al. 2004. Impact of anthropogenic CO₂ on the CaCO₃ system in the oceans. – *Science* 305: 362 – 366.
- Feely, R.A., Doney, S.C., Cooley, S.R.(2009).Ocean acidification: present conditions and future changes in a high-CO₂ world. *Oceanography* 22:36–47.
- Findlay, H. S. et al. 2010. Relative influences of ocean acidification and temperature on intertidal barnacle post-larvae at the northern edge of their geographic distribution. – *Estuar. Coast Shelf Sci.* 86: 675 – 682.
- Findlay, H. S., Wood, H. L., Kendall, M. A., Spicer, J. I., Twitchett, R. J., & Widdicombe, S. 2011. Comparing the impact of high CO₂ on calcium carbonate structures in different marine organisms. - *Marine Biology Research*, 7(6), 565 - 575.
- Fitzer, S. C., Caldwell, G. S., Close, A. J., Clare, A. S., Upstill-Goddard, R. C., e Bentley, M. G. 2012. Ocean acidification induces multi-generational decline in copepod naupliar production with possible conflict for reproductive resource allocation. - *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 418, 30-36.

- Giere O. 2009. *Meiobenthology: The microscopic motile fauna of aquatic sediments*. - 2 ed. Springer-Verlag, Berlin.
- Gurney, R. (1927) *Zoological Results of the Cambridge Expedition to the Suez Canal, 1924*. IX. Report on the Crustacea:– Copepoda of brine-pools at Kabret. *Transactions of the Zoological Society of London*, 22, 173–177.
- Hale, R. et al. 2011. Predicted levels of future ocean acidification and temperature rise could alter community structure and biodiversity in marine benthic communities. – *Oikos* 120: 661 – 674.
- Hall, M.O. and Bell, S.S. 1993. Meiofauna on the seagrass *Thalassia testudinum*: population characteristics of harpacticoid copepods and associations with algal epiphytes. - *Mar. Biol.*, 116: p. 137 –146.
- Harley, C. D. G. et al. 2006. The impacts of climate change in coastal marine systems. – *Ecol. Lett.* 9: 228 – 241.
- Hart, E. M. e Gotelli, N. J. 2011. The effects of climate change on density-dependent population dynamics of aquatic invertebrates. – *Oikos* 120: 1227 – 1234.
- Haye, K. L. et al. 2011. Reduced sea water pH disrupts resource assessment and decision making in the hermit crab *Pagurus bernhardus*. – *Anim. Behav.* 82: 495 – 501.
- Hicks GRF. 1977. Breeding activity of marine phytoplankton harpacticoid copepods from Cook Strait. - *New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research*, 11 (4): p. 645-666.
- Hulings, N. C. and Gray, J. S. 1971. A manual for the study of meiofauna. *Smithson. - Contr. Zool.* 78:1-83.
- IPCC. 2007. *Climate change 2007: Synthesis Report*. Working Group Contributions to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. – Cambridge University Press, Cambridge.

- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change).(2014).Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, New York, NY, USA.
- Johns, H. D. and Moore C. H. 1988.Reef to basin sediment transport using Halimeda as a sediment tracer, Grand Cayman Island, West Indies. - Coral Reefs 6: 187–193.
- Klie, W. (1950) Harpacticoida (Cop.) aus dem Bereich von Helgoland und der Kieler Bucht (Fortsetzung). Kieler Meeresforschungen, 7, 76–128.
- Koch, M., Bowes, G., Ross, C., Zhang, X.-H. 2013.Climate change and ocean acidification effects on seagrasses and marine macroalgae. - Global Change Biology. 19:103–132. doi:10.1111/j.1365-2486.2012.02791.
- Kooistra, W.H.C.F. and Verbruggen, H.(2005).Genetic patterns in the calcified tropical seaweedsHalimeda opuntia,H. distorta,H. hederacea andH. Minima (Bryopsidales, Chlorophyta) provide insights in species boundaries and inter-oceanic dispersal. - J. Phycol41: 177–187.
- Kurihara, H. et al. 2007. Effects of elevated seawater CO₂ concentration on the meiofauna. – J. Mar. Sci. Technol-TA Special Issue: 17 – 22.
- Kurihara, H., e Ishimatsu, A. 2008. Effects of high CO₂ seawater on the copepod (Acartia tsuensis) through all life stages and subsequent generations. - Marine Pollution Bulletin, 56(6), 1086-1090.
- Lang, K. (1948) Monographie der Harpacticiden. Håkan Ohlsson, Lund, 2 vols, 1682 pp.
- Lang, K. (1965) Copepoda Harpacticoidea from the Californian Pacific coast. Kunglieren svenska Vetenskapsakademiens Handlingar, 10(2), 1–560.
- Langdon, C., Atkinson, M. J. 2005.Effect of elevated pCO₂on photosynthesis and calcification of corals and interactions with seasonal change in temperature/irradiance and nutrient enrichment. - Journal Of Geophysical Research, 110, C09S07, doi:10.1029/2004JC002576.

- Leão, Z. M. A. N. e Kikuchi, R. K. P. 2005. A relic coral fauna threatened by global changes and human activities, Eastern Brazil. – *Mar. Pollut. Bull.* 51: p. 599 – 611.
- Littler, M.M., Littler D.S., Blair, S.M., Norris, J.N. 1986. Deep-water plant communities from an uncharted seamount off San Salvador Island, Bahamas: distribution, abundance, and primary productivity. - *Deep Sea Res.*, Vol. 33 pp. 881–892.
- Maida M e Ferreira BP. 2004. Os recifes de coral brasileiros. - Leça EE, Neumann-Leitão S. & Costa MF (Eds). *Oceanografia: um cenário tropical*. Ed. Bagaço, Recife, p. 617-640.
- Manso, V.A.V.; Correa, I. C. S., Guerra, N. C. 2003. Morfologia e sedimentologia da Plataforma Continental Interna entre as Praias Porto de Galinhas e Campos-Litoral Sul de Pernambuco, Brasil. - *Pesquisas em Geociências*. Porto Alegre, RS. Vol. 30, n. 2, p. 17-25.
- Masunari S. 1987. Ecologia das Comunidades Fitais. - Academia de Ciências do Estado de São Paulo (ed.). *Simpósio sobre ecossistemas da costa sul e sudestes brasileira*. Cananéia, p. 195-233.
- Moberg F e Folke C. 1999. Ecological Goods and Services of Coral Reef Ecosystems. *Ecological Economics*, 29 (2): p. 215-33
- Nicholls, A. G. (1944). XLVI.—Littoral Copepoda from the Red Sea. *Journal of Natural History*, 11(80), 487-503.
- Orr, J. C. et al. 2005. Anthropogenic ocean acidification over the twenty-first century and its impact on calcifying organisms. – *Nature* 437: 681 – 686.
- Pascal, P. Y., Fleeger, J. W., Galvez, F., e Carman, K. R. 2010. The toxicological interaction between ocean acidity and metals in coastal meiobenthic copepods. - *Marine Pollution Bulletin*, 60(12), 2201-2208.
- Pereira, S. M. B. and Accioly, M. C. 1998. Clorofíceas marinhas bentônicas da praia de Serrambi, Pernambuco, Brasil. - *Acta Botanica Brasilica* 12.1: p. 25-51.

- Price N.N., Hamilton S.L., Tootell J.S., Smith J.E. 2011. Species-specific consequences of ocean acidification for the calcareous tropical green algae *Halimeda*. - *Mar Ecol Prog Ser* 440, p. 67-78
- Reidenauer, J.A. e Thistle, D. (1983) *Sarsameira*(Copepoda: Harpacticoida): An update and a new species from the deep sea. *Transactions of the American Microscopical Society*, 102, 105–112.
- Riebesell, U., Fabry, V.J., Hansson, L., Gattuso, J.P. 2010. Guide to Best Practices for Ocean Acidification Research and Data Reporting. - Publications Office of the European Union, Luxembourg.
- Ries J.B., Cohen A.L., McCorkle D.C. 2009. Marine calcifiers exhibit mixed responses to CO₂-induced ocean acidification. - *Geology* 37: p. 1131–1134
- Roberts, C. M. 2002. Deep impact: the rising toll of fishing in the deep sea. - *Trends in Ecology & Evolution* 17.5: p. 242-245.
- Sale, P. F. 1991. The ecology of fishes on coral reefs. Academic Press Inc, Introduction. - SALE, P. F. (ed). p. 3- 15.
- Santos M. R., Horta, P., Fett, Roseane. 2004. Atividade antioxidante in vitro de extratos de algumas algas verdes (Chlorophyta) do litoral catarinense (Brasil). - *Revista Brasileira de Ciências Farmacêuticas*, 40(4), p. 495-503.
- Sarmiento,V.C., Souza,T.P., Esteves, A.M.;. Santos, P. J. P. 2015. Effects of seawater acidification on a coral reef meiofauna community. - *Coral Reefs* .doi 10.1007/s00338-015-1299-6
- Smith JE, Smith CM, Vroom PS, Beach KL, Miller S 2004. Nutrient and growth dynamics of *Halimeda* tuna on Conch Reef, Florida Keys: possible influence of internal tides on nutrient status and physiology. - *Limnol Oceanogr* 49: p. 1923–1936
- Soyer, J. (1974) Contribution de l'étude des copépodes harpacticoïdes de Méditerranée occidentale. 11. Ameiridae Monard, Lang. Systématique, écologie. *Vie et Milieu*, 24B, 379–408.

- Şükran, D.E.R.E. 1998. Spectrophotometric Determination of Chlorophyll-A, B and Total Carotenoid Contents of Some Algae Species Using Different Solvents. - Turkish Journal of Botany, 22(1), p. 13-18.
- Van Alstyne, K. L., e Paul, V. J. 1990. The biogeography of polyphenolic compounds in marine macroalgae: temperate brown algal defenses deter feeding by tropical herbivorous fishes. - Oecologia, 84(2), 158-163.
- Venn, A., Tambutté, E., Holcomb, M., Allemand, D., e Tambutté, S. 2011. Live tissue imaging shows reef corals elevate pH under their calcifying tissue relative to seawater. - PloS one, v. 6, n. 5, p. e20013.
- Wells JBJ. 2007. An annotated checklist and keys to the species of Copepoda Harpacticoida (Crustacea). - Zootaxa, 1568: p. 1-872.
- Wiborg, K.F. (1964) Marine copepods of Tristan da Cunha. Results of the Norwegian Scientific Expedition to Tristan da Cunha 1937–1938, 51, 1–44.
- Widdicombe, S. e Spicer, J. I. 2008. Predicting the impact of ocean acidification on benthic biodiversity: What can animal physiology tell us? – J. Exp. Mar. Biol. Ecol. 366: 187 – 197.
- Widdicombe, S. et al. 2009. Effects of CO₂ induced seawater acidification on infaunal diversity and sediment nutrient fluxes. – Mar. Ecol. Prog. Ser. 379: 59 – 75.
- Wizemann, A. Meyer, F.W. e Westphal, H. 2014. A new model for the calcification of the green macro-alga *Halimeda opuntia* (Lamouroux). - Coral Reefs 33:951–964