



RAFAELA CRISTINA DE SOUZA DUARTE

**Influência da Complexidade do Habitat e da Sazonalidade
sobre a Fauna Associada a Macroalgas de um Manguezal
Hipersalino**

Orientadora: Profa. Thelma Lúcia Pereira Dias

Campina Grande – PB
2014

RAFAELA CRISTINA DE SOUZA DUARTE

**Influência da Complexidade do Habitat e da Sazonalidade
sobre a Fauna Associada à Macroalgas de um Manguezal
Hipersalino**

Dissertação de Mestrado submetida ao Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Conservação (Nível Mestrado) da Universidade Estadual da Paraíba (UEPB), como parte dos requisitos para a obtenção do grau de Mestre em Ecologia e Conservação.

Orientadora:

Prof^ª. Dra. Thelma Lúcia Pereira Dias

Campina Grande – PB

2014

É expressamente proibida a comercialização deste documento, tanto na forma impressa como eletrônica. Sua reprodução total ou parcial é permitida exclusivamente para fins acadêmicos e científicos, desde que na reprodução figure a identificação do autor, título, instituição e ano da dissertação.

D812i Duarte, Rafaela Cristina de Souza.

Influência da complexidade do habitat e da sazonalidade sobre a fauna associada a macroalgas de um manguezal hipersalino [manuscrito] / Rafaela Cristina de Souza Duarte. - 2014.
85 p. : il. color.

Digitado.

Dissertação (Mestrado em Ecologia e Conservação) - Universidade Estadual da Paraíba, Centro de Ciências Biológicas e da Saúde, 2014.

"Orientação: Thelma Lúcia Pereira Dias, Departamento de Biologia".

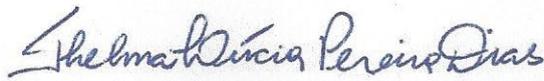
1. Arquitetura algal. 2. Complexidade estrutural. 3. Heterogeneidade de habitat. 4. Invertebrados marinhos. I. Título.

21. ed. CDD 577

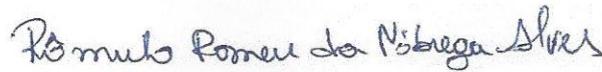
RAFAELA CRISTINA DE SOUZA DUARTE

**Influência da Complexidade do Habitat e da Sazonalidade
sobre a Fauna Associada a Macroalgas de um Manguezal
Hipersalino**

Aprovada em 26 / 02 / 2014


Profa. Dra. Thelma Lúcia Pereira Dias

Universidade Estadual da Paraíba (UEPB/Campus I)
Orientadora



Universidade Estadual da Paraíba (Campus I)
Examinador Interno



Profa. Dra. Emanuelle Fontenelle Rabelo
Universidade Federal Rural do Semiárido (UFERSA/RN)
Examinadora Externa

Prof. Dr. André Luiz Machado Pessanha
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB/Campus I)
Suplente

Campina Grande – PB
Fevereiro de 2014

DEDICATÓRIA

*Ao meu pai, Severino do Ramo
Duarte (in memoriam)
A Maria José de Souza Duarte
(minha mãe) que nunca mediu
esforços para me conduzir pelos
caminhos do saber.*

AGRADECIMENTOS

A Deus, primeiramente que me concedeu a benção de chegar até aqui. A todos aqueles que participaram direta e indiretamente desta caminhada árdua e recompensadora, bem como desse esforço individual e, ao mesmo tempo coletivo que é fazer um trabalho de dissertação.

Aos meus familiares em especial a minha mãe Maria José de Souza Duarte por todo apoio e a minha vó Antônia Cabral, pelo exemplo de mulher e ser humano lindo. A Danilo Arruda (meu noivo) pela paciência, por suportar todos os momentos de ausência e ajudar nos momentos de dificuldades e nos obstáculos que surgiram nessa caminhada.

A Professora Thelma Lúcia Pereira Dias, pela sua fundamental contribuição para a minha formação enquanto ser humano e acadêmico. Minha eterna gratidão. Ao Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Conservação em especial a professora Joseline Mollozi, pela ajuda com as análises estatísticas e ao professor André Pessanha, pelas discussões e ajuda no trabalho de dissertação.

A Luis Carlos, pelas ajudas nas coletas de campo e todo o apoio logístico. A Dona Dalci e Sr. Belo pela receptividade e hospitalidade, sempre nos recebendo em sua casa com carinho.

As colegas do mestrado Adna, Carol e em especial a Ellori, companheira de todas as horas.

Aos companheiros de pesquisa do Labmar Bel (Jacicleide), Jéssica, Priscila, Romilda, Lamara e Lívia pela companhia e ajuda.

As minhas amigas da vida Carina, Claudia, Renata e Rosinete, pela compreensão e apoio sempre.

Ao colega Leidson Alan pela identificação das macroalgas estudadas. Agradeço ao apoio financeiro da CAPES.

LISTA DE FIGURAS

ÁREA DE ESTUDO GERAL

<i>Figura 1 Estuário do Rio Tubarão. (a) Localização da área de estudo no litoral setentrional do Rio Grande do Norte. (b) Imagem de satélite ilustrando toda a extensão do Rio Tubarão. (c) Vista parcial do Rio Tubarão durante a maré baixa</i>	21
<i>Figura 2- Bancos de algas formados no estuário do Rio Tubarão, Macau, Rio Grande do Norte. (a) Vista parcial de um banco de alga exposto durante a baixa-mar às margens do manguezal. (b) Vista parcial de um banco submerso de macroalgas no Rio Tubarão a 1,5 metros de profundidade</i>	22

CAPÍTULO I

<i>Figura 1 - Espécies de macroalgas estudadas no estuário do Rio Tubarão, Macau, Rio Grande do Norte</i>	35
<i>Figura 2- Desenho esquemático de uma alga ilustrando alguns dos parâmetros analisados para verificar a complexidade estrutural do talo a partir de sua estrutura morfológica</i>	36
<i>Figura 3- Dendrograma da análise de agrupamento utilizando a distância euclidiana para ilustrar a similaridade entre as réplicas de macroalgas estudadas</i>	39
<i>Figura 4 – Análise de Componentes Principais (PCA) para os atributos da arquitetura algal analisados nas espécies macroalgais estudadas</i>	40
<i>Figura 5- Número total de espécies (S) e de indivíduos (N) entre as diferentes espécies macroalgais</i>	41
<i>Figura 6- Valores de riqueza de espécies de Margalef (d) e diversidade de Shannon-Wiener (H') para as assembleias de moluscos presentes nas diferentes espécies macroalgais estudadas</i>	42
<i>Figura 7- Modelo de ordenação multidimensional (NMDS) com relação a composição das assembleias de moluscos associados as diferentes espécies de macroalgas</i>	43
<i>Figura 8- Algumas das espécies mais frequentes e abundantes nas macroalgas estudadas</i>	44

<i>Figura 9- Análise de Distance-based Redundancy Analysis (dbRDA) com relação a arquitetura algal e a abundância das assembleias de moluscos associados as diferentes espécies de macroalgas</i>	45
---	----

CAPÍTULO II

<i>Figura 1 - Estuário do Rio Tubarão, ilustrando o setor amostral de coleta das macroalgas estudadas em Macau, Rio Grande do Norte.....</i>	67
<i>Figura 2- Espécies de macroalgas estudadas no estuário do Rio Tubarão, Macau, Rio Grande do Norte.</i>	67
<i>Figura 3 – Modelo de ordenação multidimensional (NMDS) com relação aos atributos morfológicos de Gracilaria sp. (chuva), Solieria filiformes (seca) e Dictyota 71sp. (seca) estudadas</i>	71
<i>Figura 4- Análise de Componentes Principais (PCA) para os atributos da arquitetura algal analisados nas espécies Gracilaria sp. (chuva), Solieria filiformes (seca) e Dictyota sp. (seca)</i>	72
<i>Figura 5- Abundância dos táxons associados às macroalgas nos período de chuva (Gracilaria sp.) e seca (Dictyota sp. e Solieria filiformes) no Rio Tubarão</i>	73
<i>Figura 6- Modelo de Ordenação Multidimensional (NMDS) com relação à abundância dos táxons de macroinvertebrados associados às macroalgas nos período de chuva (Gracilaria sp.) e seca (Dictyota sp. e Solieria filiformes) no Rio Tubarão.....</i>	73
<i>Figura 7- Análise de Distance-based Redundancy Analysis (dbRDA) com relação a arquitetura algal e a abundância de macroinvertebrados associados a Gracilaria sp. (chuva) e Dictyota sp. e Solieria filiformes (seca) no estuário do Rio Tubarão</i>	74
<i>Figura 8- Número total de espécies (S), número total de indivíduos, riqueza de espécies de Margalef (d) e diversidade de Shannon-Wiener (H') da malacofauna associada a Solieria filiformes nos períodos de seca e chuva</i>	75
<i>Figura 9- Modelo de ordenação multidimensional (NMDS) com relação a composição da malacofauna da macroalga Solieria filiformes, nos períodos estudados</i>	76
<i>Figura 10- Espécies de moluscos mais abundantes no fital de Solieria filiformes, nos períodos de seca e chuva.....</i>	70

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO I

<i>Tabela 1- Atributos algais analisados nas quatro espécies de macroalgas</i>	35
<i>Tabela 2- Valores médios ($\pm DP$) dos atributos morfológicos das macroalgas estudadas</i>	38
<i>Tabela 3- Valores da Dimensão Fractal e número de moluscos (N) por réplica das macroalgas amostradas</i>	39

CAPÍTULO II

<i>Tabela 1- Atributos algais analisados nas três espécies estudadas no Rio Tubarão, Macau, Rio Grande do Norte</i>	68
<i>Tabela 2- Valores médios ($\pm DP$) dos atributos morfológicos das macroalgas estudadas no estuário do Rio Tubarão, Macau, Rio Grande do Norte</i>	70

SUMÁRIO

RESUMO.....	11
ABSTRACT	12
1. INTRODUÇÃO GERAL	13
1.1. <i>Influência da sazonalidade sobre a macrofauna associada a bancos de macroalgas</i>	14
1.2. <i>Influência da complexidade do habitat sobre os moluscos associados a macroalgas</i>	15
2. HIPÓTESES	19
3. OBJETIVOS	19
3.1. <i>Objetivo Geral</i>	19
3.2. <i>Objetivos Específicos</i>	19
4. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO	20
5. ÁREA DE ESTUDO GERAL	20
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	22

CAPÍTULO I Influência da complexidade do habitat sobre a estrutura da comunidade de moluscos associados à macroalgas de um manguezal hipersalino

RESUMO.....	29
ABSTRACT	30
INTRODUÇÃO	31
MATERIAL E MÉTODOS.....	33
<i>Amostragem</i>	33
<i>Caracterização das macroalgas e análise da complexidade estrutural</i>	34
<i>Análises estatísticas</i>	36
RESULTADOS	37
<i>Arquitetura das macroalgas</i>	37
<i>Composição e estrutura das assembleias de moluscos</i>	40
DISCUSSÃO	46
CONCLUSÃO.....	50
REFERÊNCIAS	51
ANEXO I.....	56
ANEXOII.....	58

CAPÍTULO II Influência da sazonalidade e da complexidade do habitat sobre a estrutura da comunidade de macroinvertebrados associados à macroalgas de um manguezal hipersalino, com ênfase nos moluscos

RESUMO	62
ABSTRACT	63
INTRODUÇÃO	64
MATERIAL E MÉTODOS	66
<i>Período amostral</i>	66
<i>Trabalho de campo e laboratório</i>	66
<i>Caracterização das algas estudadas</i>	67
<i>Análises estatísticas</i>	69
RESULTADOS	70
<i>Complexidade estrutural das algas-habitat</i>	70
<i>Influência da sazonalidade e complexidade do habitat sobre a composição e abundância dos táxons de invertebrados marinhos associados à <i>Gracilaria sp.</i>, <i>Solieria filiformes</i> e <i>Dictyota sp.</i></i>	71
<i>Influência da sazonalidade sobre a comunidade de moluscos associados à macroalga <i>Solieria filiformes</i></i>	75
DISCUSSÃO	77
CONCLUSÕES	80
REFERÊNCIAS	81
ANEXO I	84

RESUMO GERAL

Os manguezais apresentam um mosaico composto por diversos habitats e microhabitats, cada um deles com seus níveis de complexidade específicos e ocupados por diferentes tipos de organismos. Nesse contexto, o presente estudo tem por objetivo avaliar o efeito da complexidade do habitat e da sazonalidade na composição e estrutura da macrofauna associada a diferentes espécies de macroalgas com características morfológicas distintas. A pesquisa foi desenvolvida no manguezal hipersalino do Rio Tubarão (5°04'34,87"S; 36°27'32,36"O), município de Macau, litoral setentrional do estado do Rio Grande do Norte, Nordeste do Brasil. No intuito de analisar o efeito da complexidade do habitat em uma escala local de microhabitat e considerando que o manguezal estudado, devido à suas características peculiares de hipersalinidade podem abrigar uma rica fauna e flora, as seguintes perguntas nortearam esta pesquisa: a) As diferentes espécies de algas apresentam graus de complexidade de habitat distintos? b) Algas com características morfológicas diferenciadas suportam comunidades de invertebrados significativamente diferentes? c) Existe uma relação entre a complexidade do habitat oferecido pelas macroalgas e a composição, abundância, riqueza e diversidade de invertebrados participantes de seu fital? d) Existem diferenças entre o padrão de abundância e composição de invertebrados encontrados nas espécies de macroalgas entre os períodos seco e chuvoso? Foram coletados 1.750 indivíduos classificados em cinco taxa: Echinodermata, Amphipoda, Mollusca, Isopoda e Polychaeta, sendo 723 indivíduos encontrados no período chuvoso (associados à *Gracilaria* sp.) e 1.028 no período seco (430 em *Dictyota* sp. e 598 em *S. filiformes*). macroalgas apesar de serem morfológicamente distintas não apresentaram uma fauna de invertebrados significativamente diferente ($p=0,1037$), reforçando assim, que a sazonalidade pode ter influenciado a abundância e composição dos táxons de macroinvertebrados. As diferentes macroalgas apresentaram padrões morfológicos distintos e diferentes graus de complexidade de habitat, onde algas mais complexas abrigaram uma fauna de moluscos mais rica, abundante e diversa. Especificamente no caso dos moluscos, a composição de espécies foi tipicamente marinha, cuja riqueza pode ser considerada alta com relação a outros ambientes de manguezal. Além disso, a malacofauna foi composta predominantemente por micromoluscos, cujos tamanhos quando adultos não ultrapassam os 10 mm, e por indivíduos jovens de espécies que atingem um porte maior. Sugere-se que tanto a complexidade do habitat quanto a sazonalidade afetam a riqueza, diversidade e abundância das comunidades associadas. De um modo geral, as macroalgas marinhas oferecem suporte para uma diversidade de táxons marinhos, sendo habitats fundamentais para o aumento da complexidade estrutural subaquática do ecossistema manguezal.

Palavras-chave: arquitetura algal, complexidade estrutural, heterogeneidade de habitat, invertebrados marinhos, micromoluscos, microhabitats.

GENERAL ABSTRACT

Mangroves have a mosaic of different habitats and microhabitats, each with their specific levels of complexity and occupied by different kinds of organisms. In this context, the present study aimed to assess the effect of habitat complexity and seasonality in the composition and structure of the invertebrate macrofauna associated with macroalgal species with different morphological characteristics. The research was conducted in the hypersaline mangrove of Tubarão River (5°04'34.87"S, 36°27'32.36"W), municipality of Macau, northern coast of the state of Rio Grande do Norte, Northeastern Brazil. Aiming to analyze the effect of habitat complexity on a local microhabitat scale and considering that the studied mangrove, due to their peculiar hypersalinity characteristics may harbor a rich fauna and flora, the following questions guide this research: a) Does the different macroalgae studied have different degree of habitat complexity? b) Macroalgae with different morphological characteristics supports invertebrate communities significantly different? c) Is there a relationship between habitat complexity and the composition, abundance and diversity of the invertebrate community of their phytal? and d) Is there difference between the pattern of abundance and composition of invertebrates found in macroalgal species between the dry and rainy seasons? A total of 1,750 individuals classified into five taxa were collected: Echinodermata, Amphipoda, Mollusca, Isopoda and Polychaeta, with 723 individuals found in the rainy season (associated with *Gracilaria* sp.) and 1,028 in the dry season (430 in *Dictyota* sp. and 598 in *Solieria filiformes*). Macroalgae of the dry period were morphologically distinct, however, the invertebrate fauna were not significantly different ($p=0.1037$), thus reinforcing that seasonality may have influenced the abundance and composition of macroinvertebrate taxa. The different macroalgae showed distinct morphological patterns and different degrees of habitat complexity, where more complex algae harbored a richer, abundant and diverse mollusc fauna. Specifically in the case of molluscs, species composition was typically marine, higher than other mangrove environments. Furthermore, the malacofauna was predominantly composed by micromolluscs, as adults whose sizes do not exceed 10 mm, and young individuals of species that reach a larger size. It is suggested that both habitat complexity as well as seasonality affect the richness, diversity and abundance of associated communities. In general, the marine macroalgae provides support for a variety of marine taxa, and may play an important role in increasing the structural underwater habitat complexity of mangrove systems.

Palavras-chave: algal architecture, structural complexity, habitat heterogeneity, marine invertebrates, micromolluscs, microhabitats.

1. INTRODUÇÃO GERAL

O estudo do habitat possibilita compreender os padrões de distribuição, diversidade e abundância de um conjunto de organismos que coexistem em uma determinada escala espacial (RESETARITS JUNIOR, 2005). Este tipo de estudo compreende uma abordagem ecológica que está preocupada em perceber as interações entre as populações, e os diferentes tipos de habitat, assim como seus diversos valores e serviços prestados a um determinado ecossistema natural, que podem promover ou limitar esta coexistência de espécies (HALL et al., 1997).

A análise das relações entre as características do habitat e as espécies que o ocupam tem sido foco de ampla discussão na Ecologia (GUISAN; ZIMMERMANN, 2000). A definição ecológica de habitat mais largamente difundida consiste em um determinado espaço ocupado por um organismo, que proporciona a este todos os recursos e condições ambientais (temperatura, precipitação, presença e ausência de predadores e competidores) necessários a sua sobrevivência (KRAUSMAN, 1999). Além disso, os ambientes de manguezais apresentam microhabitats que conectam o ecossistema como um todo, dando a este uma maior biocomplexidade (ALONGI, 1987), a exemplo dos bancos de macroalgas.

Os manguezais apresentam um mosaico composto por diversos habitats e micro habitats, cada um deles com seus níveis de complexidade específicos e ocupados por diferentes tipos de organismos (ALONGI, 1987). Esta complexidade de diferentes habitats pode proteger diversas espécies que habitam este tipo de ambiente (MACKENZIE; CORMIER, 2012). Grande parte desses microambientes apresentam uma quantidade significativa de invertebrados marinhos, dentre os quais crustáceos e moluscos são alguns dos grupos mais expressivos numericamente e que desempenham diversos papéis ecológicos fundamentais na manutenção do ecossistema manguezal. Estes táxons formam ligações entre a base da teia alimentar e os consumidores de níveis tróficos mais elevados, desempenham um papel significativo na reciclagem de nutrientes, na construção de galerias e conseqüentemente na aeração do solo, permitindo uma maior penetração da água do mar, tendo assim uma capacidade potencial para mediar a estrutura e produtividade do manguezal (ASHTON et al., 2003).

As macroalgas têm sido consideradas componentes chave nos ecossistemas marinhos, devido a sua capacidade de proporcionar ambientes tridimensionais, aumentando assim a complexidade dos mesmos, proporcionando um aumento da riqueza

e diversidade de espécies, e um aumento da coexistência entre as mesmas (KOVALENKO et al., 2012).

Além disso, estes ambientes suportam uma gama de organismos associados como algas epífitas e animais sésseis ou móveis, incluindo a meiofauna, macroinvertebrados e peixes (CHRISTIE et al., 2009). Estes organismos utilizam estas algas como refúgio contra estresses físicos, proteção contra predadores e fonte de alimento. Muitos deles possuem o seu próprio ciclo de vida associado aos ciclos sazonais das algas (DEAN; CONNELL, 1987). Ainda, segundo Bégin et al. (2004), as macroalgas podem produzir substâncias químicas capazes de induzir a colonização de muitos invertebrados, no entanto estes organismos podem desenvolver adaptações capazes de driblar esta inibição, o que faz com que eles não deixem de colonizar a alga em questão. Este fato mostra que além dos fatores da estrutura do habitat, muitas vezes as variações sazonais, podem influenciar a abundância e diversidade dos indivíduos que vivem associados as macroalgas, já que muitos apresentam uma relação de interdependência com as mesmas.

1.1. Influência da sazonalidade sobre a macrofauna associada a bancos de macroalgas

As comunidades de macroalgas têm como características ecológicas fundamentais as mudanças temporais que incluem a sucessão e sazonalidade (NODA et al., 2003), sabendo-se que os indivíduos associados as estas algas também sofrem estas influências. Dessa forma, nos ambientes marinhos e estuarinos, as algas desempenhando um importante papel na estruturação de comunidades e coexistência de muitas espécies (BULLERI et al., 2002).

Os bancos de macroalgas têm sido estudados no mundo todo devido a sua importância para vários tipos de ecossistema, incluindo os estuarinos, já que elas proveem suporte para uma grande diversidade de organismos. Dentre os indivíduos associados às macroalgas estão muitas espécies de invertebrados bentônicos e peixes carnívoros e herbívoros, importantes na estruturação e dinâmica do ecossistema marinho (ANTITI et al., 2013). Estes organismos, na maioria das vezes, utilizam o espaço das algas apenas como microhabitat, porém algumas táxons herbívoros, podem se alimentar das epífitas que vivem aderidas as algas, que caracterizam um importante componente alimentar dessas espécies, principalmente dos moluscos. No caso dos carnívoros, por exemplo, eles se alimentam de espécies presentes em seus talos algais, que também servem como habitat

suporte. Existem ainda aquelas espécies que possuem seus próprios ciclos de vida associados com o ciclo da macroalga (JENSEN, 1997).

Percebe-se que ao contrário de habitats intertidais em climas temperados e subtropicais, manguezais tropicais são submetidos a sazonalidade distinta no que diz respeito à precipitação. Tipicamente, os manguezais tropicais recebem poucos meses de ocorrência de chuva seguidos por vários meses de tempo seco (ALONGI, 1987). Os efeitos sazonais causados por estes períodos ainda são pouco estudados no que diz respeito a comunidade fital.

Mais especificamente na região nordeste do Brasil, observa-se dois períodos sazonais bem distintos, sendo ele o período chuvoso entre junho e setembro, e o período seco com maior duração, geralmente de outubro a maio.

No Brasil, alguns estudos abordaram o efeito da sazonalidade sobre a fauna associada a macroalgas, especialmente em praias rochosas (e.g. LEITE; TURRA, 2003; LEITE et al., 2009). Leite e Turra (2003) observaram variação marcante na densidade média de diversos táxons associados à bancos de *Sargassum*. Esta variação foi registrada para todos os grupos faunísticos associados (e.g. Gammaridea, Caprellidea e Polychaeta), no entanto, alguns táxons isoladamente, a exemplo dos Brachyura não mostraram um padrão temporal evidente, indicando que os diferentes táxons respondem de forma diferenciada aos fatores sazonais. De acordo com Edgar (1983a), as variações temporais das populações no fital podem ser causadas pela sazonalidade não apenas do substrato-algal, mas também pela sazonalidade na sua atividade reprodutiva e recrutamento. Para o fital de manguezais, este tema é ainda mais carente de estudos.

1.2. Influência da complexidade do habitat sobre os moluscos associados a macroalgas

Tendo em vista essa evidente importância das macroalgas como habitat para diversos táxons animais, inclusive os moluscos, muitos estudos em escala mundial têm focado esse tema. No entanto estudos que abordam a questão da complexidade do habitat e como ela afeta estas comunidades são escassos (e.g. HACKER; STENECK, 1990; CONNOLLY, 1997; DA ROCHA et al., 2006; CACABELOS et al., 2010). Especificamente no caso da malacofauna, alguns dos estudos pioneiros foram publicados por Warmke e Almodovar (1963), no qual fornecem um levantamento das espécies de moluscos associadas a 25 espécies de macroalgas em Porto Rico, região do Caribe, e Duffus (1969), que também forneceu um inventário dos moluscos presentes em diversas

espécies de macroalgas na Ilha Canária de Lanzarote, Espanha. Outro estudo pioneiro que merece destaque foi o de Edgar (1983b), que estudou a composição e organização espacial da comunidade fital associada a 23 espécies de macroalgas marinhas do sudeste da Tasmânia.

Dentre os estudos mais recentes, podem ser destacados o de Azevedo (1992), que estudou a fauna de moluscos em algas nas quatro estações do ano na Ilha de São Miguel, Açores, Portugal. Outro trabalho realizado também na Ilha de São Miguel foi feito por Costa e Ávila (2001), que estudaram a estrutura da comunidade de moluscos associados espécies de *Halopteris* em sete locais do infralitoral da ilha. O estudo de Chemello e Milazzo (2002) avaliou o efeito da arquitetura de seis espécies de algas sobre a riqueza, diversidade e estrutura da assembléia de moluscos associada na Ilha de Lampedusa, Itália. Rueda e Salas (2002), na Espanha, estudaram a variação sazonal de comunidades de moluscos que vivem na macroalga *Caulerpa prolifera*. Kelaher et al. (2003) investigaram o efeito da estrutura física de algas coralinas sobre comunidades de gastrópodes associados em diferentes alturas de maré em um costão rochoso perto de Sydney, Austrália.

Ainda com relação aos estudos em escala mundial acerca da influência da complexidade do habitat sobre os padrões de diversidade da macrofauna associada a algas podemos citar trabalhos como os de Kohn e Leviten (1976), realizado na Austrália, que avaliou a influência da complexidade do habitat sobre a densidade populacional de um gastrópode do gênero *Conus*; Dean e Connell (1987) avaliaram a relação entre o desenvolvimento da alga e sua complexidade com a diversidade de invertebrados marinhos associados a elas; Cyr e Downin (1988) estudaram a relação entre a estrutura de bancos de macroalgas, incluindo a densidade das macroalgas, qualidade do sedimento e outros fatores como a composição de macroinvertebrados participantes do seu fital, e Hacker e Steneck (1990), examinaram o efeito da arquitetura do habitat na abundância de anfípodes em bancos de macroalgas. Constatou-se que na maioria deles é demonstrada uma relação entre a complexidade do habitat e um aumento nos padrões de diversidade riqueza e abundância de indivíduos associados, além desse microambiente ser considerado fundamental dentro dos ecossistema, nos quais eles estão inseridos.

Beck (1998) avaliou como a comunidade de moluscos responde a habitats com diferentes complexidades estruturais através de experimentos realizados em manguezais e praias rochosas, enquanto Hauser et al. (2006) também avaliaram o efeito da complexidade do habitat sobre a abundância e diversidade de macroinvertebrados

bentônicos associados a uma espécie de macroalga. Na costa da Galícia (Espanha), Cacabelos et al. (2010) avaliaram o efeito da complexidade do habitat de duas espécies de macroalgas marrons com morfologias distintas sobre assembléias epifaunais, e Gestoso et al. (2012), compararam o efeito da morfologia de duas espécies de macroalgas do gênero *Sargassum* sobre as comunidades de gastrópodes e anfípodes participantes de eu fital.

Para a costa brasileira, estudos que avaliem a importância de frondes algais e a influência de sua complexidade estrutural sobre assembléias de táxons invertebrados ainda são escassos, embora se observe que estas pesquisas começaram a despontar no foco de alguns estudos. Os trabalhos clássicos de Masunari e Forneris (1981), Masunari (1987) e Masunari (1988), realizados na Baía de Todos os Santos, Bahia, configuram-se como os primeiros estudos voltados ao conhecimento de comunidades fitais, este último, mais focado na associação entre uma espécie de gastrópode e algas calcárias. Subsequentemente, outros estudos publicados abordaram o uso de macroalgas por táxons invertebrados, a exemplo de Leite e Turra (2003), que descreveram a variação na biomassa da alga marrom do gênero *Sargassum* e sua relação com a densidade da fauna associada; Da Rocha et al. (2006), que analisaram a comunidade de nematódeos e a estrutura física de três macroalgas marinhas; e Leite et al. (2009), que analisaram as variações sazonais na composição e biomassa de gastrópodes associados a espécie de macroalga *Caulerpa racemosa* em praias com diferentes graus de hidrodinamismo.

Para o Nordeste brasileiro destacam-se os estudos de Santos e Correia (1995), que inventariaram fauna associada ao fital da alga calcária *Halimeda opuntia* no recife de Ponta Verde, Maceió, Alagoas, e Venekey et al. (2008), que investigaram a distribuição espaço-temporal da meiofauna associada à macroalga *Sargassum polyceratum* no Nordeste brasileiro. Para a Paraíba temos apenas o estudo de Batista et al. (2009), que teve como objetivos, caracterizar e comparar a estrutura e a dinâmica populacional do caranguejo *Microphrys bicornutus* associado a *Halimeda opuntia* dos recifes de Picãozinho e São Gonçalo, litoral central de João Pessoa, Paraíba.

De um modo geral, a riqueza de macroalgas associadas aos habitats estuarinos é baixa, (cerca de 14 a 16 espécies típicas) sendo composta por espécies do grupo “Bostrychietum”, formado pelos gêneros *Bostrychia*, *Caloglossa*, *Catenella*, *Cladophoropsis*, *Rhizoclonium* e *Bloodleopsis* (OLIVEIRA, 1984). Devido à necessidade de um substrato duro para sua fixação, nos ambientes de manguezais, as macroalgas ocorrem predominantemente associadas aos pneumatóforos e raízes escoras das plantas

de mangue (FONTES et al., 2007). Esta baixa riqueza de espécies de macroalgas comum dos manguezais pode estar associada a vários fatores, como por exemplo, as constantes variações de salinidade, exposição a altas temperaturas e períodos sem água devido ao regime de marés, alta incidência luminosa, entre outros. Todos estes fatores aliados limitam a ocorrência de diversas espécies não adaptadas a sobreviver nestas condições (FONTES et al., 2007).

No entanto, diferente de outras áreas de manguezal do nordeste brasileiro, o presente estudo foi desenvolvido em áreas de manguezal com características peculiares, pois de acordo com Lucena (2012), suportam expressiva riqueza e diversidade de macroalgas. A exemplo do que já foi observado em estudos ao redor do mundo, macroalgas de manguezais são utilizadas por diversos táxons, em especial pelos moluscos, e, no entanto, pouco se sabe sobre a importância desses ambientes através de estudos com enfoque de microescala para a estruturação da malacofauna neste ecossistema tão ameaçado globalmente.

Os manguezais estudados enquadram-se nas categorias de manguezais hipersalinos, tendo em vista que apresentam alto grau de salinidade (chegando a 51), e apresentam um gradiente inverso de salinidade, a qual aumenta à montante, ao contrário do que ocorre em estuários típicos ou positivos (SAVENIJE, 2005). No manguezal foco desta pesquisa, conforme descrição de Lucena (2012), as macroalgas ocorrem em alta biomassa e diversidade no leito do estuário, nos locais conhecidos como canais e camboas. Esta situação é bastante peculiar, não sendo comum nos manguezais típicos do litoral brasileiro.

Nesse sentido, o presente estudo visa avaliar o efeito da complexidade do habitat e da sazonalidade sobre a comunidade de macroinvertebrados marinhos associados a diferentes espécies de algas em manguezais hipersalinos. Além disso, visa analisar especificamente, a composição e estrutura das comunidades de moluscos associadas às macroalgas, e como a complexidade do habitat pode influenciar estes indivíduos. No intuito de analisar o efeito da complexidade do habitat em uma escala local de microhabitat e da sazonalidade ambiental sobre os bancos de macroalgas, e considerando que os manguezais estudados, devido à suas características peculiares podem abrigar uma rica fauna e flora, as seguintes perguntas nortearam este estudo:

1. As diferentes espécies de algas apresentam graus de complexidade de habitat distintos?

2. Existe uma relação entre a complexidade do habitat oferecido pelas macroalgas e a composição, abundância, riqueza e diversidade de moluscos participantes de seu fital?
3. Existem diferenças entre o padrão de abundância, riqueza e diversidade de invertebrados encontrados nas espécies de macroalgas quando relacionados com a sazonalidade?

2. HIPÓTESES

Considerando as perguntas norteadoras desta pesquisa, foram formuladas as seguintes hipóteses:

Em relação à Pergunta 1:

H: As diferentes espécies de algas estudadas possuem graus de complexidade de habitat distintos.

Em relação à Pergunta 2:

H: A complexidade do habitat ofertado pelas macroalgas influencia a composição, diversidade, riqueza e abundância moluscos participantes de seu fital.

Em relação à Pergunta 3:

H: Existem diferenças nos padrões de composição e abundância da macrofauna de invertebrados associada as macroalgas do rio hipersalino estudado entre os períodos de seca e chuva.

3. OBJETIVOS

3.1 – Objetivo Geral

Avaliar o efeito da complexidade do habitat e da sazonalidade sobre a estrutura da comunidade de macroinvertebrados associados a diferentes espécies de macroalgas que habitam um estuário hipersalino no litoral setentrional do estado do Rio Grande do Norte, nordeste do Brasil, com ênfase nos moluscos.

3.2 – Objetivos Específicos

- a) Avaliar a influência da sazonalidade sobre a abundância, riqueza e diversidade de táxons invertebrados associados a duas espécies de macroalgas de um manguezal hipersalino;
- b) Inventariar e caracterizar a estrutura da comunidade de moluscos associadas a 4 diferentes espécies de macroalgas de manguezais;
- c) Verificar se existe influência da complexidade do habitat sobre a composição, diversidade, riqueza e abundância de moluscos do fital de macroalgas de um manguezal hipersalino.

4. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

O trabalho final de dissertação está organizado em dois capítulos, a saber:

- (1) **Capítulo 1** – Influência da complexidade do habitat sobre a estrutura da comunidade de moluscos associados à macroalgas de um manguezal hipersalino.
- (2) **Capítulo 2** – Influência da sazonalidade e da complexidade do habitat sobre a estrutura da comunidade de macroinvertebrados associados à macroalgas de um manguezal hipersalino, com ênfase nos moluscos.

5. ÁREA DE ESTUDO GERAL

Os dados apresentados nos dois capítulos propostos foram obtidos no manguezal do Rio Tubarão (5°04'34,87"S; 36°27'32,36"O), localizado no município de Macau, litoral setentrional do estado do Rio Grande do Norte, Nordeste do Brasil (Fig. 1). O estuário encontra-se margeado por manguezais que incluem espécies de mangue tais como *Rhizophora mangle*, *Avicennia* spp. e *Laguncularia racemosa* (DIAS et al., 2007).

O Rio Tubarão está inserido em uma região caracterizada pelo clima semiárido, com altas taxas de evaporação e baixo índice pluviométrico (IDEMA 2004). A precipitação média anual é baixa, geralmente em torno dos 400 mm. Ao longo de todo o ano de 2012, por exemplo, a precipitação anual foi de 225 mm de chuva (média de 18,75 mm/mês), com pico no mês de fevereiro (INMET, 2013) O sistema estuarino apresenta

salinidade elevada (variando entre 35 e 50) (DIAS, 2006). Além disso, os níveis de salinidade tendem a aumentar à montante e diminuir à medida que aumenta a proximidade com o mar, o que caracteriza estes ambientes como estuários inversos de acordo com a classificação apresentada por Savenije (2005).

De acordo com o Ministério do Meio Ambiente (2002), a região é de importância biológica muito alta, embora sua biodiversidade ainda seja insuficientemente conhecida. O Rio Tubarão está inserido em uma Unidade de Conservação Estadual, a Reserva de Desenvolvimento Sustentável (RDS) Ponta do Tubarão, criada pela lei estadual N^o. 8.349 de 18 de julho de 2003 (RIO GRANDE DO NORTE, 2003) onde a pesca artesanal predomina como fonte de renda das comunidades humanas situadas às margens do sistema estuarino.

A área ainda apresenta manguezais visualmente bem preservados, embora diversas atividades econômicas que geram impactos negativos estejam estabelecidas em seu entorno, a exemplo a exploração petrolífera, produção de sal marinho em tanques de evaporação e carcinicultura.

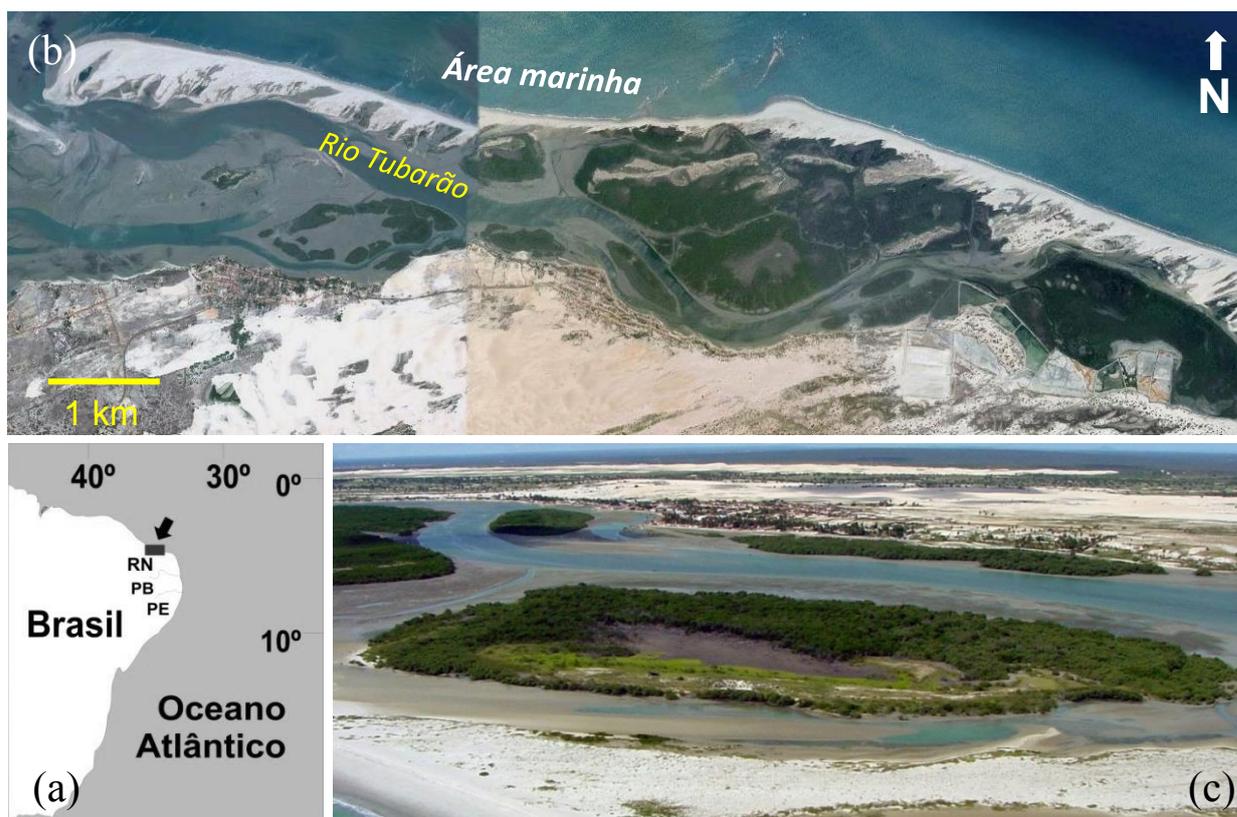


Figura 1. Estuário do Rio Tubarão. (a) Localização da área de estudo no litoral setentrional do Rio Grande do Norte. (b) Imagem de satélite ilustrando toda a extensão do Rio Tubarão. (c) Vista parcial do Rio Tubarão durante a maré baixa. Ao fundo a comunidade de Diogo Lopes. Imagem: Google Earth. Foto: Getúlio Moura © 2002.

De acordo com Lucena (2012), pelo menos 91 espécies macroalgais ocorrem no sistema estuarino do Rio Tubarão, as quais chegam a formar densos bancos visíveis nas marés baixas em alguns trechos do rio (Fig. 2). Segundo este autor, as macroalgas colonizam as raízes de mangue (escoras e pneumatóforos), margens e leito do rio, exibindo um padrão sazonal de composição e abundância para algumas espécies. Este autor enfatiza que embora as algas tipicamente encontradas em manguezais estejam presentes nas raízes de mangue no Rio Tubarão, o leito dos canais principais apresenta uma alta heterogeneidade de macroalgas, dentre as quais *Gracilaria domingensis* e a *Gracilaria* sp. são as mais dominantes.

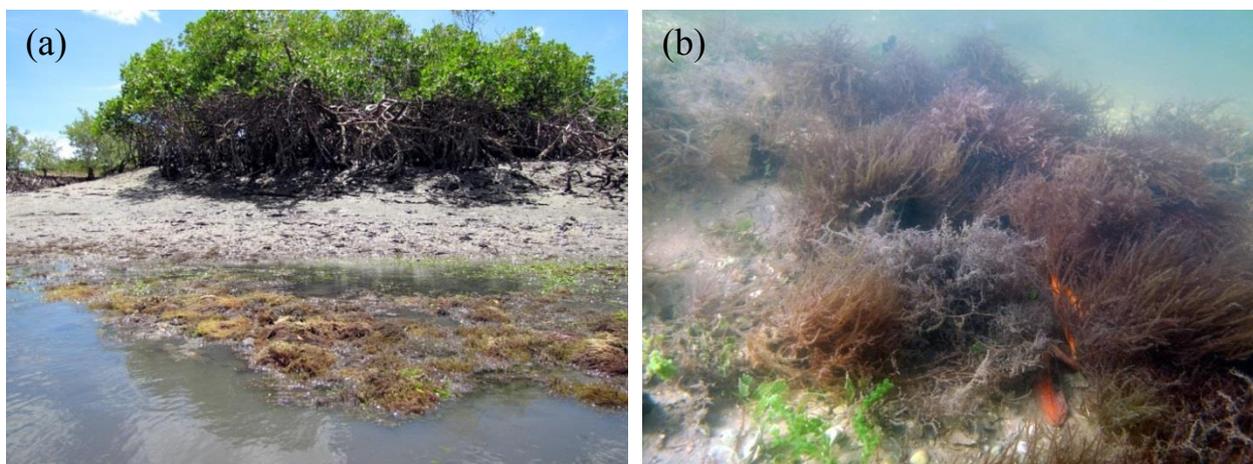


Figura 2. Bancos de algas formados no estuário do Rio Tubarão, Macau, Rio Grande do Norte. (a) Vista parcial de um banco de alga exposto durante a baixa-mar às margens do manguezal. (b) Vista parcial de um banco submerso de macroalgas no Rio Tubarão a 1,5 metros de profundidade. Fotos: Thelma Dias © 2012.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALONGI, D.M. Intertidal zonation and seasonality of meiobenthos in tropical mangroves estuaries. **Marine Biology**, n. 95, p. 447-458, 1987.

ANTITI, M, et al. Temporal variation of the algae-associated molluscan assemblage of artificial substrata in the Bay of Tunis (Tunisia). **Mediterranean Marine Science**, v. 14, n. 2, p. 390-402, 2013.

ASHTON, E. C.; MACINTOSH, D. J.; HOGARTH P. J. A baseline study of the diversity and community ecology of crab and molluscan macrofauna in the Sematan mangrove forest, Sarawak, Malaysia. **Journal of Tropical Ecology**, v. 19, p. 127-142, 2003.

AZEVEDO, J. M. N. Algae-associated marine mollusks in the Azores. **Biological Journal of the Linnean Society**, v. 46, p. 177-187, 1992.

BATISTA, J. B.; LEONEL, R. M. V.; COSTA, M. A. J. Características populacionais de *Microphrys bicornutus* (Brachyura: Mithracidae) no fital *Halimeda opuntia* (Chlorophyta, Halimedaceae), em área recifal submetida à visitação humana, em João Pessoa, Paraíba. **Iheringia**, Série Zoologia, v. 99, n. 1, p. 44-52, 2009.

BECK, M. W. Comparison of the measurement and effects of habitat structure on gastropods in rocky intertidal and mangrove habitats. **Marine Ecology Progress Series**, v. 169, p. 165-178, 1998.

BÉGIN, C.; JOHNSON, L.E; HIMMELMAN, J.H. Macroalgal canopies: distribution and diversity of associated invertebrates and effects on the recruitment and growth of mussels. **Marine Ecology Progress Series**, v. 271, n.1, p. 121-132, 2004.

BULLERI F. Facilitation research in marine systems: state of the art, emerging patterns and insights for future developments. **Journal of Ecology**, n. 97, p. 1121–1130, 2009.

CACABELOS, E. et al. Effects of habitat structure and tidal height on epifaunal assemblages associated with macroalgae. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 89, p. 43-52, 2010.

CHEMELLO, R.; MILAZZO, M. Effect of algal architecture on associated fauna: some evidence from phytal mollusks. **Marine Biology**, v. 140, p. 981-990, 2002.

CHRISTIE, H.; NORDERHAUG, K. M.; FREDRIKSEN, S. Macrophytes as habitat for fauna. **Marine Ecology Progress Series**, v. 396, p. 221-233, 2009.

CONNOLLY, R. M. Differences in composition of small, motile invertebrate assemblages from seagrass and unvegetated habitats in a southern Australian estuary, **Hydrobiologia**, v. 346, p. 137–148, 1997.

COSTA, A.C.; ÁVILA, S.P. Macrobenthic mollusc fauna inhabiting *Halopteris* spp. subtidal fronds in São Miguel Island, Azores. **Scientia Marina**, v. 65, n. 2, p. 117-126, 2001.

CYR, H; DOWNING, J. A. Empirical relationships of phytomacrofaunal abundance to plant biomass and macrophyte bed characteristics. **Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences**, v. 45, p. 32-40, 1988.

DA ROCHA, C.M.C.; VENEKEY, V.; BEZERRA, T.N.C.; SOUZA J.R.B. Phytal marine nematode assemblages and their relation with the macrophyte structural complexity in a Brazilian tropical rocky beach. **Hydrobiologia**, v. 553, p. 219-230, 2006.

DEAN, R. L.; CONNELL, J. H. Marine invertebrates in an algal succession. III. Mechanisms linking habitat complexity with diversity. **Journal of Experimental Marine Biology and Ecology**, v. 109, p. 249-273, 1987.

DIAS, T.L.P. **Os peixes, a pesca e os Pescadores da Reserva de Desenvolvimento Sustentável Ponta do Tubarão (Macau-Guamaré/RN)**. Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Ciências Biológicas (Zoologia). Universidade Federal da Paraíba. 168p, 2006.

DIAS, T.L.P.; ROSA, R.S.; DAMASCENO, L.C.P. Aspectos socioeconômicos, percepção ambiental e perspectivas das mulheres marisqueiras da Reserva de Desenvolvimento Sustentável Ponta do Tubarão (Rio Grande do Norte, Brasil). **Gaia Scientífica**, v.1, n.1, p. 25-33, 2007.

DUFFUS, J. H. Associations of marine Mollusca and benthic algae in the Canary Island of Lanzarote. **Proceedings of the Malacological Society of London**, v. 38, p. 343-349, 1969.

EDGAR, G. J. The ecology of southeast Tasmanian phytal animal communities. I. Spatial organization on a local scale. **Journal of Experimental Marine Biology and Ecology**, v. 70, p. 129-157, 1983.

EDGAR, G. J. The ecology of South-east Tasmanian phytal animal communities. II. Seasonal change in plant and animal populations. **Journal of Experimental Marine Biology and Ecology**, v. 70, p. 159-179, 1983.

FONTES, K. A. A.; PEREIRA, S. M. B.; ZICKEL, C. S. Macroalgas do “Bostrychietum” aderido em pneumatóforos de duas áreas de manguezal do Estado de Pernambuco, Brasil. **Iheringia, Série Botânica**, v. 62, n. 1-2, p. 31-38, 2007.

GESTOSO, I.; OLABARRIA, C.; TRONCOSO J. S. Effects of macroalgal identity on epifaunal assemblages: native species *versus* the invasive species *Sargassum muticum*. **Helgoland Marine Research**, v. 66, n. 2, p. 159-166, 2012.

GUISAN, A.; ZIMMERMANN, N. E. Predictive habitat distribution models in ecology. **Ecological Modelling**, v. 135, p. 147-186, 2000.

HACKER, S. D.; STENECK, R. S. Habitat architecture and the abundance and body-size-dependent habitat selection of a phytal amphipod. **Ecology**, v. 71, n. 6, p. 2269-2285, 1990.

HALL, S. L.; KRAUSMAN, R. P.; MORRISSON, L. M. The habitat concept and a plea for standard terminology. **Wildlife Society Bulletin**, v. 25, n. 1, p. 167-182, 1997.

HAUSER, A.; ATTRILL, M. J.; COTTON, P. A. Effects of habitat complexity on the diversity and abundance of macrofauna colonizing artificial kelp holdfasts. **Marine Ecology Progress Series**, v. 325, p. 93-100, 2006.

IDEMA. **Mapeamento geoambiental da Reserva de Desenvolvimento Sustentável Ponta do Tubarão**. Relatório Técnico, Natal, Brasil. 2004.

INMET. Instituto Nacional de Meteorologia. Acessado em Agosto de 2013. <http://www.inmet.gov.br/portal/>

KELAHHER, B. P. Changes in habitat complexity negatively affect diverse gastropod assemblages in coralline algal turf. **Oecologia**, v. 135, p. 431-441, 2003.

KOHN, A. J.; LEVITEN, P. J. Effect of habitat complexity on population density and species richness in tropical intertidal predatory gastropod assemblages. **Oecologia**, v. 25, p. 199-210, 1976.

KOVALENKO, K. E.; THOMAZ, S. M.; WARFE, D. M. Habitat complexity: approaches and future directions. **Hydrobiologia**, v. 685, p. 1-17, 2012.

KRAUSMAN, P.R. Some basic principles of habitat use. In Launchbaugh, K.L., Sander, K.D. and Mosley, J.C., editors, Grazing behavior of livestock and wildlife, University of Idaho Forest, **Wildlife and Range Experimental Station Bulletin**, v. 70, p. 85-90. 1999.

JENSEN, K.R. Evolution of the Saccoglossa (Mollusca, Opisthobranchia) and the ecological associations with their food plants, **Evolutionary Ecology**, v.11, p. 301-335, 1997.

LEITE, F. P. P.; TAMBOURGI, M. R. S.; CUNHA, C. M. Gastropods associated with the green seaweed *Caulerpa racemosa*, on two beaches of the Northern coast of the state of São Paulo, Brazil. **Strombus**, v. 16, n. 1-2, p.1-10, Jan./Dez., 2009.

LEITE, F. P. P.; TURRA, A. Temporal variation in *Sargassum* Biomass, *Hypnea* epiphytism and associated fauna. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v. 46, n. 4, p. 665-671, 2003.

LUCENA, L. A. F. **Estrutura e composição de macroalgas de manguezais hipersalinos do Rio Grande do Norte, Brasil: diversidade e suas correlações com as variáveis ambientais.** Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Conservação. Universidade Estadual da Paraíba. 141p, 2012.

MACKENZIE, R.A.; CORMIER, N. Stand structure nekton community composition and provides protection from natural disturbance in Micronesian mangroves. **Hydrobiologia**, v. 685, p. 155-171, 2012.

MMA – Ministério do Meio Ambiente. Avaliação e ações prioritárias para a conservação da biodiversidade costeira e marinha brasileira. MMA/SPF, Brasília, 2002.

MASUNARI, S. **Ecologia das comunidades fitais.** In 1º Simpósio sobre ecossistemas da costa sul e sudeste brasileira-síntese dos conhecimentos. Academia de Ciências do Estado de São Paulo, Cananéia, p. 195-253, 1987.

MASUNARI, S. Organismos do fital *Amphiroa beauvoisii*. I. Autoecologia. **Boletim de Zoologia da USP**, v. 7, p. 57-148, 1988.

MASUNARI, S.; FORNERIS, L. **O Ecossistema Fital – Uma Revisão.** Seminários de Biologia Marinha, Academia Brasileira de Ciências, Rio de Janeiro, p. 149-172, 1981.

NODA, T.; MINAMIURA, N.; MIYAMOTO, Y. Seasonal changes in an intertidal annual algal assemblage in northern Japan: The role of pre-emption and grazing on algal replacement. **Ecological Research**, n. 18, p. 695-709, 2003.

OLIVEIRA, E. Brazilian mangal vegetation with special emphasis on the seaweeds. In: Por, F. D; Dor, I. (Org.). **Hydrobiology of the Mangal.** The Hague: W. Junk, v. 16, p. 56-65, 1984.

RIO GRANDE DO NORTE. Lei Estadual N°. 8.349 de 18 de Julho de 2003. Cria a Reserva de Desenvolvimento Sustentável Ponta do Tubarão e dá outras providências.

RESETARITS JUNIOR, W. J. Habitat selection behavior links local and regional scales in aquatic systems. **Ecology Letters**, n. 8, p. 480-486, 2005.

RUEDA, J. L.; SALAS, C. Seasonal variation of a molluscan assemblage living in a *Caulerpa prolifera* meadow within the inner Bay of Cádiz (SW Spain). **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 57, p. 909-918, 2002.

SANTOS, C. G.; CORREIA, M. D. Fauna associada ao fital *Halimeda opuntia* (Linnaeus) *Lamouroux* (Chlorophyta) do Recife da Ponta Verde, Maceió, Alagoas, Brasil. **Revista Brasileira de Zoologia**, v. 12, n. 2, p. 263-271, 1995.

SAVENIJE, H. H. G. **Salinity and tides in alluvial estuaries**. Elsevier Science, 194 p., 2005.

VEREKEY, V.; FONSECA-GENEVOIS, V. V. da; ROCHA, C. M. C. da; SANTOS, P., J. P. Distribuição espaço-temporal da meiofauna em *Sargassum polyceratum* Montagne (Fucales, Sargassaceae) de um costão rochoso do Nordeste do Brasil. **Atlântica**, Rio Grande, v. 30, n. 1, p. 53-67, 2008.

WARMKE, G. L.; ALMODOVAR, L. R. Some associations of marine molluscs and algae in Puerto Rico. **Malacologia**, v. 1, n. 2, p. 163-177, 1963.

CAPÍTULO I

Manuscrito a ser submetido ao periódico *Marine Biology*

**Influência da complexidade do habitat sobre a estrutura da
comunidade de moluscos associados à macroalgas de um manguezal
hipersalino**

Rafaela Cristina de Souza Duarte & Thelma Lúcia Pereira Dias

Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Conservação, Universidade Estadual da Paraíba,
Laboratório de Biologia Marinha, CCBS, Departamento de Biologia, Rua das Baraúnas, 351,
Bairro Universitário, Campina Grande, PB, 58109-753, Brasil.

Resumo

O controle e regulação da diversidade e abundância de espécies em um determinado habitat têm sido uma das questões fundamentais na Ecologia. A complexidade ou heterogeneidade do habitat influencia a distribuição de espécies, tendo em vista que ambientes estruturalmente mais complexos apresentam conseqüentemente uma maior oferta de diferentes tipos de microhabitats e nichos, permitindo assim a coexistência de muitas espécies e proporcionando uma maior diversidade dentro do referido habitat. Nesse contexto, o presente estudo buscou avaliar o efeito da arquitetura algal sobre a fauna de moluscos no estuário hipersalino do rio Tubarão (5°04'34,87"S; 36°27'32,36"O), localizado no município de Macau, litoral do estado do Rio Grande do Norte. Para realizar a comparação entre a composição da assembleia de moluscos de quatro espécies de algas diferentes (*Solieria filiformes*, *Gracilaria cearensis*, *Dictyota* sp. e *Gracilaria* sp), e relacioná-la com sua biocomplexidade, foram coletadas sete réplicas de cada alga, através de mergulho livre (snorkeling) e/ou autônomo. A complexidade estrutural das macroalgas foi medida a partir da análise de diferentes atributos morfológicos do talo e por meio da análise da Dimensão Fractal. As diferentes macroalgas apresentaram diferentes padrões morfológicos (Pseudo- $F_{1,12,27}=6,6741$; $p=0,001$) e diferentes graus de complexidade de habitat ($F_{(1,4)}=9,6150$, $p=0,02$). A heterogenia apresentada pelas macroalgas oferta um ambiente propício à colonização de uma rica malacofauna, perfazendo um total de 1.006 indivíduos e 90 espécies. A composição de espécies de moluscos associados às macroalgas estudadas revelou uma assembleia tipicamente marinha, cuja riqueza pode ser considerada alta com relação a outros ambientes de manguezal. Além disso, a malacofauna foi composta predominantemente por micromoluscos, cujos tamanhos quando adultos não ultrapassam os 10 mm, e por indivíduos jovens de espécies que atingem um porte maior. Observou-se ainda que as algas com maiores valores de complexidade de habitat (*Solieria filiformes* e *Gracilaria cearensis*) apresentaram um maior número de indivíduos, riqueza e diversidade. Por tudo isto, afirmamos que a complexidade do habitat afeta positivamente a riqueza, diversidade e abundância das comunidades associadas, já que as algas consideradas mais complexas apresentaram valores altos para estes descritores ecológicos. Os bancos de macroalgas são componentes-chave na estruturação do ecossistema manguezal, sendo sua conservação importante ferramenta para manejo dos habitats e da biota residente neste tipo de ambiente.

Palavras-chave: arquitetura algal, heterogeneidade do habitat, malacofauna, dimensão fractal, conservação.

Abstract

The control and regulation of the diversity and abundance of species in a given habitat are one of the fundamental issues in Ecology. The complexity or diversity of habitat influences the distribution of species, considering that structurally more complex environments therefore have a greater range of different microhabitats and niches, thus allowing the coexistence of many species and providing a greater diversity within the above habitat. In this context, the present study aimed to evaluate the effect of algal architecture on the molluscan fauna in the hypersaline Tubarão river estuary (5°04'34,87"S, 36°27'32,36"W), located in the city of Macau, northern most coast of the state of Rio Grande do Norte, Northeastern Brazil. To make a comparison between the composition of the molluscan assemblage in four different algae species (*Solieria filiformes*, *Gracilaria cearensis*, *Dictyota* sp. and *Gracilaria* sp.), and relate it to their biocomplexity, seven replicate of each algae were randomly collected by snorkeling diving or with SCUBA. The associated molluscan fauna were identified to the lowest possible taxonomic level, using the literature and when necessary with the help of specialists. The structural complexity of macroalgae was measured from the analysis of different morphological attributes of the fronds and through the analysis of the fractal dimension. The different macroalgae showed different morphological patterns (Pseudo- $F_{1,12,27}=6.6741$; $p=0.001$) and different degrees of habitat complexity ($F_{(1,4)}= 9.6150$, $p=0.02$). The heterogeneity shown by macroalgae offer a suitable environment to the colonization of a rich molluscan fauna. The composition of associated mollusc species revealed typically marine assemblage, whose richness can be considered high relative to other mangrove environments. Furthermore, the malacofauna was predominantly composed by micromolluscs, which sizes do not exceed 10 mm when adults and young individuals of the species that reaches a larger size. It was also observed that algae with higher habitat complexity (*Solieria filiformes* and *Gracilaria cearensis*) had a greater abundance and diversity. Thus, we infer that habitat complexity positively affects the richness, diversity and abundance of associated communities, since more complex algae harbor more rich, diverse and abundant molluscan assemblage. So, macroalgae banks are key components in structuring the mangrove ecosystem, and its important conservation tool for management of habitats and biota residing in this biotope.

Keywords: algal architecture, habitat heterogeneity, malacofauna, fractal dimension, conservation.

Introdução

O conceito de complexidade do habitat compreende um conjunto de diferentes tipos de elementos estruturais como textura, formato ou estruturas superficiais que fornecem recursos distintos para os seres que ocupam aquele determinado habitat (Tokeshi e Arakaki 2012). Esta complexidade pode ser definida como heterogeneidade do substrato, complexidade topográfica ou arquitetura do habitat.

A complexidade ou heterogeneidade do habitat influencia a distribuição de espécies, além de ser essencial para a coexistência entre elas, tendo em vista que ambientes estruturalmente mais complexos apresentam conseqüentemente uma maior oferta de diferentes tipos de micro-habitats e nichos, permitindo assim a coexistência de muitas espécies e proporcionando uma maior diversidade dentro do referido habitat (Kostylev et al. 2005). Fato observado em diversos estudos em escala mundial (e.g. Dean & Connel 1987; Kelaher e Castilla 2005; Matias et al. 2010; Matias 2013).

De acordo com Hauser et al. (2006), o controle e regulação da diversidade e abundância de espécies em um determinado habitat, tem sido uma das questões fundamentais na Ecologia. Tews et al. (2004) fizeram uma revisão de vários estudos com diferentes organismos para demonstrar a relação positiva entre a complexidade do habitat e o aumento na diversidade e abundância das espécies que o ocupam. Neste estudo o autor elenca diversos estudos que verificaram esta relação com diferentes grupos de organismos como artrópodes (e.g. Haslett 1997; Brose 2003); pássaros (e.g. Thiollay 1990; Poulsen 2002); mamíferos (e.g. Southwell et al. 1999); anfíbios (e.g. Atauri & Lucio 2001) e répteis (e.g. Pianka 1967).

No entanto, de acordo com Kovalenko et al. (2011), uma das falhas observadas nos estudos sobre complexidade de habitat refere-se à dificuldade de se padronizar medidas universais para mensurar as variáveis que atuam na determinação desta complexidade. Uma análise puramente qualitativa dessa complexidade não parece ser suficiente para explicar os padrões associados a estes ambientes, esta pode ser complementada através da utilização do conceito de dimensão fractal, para perceber a influência desta complexidade na estruturação de assembleias e os processos ecológicos envolvidos com as mesmas. A dimensão fractal tem sido utilizada na realização de muitos trabalhos (e.g. Li 2000; Schimid 2000; Halley et al. 2004; Frost et al. 2005), porém poucos deles aplicados a ambientes aquáticos (eg. Thomaz et al. 2008; Thomaz & Cunha 2010).

Em escalas espaciais menores, alguns estudos também tem revelado o importante papel da complexidade de habitat na estruturação e no funcionamento dos sistemas aquáticos e particularmente na sua relação com o aumento da abundância e diversidade de organismos. Por exemplo, Edgar (1983) demonstrou a influência da estrutura algal no tamanho corporal de grupos participantes da comunidade fital, enfocando principalmente os anfípodes, poliquetas, moluscos, sua abundância e diversidade com a complexidade estrutural das algas e também até que ponto as variações sazonais e variáveis ambientais podem afetar estes padrões. Downes et al. (1998) constataram a influência da complexidade do habitat, em substratos consolidados na riqueza de invertebrados marinhos, e seu tamanho corporal por meio da realização de um experimento com substratos artificiais com diferentes níveis de complexidade, avaliando a colonização de macroinvertebrados nesses diferentes ambientes, constatando que os substratos com maior cobertura algal e uma maior quantidade de refúgios obtiveram uma maior abundância destes organismos.

Taniguchi e Tokeshi (2004) constataram que o tamanho corporal de invertebrados bentônicos tendeu a diminuir com a complexidade fractal, indicando assim que a disponibilidade de refúgios como fendas e reentrâncias no substrato podem afetar o uso do habitat por animais bentônicos de diferentes tamanhos. De acordo com Chemello & Milazzo (2002), a fauna de moluscos apresentou maior diversidade e abundância em algas com maior grau de complexidade estrutural. Ainda segundo estes autores, a arquitetura algal mais complexa promove variações na disponibilidade de alimento e nas taxas de predação e estes fatores por sua vez, influenciam a estrutura das comunidades de moluscos.

No Brasil, Thomaz et al. (2008) obtiveram resultados indicando uma relação positiva entre a complexidade do habitat fornecido pelas diferentes arquiteturas de macrófitas aquáticas sobre a abundância e riqueza de invertebrados associados a elas em lagoas tropicais. Para Leite et al. (2009) a presença e distribuição dos gastrópodes dependem da estrutura e morfologia das algas e das condições de habitat que eles fornecem.

Quando falamos em ecossistemas marinhos podemos elencar uma gama de habitats consideramos heterogêneos, como, por exemplo, os prados de fanerógamas marinhas, os bancos de algas além de uma gama de substratos consolidados (Tokeshi e Arakaki 2012).

Na visão de alguns autores (eg. Mann e Lazier 1992; Thomaz et al. 2008; Kovalenko et al. 2011) o ambiente aquático é tido como ideal para realização de pesquisas relacionadas a complexidade de habitat, já que nele a estrutura física do habitat é crucial para o estabelecimento e ou mobilidade de organismos e para a disponibilidade de partículas alimentares. De qualquer forma, uma ampla gama de estudos corrobora no sentido de constar

a importância do estudo da complexidade de habitat e de comprovar a influência que o habitat exerce sobre as comunidades associadas.

Apesar dessa evidente importância das macroalgas como habitat para a macrofauna, pode-se observar poucos estudos que enfoquem a influência da complexidade do habitat na diversidade, abundância e composição de espécies de moluscos que utilizam o habitat macroalgal (e.g. Azevedo 1992; Chemello e Milazzo 2002; Kelaher 2003). Parte desta deficiência de estudos pode estar relacionada à ausência de métodos padronizados para se mensurar a complexidade das algas, e assim tentar compreender as possíveis relações entre os componentes seus componentes estruturais e a abundância e distribuição dos indivíduos que as utilizam como habitat (Tews et al. 2004). Dessa forma, destaca-se a importância do desenvolvimento de mais estudos sobre este tema, e que enfoquem novas metodologias para se avaliar o fator de complexidade e estruturação de habitats marinho.

Nesse sentido, este estudo visa avaliar e quantificar a influência da complexidade do habitat sobre a composição, abundância, riqueza e diversidade da comunidade de moluscos associada a quatro diferentes espécies de macroalgas partindo do pressuposto de que elas apresentam morfologias distintas. Por ser realizado em um estuário hipersalino, pretende-se fornecer dados inéditos sobre a fauna de moluscos presente nestes habitats pouco conhecidos quanto à sua biodiversidade e ao mesmo tempo responder as seguintes perguntas: (a) As quatro espécies de macroalgas estudadas diferem quanto à complexidade estrutural do talo? (b) A composição, riqueza, diversidade e abundância de espécies de moluscos difere entre macroalgas com complexidade de habitat diferente?

Material e Métodos

Amostragem

O presente estudo envolveu um tipo de amostragem ao acaso, quando qualquer área do local estudado tem igual probabilidade de ser amostrada e, conseqüentemente, todos os indivíduos da população têm igual probabilidade de serem selecionados para a amostra.

Para realizar a comparação entre a composição da comunidade de moluscos de quatro espécies de algas diferentes, e relacioná-la com a complexidade ofertada pelas macroalgas, foi adota um padrão de amostragem compostos por sete replicações sendo cada espécie de macroalga considerada uma amostra.

Foram definidas quatro espécies de macroalgas visualmente distintas e de cada uma delas foram coletadas sete réplicas, através de mergulho livre (snorkeling) e/ou autônomo. As espécies amostradas eram as mais abundantes visualmente no mês de junho de 2012.

Cada talo foi coletado manualmente, tomando-se o cuidado de remover a alga a partir de sua base de fixação no substrato lamacento. Os talos coletados foram imediatamente envoltos em sacos plásticos contendo água do ambiente a fim de evitar o escape de indivíduos. Tomou-se cuidado também para não coletar sedimento do substrato no momento de remoção da alga, pois o sedimento abriga uma fauna diferente. Antes de serem fixadas, as algas foram lavadas em peneira de bentos com malha de 250 e 500 μ m para remoção do excesso de sedimento sem que houvesse perda da macrofauna. Em laboratório, as algas foram fixadas e conservadas em formalina a 4%.

Cada amostra algal foi colocada em bandeja plástica contendo água doce para remoção dos moluscos, feita com o auxílio de pinças. Utilizou-se microscópio estereoscópio para garantir a melhor visualização de espécimes menores do que 1 mm. Em seguida as espécies de moluscos encontradas foram conservadas em álcool a 70%. A malacofauna associada foi identificada até o menor nível taxonômico possível, utilizando-se a literatura especializada (eg. Tunnell Jr. et al. 2010; Mikkelsen e Bieler 2008; Rios 2009) e quando necessário com auxílio de especialistas. A nomenclatura dos moluscos seguiu Rosenberg (2009). As macroalgas foram identificadas por especialistas.

Caracterização das macroalgas e análise da complexidade estrutural

As quatro espécies de macroalgas analisadas foram: *Solieria filiformes*, *Gracilaria cearensis*, *Dictyota* sp. e *Gracilaria* sp. (Fig. 1) A complexidade estrutural das macroalgas foi medida a partir da análise de diferentes atributos morfológicos do talo seguindo Edgar (1983) e Chemello e Milazzo (2002) (Tab. 1; Fig. 2;). Foi obtido também o **peso úmido da alga (PUA)**, referente ao peso algal após a remoção do excesso de água (30 minutos em peneira e 20 minutos sobre papel toalha) presente nas frondes.

Além disso, todas as réplicas das quatro espécies de macroalgas foram fotografadas e as fotografias analisadas através do programa Fractop v.3 (Jelinek et al. 2003), sendo a partir delas gerado um valor para cada réplica de Dimensão Fractal (D), que trata-se de um cálculo geométrico utilizado para explicar formas encontradas na natureza que não podem ser enquadrados nos moldes da matemática convencional. Para isso, é necessária uma matemática especial que os explique e caracterize denominada Matemática dos Fractais (Demirhan 1999).



Figura 1. Espécies de macroalgas estudadas no estuário do Rio Tubarão, Macau, Rio Grande do Norte. (a) *Solieria filiformes*, (b) *Gracilaria cearenses*, (c) *Gracilaria* sp. e (d) *Dictyota* sp. Fotos: Thelma Dias © 2012.

Tabela 1. Atributos algais analisados nas quatro espécies estudadas no Rio Tubarão, Macau, Rio Grande do Norte.

Código	Atributo	Descrição
AA (mm)	Altura algal	Medida da macroalga desde a base até o topo.
LA (mm)	Largura algal	Medida do tamanho do talo de uma extremidade lateral a outra da fronde.
GR (cmm)	Grau de ramificação	Contagem das ramificações a partir do ramo inicial (base) até à última ramificação, sendo os primeiros ramos classificados como de primeira ordem, e à medida que se dividem a ordem é aumentada em um.
LT (mm)	Largura do talo	Medida que considera a espessura do eixo principal da alga em três níveis (inferior (LTNV1), intermediário (LTNV2) e superior (LTNV3), ao longo de sua altura).
NR (Σ)	Número de ramos	Contabiliza o número de ramos emergentes, contados em três níveis (inferior, intermediário e superior) a partir do eixo basal.

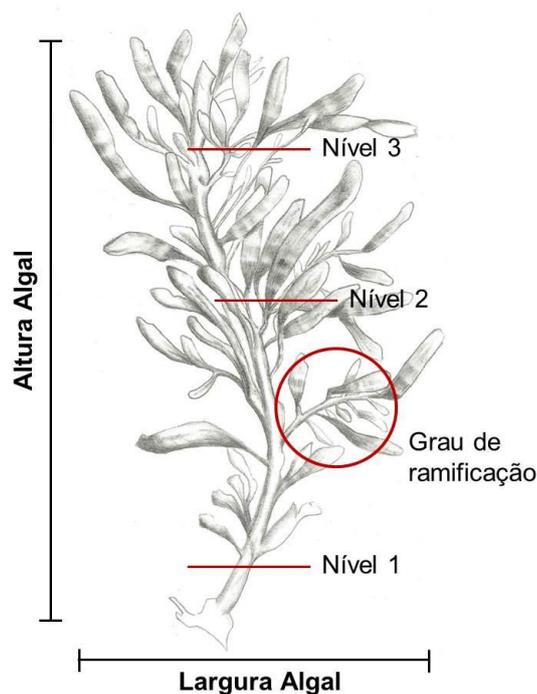


Figura 2. Desenho esquemático de uma alga ilustrando alguns dos parâmetros analisados para verificar a complexidade estrutural do talo a partir de sua estrutura morfológica. Ilustração: Gita Juan © 2013.

Para demonstrar a complexidade do habitat ofertado pelas espécies de algas foi calculado um valor de complexidade do habitat (C_d), por meio da seguinte equação:

$$C_d = \sum_{i=1}^n D_i N_i$$

Onde C_d é a complexidade de habitat, D a dimensão fractal de cada réplica, N a abundância das espécies de moluscos e n o número de réplicas de cada macroalga estudada.

Análises estatísticas

Para analisar a estrutura da comunidade de moluscos associados às diferentes espécies de algas foram calculados os seguintes descritores ecológicos: número de espécies (S), abundância total de indivíduos (N), diversidade Shannon-Wiener (H'), riqueza de Margalef (d) Equitabilidade de Pielou, por meio da rotina Diverse. Além da frequência de ocorrência percentual (FO%).

Para verificar se existem diferenças entre os atributos morfológicos das diferentes espécies algais e entre sua assembleia de moluscos com relação à abundância foi realizado um teste de PERMANOVA, através do teste principal com 9999 permutações de Monte Carlo após transformação dos dados em $\log(x+1)$ e emprego da similaridade de Bray-Curtis. Análise de percentagem de similaridade (SIMPER) foi empregada para examinar a contribuição de cada táxon com a similaridade entre as algas. Por fim, para verificar a relação das variáveis morfométricas estudadas com as espécies de macroalgas, foi empregada Análise de Componentes Principais (PCA), para mostrar o agrupamento entre as macroalgas a partir de seus atributos morfológicos e a influência destes na semelhança entre as macroalgas.

Para constatar a diferença na complexidade entre as macroalgas, foi empregada uma PERMANOVA. A fim de relacionar os atributos morfológicos das algas com a assembleia de moluscos, demonstrando qual a relação entre eles, foi empregada uma análise de dbRDA (Distance-based Redundancy Analysis). As análises estatísticas foram realizadas através dos Softwares Primer 6.0 & Permaova.

Resultados

Arquitetura das macroalgas

Observou-se que as algas apresentaram arquiteturas do talo bem distintas. Com relação ao atributo da altura da macroalga (AA), a *Gracilaria* sp. foi a alga que apresentou o maior valor médio (205.00 mm), seguida de *Solieria filiformes* (191.42 mm), *Gracilaria cearensis* e *Dictyota* sp., ambas com 147.90 mm. No que se refere à largura do talo, observou-se que *S. filiformes* obteve a maior média (17.0 mm), seguida por *G. cearensis* (15.28 mm), *Gracilaria* sp. (14.35 mm) e *Dictyota* sp. (14.28 mm). A macroalga com o padrão de ramificação (GR) mais elevado foi *G. cearensis* (média = 65,71), com talos algais que variaram entre 8ª a 11ª ordem. Em contrapartida, a macroalga com menor grau de ramificação foi *Dictyota* sp. (média = 23,57), cujos talos algais variaram entre ramificações de 5ª a 10ª ordem.

Com relação à largura do talo (LT) em três níveis (N1, N2 e N3), constatou-se que a macroalga *Gracilaria* sp. apresentou o maior valor somando-se os três níveis (9.06), seguido de *Dictyota* sp. (4.23), *S. filiformes* (2.48) e *G. cearensis* com o menor valor (1.84). Quanto ao número de ramos (NR), também observado em três níveis, a alga com maior valor foi *G. cearensis* (21.71), seguida de *S. filiformes* (11.07), *Dictyota* sp. (10.31) e *Gracilaria* sp. (8.32).

Quando se verificou o peso úmido (PU), a fim de detectar a macroalga com maior superfície, observou-se que a espécie *S. filiformes* apresentou o maior valor (95,04 g), seguida por *G. cearensis* (85.36 g), *Gracilaria* sp. (74.17 g) e *Dictyota* sp. (14.14 g). Os valores dos atributos morfológicos para cada macroalga estão demonstrados na Tabela 2.

Tabela 2. Valores médios (\pm DP) dos atributos morfológicos das macroalgas estudadas no estuário do Rio Tubarão, Macau, Rio Grande do Norte. Códigos dos atributos na tabela 1.

Atributos analisados	<i>Solieria filiformes</i>	<i>Gracilaria cearensis</i>	<i>Dictyota</i> sp.	<i>Gracilaria</i> sp.
AA (mm)	191.42 \pm 38.70	147.90 \pm 23.20	147.90 \pm 23.20	205.00 \pm 48.70
LA (mm)	170.70 \pm 51.30	152.85 \pm 16.00	142.90 \pm 32.90	126.40 \pm 58.60
GR Σ	24.71 \pm 11.57	65.71 \pm 15.29	23.56 \pm 22.00	27.00 \pm 7.90
LTNV1(mm)	0.66 \pm 0.66	0.75 \pm 0.32	0.69 \pm 0.40	2.14 \pm 1.47
LTNV2(mm)	1.13 \pm 0.90	0.70 \pm 0.5	2.74 \pm 1.80	3.91 \pm 2.10
LTNV3(mm)	0.95 \pm 0.90	0.40 \pm 0.20	1.40 \pm 1.0	3.01 \pm 1.60
NRNVR1(mm)	3.28 \pm 0.50	3.70 \pm 1.00	2.90 \pm 1.10	2.60 \pm 0.50
NRNVR2(mm)	4.14 \pm 0.37	12.28 \pm 3.14	4.71 \pm 2.69	3.85 \pm 0.73
NRNVR3(mm)	4.42 \pm 0.53	6.85 \pm 3.75	2.71 \pm 0.71	1.85 \pm 0.37
Peso úmido (g)	95.04 \pm 52.59	85.36 \pm 54.58	14.14 \pm 6.40	74.17 \pm 31.01

Através do teste de PERMANOVA, constatou-se que as diferentes espécies de macroalgas apresentaram graus de complexidade do habitat diferentes (Pseudo $F_{(1,4)} = 9,6150$; $p = 0,02$). Sendo *G. cearensis* a alga mais complexa ($Cd = 529.86$), seguida de *S. filiformes* ($Cd = 615.78$), *Gracilaria* sp. ($Cd = 359.6$) e *Dictyota* sp. ($Cd = 50.88$), esta última, sendo considerada a menos complexa (Tab. 2).

Através da análise de PERMANOVA foi observado que as algas se distinguem com relação aos seus atributos morfológicos (Pseudo- $F_{1,12,27} = 6,6741$; $p = 0,001$).

Com a análise de agrupamento, percebe-se uma aproximação maior na distribuição das réplicas das algas *Solieria filiformes* e *Gracilaria cearensis*. Na comparação entre os atributos morfológicos percebemos com um nível de corte de 85%, a formação de três grupos: o primeiro, formado por todas as réplicas das macroalgas *S. filiformes* e *G. cearensis* e uma réplica de *Dictyota* sp. que apresentou um grau de ramificação semelhante às primeiras. O segundo grupo é formado por todas as réplicas da macroalga *Gracilaria* sp. uma réplica de *S. filiformes* e o último grupo é formado por todas as réplicas de *Dictyota* sp., com exceção da réplica 1 (Fig. 4).

Tabela 3. Valores da Dimensão Fractal e número de moluscos (N) por réplica das macroalgas amostradas no estuário do Rio Tubarão, Macau, Rio Grande do Norte.

<i>Solieria filiformes</i>			<i>Gracilaria cearensis</i>			<i>Dictyota sp.</i>			<i>Gracilaria sp.</i>		
RE	N	D	RE	N	D	RE	N	D	RE	N	D
1	16	1.36	1	75	1.28	1	0	1.45	1	80	1.27
2	24	2.35	2	42	2.11	2	1	1.30	2	46	1.18
3	36	1.24	3	75	1.42	3	3	1.17	3	24	1.19
4	24	1.83	4	54	1.79	4	5	1.48	4	61	1.06
5	22	3.57	5	30	1.52	5	3	0.87	5	48	1.82
6	72	1.22	6	34	1.75	6	3	1.88	6	10	1.53
7	103	1.95	7	77	1.60	7	18	1.69	7	16	1.99
Cd = 529.86			Cd = 615.78			Cd = 50.88			Cd = 359.6		

*RE=Réplica; *N= Número de indivíduos de Mollusca; *D=Dimensão Fractal;

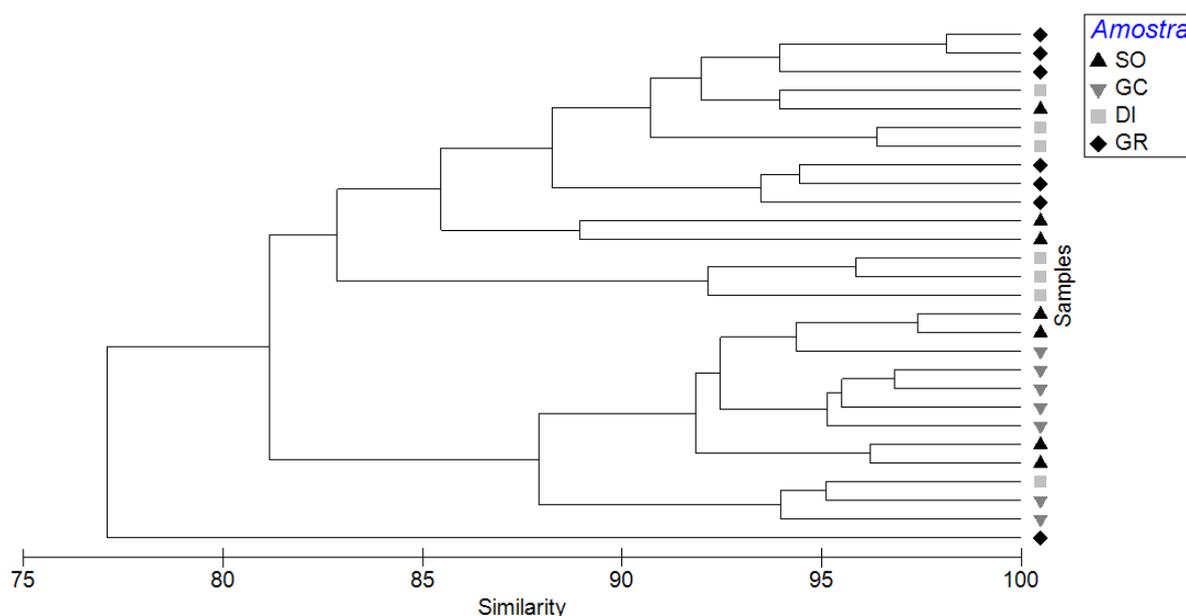


Figura 3. Dendrograma da análise de agrupamento utilizando a distância euclidiana para ilustrar a similaridade entre as réplicas de macroalgas estudadas no Rio Tubarão, Macau, Rio Grande do Norte. Legenda: SO = *Solieria filiformes*, GC = *Gracilaria cearensis*, DI = *Dictyota sp.* e GR = *Gracilaria sp.*

A análise de componentes principais (PCA) mostra que as macroalgas *S. filiformes* e *G. cearensis*, foram agrupadas principalmente pelos atributos morfológicos de largura (LA), grau de ramificação (GR) e número de ramos (NR). Os dois principais eixos (1 e 2) explicaram a variação total de 72,7%. O agrupamento formado pelas réplicas de *Gracilaria sp.* foi influenciado pelas variáveis largura do talo (LT) e altura (AA), no entanto, o agrupamento da espécie *Dictyota sp.* não foi influenciado pelas variáveis morfológicas devido aos seus baixos

valores. A variável peso úmido (PU), por outro lado, influenciou apenas as réplicas 1 e 3 da espécie *Gracilaria* sp. e a réplica 5 da espécie *S. filiformes*, deixando-as, por isso, mais próximas (Fig. 4).

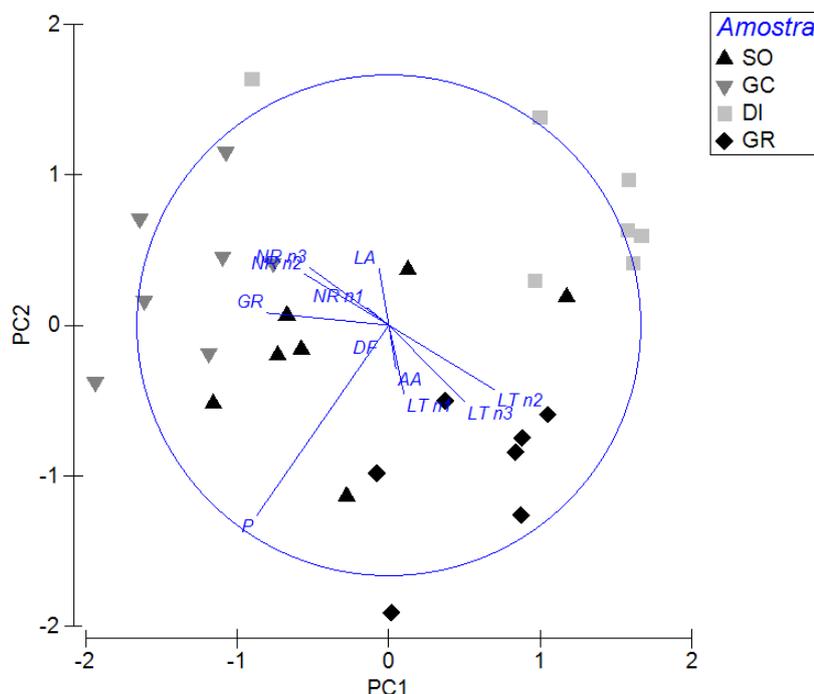


Figura 4. Análise de Componentes Principais (PCA) para os atributos da arquitetura algal analisados nas espécies macroalgas estudadas no estuário do Rio Tubarão, Macau, Rio Grande do Norte. Legenda: AA = altura algal, LT = largura do talo, Peso= Peso, GR= grau de ramificação, LA= Largura algal e NR= número de ramos. SO = *Solieria filiformes*, GC = *Gracilaria cearensis*, DI = *Dictyota* sp. e GR = *Gracilaria* sp.

Composição e estrutura das assembleias de moluscos

Foi encontrado um total de 1.006 espécimes associados às frondes de macroalgas analisadas, pertencentes a 90 espécies e 44 famílias (Anexo I). Destas, 59 espécies são gastrópodes e 31 bivalves. Pyramidellidae foi a família de Gastropoda com maior número de espécies (13 espécies). Dentre os bivalves Tellinidae foi a família mais especiosa, com 8 espécies (Anexo I).

Através da PERMANOVA observou-se que as algas se diferenciam em termos de abundância (Pseudo- $F_{3,22,25}=2.6088$; $p=0,001$) e riqueza (Pseudo- $F_{3,22,25}=23.878$; $p=0,001$) de moluscos. Com relação às espécies de moluscos registradas, *S. filiformes* foi a alga que

abrigou o maior número de espécies ($S = 64$ spp.), enquanto *Dictyota* sp. apresentou a malacofauna menos rica em número de espécies ($S = 8$ spp.) (Fig. 6a). A macroalga *Gracilaria cearensis* foi a que abrigou maior número de indivíduos ($N=384$ indivíduos), seguida por *S. filiformes* ($N= 304$ indivíduos), *Gracilaria* sp. ($N= 286$ indivíduos) (Fig. 5b).

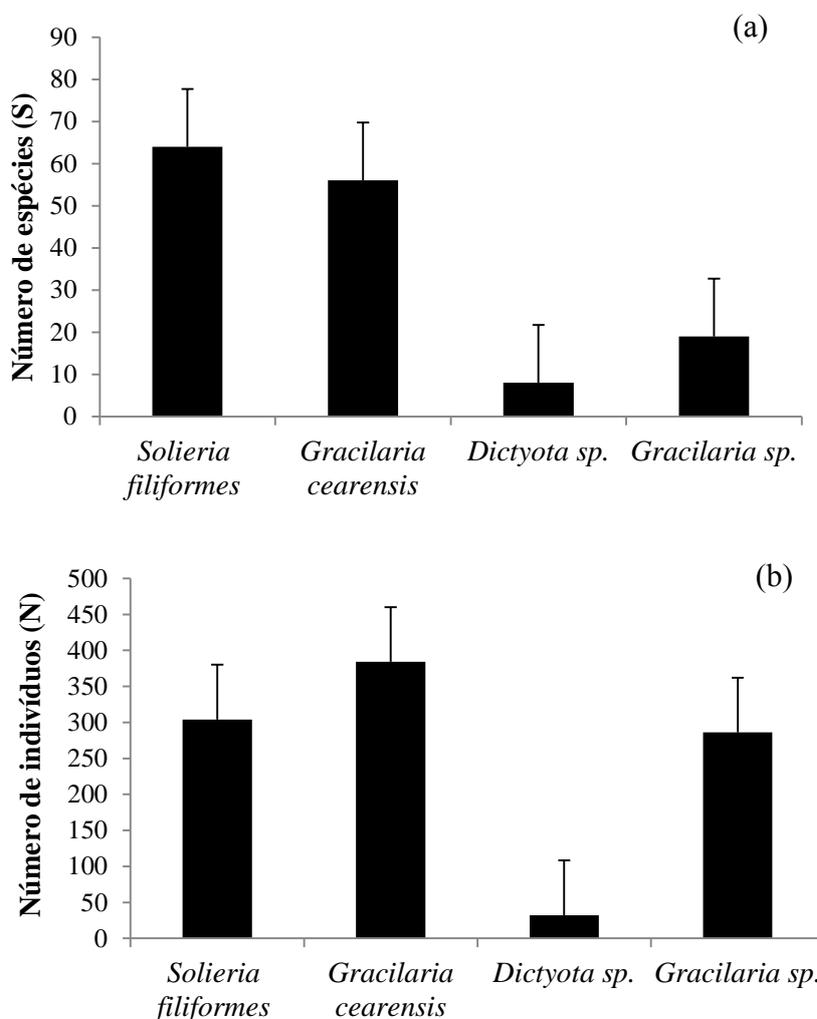


Figura 5. (a) número total de espécies (S) e (b) Número total de indivíduos (N) com as barras de erro entre as diferentes espécies macroalgais estudadas no estuário do Rio Tubarão, Macau, Rio Grande do Norte.

Analisando os descritores ecológicos calculados, observamos que tanto a riqueza de Margalef quanto a diversidade de Shannon-Wiener para as assembleias de moluscos foi maior na alga *S. filiformes* ($d = 3,419$; $H' = 11,02$), seguida por *G. cearensis* ($d=3,097$; $H' = 9,243$) (Fig. 7). A análise de escalonamento Multidimensional não métrico (Valor do Stress = 0,13) mostrou um agrupamento formado entre as réplicas das três espécies de algas *G. cearensis*, *S.*

filiformes e *Gracilaria* sp., demonstrando a semelhança com relação a composição da assembleia de moluscos presentes em seu fital, do mesmo modo que as réplicas de *Dictyota* sp. se distanciaram devido a discrepante diferenciação na composição da comunidade de moluscos, refletida também na baixa riqueza e abundância de indivíduos nesta última espécie macroalgal (Fig. 6).

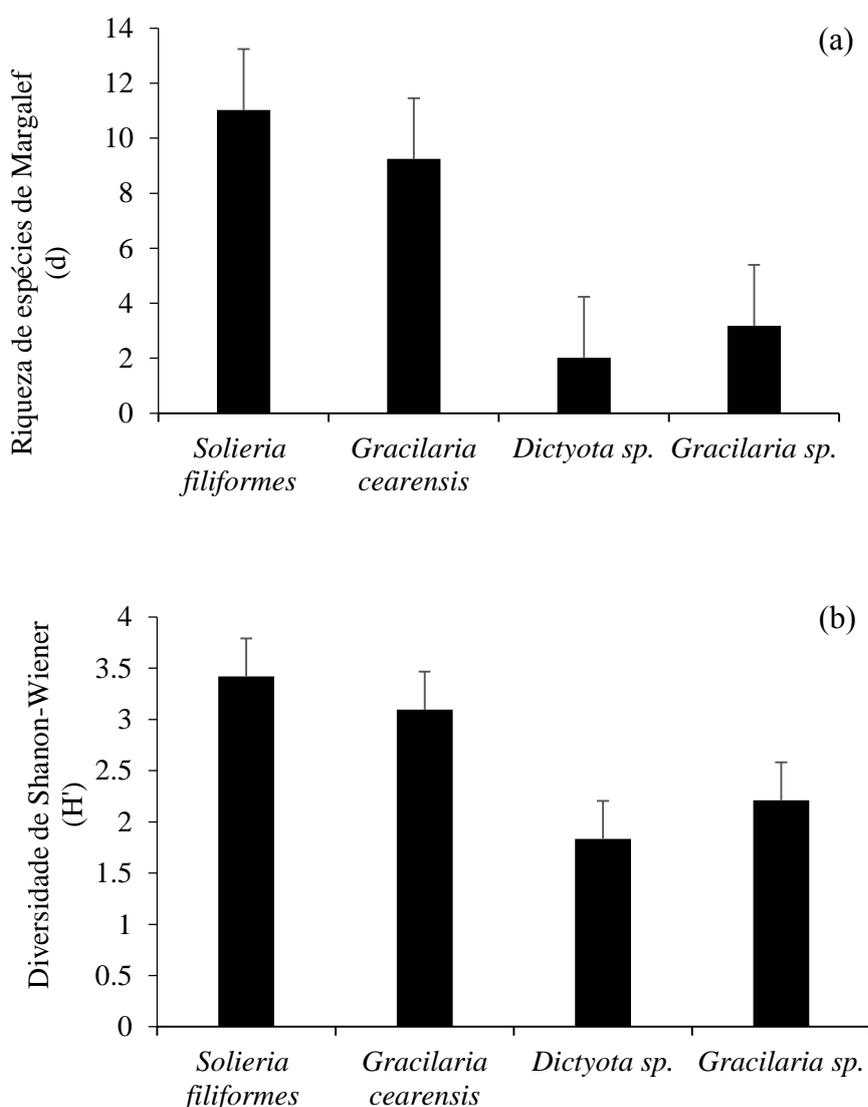


Figura 6. (a) Valores da riqueza de espécies de Margalef (d) e (b) diversidade de Shannon-Wiener (H') com as barras de erros para as assembleias de moluscos presentes nas diferentes espécies macroalgais estudadas no estuário do Rio Tubarão, Macau, Rio Grande do Norte.

Quatro espécies de moluscos gastrópodes ocorreram em todas as espécies de algas estudadas, são elas: *Parvanachis obesa* (Fig. 9a), *Marshallora nigrocincta*, *Alaba incerta* (Fig. 9b) e *Bittium varium* (Fig. 9c). Dentre os bivalves apenas *Lioberus castanea* (Fig. 9d) e *Leptopecten bavayi* (Fig. 9e) apresentaram 100% de frequência de ocorrência (Anexo II).

Analisando as macroalgas separadamente, os gastrópodes *Neritina virginea* (Fig. 9f) e *Schwartzziella catesbyana* (Fig. 9g) foram os mais frequentes associados a macroalga *Solieria filiformes*, ambas com frequência de ocorrência de 85,71%.

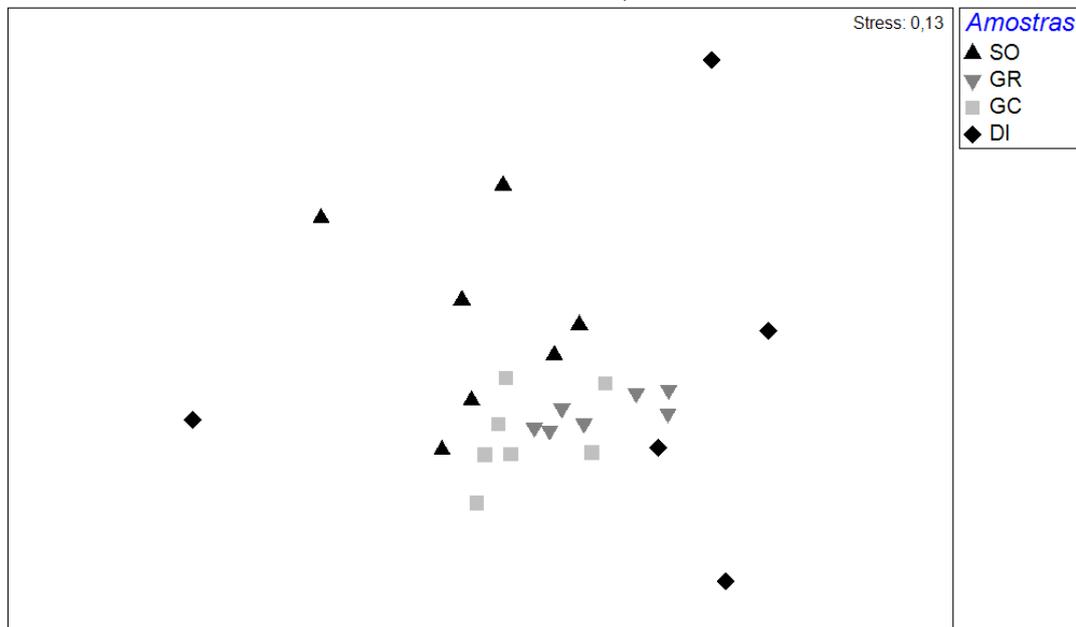


Figura 7. Modelo de ordenação multidimensional (NMDS) com relação a composição das assembleias de moluscos associadas às diferentes espécies de macroalgas no estuário do Rio Tubarão, Macau, Rio Grande do Norte. Legenda: SO = *Solieria filiformes*, GC = *Gracilaria cearensis*, DI = *Dictyota* sp. e GR = *Gracilaria* sp.

O gastrópode de pequeno porte, *Parvanachis obesa* também foi muito frequente nas frondes de *S. filiformes* (FO = 71,2%) (Anexo II). Dentre os bivalves, *Anomalocardia brasiliiana* foi a espécie com maior frequência de ocorrência (FO = 71,42%).

Com relação à macroalga *G. cearensis*, *P. obesa* obteve a frequência de ocorrência de 100%, seguida por *N. virginea*, *B. varium*, *Boonea jadisi* (Fig. 8i) e *Alaba incerta* com 85,71% cada uma delas. A espécie de bivalve com maior frequência de ocorrência também foi *A. brasiliiana* representando 71,42 %.

Para a macroalga *Dictyota* sp., as espécies com maior frequência de ocorrência foram *Alaba incerta*, *B. varium*, *M. nigrocincta* e *P. obesa*. Por último, relacionando os valores de frequência de ocorrência da macroalga *Gracilaria* sp., percebemos que *Parvanachis obesa* obteve a frequência de ocorrência de 100%, seguida de *Schwartzziella catesbyana*, *Eulithidium affine* (Fig. 8j), *Bitiollum varium* e *Alaba incerta* com 71,42% (Anexo II).

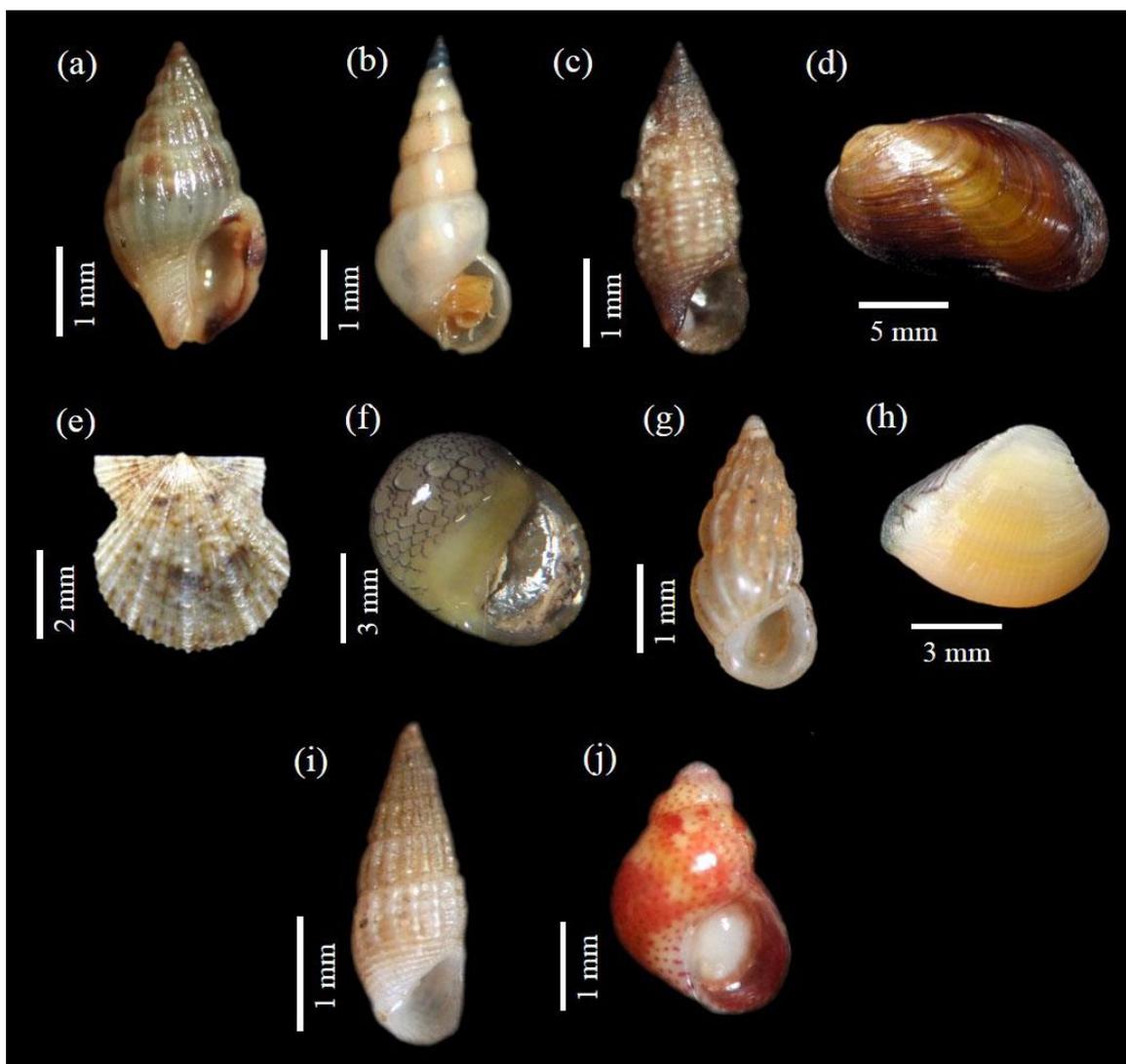


Figura 8. Algumas das espécies mais frequentes e abundantes nas macroalgas estudadas em manguezais hipersalinos do estado do Rio Grande do Norte. (a) *Parvanachis obesa*, (b) *Alaba incerta*, (c) *Bittiolum varium*, (d) *Lioberus castanea*, (e) *Leptopecten bavayi*, (f) *Neritina virginea*, (g) *Schwartziella catesbyana*, (h) *Anomalocardia brasiliana*, (i) *Boonea jadisi* e (j) *Eulithidium affine*. Fotos: Thelma Dias ©2013.

O teste SIMPER, permitiu observar que as algas *S. filiformes* e *Dictyota* sp. foram as que apresentaram maior grau de dissimilaridade (89,92%). O teste também indicou que aquelas com maior grau de similaridade foram *S. filiformes* e *G. cearensis* (72,44 %).

Na macroalga *S. filiformes* a espécie com maior contribuição foi *N. virginea* (18,55%), seguida de *P. obesa* (15,3%). Da mesma forma, para *G. cearensis* as espécies que mais contribuíram foram *P. obesa* (20,92%) e *A. incerta* (11,09%). Para *Dictyota* sp. foram *P. obesa* (38,4%) e *B. varium* (36,09%). As duas espécies que mais contribuíram na macroalga *Gracilaria* sp. foram *P. obesa* e *A. incerta* com 36,12% e 24,36 %, respectivamente.

Na análise de dbRA, percebemos que os dois eixos principais (1 e 2), somaram uma boa porcentagem de explicação (68,6%), demonstrando que a abundância de indivíduos está em grande parte sendo explicada pela morfologia algal (Fig. 9).

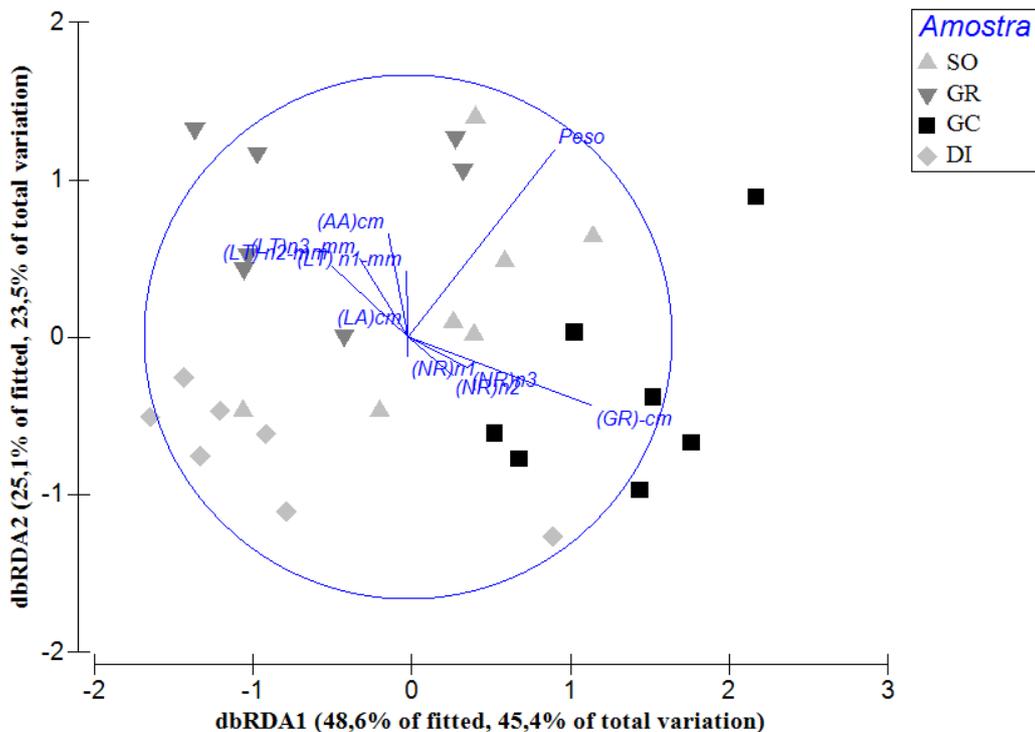


Figura 9. Análise de Distance-based Redundancy Analysis (dbRDA) com relação a arquitetura algal e a abundância das assembleias de moluscos associados as diferentes espécies de macroalgas no estuário do Rio Tubarão, Macau, Rio Grande do Norte. Legenda: SO = *Solieria filiformes*, GR = *Gracilaria cearensis*, DI = *Dictyota* sp. e GR = *Gracilaria* sp. Código e definição dos atributos algais na tabela 1.

Discussão

Neste estudo, comprovou-se que as macroalgas estudadas diferem em termos de abundância e riqueza de moluscos, onde as algas com maior complexidade estrutural (*Gracilaria cearensis* e *Solieria filiformes*) também abrigaram maior abundância de indivíduos, riqueza e diversidade, corroborando com a premissa de que a complexidade do habitat afeta esses parâmetros da comunidade (Kovalenko et al. 2012). Especificamente os trabalhos de Chemello e Milazzo (2002). Da Rocha et al. (2006) e Cacabelos et al. (2010) demonstram que esta influência positiva da complexidade do habitat atua não apenas sobre a comunidade de moluscos, mas em toda fauna que vive associada a este microambiente estruturalmente complexo, dividido principalmente as diversas relações ecológicas entre os diferentes indivíduos, como predação, coexistência, competição e muitas outras.

Sendo assim, o presente estudo demonstrou um padrão morfológico diferenciado entre as algas estudadas, comprovando assim a heterogeneidade das mesmas quando estas ofertam um ambiente propício à colonização de diversos invertebrados marinhos, em especial os moluscos.

Essa heterogeneidade macroalgal, também foi constatada no estudo de Edgar (1983), no qual o autor selecionou e coletou 23 espécies de macroalgas de diferentes gêneros e constatou que suas morfologias foram distintas. Chemello e Milazzo (2002) utilizaram seis espécies de algas, sendo as pardas, as algas pardas, devido a suas estruturas normalmente mais frágeis apresentaram morfologias mais aparentadas e consideradas menos complexas. Como no presente estudo, este resultado pode estar relacionado com a estrutura dos talos das macroalgas pardas, em especial as do gênero *Dictyota*, já que seus talos apresentam uma estrutura lisa e maleável, que muitas vezes não permitem a adesão de grande quantidade de sedimento e epífitas. Em geral observamos seus talos lisos, sem presença de sedimento e epibiontes, fato que pode tornar a estrutura desta macroalga mais homogênea e sua arquitetura mais simplificada.

Atualmente há uma ampla discussão acerca dos conceitos ecológicos de complexidade do habitat e a sua importância na manutenção da estrutura da comunidade que vive associada ao determinado habitat em questão (e.g. Kovalenko et al. 2011; Tokeshi e Arakaki 2012). O ambiente aquático é considerado o mais propício para o estudo dessas questões principalmente pelo maior estresse exercido sobre as comunidades marinhas, sendo assim, a complexidade do habitat um fator determinante para a manutenção da comunidade residente de determinados ambientes marinhos. A complexidade de habitats ofertada pelas diversas espécies de

macroalgas disponíveis no habitat marinho possibilita a colonização de comunidades que poderiam não estar presentes na presença de habitats menos complexos. Nos manguezais, em especial, onde normalmente as raízes escoras de mangue são os habitats com estrutura mais complexa, os bancos de macroalgas, através da heterogeneidade morfológica e o arranjo de suas frondes, são fornecedoras de uma alta complexidade a este tipo de ambiente. Em estudos recentes como o de Tokeshi e Arakaki (2012), é demonstrado o papel fundamental das macroalgas como componentes-chave do ambiente aquático, fornecendo a este uma variedade de funções ecológicas, fundamentalmente através da sua biocomplexidade.

A composição de espécies de moluscos associadas às macroalgas de manguezais hipersalinos revelou uma assembleia tipicamente marinha, cuja riqueza pode ser considerada alta (N=90 spp.), em relação a estudos realizados em habitats marinhos costeiros do Brasil e de outros litorais ao redor do mundo (e.g. Azevedo 1992 – 32 spp.; Chemello e Milazzo 2002 – 57 spp.; Jacobucci et al. 2006 – 16 spp.; Kelaher et al. 2005 – 38 spp.; Leite et al. 2009 – 50 spp.; Lacerda et al. 2009 – 21 spp.). Assim como na maioria dos estudos, no presente trabalho, os gastrópodes são o táxon mais diverso e abundante, seguindo o padrão de riqueza e abundância deste grupo dentro dos Mollusca (Geiger et al. 2006).

A assembleia associada às macroalgas estudadas foi composta predominantemente por micromoluscos, cujos tamanhos quando adultos não ultrapassam os 10 mm (Albano *et al.* 2011), e por indivíduos jovens de espécies de maior porte, a exemplo dos gastrópodes *Voluta ebraea*, *Pleuroploca aurantiaca* e *Pugilina morio*, enfatizando assim a importância deste ambiente como berçário para muitas espécies e até como local específico para desova de muitos moluscos, que encontram no ambiente macroalgal as características adequadas para postura de seus ovos.

Os micromoluscos, que representam 84,5% do total de espécies registradas, foram dominados pelos micropastadores *Parvanachis obesa*, *Schwartziella catesbyana*, *Alaba incerta*, *Bittiolium varium*, *Boonea jadisi*, *Neritina virginea* e pelo filtrador *Anomalocardia brasiliiana* (Fig. 10). Destes, apenas *N. virginea* e *A. brasiliiana* ultrapassam 10 mm quando adultos, mas não atingem grande tamanho. As espécies citadas pertencem a famílias de moluscos que tipicamente habitam frondes macroalgais (e.g. Azevedo 1992; Chemello e Milazzo 2002; Leite et al. 2009) e outros microhabitats de pequena escala espacial, como poros de esponjas, folhas de fanerógamas marinhas e interstícios entre grãos de areia. Estes resultados sugerem que as frondes macroalgais pode atuar como importantes habitats para micromoluscos em manguezais, onde o hidrodinamismo é elevado e constante.

De acordo com Dean e Connell (1987), a arquitetura do habitat influencia a composição e distribuição das assembleias associadas por meio dos seguintes fatores: (a) diminuição da mortalidade causada pela predação (“efeito refúgio”), (b) diminuição do estresse físico, principalmente do efeito das ondas (“efeito proteção”) e (c) aumento da acumulação de indivíduos e espécies transportados passivamente pela ação das correntes (“efeito filtro”). Além disso, pudemos observar que, na alga *G. cearensis*, onde foi registrada a maior abundância de moluscos, constatou-se o maior acúmulo de sedimentos e de epífitas, fatores que podem também, estar relacionados à alta abundância e riqueza de espécies. Thomaz e Cunha (2010) reforçam que o aumento da abundância e diversidade de animais em zonas litorais podem ser explicado por uma cadeia de eventos. Eles destacam, entre outros, que a presença de epífitas e epibiontes representam uma importante fonte de alimento para peixes e invertebrados. Além disso, o aumento do peso algal e da matéria orgânica em macrófitas mais complexas poderiam explicar a atração de invertebrados, fato comprovado no presente estudo, quando percebemos que as macroalgas com maiores valores de peso (*S. filiformes* e *G. cearensis*), foram as que apresentaram maior abundância de indivíduos, devido principalmente a seu maior aporte de partículas de sedimentos e epífitas, que podem fornecer proteção a sua fauna associada contra os estresses físicos do ambiente a exemplo da influência da maré.

Em diferentes escalas espaciais, os estudos direcionam para a influência positiva que a complexidade do habitat exerce sobre a abundância e diversidade de vários grupos faunísticos associados (Thomaz e Cunha 2010). Porém, é importante destacar as considerações de Brown (1981), com relação aos argumentos de Hutchinson (1959), onde ele coloca que, o tamanho pequeno, permite que os organismos se especializem nas condições oferecidas pelos pequenos microhabitats. Esta influência positiva pode ser percebida através da análise de dimensão fractal, verificando que algas com maiores valores para este parâmetro apresentaram maior abundância. Estudos desta amplitude, utilizando-se este tipo de metodologia para a geometria fractal, apenas foram usados em ambientes de água doce com macrófitas, sendo este o primeiro estudo a avaliar este efeito sobre bancos de macroalgas presentes em um ambiente estuarino e hipersalino.

Pode-se perceber uma semelhança entre a estrutura da assembleia de moluscos associada às macroalgas *Solieria filiformes* e *Gracilaria cearensis* e *Gracilaria* sp., porém com um maior distanciamento da primeira devido a sua estrutura muito diferenciada. Acredita-se que este fato deve à semelhança na área superficial destas duas macroalgas (*G. cearensis* e *Gracilaria* sp.), além da forte presença de epífitas e sedimentos acumulados em

seus talos, que, segundo Pereira et al. (2010), pode incrementar a superfície algal, aumentando assim a oferta de espaço para o estabelecimento de organismos. *S. filiformes*, por outro lado, apresenta padrões de ramificações de seus talos bem distintos o que provavelmente a separou neste tipo de análise.

Pudemos constatar também, que as algas *Solieria filiformes* e *Dictyota* sp. foram as que apresentaram grau de dissimilaridade mais elevado, reforçando assim que estas foram as mais diferentes em termos de composição da malacofauna. Isto reforça o fato de que *Dictyota* sp. é a alga menos complexa, diferenciando-se também em termos de comunidade associada. O teste também indicou que aquelas com maior grau de similaridade foram *S. filiformes* e *G. cearensis*, comprovando que as macroalgas mais complexas suportam uma malacofauna semelhante. Ainda, com relação à contribuição das espécies, verificou-se o padrão mostrado com relação à frequência de ocorrência. Na macroalga *S. filiformes* a espécie com maior contribuição foi o gastrópode *Neritina virginea* (18,55%), seguida de *Parvanachis obesa* (15,3%). Da mesma forma, para *G. cearensis* as espécies que mais contribuíram foram *P. obesa* (20,92%) e *Alaba incerta* (11,09%). Para *Dictyota* sp. foram *P. obesa* (38,4%) e *Bittiolium varium* (36,09%). As duas espécies que mais contribuíram na macroalga *Gracilaria* sp. foram *P. obesa* e *A. incerta* com 36,12% e 24,36 %, respectivamente. Estes resultados demonstram que o gastrópode *P. obesa*, se apresenta de forma bastante representativa no microambiente macroalgal dos manguezais hipersalinos estudados.

Quando relacionamos a matriz biológica de abundância com a de dados morfológicos das algas, podemos comprovar o efeito da arquitetura delas sobre a abundância de moluscos, sugerindo que a arquitetura algal pode explicar a abundância de moluscos encontrada nas algas estudadas, associada a supostas variações na disponibilidade de alimento, proteção contra predadores e refúgio oferecido pelas frondes algais. Em geral, podemos reforçar que o estudo da dimensão fractal e análise da complexidade estrutural das macroalgas fornecem importantes ferramentas para explicarmos, em parte, as diferenças na composição, abundância, riqueza e diversidade de micromoluscos do fital. Além disso, devemos reforçar que os bancos de macroalgas presentes em manguezais hipersalinos suportam uma rica assembleia de micromoluscos, representando habitats fundamentais na sua estruturação. Além de fazerem parte da base da cadeia como produtoras primárias, as algas fornecem um ambiente complexo juntamente com as raízes de mangue fundamentais para a colonização de muitos organismos e consequente manutenção da biodiversidade local.

Os moluscos figuram como um dos táxons dominantes nos ambientes marinhos, no entanto, em se tratando dos micromoluscos, esta biodiversidade é amplamente subestimada

(Albano et al. 2011). O presente estudo revelou uma biodiversidade ainda pouco conhecida associada a um micro-habitat cuja importância ainda é pouco compreendida, em especial no ecossistema estudado. Esforços de conservação devem incluir a conservação das macroalgas como importante ferramenta para manejo do habitat e da biota associada. Como afirmado por Thomaz e Cunha (2010), sabe-se que o aumento da complexidade do habitat permite o incremento das possibilidades de exploração do habitat e consequentemente das oportunidades de nicho, aumenta consequentemente a abundância de indivíduos nos habitats.

Conclusão

- As macroalgas estudadas apresentam heterogeneidade estrutural diferenciada, e ofertam graus de complexidade distintos a malacofauna associada.
- O padrão morfológico diferenciado entre as algas estudadas oferta um ambiente propício à colonização de moluscos.
- A composição de espécies de moluscos associadas às macroalgas de manguezais hipersalinos revelou uma assembleia tipicamente marinha, cuja riqueza pode ser considerada alta com relação a outros ambientes de manguezal.
- A assembleia associada às macroalgas estudadas foi composta predominantemente por micromoluscos, cujos tamanhos quando adultos não ultrapassam os 10 mm, e por indivíduos jovens de espécies que atingem um por maior.
- A complexidade do habitat afetou positivamente a estrutura da assembleia de moluscos associada, já que as algas mais complexas suportaram assembleias mais abundantes, ricas e diversas.

Referências

- Albano, P. G., Sabelli, B. and Bouchet, P. (2011) The challenge of small and rare species in marine biodiversity surveys: microgastropod diversity in a complex tropical coastal environment. *Biodivers Conserv*, 20: 3223-3237.
- Atauri, J.A., Lucio, J.V. de. (2001) The role of landscape structure in species richness distribution of birds, amphibians, reptiles and lepidopterans in Mediterranean landscapes. *Landscape Ecol*, 16:147–159.
- Azevedo, J.M.N. (1992) Algae-associated marine mollusks in the Azores. *Biological J Linn Soc*, 46: 177-187.
- Bouchet, P.; Rocroi, J. P. (eds.) (2005) *Classification and nomenclator of gastropod families*. Malacologia, Conch Books: Hackenheim, Germany, 47(1):23-97.
- Brose, U. (2003) Bottom-up control of carabid beetle communities in early successional wetlands mediated: by vegetation structure or plant diversity? *Oecologia*, 135:407– 413.
- Brown, J.H. (1981) Two decades of Homage to Santa Rosalia: toward a general theory of diversity. *Am Zool*, 21: 877-888.
- Cacabelos, E. et al. (2010) Effects of habitat structure and tidal height on epifaunal assemblages associated with macroalgae. *Estuar Coast Shelf S*, 89: 43-52.
- Chemello, R., Milazzo, M. (2002) Effect of algal architecture on associated fauna: some evidence from phytal mollusks. *Mar Biol*, 140: 981-990.
- Da Rocha, C.M.C.; Venekey, V.; Bezerra, T.N.C.; Souza J.R.B. Phytal marine nematode assemblages and their relation with the macrophytes structural complexity in a Brazilian tropical rocky beach. *Hydrobiologia*, 553, 219-230, 2006.
- Dean, R. L., Connell, J. H. (1987) Marine invertebrates in an algal succession III. Mechanisms linking habitat complexity with diversity. *J Exp Mar Biol EcoL*, 109: 249–273.

Demirhan, M, et al. (1999) Fractop: A Geometric Partitioning Metaheuristic for Global Optimization. *J Global Optim*, 14:415–436.

Downes J.B. et al. (1998) Habitat structure and regulation of local species diversity in a stony, upland stream. *Ecol Mono*, 68(2): 237–257.

Frost, N. J., Burrows, M. T., Johnson, M. P., Hanley M. E., Hawkins, S. J. (2005) Measuring surface complexity in ecological studies. *Limnol Oceanogr*, 3: 203–210.

Edgar, G. J. (1983) The ecology of south-east Tasmanian phytal animal communities I, Spatial organization on a local scale. *J. Exp Mar Biol Ecol*, 70:129-157.

Geiger, D. L. (2006) Marine Gastropoda. p. 295-312. In: Sturm, C. F., Pearce, T. A. & Valdés, A. (Eds.). *The mollusks: a guide to their study, collection and preservation*. American Malacological Society.

Geange, W. S., Stier, A. C. (2010) Priority effects and habitat complexity affect the strength of competition. *Oecologia*, 163,111-118.

Haslett, J. (1997) Insect communities and the spatial complexity of mountain habitat. *Global Ecol Biogeogr*, 6:39–48.

Halley et al. (2004) Uses and abuses of fractal methodology in ecology. *Ecol Lett*, 7(3): 254-271.

Hauser, A., Attrill, M.J., Cotton, P. A. (2006) Effects of habitat complexity on the diversity and abundance of macrofauna colonizing artificial kelp holdfasts. *Mar Ecol Prog Ser*, 325: 93–100.

Hutchinson, G.E. (1959) Homage to Santa Rosalia, or why are there so many kinds of animals?. *Am Nat*, 93:117-125.

Jacobucci, G.B. et al. (2006) Levantamento de Mollusca, Crustacea e Echinodermata associados a *Sargassum* spp. na Ilha da Queimada Pequena, Estação Ecológica dos Tupiniquins, litoral sul do Estado de São Paulo, Brasil. *Biota Neotrop*, 6(2): 1-8.

Jelinek, H., Cornforth, D., Weymouth, L. Fractop v.0.3 (2003) <http://seal.tst.adfa.edu.au/fractop>, Acesso em: 23/05/2012.

Kelaher, B. P. (2003) Changes in habitat complexity negatively affect diverse gastropod assemblages in coralline algal turf. *Oecologia*, 135: 431-441.

Kelaher, B. P., Castilla, J. C. (2005) Habitat characteristics influence macrofaunal communities in coralline turf more than meso scale upwelling on the coast of Northern Chile. *Estuar Coast Shelf Sci*, 63: 155–165.

Kostylev, V. E. et al. (2005). The relative importance of habitat complexity and surface area in assessing biodiversity: Fractal application on rocky shores. *Ecol Complex*, 2: 272–286.

Kostylev, V. E., Erlandsson, J., Ming, M. Y., Williams, G. A. (2005). The relative importance of habitat complexity and surface area in assessing biodiversity: fractal application on rocky shores. *Ecol Complex*, 2, 272–286.

Kovalenko, K. E., Thomaz, S. M., WARFE, D. M. (2011) Habitat complexity: approaches and future directions. *Hydrobiologia*, 685.

Halley, J. M., Hartley, S., Kallimanis, A. S., Kunin, W. E., Lennon, J. J., Sgardelis, S. P. (2004) Uses and abuses of fractal methodology in ecology. *Ecol Lett*, 7:254–271.

Lacerda, M. B.; Dubiaski-silva, J.; Masunari, S. (2009) Malacofauna de três fitais da Praia de Coiobá, Matinhos, Paraná. *Acta Biol Paranaense*, Curitiba, 38(1-2), 59-74.

Li, B. L. (2000). Fractal geometry applications in description and analysis of patch patterns and patch dynamics. *Ecol Model*, 132: 33–50.

Leite, F. P. P., Tambourgi, M. R. S., Cunha, C.M. (2009) Gastropods associated with the Green seaweed *Caulerpa racemosa*, on two beaches of the Northern coast of the state of São Paulo, Brazil. *Strombus*, 16 (1-2), 1-10.

Mann, K.H., Lazier, J. R. N. (1992) Dynamics of marine ecosystems, Biological-physical interactions in the oceans. *Limnol Oceanogr*, 37(4):914-915.

Matias, M. G., Underwood, A. J., Hochuli, D. F., Coleman, R. A. (2010) Independent effects of patch size and structural complexity on diversity of benthic invertebrates. *Ecology*, 91, 1908–1915.

Matias, M.G. (2013) Macrofaunal responses to structural complexity are mediated by environmental variability and surrounding habitats. *Mar Biol*, 160: 493-502.

Mikkelsen, P.M.; Bieler, R. (2008) Seashells of Southern Florida - Living marine mollusks of the Florida Keys and adjacent regions: Bivalves. Princeton University Press, Princeton New Jersey.

Pianka, E.R. (1967) On lizard species diversity: North American flatland deserts. *Ecology*, 48: 333–351.

Poulsen, B.O. (2002) Avian richness and abundance in temperate Danish forests: tree variables important to birds and their conservation. *Biodivers Conserv*, 11: 1551–1566.

Rios, E. C. (2009) Compendium of Brazilian Sea Shells. Rio Grande: Editora da FURG, 668p.

Rosenberg, G. (2009) *Malacolog 4,1,1: A Database of Western Atlantic Marine Mollusca*, [WWW database (version 4,1,1)] Disponível em: <http://www.malacolog.org/>.

Savenije, H. H. G. Salinity and tides in alluvial estuaries. Elsevier Science, 194 p., 2005.

Schmid, P. E. (2000) Fractal properties of habitat and patchstructure in benthic ecosystems. *Adv Ecol Res*, 30: 339–401.

Southwell, C.J., CAIRNS, S.C., Pople, A.R., Delaney, R. (1999) Gradient analysis of macropod distribution in open forest and woodland of eastern Australia. *Aust J Ecol*, 24: 132–143.

Taniguchi, H., Tokeshi, M. (2004) Effects of habitat complexity on benthic assemblages in a variable environment. *Fresh Biol*, 49(9): 1164-1178.

Tews, J. et al. (2004) Animal species diversity driven by habitat heterogeneity/diversity: the importance of keystone structures. *J Biogeogr*, 31: 79–92.

Thiollay, J.M. (1990) Comparative diversity of temperate and tropical forest bird communities – the influence of habitat heterogeneity. *Acta Oecologia*, 11: 887–911.

Thomaz, S. M. et al. (2008) Influence of aquatic macrophyte habitat complexity on invertebrate abundance and richness in tropical lagoons. *Fresh Biol*, 53: 358-367.

Thomaz, S.M.; Cunha, E.R. (2010) The role of macrophytes in habitat structuring in aquatic ecosystems: methods of measurement, causes and consequences on animal assemblages' composition and biodiversity. *Acta Limnol Brasil*, 22(2): 218-236.

Tokeshi, M., Arakaki, S. (2012) Habitat complexity in aquatic systems: fractals and beyond. *Hydrobiologia*, 685: 27-47.

Tunnell JR., J. W. et al. (2010) *Encyclopedia of Texas Seashells: Identification, Ecology, Distribution, and History*. Texas A&M University Press, 987p.

Agradecimentos

À CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) pelo apoio financeiro concedido em forma de bolsa de demanda social. Agradecemos a Leidson Allan pela identificação das macroalgas, em especial à Luís Carlos P. Damasceno pela grande contribuição nos trabalhos de campo. À Sra. Dalci e Sr. Belo pela hospedagem durante a etapa de coleta dos dados. Além disso, agradecemos ao apoio financeiro essencial fornecido pelo Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Conservação da UEPB, CNPq (Processo N°. 479213/2010-0) e PROPESQ/UEPB (Processo N°. 115/2011).

Anexo I. Lista Taxonômica das espécies de moluscos coletadas no Rio Tubarão nas quatro espécies de algas estudadas no Rio Tubarão, Macau, Rio Grande do Norte (N = 90 espécies).

Classes/Clados/Famílias	Espécies
Classe Gastropoda	
Vetigastropoda	
FISSURELLIDAE	<i>Diodora cayenensis</i> (Lamarck, 1822) <i>Fissurella rosea</i> (Gmelin, 1791)
PHASIANELLIDAE	<i>Eulithidium affine</i> (C. B. Adams, 1850) <i>Eulithidium bellum</i> (M. Smith, 1937)
Cycloneritimorpha	
NERITHIDAE	<i>Neritina virginea</i> (Linnaeus, 1758)
Sorbeconcha	
CERITHIIDAE	<i>Cerithium atratum</i> (Born, 1778) <i>Bittolum varium</i> (Pfeiffer, 1840)
LITIOPIDAE	<i>Alaba incerta</i> (d'Orbigny, 1841)
Littorinimorpha	
CALYPTRAEIDAE	<i>Crepidula</i> sp. <i>Crepidula</i> sp1. <i>Bostrycapulus aculeatus</i> (Gmelin, 1791) <i>Bostrycapulus odites</i> R. Collin, 2005
LITTORINIDAE	<i>Littoraria flava</i> (King & Broderip, 1832)
RISSOIDAE	<i>Benthonellania acuticostata</i> (Dall, 1889) <i>Rissoina cancellata</i> Philippi, 1847 <i>Schwartziella catesbyana</i> (d'Orbigny, 1842) <i>Schwartziella chesnelii</i> (Michaud, 1830)
CAECIDAE	<i>Caecum johnsoni</i> Winkley, 1908
TORNIDAE	<i>Parviturboides interruptus</i> (C. B. Adams, 1850)
EULIMIDAE	<i>Melanella sarsi</i> (Bush, 1909)
TRIPHORIDAE	<i>Marshallora nigrocincta</i> (C. B. Adams, 1839) <i>Triphora hemphilli</i> Bartsch, 1907
CERITHIOPSIDAE	<i>Retilaskeya bicolor</i> (C. B. Adams, 1845) <i>Cerithiopsis greenii</i> (C. B. Adams, 1839)
Neogastropoda	
BUCCINIDAE	<i>Engina turbinella</i> (Kiener, 1836)
COLUMBELLIDAE	<i>Anachis lyrata</i> (Sowerby I, 1832) <i>Costoanachis sparsa</i> (Reeve, 1859) <i>Parvanachis obesa</i> (C. B. Adams, 1845) <i>Astyris lunata</i> (Say, 1826) <i>Mitrella</i> sp.
FASCIOLARIIDAE	<i>Pleuroploca aurantiaca</i> (Lamarck, 1816)
MELONGENIDAE	<i>Pugilina morio</i> (Linnaeus, 1758)
MARGINELLIDAE	<i>Volvarina avena</i> (Kiener, 1834) <i>Volvarina abbreviata</i> (C. B. Adams, 1850) <i>Volvarina gracilis</i> (C. B. Adams, 1851)
VOLUTIDAE	<i>Voluta ebraea</i> Linnaeus, 1758
CONIDAE	<i>Conus bodarti</i> Coltro, 2004
TURRIDAE	<i>Tenaturris inepta</i> (E. A. Smith, 1882)
Heterobranchia	
PYRAMIDELLIDAE	<i>Boonea jadisi</i> (Olsson & McGinty, 1958) <i>Boonea seminuda</i> (C. B. Adams, 1839) <i>Chrysallida cancellata</i> (d'Orbigny, 1841) <i>Eulimastoma canaliculatum</i> (C. B. Adams, 1850) <i>Iselica globosa</i> (H. C. Lea, 1843) <i>Odostomia laevigata</i> (d'Orbigny, 1841) <i>Odostomia</i> sp. <i>Turbonilla aquilonaria</i> Absalão, Santos & Oliveira Tenório, 2003 <i>Turbonilla asperula</i> Bush, 1899 <i>Turbonilla elegans</i> (d'Orbigny, 1841)

	<i>Turbonilla fasciata</i> (d'Orbigny, 1840)
	<i>Turbonilla portoricana</i> Dall & Simpson, 1901
	<i>Turbonilla turris</i> (d'Orbigny, 1840)
Cephalaspidea	
BULLIDAE	<i>Bulla occidentalis</i> A. Adams, 1850
HAMINOEIDAE	<i>Haminoea af antillarum</i> (d'Orbigny, 1841)
CYLICHNIDAE	<i>Cylichnella bidentata</i> (d'Orbigny, 1841)
	<i>Acteocina candei</i> (d'Orbigny, 1841)
	<i>Cylichna verrillii</i> Dall, 1889
ACTINOCYCLIDAE	<i>Hallaxa</i> sp.
FACELINIDAE	<i>Phidiana lynceus</i> Bergh, 1867
Eupulmonata	
ELLOBIDAE	<i>Melampus paranus</i> (Morrison, 1951)
Classe Bivalvia	
Protobranchia	
NUCULIDAE	<i>Nucula crenulata</i> A. Adams, 1856
	<i>Nucula proxima</i> Say, 1822
Pteriomorpha	
ARCIDAE	<i>Cucullaearca candida</i> (Helbling, 1779)
MYTILIDAE	<i>Lioberus castanea</i> (Say, 1822)
	<i>Musculus lateralis</i> (Say, 1822)
PTERIIDAE	<i>Pinctada imbricata</i> Röding, 1798
PECTINIDAE	<i>Leptopecten bavayi</i> (Dautzenberg, 1900)
Heterodonta	
LYONSIIDAE	<i>Lyonsia</i> sp.
Septibranchia	
LUCINIDAE	<i>Lucinoma filosa</i> (Stimpson, 1851)
	<i>Myrteopsis lens</i> (Verrill & Smith, 1880)
Incertae sedis	
UNGULINIDAE	<i>Diplodonta punctata</i> (Say, 1822)
LASAEIDAE	<i>Erycina periscopiana</i> Dall, 1899
HIATELLIDAE	<i>Hiatella</i> sp.
VENERIDAE	<i>Transennella</i> sp.
	<i>Anomalocardia brasiliiana</i> (Gmelin, 1791)
	<i>Chione</i> sp.
	<i>Chione cancellata</i> (Linnaeus, 1767)
CORBULIDAE	<i>Caryocorbula dietziana</i> (C. B. Adams, 1852)
	<i>Caryocorbula</i> sp.
TELLINIDAE	<i>Angulus probinus</i> (Boss, 1964)
	<i>Angulus sybariticus</i> (Dall, 1881)
	<i>Tellina radiata</i> Linnaeus, 1758
	<i>Eurytellina lineata</i> (Turton, 1819)
	<i>Scissula sandix</i> (Boss, 1968)
	<i>Scissula similis</i> (J. Sowerby, 1806)
	<i>Tellidora cristata</i> (Récluz, 1842)
	<i>Angulus</i> sp.
SEMELIDAE	<i>Abra aequalis</i> (Say, 1822)
	<i>Ervilia concentrica</i> (Holmes, 1858)
SOLECURTIDAE	<i>Tagelus divisus</i> (Spengler, 1794)
MYIDAE	<i>Sphenia fragilis</i> af (H. & A. Adams, 1854)

Anexo II. Abundância (N) e Frequência de ocorrência (FO%) das espécies de moluscos registradas nas quatro espécies de macroalgas estudadas no Rio Tubarão, Macau, Rio Grande do Norte.

Espécies	<i>Solieria filiformes</i>		<i>Gracilaria cearensis</i>		<i>Dictyota sp.</i>		<i>Gracilaria sp.</i>		N (Total)
	N	FO%	N	FO%	N	FO%	N	FO%	
<i>Abra aequalis</i>	-	0	5	42,85	-	0	-	0	5
<i>Acteocina candei</i>	2	14,28	5	42,85	-	0	-	0	7
<i>Alaba incerta</i>	19	42,85	26	85,71	7	28,57	39	85,71	91
<i>Anachis lyrata</i>	7	28,57	4	42,85	-	0	9	28,57	20
<i>Angulus sp.</i>	-	0	1	14,28	-	0	-	0	1
<i>Angulus probinus</i>	2	14,28	1	14,28	-	0	-	0	3
<i>Angulus sybariticus</i>	-	0	2	14,28	-	0	-	0	2
<i>Anomalocardia brasiliiana</i>	11	71,42	31	71,42	5	14,28	-	0	37
<i>Astyris lunata</i>	-	0	-	0	3	14,28	-	0	3
<i>Benthonellania acuticostata</i>	2	28,57	-	0	-	0	-	0	2
<i>Bittium varium</i>	35	57,14	22	85,71	9	28,57	25	71,42	91
<i>Boonea jadisi</i>	9	28,57	19	85,71	-	0	27	42,85	55
<i>Boonea seminuda</i>	8	14,28	-	0	-	0	-	0	8
<i>Bostrycapulus aculeatus</i>	-	0	3	42,85	2	14,28	4	28,57	9
<i>Bostrycapulus odites</i>	3	42,85	-	0	-	0	-	0	3
<i>Bulla occidentalis</i>	7	42,85	9	14,28	-	0	-	0	16
<i>Caecum johnsoni</i>	3	14,28	1	14,28	-	0	2	28,57	6
<i>Caryocorbula sp.</i>	2	14,28	-	0	-	0	-	0	2
<i>Caryocorbula dietziana</i>	6	42,85	-	0	1	14,28	1	14,28	8
<i>Cerithiopsis greenii</i>	-	0	1	14,28	-	0	-	0	1
<i>Cerithium atratum</i>	-	0	-	0	2	14,28	3	28,57	5
<i>Chione cancellata</i>	-	0	-	0	1	14,28	-	0	1
<i>Chione sp.</i>	1	14,28	1	14,28	-	0	-	0	2
<i>Chrysallida cancellata</i>	2	28,57	-	0	-	0	-	0	2
<i>Conus bodarti</i>	10	42,85	-	0	-	0	-	0	10
<i>Costoanachis sparsa</i>	1	14,28	4	28,57	-	0	-	0	5
<i>Crepidula sp.</i>	1	14,28	-	0	-	0	-	0	1
<i>Crepidula sp.1</i>	1	14,28	-	0	-	0	-	0	1
<i>Cucullaearca candida</i>	-	0	2	14,28	-	0	-	0	2
<i>Cylichnella bidentata</i>	-	0	4	57,14	-	0	1	14,28	5
<i>Cylichna verrillii</i>	2	28,57	2	14,28	-	0	-	0	4
<i>Diodora cayenensis</i>	-	0	2	28,57	-	0	-	0	2
<i>Diplodonta punctata</i>	-	0	4	42,85	-	0	-	0	4
<i>Engina turbinella</i>	1	14,28	-	0	-	0	-	0	1
<i>Ervilia concentrica</i>	-	0	1	14,28	-	0	-	0	1
<i>Erycina periscopiana</i>	1	14,28	-	0	-	0	-	0	1
<i>Eulimastoma canaliculatum</i>	3	28,57	-	0	-	0	-	0	3
<i>Eulithidium bellum</i>	-	0	1	14,28	-	0	-	0	1
<i>Eulithidium affine</i>	9	28,57	14	85	-	0	17	71,42	40
<i>Eurytellina lineata</i>	-	0	-	0	-	0	1	14,28	1

<i>Fissurella rosea</i>	-	0	-	0	-	0	1	14,28	1
<i>Hallaxa</i> sp.	1	14,28	-	0	-	0	-	0	1
<i>Haminoea antillarum</i>	4	42,85	7	71,42	-	0	-	0	11
<i>Hiatella Arctica</i>	1	14,28	1	14,28	-	0	-	0	2
<i>Iselica globosa</i>	1	14,28	3	42,85	-	0	-	0	4
<i>Lioberus castanea</i>	2	28,57	1	14,28	1	14,28	1	14,28	5
<i>Litoraria flava</i>	1	14,28	-	0	-	0	-	0	1
<i>Leptopecten bavayi</i>	3	28,57	1	14,28	1	14,28	1	14,28	5
<i>Lyonsia</i> sp.	2	28,57	2	28,57	-	0	-	0	4
<i>Lucinoma filosa</i>	-	0	2	28,57	-	0	-	0	2
<i>Marshallora nigrocincta</i>	7	14,28	9	57,14	3	28,57	1	14,28	20
<i>Melampus paranus</i>	2	14,28	-	0	-	0	-	0	2
<i>Melanella sarsi</i>	-	0	7	71,42	-	0	3	28,57	10
<i>Mitrella</i> sp.	2	14,28	-	0	-	0	-	0	2
<i>Musculus lateralis</i>	-	0	3	42,85	-	0	-	0	3
<i>Myrteopsis lens</i>	-	0	1	14,28	-	0	-	0	1
<i>Neritina virginea</i>	21	85,71	6	85,71	-	0	11	57,14	38
<i>Nucula crenulata</i>	3	28,57	7	28,57	-	0	-	0	10
<i>Nucula proxima</i>	11	85,71	4	42,85	-	0	-	0	15
<i>Odostomia laevigata</i>	-	0	2	14,28	-	0	-	0	2
<i>Odostomia</i> sp.	1	14,28	-	0	-	0	-	0	1
<i>Parvanachis obesa</i>	51	71,42	84	100	7	28,57	51	100	193
<i>Parviturboides interruptus</i>	-	0	1	14,28	-	0	-	0	1
<i>Pleuroploca aurantiaca</i>	2	14,28	-	0	-	0	-	0	2
<i>Phidiana lynceus</i>	-	0	1	14,28	-	0	-	0	1
<i>Pinctada imbricata</i>	1	14,28	1	14,28	-	0	-	0	2
<i>Pugilina morio</i>	-	0	1	14,28	-	0	-	0	1
<i>Retilaskeya bicolor</i>	-	0	2	28,57	-	0	-	0	2
<i>Rissoina cancellata</i>	3	14,28	-	0	-	0	-	0	3
<i>Schwartziella catesbyana</i>	8	85,71	50	71,42	-	0	79	71,42	137
<i>Schwartziella chesnelii</i>	1	14,28	6	14,28	-	0	-	0	7
<i>Scissula sandix</i>	2	14,28	-	0	-	0	-	0	2
<i>Scissula similis</i>	-	0	3	42,85	-	0	-	0	3
<i>Sphenia fragilis</i>	1	14,28	1	14,28	-	0	-	0	2
<i>Tagelus divisus</i>	1	14,28	4	28,57	-	0	-	0	5
<i>Tellina radiata</i>	1	14,28	-	0	-	0	-	0	1
<i>Tellidora cristata</i>	1	14,28	1	14,28	-	0	-	0	2
<i>Tenaturris inepta</i>	2	14,28	-	0	-	0	-	0	2
<i>Trasennela</i> sp.	1	14,28	-	0	-	0	-	0	1
<i>Triphora hemphilli</i>	1	14,28	1	14,28	-	0	-	0	2
<i>Turbonilla aquilonaria</i>	-	0	1	14,28	-	0	-	0	1
<i>Turbonilla asperula</i>	-	0	2	28,57	-	0	-	0	2
<i>Turbonilla elegans</i>	-	0	2	14,28	-	0	-	0	2
<i>Turbonilla fasciata</i>	7	42,85	2	28,57	-	0	5	14,28	14
<i>Turbonilla portoricana</i>	1	14,28	-	0	-	0	-	0	1
<i>Turbonilla turris</i>	1	14,28	-	0	-	0	-	0	1
<i>Volvarina abbreviata</i>	-	0	1	14,28	-	0	-	0	1
<i>Volvarina avena</i>	1	14,28	-	0	-	0	-	0	1

<i>Volvarina gracilis</i>	4	28,57	-	0	-	0	-	0	4
<i>Voluta ebraea</i>	-	0	1	14,28	-	0	1	14,28	2

CAPÍTULO II

Manuscrito a ser submetido ao periódico *Marine Ecology*

Influência da sazonalidade e da complexidade do habitat sobre a estrutura da comunidade de macroinvertebrados associados à macroalgas de um manguezal hipersalino, com ênfase nos moluscos

Rafaela Cristina de Souza Duarte e Thelma Lúcia Pereira Dias

Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Conservação, Universidade Estadual da Paraíba, Laboratório de Biologia Marinha, CCBS, Departamento de Biologia, Rua das Baraúnas, 351, Bairro Universitário, Campina Grande, PB, 58109-753, Brasil.

Resumo

Os bancos de macroalgas são ambientes fundamentais na estruturação dos ecossistemas estuarinos e tem se mostrado importantes no aumento da complexidade de alguns habitats marinhos. Assim como a sazonalidade, a complexidade do habitat, também é um dos fatores mais importantes na estruturação de comunidades bióticas. O presente estudo visa analisar o efeito combinado da sazonalidade e complexidade do habitat algal sobre os macroinvertebrados associados à macroalgas com diferentes arquiteturas do talo. Também foi analisada a influência da sazonalidade sobre a fauna de moluscos a partir de amostras da mesma espécie algal obtida nos períodos de chuva e seca. O estudo foi desenvolvido nos meses de junho e novembro de 2012, incluídos, respectivamente nos períodos de chuva e seca, no manguezal hipersalino do Rio Tubarão, Macau, Rio Grande do Norte. Sete réplicas de três espécies macroalgais foram coletadas aleatoriamente, são elas: *Gracilaria* sp. (período chuvoso), e *Solieria filiformes* e *Dictyota* sp. (ambas no período de seca). As algas foram analisadas quanto à complexidade estrutural, que foi medida a partir da análise de diferentes atributos morfológicos, como altura, largura e grau de ramificação. As macroalgas se distinguiram com relação aos atributos morfológicos analisados (Pseudo $F_{(1,3)} = 7,15$; $p=0,0001$). Constatou-se que as algas também se diferenciaram quanto a sua macrofauna (Pseudo $F_{(1,3)} = 6,4901$; $p=0,0001$). Foi coletado um total de 1.750 indivíduos que foram classificados em cinco taxa: Echinodermata, Amphipoda, Mollusca, Isopoda e Polychaeta, destes 723 indivíduos encontrados no período chuvoso (*Gracilaria* sp.) e 1.028 no período seco (430 em *Dictyota* sp. e 598 em *S. filiformes*). As duas macroalgas obtidas no período seco, apesar de serem morfológicamente distintas não apresentaram uma fauna de invertebrados significativamente diferente ($p=0,1037$), sugerindo que a sazonalidade pode ter influenciado a abundância e composição dos táxons de macroinvertebrados. Sugere-se que a influência da complexidade do habitat apresenta-se em segundo plano em relação a sazonalidade. Observou-se que as réplicas da macroalga *Solieria filiformes* se distinguiram com relação à composição de sua malacofauna nos períodos sazonais de chuva e seca (Pseudo $F_{(1,2)} = 3,327$; $p=0,0007$), sendo observado maiores valores de riqueza, diversidade e abundância no período chuvoso.

Palavras-chave Estação seca; estação chuvosa; manguezal hipersalino; litoral semiárido; Mollusca; Amphipoda

Abstract

The macroalgae beds are essential in structuring estuarine ecosystems and have been important in increasing the underwater complexity of some marine habitats. Like seasonality, habitat complexity, is also one of the most important factors in structuring biotic communities. This study aims to analyze the combined effect of seasonality and algal complexity on macroinvertebrates associated with macroalgae with different architectures. It was also analyzed the influence of seasonality on the molluscan fauna from samples of the same algal species obtained at different seasonal times. The study was conducted between June and November 2012, included respectively in the rainy and dry seasons in the hypersaline mangrove of Rio Tubarão, Macau, Rio Grande do Norte. Seven replicates of three macroalgal species randomly collected, they are: *Gracilaria* sp. (rainy season), and *Solieria filiformes* and *Dictyota* sp. (both in the dry season). The algae were analyzed for structural complexity, which was measured from the analysis of different morphological attributes. The studied macroalgae were distinct with respect to morphological attributes analyzed (Pseudo $F_{(1,3)} = 7.15$, $p = 0.0001$). It was found that the algae also differ regarding their macrofauna (Pseudo $F_{(1,3)} = 6.4901$, $p = 0.0001$). A total of 1,750 individuals were classified into five taxa as follows: Echinodermata, Amphipoda, Mollusca, Isopoda and Polychaeta, of these 723 individuals were found in the rainy season (in *Gracilaria* sp.) and 1,028 in the dry season (430 in *Dictyota* sp. and 598 in *S. filiformes*). Although the macroalgae obtained during the dry season are morphologically distinct, invertebrate fauna were not significantly different ($p = 0.1037$), suggesting that seasonality may have influenced the abundance and composition of macroinvertebrate taxa. It is suggested that the influence of habitat complexity presents a second importance in relation to seasonality. It was observed that the replicates of *Solieria filiformes* are distinct with respect to the composition of the molluscan fauna between the dry and rainy periods (Pseudo $F_{(1,2)} = 3.327$, $p = 0.0007$), with higher values of diversity and abundance during the rainy season.

Keywords Dry season; rainy season; hypersaline mangrove; semiarid littoral; Mollusca; Amphipoda

Introdução

Mudanças nos fatores ambientais provenientes dos efeitos da sazonalidade podem afetar os ambientes marinhos no que diz respeito à dinâmica da produtividade e consequentemente a resposta de predadores e suas presas (Diekmann *et al.* 2012). Quando falamos em um ambiente estuarino, percebemos que fatores abióticos fundamentais como salinidade, penetração de luz, concentração de nutrientes e temperatura são diretamente influenciados por regimes climáticos que podem provocar alterações nos seus microambientes e consequentemente na composição de suas comunidades (Ateweberhan *et al.* 2006). Todos estes fatores citados estão diretamente influenciados por variações de longo prazo no ecossistema, a exemplo, daquelas provocadas pela mudança das estações do ano, chamada de variação sazonal. Essa variação sazonal influencia diversas comunidades que dependem diretamente do ecossistema de manguezal, como a meiofauna, os peixes e macroinvertebrados (Ferrari *et al.* 2012).

Os bancos de macroalgas são ambientes fundamentais na estruturação dos ecossistemas estuarinos. No entanto, eles são considerados habitats perenes, com duração limitada, que dependem da concentração de componentes-chave, para garantirem a sua dinâmica e estruturação como habitat (Christie *et al.* 2009). Segundo Kennish *et al.* (1996) muitas espécies herbívoras apresentam seus períodos de crescimento e reprodução sincronizados com a maior abundância de recursos alimentares. No caso dos indivíduos que utilizam as frondes de algas como habitat e como recurso alimentar, os mesmos podem apresentar seus ciclos de vida e desenvolvimento associado aos períodos sazonais mais favoráveis ao desenvolvimento das macroalgas, e consequentemente, tendo um aporte favorável de nutrientes e recursos alimentares. No estudo de Ito *et al.* (1996), é demonstrada a relação entre diferentes espécies de algas e uma espécie de opistobrânquio, com animal oscilando seu ciclo de vida de acordo com os períodos de disponibilidade de macroalgas, ou se associa a diferentes macroalgas em períodos sazonais distintos.

Alguns estudos têm focado na influência da sazonalidade sobre as comunidades marinhas, a exemplo de Dean & Connell (1987), que avaliaram a sazonalidade de diferentes espécies de macroalgas e como a mesma pode influenciar a comunidade de invertebrados associados a estas algas. Diekmann *et al.* (2012), avaliaram a influência da sazonalidade ambiental sobre a comunidade de copépodes em regiões costeiras, e Ferrari *et al.* (2012), analisaram a sazonalidade das próprias macroalgas e como elas podem afetar a produtividade do ecossistema em questão.

Assim como a sazonalidade, a complexidade do habitat, também é um dos fatores mais importantes na estruturação de comunidades bióticas, embora exista pouco entendimento dos mecanismos básicos que fundamentam essa influência (Kovalenko *et al.* 2012). Perante uma ausência padronização dos métodos de medir ou avaliar a complexidade do habitat, a maioria dos estudos indica que habitats mais complexos ou heterogêneos afetam positivamente a riqueza e abundância da fauna associada (e.g. Edgar 1983a; Dean & Connell 1987; Chemello & Milazzo 2002).

Um estudo clássico pioneiro neste tema foi apresentado por Heck & Westone (1977), que encontraram maior abundância de invertebrados em áreas com maior biomassa de fanerógamas marinhas, sendo esta a medida de complexidade do habitat utilizada. Estes autores atribuíram esse resultado à maior disponibilidade de recursos alimentares, maior possibilidade de refúgio contra predação, maior espaço para colonização das espécies associadas e por fim, maior habitat disponível (i.e. nichos do habitat) proporcionado pela maior biomassa da vegetação.

Nas últimas décadas, a geometria fractal tem sido empregada para medir a complexidade do habitat de plantas em ambientes marinhos e de água doce (e.g. Dibble & Thomaz 2009; McAbendroth *et al.* 2005; Hooper & Davenport 2006). Estes estudos também têm demonstrado que habitats mais complexos tinham maior dimensão fractal e suportaram uma fauna mais diversa (Kovalenko *et al.* 2012). No entanto, os estudos direcionados a avaliação da influência da complexidade do habitat sobre a fauna associada à macrófitas geralmente utiliza métodos experimentais, com condições abióticas controladas (e.g. Dean & Connell 1987; Tanigushi & Tokeshi 2004), ou concentram as coletas de amostras em um único período amostral visando evitar os efeitos da sazonalidade (e.g. Chemello & Millazzo 2002; Thomaz *et al.* 2008). A análise combinada destes dois fatores ainda é escassa na literatura.

Nesse contexto, o presente estudo visa analisar o efeito combinado da sazonalidade e complexidade do habitat algal sobre a fauna associada (i.e. moluscos, poliquetas, crustáceos anfípodes e isópodes, e equinodermos) a três espécies macroalgais com diferentes arquiteturas. Além disso, foi realizada uma análise da influência apenas da sazonalidade sobre a fauna de moluscos a partir de amostras da mesma espécie algal obtida em diferentes momentos sazonais em um manguezal hipersalino no litoral semiárido do nordeste brasileiro.

Material e Métodos

Período amostral

O estudo foi desenvolvido nos meses de junho e novembro de 2012, incluídos, respectivamente nos períodos de chuva e seca na região estudada (INMET 2012). Para o ano de 2012, as poucas chuvas se concentraram entre janeiro e julho (precipitação=215 mm), enquanto de agosto a dezembro, a taxa de precipitação foi próxima à zero (INMET 2012). A temperatura média foi de 26°C em junho e de 28°C em novembro, enquanto a salinidade média da água foi de 39 e 41,5 respectivamente nos meses de junho e novembro. As coletas foram realizadas em período diurno durante a baixamar.

Trabalho de campo e laboratório

As macroalgas foram coletadas manualmente através de mergulho livre na porção mediana do estuário do Rio Tubarão (Fig. 1) em profundidade média de 1,5 m. As frondes algais foram procuradas aleatoriamente no ambiente e quando encontradas, foram envoltas com um saco plástico e removidas cuidadosamente do substrato lamacento. Tomou-se cuidado também para não coletar sedimento do substrato no momento de remoção da alga, pois o sedimento abriga uma fauna diferente. Sete réplicas de três espécies macroalgais foram coletadas, são elas: *Gracilaria* sp., *Dictyota* sp. e *Solieria filiformes* (Fig. 2). As sete réplicas de *Gracilaria* sp. e sete de *Dictyota* sp. foram coletadas em períodos distintos, sendo a primeira no período chuvoso (junho) e a segunda no período seco (novembro). *S. filiformes* foi coletada em ambos os períodos, sendo sete réplicas em junho e sete em novembro. As algas estudadas foram escolhidas por serem as visualmente mais abundantes nos meses de coleta.

Antes de serem fixadas, as algas foram lavadas com água do ambiente utilizando-se peneira de bentos com malha de 250 e 500 µm para remoção do excesso de sedimento sem que houvesse perda da macrofauna. Em seguida, as algas e a fauna associada foram fixadas e conservadas em formalina a 4%. Posteriormente em laboratório, cada amostra algal foi colocada em bandeja plástica contendo água doce para remoção dos macroinvertebrados, feita com o auxílio de pinças. Utilizou-se microscópio estereoscópio para garantir a melhor visualização de espécimes menores do que 1 mm. Em seguida os espécimes encontrados foram conservados em álcool a 70%.



Fig. 1. Estuário do Rio Tubarão, ilustrando o setor amostral de coleta das macroalgas estudadas em Macau, Rio Grande do Norte. Fotos: Fonte: Instituto de Desenvolvimento e Meio Ambiente do Rio Grande do Norte.

Caracterização das algas estudadas

Para verificar a influência da complexidade do habitat e da sazonalidade sobre a macrofauna associada foram estudadas as algas *Gracilaria* sp. (período chuvoso), e *Solieria filiformes* e *Dictyota* sp. (ambas período seco). As algas foram analisadas quanto à complexidade estrutural, que foi medida a partir da análise de diferentes atributos morfológicos do talo a partir de Edgar (1983a) e Chemello & Milazzo (2002).



Fig. 2. Espécies de macroalgas estudadas no estuário do Rio Tubarão, Macau, Rio Grande do Norte. (a) *Gracilaria* sp., (b) *Dictyota* sp. e (c) *Solieria filiformes*. Fotos: Thelma Dias © 2012.

Os atributos morfológicos analisados encontram-se na tabela 1. Também foi obtido o **peso úmido da alga (PU_A)**, referente ao peso algal após a remoção do excesso de água (30 minutos em peneira e 20 minutos sobre papel toalha) presente nas frondes. Além disso, as réplicas das duas espécies de macroalgas foram fotografadas e as fotografias analisadas através do programa Fractop v.3 (Jelinek *et al.* 2003), sendo a partir

delas gerado um valor para cada réplica de Dimensão Fractal (D), que trata-se de um cálculo geométrico utilizado para explicar formas encontradas na natureza que não podem ser enquadrados nos moldes da matemática convencional. Para demonstrar a complexidade do habitat ofertado pelas espécies de algas foi calculado um valor de complexidade do habitat (Cd), por meio da seguinte equação:

$$C_d = \sum_{i=1}^n D_i N_i$$

Onde Cd é a complexidade de habitat, D a dimensão fractal de cada réplica, N a abundância das espécies de macroinvertebrados e *n* o número de réplicas de cada macroalga estudada.

Tabela 1. Atributos algais analisados nas quatro espécies estudadas no Rio Tubarão, Macau, Rio Grande do Norte.

Código	Atributo	Descrição
AA (mm)	Altura algal	Medida da macroalga desde a base até o topo.
LA (mm)	Largura algal	Medida do tamanho do talo de uma extremidade lateral a outra da fronde.
GR (cmm)	Grau de ramificação	Contagem das ramificações a partir do ramo inicial (base) até à última ramificação, sendo os primeiros ramos classificados como de primeira ordem, e à medida que se dividem a ordem é aumentada em um.
LT (mm)	Largura do talo	Medida que considera a espessura do eixo principal da alga em três níveis (inferior (LTNV1), intermediário (LTNV2) e superior (LTNV3), ao longo de sua altura).
NR (Σ)	Número de ramos	Contabiliza o número de ramos emergentes, contados em três níveis (inferior, intermediário e superior) a partir do eixo basal.

Para verificar apenas a influência da sazonalidade sobre o táxon Mollusca, foram utilizadas réplicas da alga *S. filiformes* obtidas nos períodos seco (7 réplicas) e chuvoso (7 réplicas). Os táxons de Mollusca foram identificados a partir da literatura atualizada (e.g. Mikkelsen & Bieler 2008; Rios 2009; Tunnell Jr. *et al.* 2010).

Análises estatísticas

Para verificar se existem diferenças entre a composição da macrofauna associada às espécies algais nos períodos seco e chuvoso, foi realizado um teste de PERMANOVA, através do teste principal com 9999 permutações de Monte Carlo após transformação dos dados em $\log(x+1)$ e emprego da similaridade de Bray-Curtis. O NMDS (Modelo de ordenação multidimensional) foi empregado para verificar os agrupamentos entre os períodos sazonais e a comunidade de macroinvertebrados nas três espécies de macroalgas. Além disso, a análise de percentagem de similaridade (SIMPER) foi empregada para examinar a contribuição de cada táxon com a similaridade entre os períodos.

Para verificar se existe influência da arquitetura das macroalgas e do fator sazonalidade sobre a comunidade de macroinvertebrados associados às três macroalgas estudadas foi empregado também um teste de teste de PERMANOVA, através do teste principal com 9999 permutações de Monte Carlo após transformação dos dados em $\log(x+1)$ e emprego da similaridade de Bray-Curtis.

Para verificar a influência dos atributos algais mensurados na similaridade entre as três macroalgas estudadas foi empregada Análise de Componentes Principais (PCA). A fim de relacionar os atributos morfológicos das algas com a abundância da macrofauna nos períodos seco e chuvoso, demonstrando qual a relação entre eles, foi empregada a análise de dbRDA (Distance-based Redundancy Analysis).

Para verificar a influência da sazonalidade sobre a comunidade de moluscos associada à macroalga *Solieria filiformes*, foram calculados os descritores ecológicos (a) número de espécies (S), (b) abundância total de indivíduos (N), (c) diversidade Shannon-Wiener (H'), (d) riqueza de Margalef (d) e (e) Equitabilidade de Pielou, tanto para o período seco quanto para o período chuvoso. Teste de PERMANOVA também foi empregado para verificar a relação entre a malacofauna e os períodos de seca e chuva, além do SIMPER, para examinar os táxons que mais contribuíram para a dissimilaridade da malacofauna entre os períodos sazonais. Os descritores ecológicos foram calculados por meio da rotina Diverse e as demais análises estatísticas foram realizadas através dos Softwares Primer 6.0 & Permanova+.

RESULTADOS

Complexidade estrutural das algas-habitat

Gracilaria sp., *Dictyota* sp. e *Solieria filiformes* se distinguiram com relação aos atributos morfológicos analisados, incluindo os valores de dimensão fractal, como constatado através do teste de PERMANOVA (Pseudo $F_{(1,3)} = 7,15$; $p=0,0001$). Este fato foi constatado também a partir da análise dos atributos morfológicos separadamente para as três espécies de macroalgas, demonstrando que as mesmas apresentaram arquiteturas estruturais bem distintas. *Gracilaria* sp. apresentou maiores valores médios para os atributos altura, grau de ramificação e largura do talo. Por outro lado, *S. filiformes* apresentou os maiores valores médios em atributos como largura algal e número de ramos. A alga *Dictyota* sp., por sua vez, apresentou os menores valores médios na maioria dos atributos analisados (Tabela 1). Em relação à complexidade do habitat, *S. filiformes* ($Cd=529.86$) foi a mais complexa, embora tenha apresentado um valor mais próximo à *Gracilaria* sp. ($Cd=359.6$). Novamente, *Dictyota* sp. apresentou-se como a alga menos complexa estruturalmente ($Cd=50.88$).

Tabela 2. Valores médios ($\pm DP$) dos atributos morfológicos das macroalgas estudadas no estuário do Rio Tubarão, Macau, Rio Grande do Norte. Códigos dos atributos na tabela 1

Atributos analisados	<i>Solieria filiformes</i>	<i>Gracilaria cearensis</i>	<i>Dictyota</i> sp.
AA (mm)	191.42 \pm 38.70	147.90 \pm 23.20	147.90 \pm 23.20
LA (mm)	170.70 \pm 51.30	152.85 \pm 16.00	142.90 \pm 32.90
GR Σ	24.71 \pm 11.57	65.71 \pm 15.29	23.56 \pm 22.00
LTNV1(mm)	0.66 \pm 0.66	0.75 \pm 0.32	0.69 \pm 0.40
LTNV2(mm)	1.13 \pm 0.90	0.70 \pm 0.5	2.74 \pm 1.80
LTNV3(mm)	0.95 \pm 0.90	0.40 \pm 0.20	1.40 \pm 1.0
NRNVR1(mm)	3.28 \pm 0.50	3.70 \pm 1.00	2.90 \pm 1.10
NRNVR2(mm)	4.14 \pm 0.37	12.28 \pm 3.14	4.71 \pm 2.69
NRNVR3(mm)	4.42 \pm 0.53	6.85 \pm 3.75	2.71 \pm 0.71
Peso úmido (g)	95.04 \pm 52.59	85.36 \pm 54.58	14.14 \pm 6.40

Esta diferenciação entre a morfologia das três espécies algais estudadas ficou demonstrada pela análise de similaridade e do NMDS (Fig. 3) que mostra a separação distinta entre os grupos formados pelas réplicas do período chuvoso (*Gracilaria* sp.) e do período seco (*Solieria filiformes* e *Dictyota* sp.). A Análise dos Componentes Principais (PCA) mostrou que existe influência dos atributos morfológicos entre as algas estudadas,

porém, o percentual de explicação de 70,3 % pode ser considerado baixo, sugerindo que há outros fatores além da morfologia algal influenciando as réplicas estudadas (Fig. 4).

Influência da sazonalidade e complexidade do habitat sobre a composição e abundância dos táxons de invertebrados marinhos associados à *Gracilaria* sp., *Solieria filiformes* e *Dictyota* sp.

Foi coletado um total de 1.750 indivíduos associados *Gracilaria* sp., *Solieria filiformes* e *Dictyota* sp., sendo classificados em cinco taxa: Echinodermata, Crustacea Amphipoda, Mollusca, Crustacea Isopoda e Annelida Polychaeta, destes 723 indivíduos encontrados no período chuvoso (*Gracilaria* sp.) e 1.028 no período seco (430 em *Dictyota* sp. e 598 em *S. filiformes*) (Fig. 5).

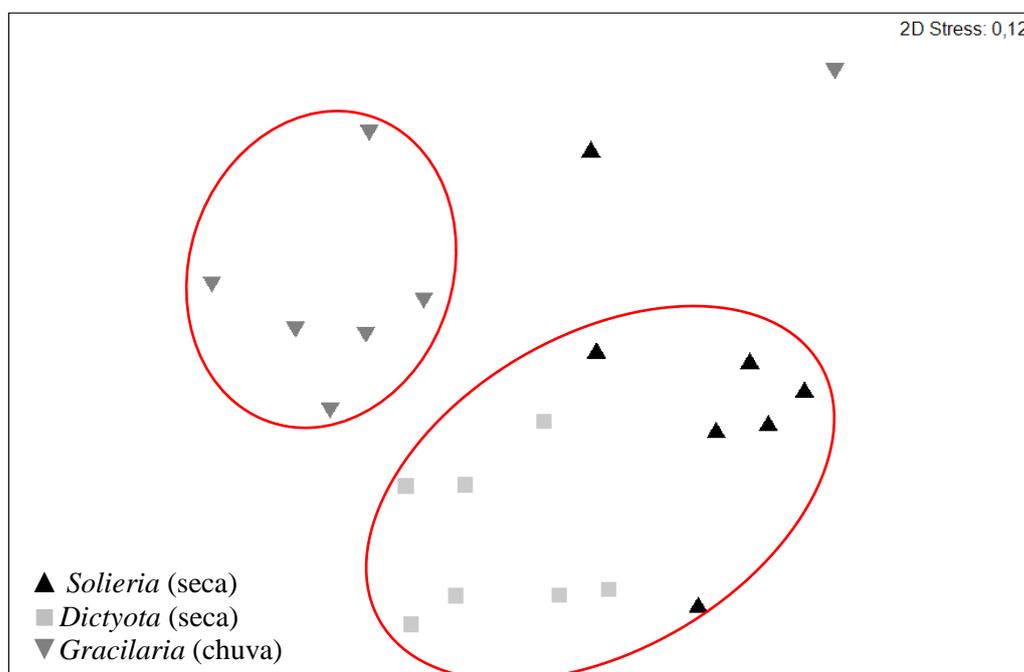


Fig. 3. Modelo de ordenação multidimensional (NMDS) com relação aos atributos morfológicos de *Gracilaria* sp. (chuva), *Solieria filiformes* (seca) e *Dictyota* sp. (seca) estudadas no Rio Tubarão, Macau, Rio Grande do Norte.

A fauna de invertebrados no período chuvoso foi dominada pelos Mollusca (N=300 indivíduos), enquanto no período seco, foi registrada uma maior abundância de Amphipoda, representados por 690 espécimes, sendo este táxon o mais abundante nas duas espécies algais do período seco (Fig. 5). Os Polychaeta foram os que apresentaram a menor abundância em ambos os períodos (Seca=40 espécimes; Chuva=68 espécimes).

Constatou-se através de um teste de PERMANOVA que as três macroalgas estudadas diferenciam-se com relação à composição da sua macrofauna (Pseudo $F_{(1,3)} =$

6,4901; $p=0,0001$). A análise de NMDS demonstrou uma separação entre as réplicas de macroalgas dos dois períodos estudados, mostrando que a abundância de indivíduos é distinta entre seca e chuva, mas é mais semelhante nas réplicas do período de seca, que correspondem às algas *Solieria filiformes* e *Dictyota* sp. (Fig. 6). É importante destacar que estas duas espécies do período seco apresentaram-se bastante distintas quanto à arquitetura algal (Tabela 2) e complexidade do habitat (Cd *Solieria*=529.86; Cd *Dictyota*=50.88), demonstrando que o fator sazonalidade influenciou mais a abundância da macrofauna do que o fator complexidade estrutural. Através do teste pair-wise, reforçou-se que estas macroalgas apesar de serem morfologicamente distintas não apresentaram uma fauna de invertebrados significativamente diferente ($p=0,1037$), reforçando assim, que a sazonalidade influenciou mais na abundância e composição dos táxons de macroinvertebrados. *Gracilaria* sp. e *Dictyota* sp. apresentaram um alta significância com relação a macrofauna ($p=0,0006$), contatando-se assim que a macrofauna pode estar sendo influenciada, em grande parte, pela sazonalidade.

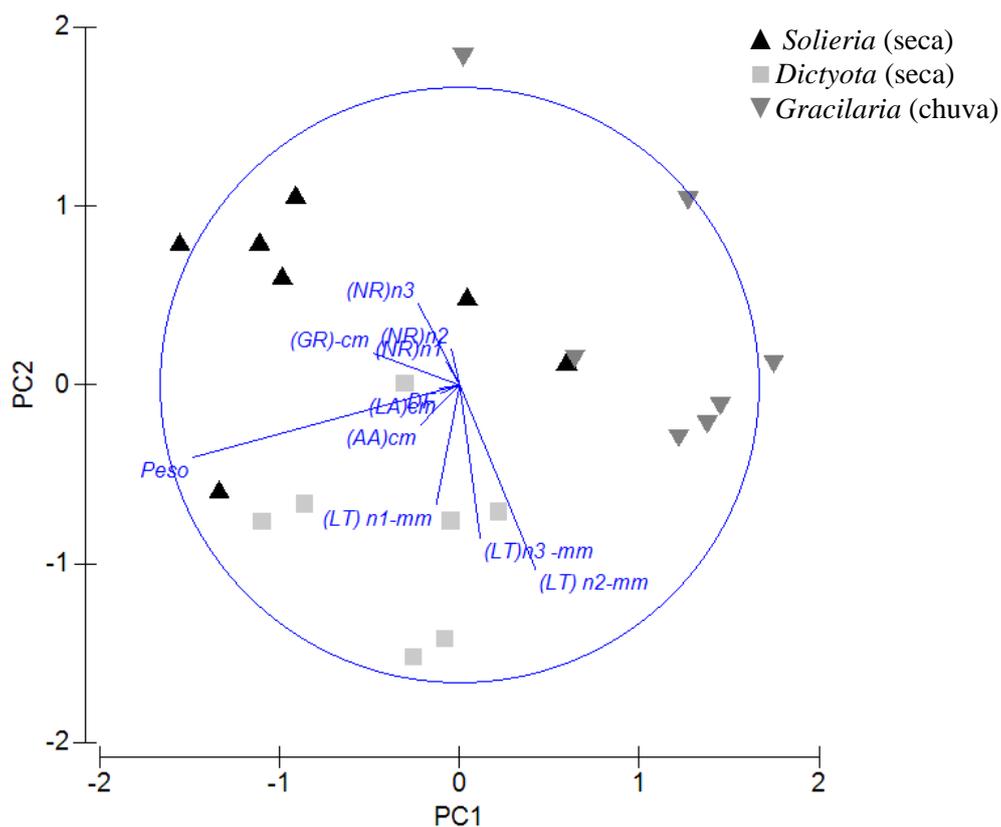


Fig. 4. Análise de Componentes Principais (PCA) para os atributos da arquitetura algal analisados nas espécies *Gracilaria* sp. (chuva), *Solieria filiformes* (seca) e *Dictyota* sp. (seca) do estuário do Rio Tubarão, Macau, Rio Grande do Norte. Legenda: AA = altura algal, LT = largura do talo, Peso= peso, GR= grau de ramificação, LA= largura algal e NR= número de ramos.

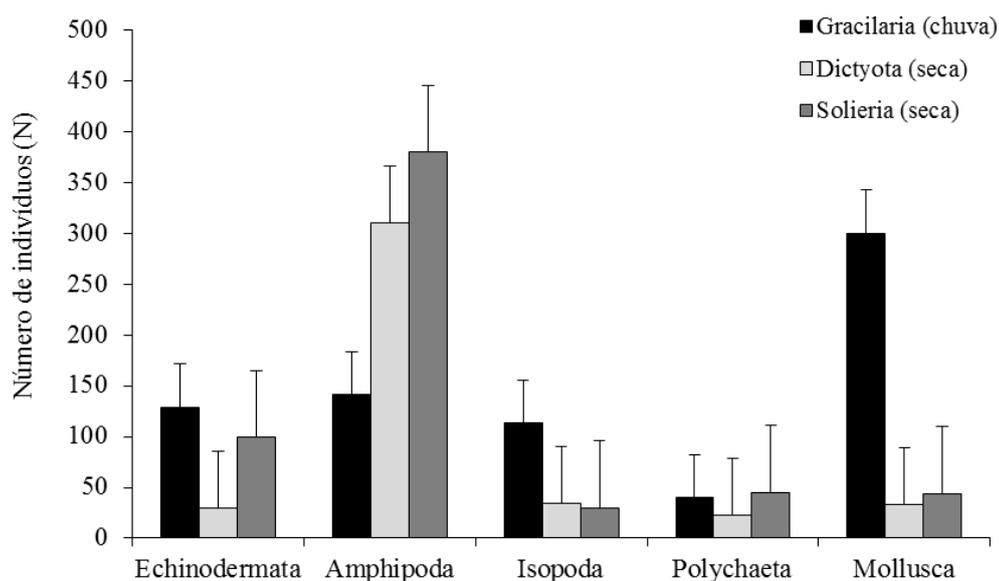


Fig. 5. Abundância dos táxons associados às macroalgas nos período de chuva (*Gracilaria* sp.) e seca (*Dictyota* sp. e *Solieria filiformes*) no Rio Tubarão, Macau, Rio Grande do Norte.

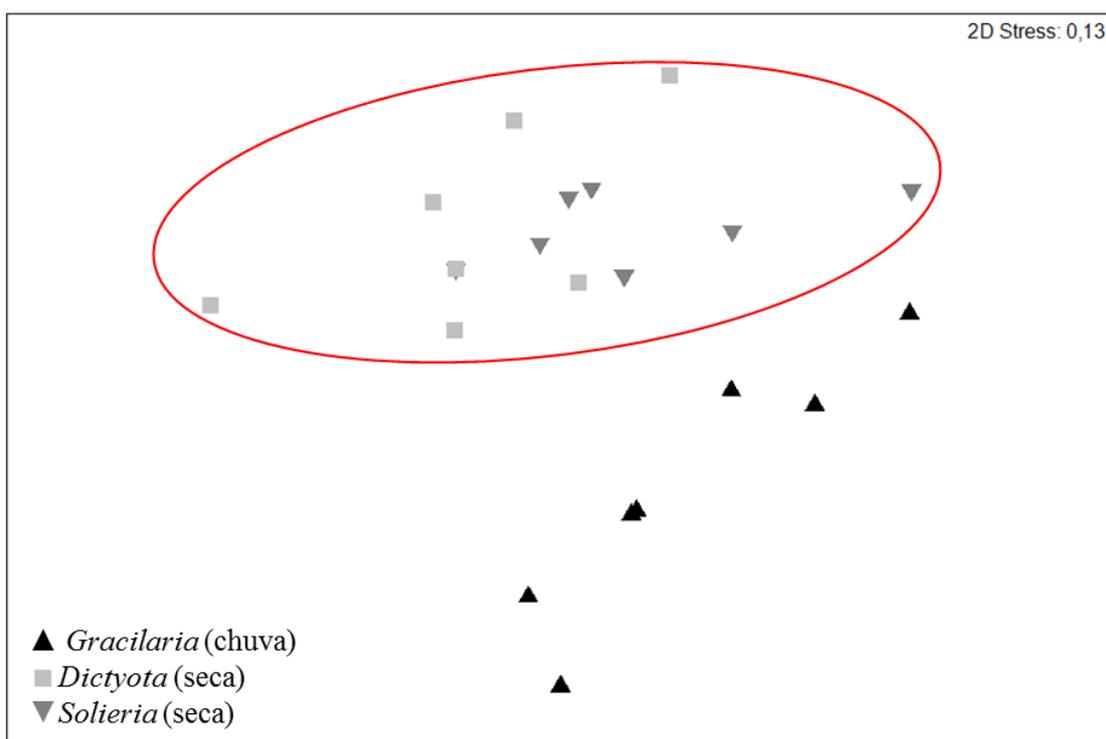


Fig. 6. Modelo de Ordenação Multidimensional (NMDS) com relação à abundância dos táxons de macroinvertebrados associados às macroalgas nos período de chuva (*Gracilaria* sp.) e seca (*Dictyota* sp. e *Solieria filiformes*) no Rio Tubarão, Macau, Rio Grande do Norte.

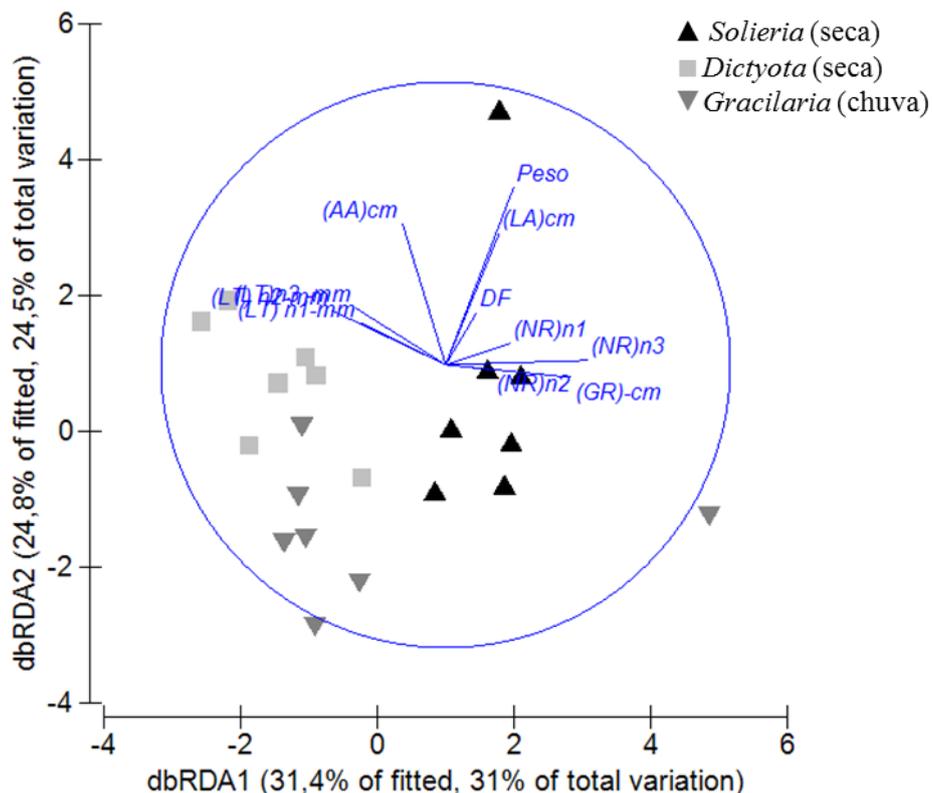


Fig. 7. Análise de Distance-based Redundancy Analysis (dbRDA) com relação a arquitetura algal e a abundância de macroinvertebrados associados a *Gracilaria* sp. (chuva) e *Dictyota* sp. e *Solieria filiformes* (seca) no estuário do Rio Tubarão, Macau, Rio Grande do Norte. Legenda: AA = altura algal, LT = largura do talo, Peso= peso, GR= grau de ramificação, LA= largura algal; NR= número de ramos e DF = dimensão fractal.

A separação quanto à complexidade do habitat apresenta-se em segundo plano, fato corroborado com a análise de dbRDA, na qual observamos que a morfologia não agrupou as réplicas, tendo o eixo 1 e 2 um percentual de explicação de 62,78 %, demonstrando que outros fatores como a sazonalidade podem estar exercendo uma influência maior sobre a macrofauna associada as algas (Fig. 7).

Influência da sazonalidade sobre a comunidade de moluscos associados à macroalga *Solieria filiformes*

Foram registradas 31 espécies pertencentes a 22 famílias e 29 gêneros (Anexo I). Destas, 31 ocorreram no período de chuva e 16 ocorreram no período seco (Fig. 8a). A maioria dos moluscos pertenceu à Classe Gastropoda (S=26 espécies; N=325). No total foram registrados 338 indivíduos, sendo a comunidade de moluscos mais abundante no período chuvoso, com um total de 304 indivíduos (Fig. 8b). No tocante à riqueza de espécies o padrão foi semelhante, com o período chuvoso apresentando maior riqueza ($d=5,23$) do que o período seco ($d=4,18$) (Fig. 8c). A diversidade de Shannon-Wiener também seguiu o padrão de riqueza e abundância, sendo maior no período chuvoso ($H'=2,48$) (Fig. 8d).

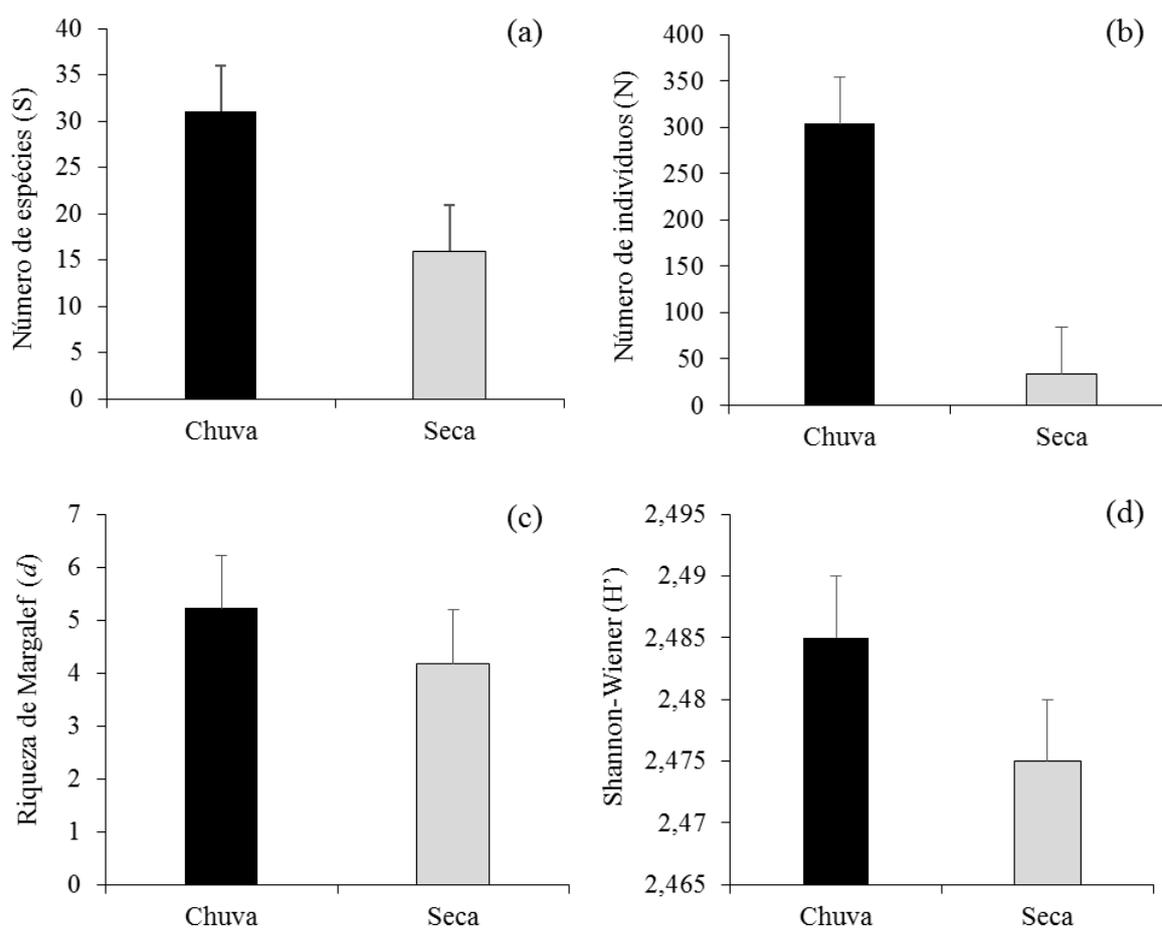


Fig. 8. (a) Número total de espécies (S), (b) número total de indivíduos (N), (c) riqueza de espécies de Margalef (d) e (d) diversidade de Shannon-Wiener (H') da malacofauna associada a *Solieria filiformes* nos períodos de seca e chuva no estuário do Rio Tubarão, Macau, Rio Grande do Norte.

Observou-se através de um teste de PERMANOVA (Pseudo $F_{(1,2)} = 3,327$; $p=0,0007$), que as réplicas da macroalga *Solieria filiformes* se distinguiram com relação à composição de sua malacofauna nos períodos sazonais de chuva e seca. A análise de NMDS, demonstrou a separação entre as réplicas coletadas nos diferentes períodos (Fig. 9).

As espécies mais abundantes foram os micromoluscos *Boonea jadisi*, *Parvanachis obesa*, *Schwartziella catesbyana*, *Alaba incerta* e *Bittiolium varium* (Fig. 10), sendo mais abundantes no período de chuva. De acordo com a análise de SIMPER, estas espécies foram as que mais contribuíram para o total de dissimilaridade entre os períodos de seca e chuva (87,59%).

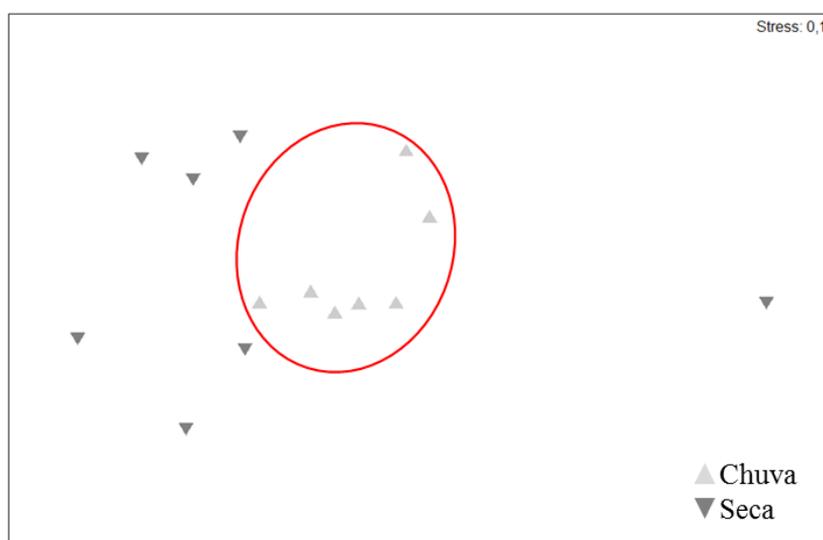


Fig. 9. Modelo de ordenação multidimensional (NMDS) com relação a composição da malacofauna da macroalga *Solieria filiformes*, nos períodos estudados, no estuário do Rio Tubarão, Macau, Rio Grande do Norte.

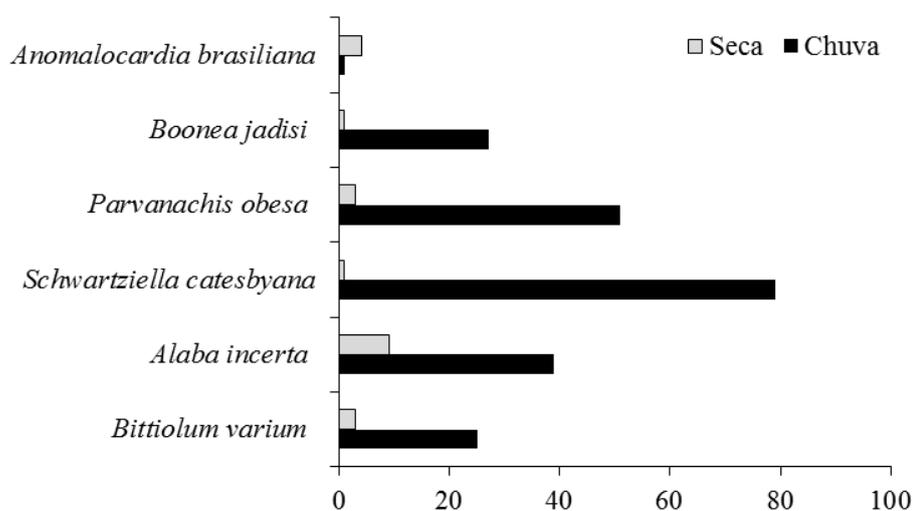


Fig. 10. Espécies de moluscos mais abundantes no fitil de *Solieria filiformes*, nos períodos de seca e chuva no estuário do Rio Tubarão, Macau, Rio Grande do Norte.

Discussão

Este estudo mostrou que as macroalgas podem ser importantes habitats para a fauna estuarina em condições atípicas de hipersalinidade, provendo espaço para a colonização de diversos táxons que coexistem nos microambientes ofertados pelo habitat algal. As macroalgas utilizadas pelos macroinvertebrados neste estudo distinguiram-se quanto à sua complexidade estrutural, sugerindo que elas oferecem microhabitats distintos para a fauna associada. A influência positiva da complexidade do habitat sobre a riqueza e abundância de macroinvertebrados do fital já foi comprovada por diversos estudos realizados em ecossistemas marinhos (e.g. Heck & Wetstone 1977; Chemello & Milazzo 2002) e de água doce (e.g. Dibble & Thomaz 2009; Thomaz & Cunha 2010). No entanto, os efeitos combinados da complexidade do habitat e da sazonalidade sobre a fauna que habita frondes algais ainda é um tema pouco estudado e demanda esforços nesse sentido.

No estuário do Rio Tubarão, as macroalgas são um importante componente bentônico nos canais principais do rio e nas raízes de mangue, mas a composição das espécies ao longo do ano é variável, havendo dominância de determinadas espécies no curto período de chuvas e de outras no longo período seco (Lucena 2012). Nas três espécies de algas estudadas, houve a presença dos cinco táxons de invertebrados registrados (i.e. Amphipoda, Isopoda, Polychaeta, Mollusca e Echinodermata), corroborando com outros estudos onde a fauna associada à macroalgas foi dominada por anfípodes, mas com grande número de moluscos, poliquetas e isópodes (e.g. Edgar 1983a, b; Jacobucci & Leite 2002). No entanto, a alga coletada no período de chuva (*Gracilaria* sp.), que foi considerada de média complexidade do habitat, apresentou maior abundância de indivíduos, com dominância dos Mollusca, especialmente os gastrópodes.

Para as algas coletadas no período de seca, o táxon Amphipoda foi dominante em ambas (*Dictyota* sp. e *Solieria filiformes*), sendo uma de baixa complexidade do habitat (*Dictyota* sp.) e a outra de alta complexidade (*S. filiformes*). Isto sugere que, mesmo em habitats com complexidades tão distintas, a comunidade de anfípodes pode responder mais efetivamente a fatores sazonais. Este fato corrobora com outros estudos (e.g. Mukai 1971; Berardo-Valério & Flynn 2002; Leite & Turra 2003), onde os autores evidenciaram claramente a influência da sazonalidade sobre a composição e abundância de anfípodes em diferentes espécies macroalgais. Ainda, de acordo com Edgar (1983a), os anfípodes apresentaram maior abundância quando associados a algas de frondes mais

largas, ou seja, de menor heterogeneidade estrutural, mas, por outro lado, exibiram picos de abundância nos meses de verão e outono, onde foram registrados os maiores valores de temperatura e salinidade.

No presente estudo, embora os animais não tenham sido medidos em tamanho, também se evidenciou a predominância de anfípodes de menor tamanho corpóreo na macroalga *Dictyota* sp., considerada menos complexa. Este fato remete aos resultados de Hacker & Steneck (1990), que observaram uma seleção de habitat dependente do tamanho, onde espécimes maiores buscam habitats que ofereçam mais proteção e refúgio contra predadores.

Os Echinodermata, predominantemente representados pelos ofiuroides, foram mais abundantes em macroalgas mais complexas como *Gracilaria* sp. e *Solieria filiformes*. Porém, com relação à sazonalidade, a diferença de sua abundância entre os períodos de chuva e seca não foi tão evidente, sugerindo assim que este grupo pode preferir algas com arquitetura algal mais complexa onde eles possam se refugiar contra predadores e se proteger da incidência luminosa, uma vez que os ofiuroides são fototáticos negativos.

O ambiente estudado no presente trabalho é considerado atípico, por apresentar um regime hidrológico bem diferenciado, conforme exposto anteriormente, no qual podemos observar uma baixa precipitação, mesmo no período de chuvas. A salinidade que já é alta se eleva um pouco mais durante o longo período de seca. Possivelmente, a rápida diminuição de salinidade ocasionada pelas chuvas pode ser um fator determinante para o desenvolvimento de certas espécies macroalgais e de sua fauna associada. O mesmo pode ser pensado para o período de maior salinidade na seca, que pode favorecer outros táxons algais e macrofaunais. Conforme Lucena (2012), a biomassa de macroalgas no Rio Tubarão foi maior no período de chuvas.

Diante deste fato, e, sabendo-se que as macroalgas são em grande parte influenciadas por diversos fatores ambientais como temperatura e salinidade (e.g. Raikar et al. 2001), podemos sugerir que a fauna associada a estes ambientes também sofre a influência da mudança desses fatores ambientais, já que nos períodos mais secos os ventos são mais acentuados e há maior evaporação da água acarretando um aumento da salinidade e da temperatura no ambiente estuarino, fatores que provavelmente influenciam diretamente as macroalgas e conseqüentemente sua biota associada.

Alguns táxons de macroinvertebrados têm seus ciclos de vida associados às próprias macroalgas, e como estas são consideradas habitats perenes e sazonais, a

estrutura da comunidade associada pode acompanhar esta dinâmica das macroalgas, como observado por Dean & Connell (1987). Estes autores enfatizam que o aumento na abundância e diversidade de animais associados responde à sucessão das algas em termos de aumento superficial das frondes e de biomassa. Em seu estudo Noda *et al.* (2013), demonstraram bem este fator sazonal das macroalgas, associando também a ele a questão da sucessão, mostrando que pode ocorrer um fator ecológico chamado de substituição de espécies, o que pode explicar a presença de alguns táxons em um dos períodos sazonais e a diminuição ou substituição deles em outro.

No estuário do Rio Tubarão, observou-se que muitas das macroalgas coletadas no período seco não apresentavam epífitas aderidas às frondes e a quantidade de sedimento acumulado em seus talos era reduzida. De acordo com alguns autores (e.g. Leite & Turra 2003), a presença e biomassa de epífitas pode ser um fator importante para explicar a abundância de alguns táxons associados às macroalgas por dois motivos principais: o primeiro é pela oferta de alimento que eles promovem e o segundo é pelo aumento da complexidade estrutural na alga hospedeira (Hall & Bell 1988). Este aspecto foi comprovado por Edgar (1983b), onde grande parte dos invertebrados do fital não se alimentava da própria alga e sim de outros seres associados ao próprio sedimento acumulado em seus talos, ou até mesmo das epífitas que ficam aderidas a elas. No presente estudo, embora a presença e biomassa de epífitas não tenha sido abordada, é provável que a baixa abundância de muitos grupos no período de seca pode estar relacionada em grande parte a estes fatores.

Especificamente em relação aos moluscos, observou-se maior abundância, riqueza e diversidade da comunidade no período chuvoso, considerando-se a mesma espécie algal em ambos os períodos, sugerindo que este táxon pode sofrer influência da sazonalidade ou de fatores não analisados neste estudo. Os gastrópodes foram mais abundantes e diversos, tendo as espécies *Schwartziella catesbyana*, *Parvanachis obesa* e *Alaba incerta* como as que mais contribuíram para a dissimilaridade entre os períodos. Estas três espécies são microgastrópodes omnívoros comuns no habitat macroalgal em manguezais hipersalinos (e.g. Queiroz & Dias, no prelo). *A. incerta* esteve presente em 90% das réplicas de macroalgas do período chuvoso, sobressaindo também em relação às outras espécies no período seco. Isto pode estar associado à alta resistência desta espécie às mudanças de fatores ambientais no habitat estuarino, ou a sua capacidade de diversificar os itens da sua dieta alimentar, lidando assim com a escassez de alguns itens

que possa ocorrer no período mais seco, corroborando com Leite *et al.* (2009), que indica que espécies típicas do fital geralmente têm hábitos alimentares diversos.

Conclusões

- Macroalgas com morfologias distintas ofertam diferentes microambientes para sua fauna de invertebrados associados, já que o arranjo de suas frondes propicia uma distribuição de organismos diferenciada.
- A macrofauna associada às diferentes espécies de algas se mostrou diferenciada quanto a sua composição, no entanto as macroalgas mais semelhantes quanto à composição de invertebrados foram aquelas com a morfologia mais distinta, fato que pode nos levar a inferir que outros fatores como a sazonalidade podem estar interferindo, já que estas macroalgas foram coletadas no mesmo período sazonal (seca).
- Em termos de abundância, Amphipoda e Mollusca foram os táxons que mais responderam aos períodos sazonais, sendo, respectivamente mais abundantes na seca e na chuva. Os demais táxons registrados não apresentaram uma resposta clara à este fator.
- A malacofauna associada à macroalga *Solieria filiformes* demonstrou-se diferenciada nos períodos estudados, mas houve dominância dos gastrópodes em ambos os períodos sazonais.
- Com a análise dos descritores ecológicos, a influência da sazonalidade se mostrou evidente sobre a malacofauna associada à *Solieria*, tendo em vista que todos eles foram maiores no período chuvoso.

Agradecimentos

Somos gratas a todos os estudantes do Laboratório de Biologia Marinha que auxiliaram a coleta e triagem do material estudado. Dona Dalci e Sr. Belo gentilmente cederam hospedagem e alimentação durante as viagens de coleta. Este estudo teve o apoio financeiro do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (Processo N°. 479213/2010-0,

PIBIC/UEPB Cota 2011-2012, PROPESQ UEPB 2011/2013, Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior através da bolsa concedida a R.C.S. Duarte e Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Conservação da Universidade Estadual da Paraíba. Somos gratas ainda a L.C.P. Damasceno pelo apoio essencial durante os mergulhos no estuário hipersalino.

Referências

Ateweberhan M., Bruggemann J., Breeman A. (2006) Effects of extreme seasonality on community structure and functional group dynamics of coral reef algae in the southern Red Sea (Eritrea). *Coral Reefs*, **25**, 391-406.

Berenike A., Diekmann S., Clemmesen C., John M. A., Paulsen M., Peck M. A. (2012) Environmental cues and constraints affecting the seasonality of dominant calanoid copepods in brackish, coastal waters: a case study of *Acartia*, *Temora* and *Eurytemora* species in the south-west Baltic. *Marine Biology*, **159**, 2399-2414.

Chemello R., Milazzo M. (2002) Effect of algal architecture on associated fauna: some evidence from phytal mollusks. *Marine Biology*, **140**, 981-990.

Christie H., Norderhaug K. M., Fredriksen S. (2009) Macrophytes as habitat for fauna. *Marine Ecology Progress Series*, **396**, 221-233.

Dean R. L., Connell J. H. (1987) Marine invertebrates in an algal succession. III. Mechanisms linking habitat complexity with diversity. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, **109**, 249-273.

Edgar G. J. (1983) The ecology of southeast Tasmanian phytal animal communities. I. Spatial organization on a local scale. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, **70**, 129-157.

Edgar G.J. (1983) The ecology of South-east Tasmanian phytal animal communities. II seasonal change in plant and animal populations. *Journal Experimental Marine Biology and Ecology*, **70**, 159-179.

Ferrari R., Rivero M. G., Ortiz J. C., Ortiz, P. J. M. (2012) Interaction of herbivory and seasonality on the dynamics of Caribbean macroalgae. *Coral Reefs*, **32**, 683-692.

Hacker S. D., Steneck R. S. (1990) Habitat architecture and the abundance and body-size-dependent habitat selection of a phytal amphipod. *Ecology*, **71**, 2269-2285.

Heck K. L., Wetstone G. S. (1977) Habitat complexity and invertebrate species richness and abundance in tropical seagrass meadows. *Journal of Biogeography*, **4**, 135-142.

Ito K.; Goshima S., Nakao S. (1996) Growth and reproduction of the generalist opisthobranch *Haloa japonica*: effect of algal seasonality on growth rate. *Marine Biology*, **126**, 395-401.

Jacobucci G. B., Güth A. Z., Turra A., Magalhães, C. A., Denadai M. R., Chaves A. M. R., Souza E. C. F. (2006) Levantamento de Mollusca, Crustacea e Echinodermata associados a *Sargassum* spp. na Ilha da Queimada Pequena, Estação Ecológica dos Tupiniquins, litoral sul do Estado de São Paulo, Brasil. *Biota Neotropica*, **6**, 2, 1-8.

Jelinek, H., Cornforth, D., Weymouth, L. Fractop v.0.3 (2003) <http://seal.tst.adfa.edu.au/fractop>, Acesso em: 23/05/2012.

Kennish R., Williams G.A., Lee S.Y. (1996) Algal seasonality on an exposed rocky shore in Hong Kong and the dietary implications for the herbivorous crab *Grapsus albolineatus*. *Marine Biology*, **125**, 55-64.

Kovalenko K. E., Thomaz S. M., Warfe D. M. (2012) Habitat complexity: approaches and future directions. *Hydrobiologia*, **685**, 1-17.

Leite F. P. P., Turra A. (2003) Temporal variation in *Sargassum* Biomass, *Hypnea* epiphytism and associated fauna. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, **46**, 665-671.

Lucena L. A. F. (2012) **Macroalgas de dois manguezais hipersalinos do Nordeste brasileiro: diversidade e suas correlações com as variáveis ambientais.** Dissertação

de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Conservação. Universidade Estadual da Paraíba. 1-141.

McAbendroth, L., Ramsay, P.M., Foggo, A., Rundle, S.D., Bilton, D.T. (2005). Does macrophytes fractal complexity drive invertebrate diversity, biomass and body size distributions? *Oikos*, **111**, 279-290.

Mikkelsen P.M., Bieler, R. (2008) *Seashells of Southern Florida - Living marine mollusks of the Florida Keys and adjacent regions: Bivalves*. Princeton University Press, Princeton New Jersey, 1-503.

Mukai H. (1971) The phytal animals on the thalli of *Sargassum serratifolium* in the *Sargassum* region, with reference to their seasonal fluctuations. *Marine Biology*, **8**, 170-182.

Noda T., Minamiura N., Miyamoto Y. (2003) Seasonal changes in an intertidal annual algal assemblage in northern Japan: The role of pre-emption and grazing on algal replacement. *Ecological Research*, **18**, 695-709.

Raikar S.V., Iima M, Fujita Y. (2001) Effect of temperature, salinity, and light intensity on the growth of *Gracilaria* spp. (Gracilariales, Rhodophyta) from Japan, Malaysia and India. *Indian Journal Marine Sciences*, **30**, 98-104.

Sidinei M.T., Eric D.D., Luiz R.E., Janet H., Luis M.B. (2008) Influence of aquatic macrophyte habitat complexity on invertebrate abundance and richness in tropical lagoons. *Freshwater Biology*, **53**, 358-367.

Taniguchi, H., Tokeshi, M. (2004) Effects of habitat complexity on benthic assemblages in a variable environment. *Freshwater Biology*, **49**, 1164-1178.

Thomaz S. M., Cunha E. R. (2010) The role of macrophytes in habitat structuring in aquatic ecosystems: methods of measurement, causes and consequences on animal assemblages' composition and biodiversity, *Acta Limnologica Brasiliensia*, **22**, 218-236.

Tunnell Jr J. W., Andrews, J., Barrera, N. C., Moretzsohn, F. (2010) *Encyclopedia of Texas Seashells: Identification, Ecology, Distribution, and History*. Texas A&M University Press, 1-987.

Anexo I. Lista taxonômica das espécies de moluscos coletadas nas algas do período chuvoso (*Gracilaria* sp.) e seco (*Dictyota* sp. e *Solieria filiformes*) no Rio Tubarão, Macau, Rio Grande do Norte (N = 346).

Classes/Clados/Famílias	Espécies	Período Chuvoso	Período Seco
Classe Gastropoda			
PHASIANELLIDAE	<i>Eulithidium affine</i> (C. B. Adams, 1850)	17	
Cycloneritimorpha			
NERITIDAE	<i>Neritina virginea</i> (Linnaeus, 1758)	13	3
Sorbeconcha			
CERITHIIDAE	<i>Cerithium atratum</i> (Born, 1778)	3	3
	<i>Bittolum varium</i> (Pfeiffer, 1840)	25	3
LITIOPIDAE	<i>Alaba incerta</i> (d'Orbigny, 1841)	39	9
Littorinimorpha			
CALYPTRAEIDAE	<i>Bostrycapulus aculeatus</i> (Gmelin, 1791)	4	2
RISSOIDAE	<i>Schwartziella catesbyana</i> (d'Orbigny, 1842)	79	1
CAECIDAE	<i>Caecum johnsoni</i> Winkley, 1908	2	
	<i>Caecum rissotitum</i> Folin, 1867	1	1
EULIMIDAE	<i>Melanella sarsi</i> (Bush, 1909)	3	
TRIPHORIDAE	<i>Marshallora nigrocincta</i> (C. B. Adams, 1839)	1	
Neogastropoda			
COLUMBELLIDAE	<i>Anachis lyrata</i> (Sowerby I, 1832)	9	
	<i>Costoanachis sparsa</i> (Reeve, 1859)	1	
	<i>Parvanachis obesa</i> (C. B. Adams, 1845)	51	3
	<i>Astyris lunata</i> (Say, 1826)	3	
	<i>Mitrella</i> sp.	1	
MELONGENIDAE	<i>Pugilina morio</i> (Linnaeus, 1758)	2	
MARGINELLIDAE	<i>Volvarina gracilis</i> (C. B. Adams, 1851)	3	
CONIDAE	<i>Conus bodarti</i> Coltro, 2004	6	
Cephalaspidea			
CYLICHNIDAE	<i>Cylichnella bidentata</i> (d'Orbigny, 1841)	1	

Heterobranchia	<i>Acteocina candei</i> (d'Orbigny, 1841)		1
PYRAMIDELLIDAE	<i>Boonea jadisi</i> (Olsson & McGinty, 1958)	27	1
	<i>Turbonilla portoricana</i> Dall & Simpson, 1901	1	

Anexo I - Continuação

	<i>Turbonilla fasciata</i> d'Orbigny, 1840)	5	
HAMINOEIDAE	<i>Haminoea antillarum</i> (d'Orbigny, 1841)	1	
VOLUTIDAE	<i>Voluta ebraea</i> Linnaeus, 1758	1	

Classe Bivalvia

Pteriormorphia			
NUCULIDAE	<i>Nucula crenulata</i> A. Adams, 1856	2	1
PECTINIDAE	<i>Leptopecten bavayi</i> (Dautzenberg, 1900)		1
Heterodonta			
CORBULIDAE	<i>Caryocorbula dietziana</i> (C. B. Adams, 1852)	1	1
VENERIDAE	<i>Anomalocardia brasiliiana</i> (Gmelin, 1791)	1	4
MYIDAE	<i>Sphenia fragilis</i> (H. & A. Adams, 1854)	1	
