



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE BIOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ECOLOGIA E RECURSOS NATURAIS

TAMARA MACIEL PEREIRA

**O SOLO COMO IMPORTANTE FONTE DE NUTRIENTE PARA CRUSTACEA
BRACHYURA**

FORTALEZA

2017

TAMARA MACIEL PEREIRA

O SOLO COMO IMPORTANTE FONTE DE NUTRIENTE PARA CRUSTACEA
BRACHYURA

Dissertação apresentada ao Curso de Ecologia e Recursos Naturais do Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Recursos Naturais do Centro de Ciências da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de mestre em Ecologia. Área de Concentração: Ecologia

Orientadora: Prof. Dr. Carla Ferreira Rezende

Coorientadora: Cynthia Yuri Ogawa

FORTALEZA

2017

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca Universitária
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

P496s Pereira, Tamara Maciel.

O solo como importante fonte de nutriente para crustacea Brachyura / Tamara Maciel Pereira. – 2021.
42 f. : il. color.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências, Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Recursos Naturais, Fortaleza, 2021.

Orientação: Profa. Dra. Carla Ferreira Rezende.

Coorientação: Profa. Dra. Cynthia Yuri Ogawa.

1. ciclo de nutrientes. 2. teia trófica. 3. isótopos estáveis. I. Título.

CDD 577

TAMARA MACIEL PEREIRA

O SOLO COMO IMPORTANTE FONTE DE NUTRIENTE PARA CRUSTACEA
BRACHYURA

Dissertação apresentada ao Curso de Ecologia e Recursos Naturais do Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Recursos Naturais do Centro de Ciências da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de mestre em Ecologia. Área de Concentração: Ecologia

Aprovada em:

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Carla Ferreira Rezende (Orientadora)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Luiz Felipe Mendes Gusmão
Universidade Federal de São Paulo (UNIFESP)

Dra. Cristiane Xerez Barroso
Universidade Federal do Ceará (UFC)

AGRADECIMENTOS

Nesses dois anos de mestrado foi imenso o número de pessoas maravilhosas que passaram pela minha vida e que fizeram desse processo algo muito prazeroso. Agradeço primeiramente a minha família, minha mãe Tércia, meu pai Paulo e meu irmão Paulo Ernesto. Agradeço também ao meu tio Paulo Henrique que sempre me serviu de inspiração para seguir a vida acadêmica e me apoia desde a graduação. A minha avó Francisca Irací por me colocar sempre em suas orações. Ao meu avô Francisco Maciel (in memoria), que durante o meu mestrado tive a infelicidade de perder uma pessoa tão amada, mas tenho a certeza que onde ele estiver está torcendo pela minha felicidade.

Tenho muito o que agradecer ao meu amor, amigo e companheiro, Jorda que participou ativamente de todo o processo, desde a fabricação de material para a execução do trabalho até mesmo das coletas nada fáceis realizadas no mangue. Obrigada meu amor por me suportar em todos os momentos de estresse e por me dar tanto suporte. Aos meus colegas de laboratório, Frederico, Keilo, Bárbara, Amanda, Thais, Felipe, Joaquim, Livânio, Francimeire, Yago, Diego, Julia, Hipólito, Sarah. Agradeço grandemente a disponibilidade e ajuda de todos nas idas a campo e aos momentos de descontração no laboratório. Agradeço a Bianca Terra, a qual eu tive um prazer imenso de conhecer melhor e aprender muito com ela, agradeço aos seus conselhos e ensinamentos. As minhas orientadoras, Carla Ferreira Rezende e Cynthia Yuri Ogawa, por toda a paciência, credibilidade e confiança depositada em mim. Ao professor Roberto Feitosa pelos seus ensinamentos e disponibilidade em ajudar.

A todos os meus colegas do mestrado, companheiros de disciplinas e de muitos perrengues. Em especial a Cecília Licarião e Edson José, não sei o que será de mim nesse doutorado sem vocês por perto, mas tenho a certeza de que essa amizade vai além desses dois anos de curso. Obrigada por tornarem essa etapa tão mais leve e prazerosa. Agradeço também as meninas da Esalq, que me fizeram sentir membro da casa, obrigada pela ótima recepção e pela amizade, Isabella, Cris, Glêvia e Thais. Tenho muito o que agradecer também aos meninos do solo, sempre prestativos, Daniel, Gabriel e Danilo. Aos professores Thiago Osório e Plínio Barbosa que me permitiram usufruir da estrutura dos seus laboratórios e por aceitarem fazer parte desse trabalho, disponibilizando parte do seu tempo na execução das minhas análises.

Ao Programa de Pós Graduação em Ecologia e Recursos Naturais pela estrutura e pelas disciplinas ofertadas que contribuíram grandemente para o meu aprendizado.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de

Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

RESUMO

Os ciclos de nutrientes em ecossistemas de manguezal são extremamente importantes devido ao seu papel no balanço de carbono em ecossistemas costeiros tropicais e sua elevada produtividade primária. No início, a hipótese *outwelling* postulava que grande parte do produto primário do mangue era exportada pela maré e tornava-se uma importante fonte de alimento para espécies costeiras. Porém, trabalhos mais recentes têm demonstrado que a maior parte do produto do mangue é consumida pela sua própria fauna e microbiota. Crustáceos *Brachyura* são importantes consumidores da serapilheira de mangue e realizam diversas funções ecossistêmicas, fazendo desses animais importantes engenheiros de ecossistema. Este trabalho teve como objetivo identificar as principais fontes alimentares de *Goniopsis cruentata* e *Ucides cordatus* e o nicho trófico dessas espécies em dois diferentes manguezais. As coletas foram feitas nos estuários do rio Jaguaribe e Pacoti, localizados no Estado do Ceará, Brasil. Para a realização do trabalho foram realizadas análises isotópicas de indivíduos machos e adultos de *G. cruentata* e *U. cordatus* e de suas possíveis fontes de alimento, bem como a caracterização dos mangues. As espécies de *Brachyura* tiveram como principal item alimentar os recursos com maior valor nutritivo. Sendo o solo um importante recurso alimentar e fonte de nutrientes para ambas as espécies. Características estruturais e físico-químicas dos mangues alteram a qualidade do recurso alimentar presente no ambiente. Além disso, as duas espécies de *Brachyura* estudadas ocupam diferentes nichos tróficos mesmo possuindo em alguns casos o mesmo item alimentar como principal fonte de nutriente. Por fim, conclui-se que mudanças na estrutura do hábitat bem como na composição química das fontes alimentares são fatores que alteram a escolha do alimento por caranguejos *Brachyura*.

Palavras-chave: Ciclo de nutrientes. Teia trófica. Isótopos de $\delta^{15}\text{N}$ e $\delta^{13}\text{C}$.

ABSTRACT

The nutrient cycle in mangrove ecosystems are very important due to your role on the carbon balance in the tropical coastal ecosystems and their high productivity. Initially, the outwelling hypothesis, postulated that mostly part of the primary production of mangrove was exported by the tides, becoming an important source for coastal species. However, recent papers are demonstrating that large fraction of primary production are consumed by its own fauna and microbiota. The mangrove primary production is represented mostly by mangrove litter and algae. *Brachyura crustaceas* are important mangrove litter consumers and perform several ecosystem functions, making these animals ecosystems engineers. This study aimed to identify the main dietary source of *G. cruentata* and *U. cordatus* and their trophic niche in two different mangroves. In order to execute the study, we collected adult males of *G. cruentata* and *U. cordatus* in the Jaguaribe mangrove and the Pacoti mangrove, located in State of Ceará. Also, were realized collected litter fall, soil and other invertebrates that are considered food resource of species under study. Isotopic analyzes of the two *Brachyura* species and their possible food sources were realized to identify the food resource used by the species. In addition, soil physico-chemical analyzes were performed. It was verified that the soil is an important food resource and nutrient resource for both species. Structural and physicochemical characteristics of mangroves alter the quality of the food resource present in the environment. Both species consume sources with higher nutrient content and occupy different trophic niches.

Keywords: Mangrove nutrient cycle. Trophic ecology. Isotope of $\delta^{15}\text{N}$ and $\delta^{13}\text{C}$.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

- Figura 1 – Manguezais estudados na costa nordeste do Brasil e a realização da coleta no rio Pacoti (MRP) e Jaguaribe (MRJ). 17
- Figura 2 – Desenho esquemático do delineamento amostral, com a exemplificação dos pontos sorteados para a coleta 19
- Figura 3 – Foto do coletor de serapilheira no manguezal do rio Jaguaribe (Ceará). 20
- Figura 4 – . A-Contribuição percentual das espécies vegetais na composição da serapilheira nos manguezais dos rios Jaguaribe (MRJ) e Pacoti (MRP). B- Aporte de serapilheira dos manguezais. 25
- Figura 5 – Parâmetros químicos do solo dos manguezais dos rios Jaguaribe (MRJ) e Pacoti (MRP), Ceará, Brasil. A: pH e B: Eh. Linha sublinhada demonstrando os valores de medianas e as linhas tracejadas, os valores de máxima e mínima. 26
- Figura 6 – Percentuais de contribuição das diferentes texturas do solo (areia, argila e silte) nos manguezais dos rios Jaguaribe (MRJ) e Pacoti (MRP), Ceará, Brasil. 27
- Figura 7 – Análise de componente principal PCA dos parâmetros físicos e químicos do solo para o MRJ e para o MRP. 28
- Figura 8 – Valores médios de C e N (\pm desvio padrão) dos recursos alimentares (solo, material animal e material vegetal). (A) Porcentagem de carbono, (B) Porcentagem de nitrogênio, (C) Razão C/N dos manguezais (MRJ: Mangue do rio Jaguaribe; MRP: Mangue do rio Pacoti). 30
- Figura 9 – Representação das variações do $\delta^{13}\text{C}$ e do $\delta^{15}\text{N}$ de cada espécie de caranguejo e de suas possíveis fontes alimentares em diferentes mangues (a) MRJ e (b) MRP. Os valores representados são as médias \pm SD. Espécies de caranguejo: *Goniopsis cruentata* (círculo aberto) e *Ucides cordatus* (triângulo aberto). Fontes alimentares: material animal, material vegetal e solo. 31
- Figura 10 – Proporção da assimilação dos diferentes recursos alimentares nos dois manguezais de estudo. (A) *Goniopsis cruentata* no MRJ; (B) *Goniopsis cruentata* no MRP; (C) *Ucides cordatus* no MRJ e (D) *Ucides cordatus* no MRP. 32

Figura 11 – Valores de $\delta^{13}\text{C}$ versus $\delta^{15}\text{N}$ das duas espécies de caranguejo estudadas (*G.cruentata* e *U.cordatus*) nos dois mangues (Jaguaribe e Pacoti). As linhas sólidas incluem a área padrão das elipses (SEAc), contendo 40% dos dados, mostrando o nicho isotópico das espécies. As linhas pontilhadas representam a área do envoltório convexo de cada espécie, correspondendo a área que inclui todos os indivíduos amostrados da mesma espécie. 33

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Análise de componente principal, com os parâmetros físicos e químicos do solo e seus respectivos pesos em relação aos componentes 1 e 2.	28
---	----

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
2	MATERIAL E MÉTODOS	16
2.1	Área de estudo	16
2.2	Coleta do material	17
2.3	Procedimentos laboratoriais	20
2.3.1	<i>Análises isotópicas</i>	21
2.3.2	<i>Análises de solo</i>	22
2.4	Análises estatísticas	23
3	RESULTADOS	25
4	DISCUSSÃO	34
5	CONCLUSÃO	39
	REFERÊNCIAS	40

1 INTRODUÇÃO

O ciclo de nutrientes em ecossistemas de manguezal sempre foi bastante discutido visto o seu importante papel no balanço de carbono em regiões costeiras tropicais e sua elevada produtividade primária (BOUILLON *et al.*, 2008; KRISTENSEN, 2008; DONATO *et al.*, 2011). Até pouco tempo, tinha-se como base sobre o ciclo de nutrientes em manguezais, a hipótese *outwelling* postulada por Odum e Heald (1975), na qual acreditava-se que grande parte da matéria autótrofa produzida nesse ecossistema era exportada para a região litorânea e tornava-se uma das principais fontes para consumidores da região. Porém, a divergência entre estudos ao testar essa teoria gerou um grande grau de incerteza quanto ao destino geral da produção do mangue (BOUILLON *et al.*, 2008). Um trabalho mais recente demonstrou que a maior parte da matéria produzida no manguezal é consumida pela fauna e microbiota do próprio ambiente (CLAUDINO *et al.*, 2015). Além disso, a assimilação alimentar de macro consumidores (peixes e macrocrustáceos) ao longo do gradiente mangue-oceano varia espacialmente e reflete a abundância dos produtores primários autóctones de cada ambiente (CLAUDINO *et al.*, 2015).

A produtividade primária e a capacidade de retenção de material alóctone são os principais responsáveis pelo acúmulo de carbono no ecossistema de manguezal (KRISTENSEN, 2008; DONATO *et al.*, 2011). A produção primária do mangue é representada na maior parte pela serapilheira produzida pela vegetação da região e por algas (KRISTENSEN, 2008). Os produtos primários do mangue podem seguir distintas vias, onde o incremento da biomassa vai depender de fatores como produtividade primária, consumo por herbívoros, produção de matéria orgânica em decomposição, conhecida como detrito (HOLGUIN *et al.*, 2001), e importação e exportação pela maré (CEBRIAN, 1999).

O consumo do produto primário do mangue, principalmente da serapilheira, pode variar bastante entre ambientes. Em alguns mangues, o consumo por herbívoros, como macro crustáceos, pode representar o principal meio de remoção da serapilheira, enquanto que em outros mangues, os microrganismos são os responsáveis pela decomposição da mesma (ROBERTSON; DANIEL, 1989). entre as características ambientais responsáveis por essa variação podemos citar a composição da flora que pode tornar a serapilheira mais ou menos palatável para herbívoros (ROBERTSON; DANIEL, 1989; CHRISTOFOLETTI *et al.*, 2013), a frequência e intensidade de inundação da maré (TWILLEY *et al.*, 1986; TWILLEY *et al.*, 1992) e características do sedimento, permitem uma maior ou menor proliferação de microrganismos decompositores (HOLGUIN *et al.*, 2001).

Caranguejos *Brachyura* participam ativamente do processo de reciclagem da serapilheira (KRISTENSEN, 2008), dessa forma desempenham um importante papel na retenção de nutrientes em manguezais. Além disso, esses animais desempenham outras importantes funções ecossistêmicas, como a bioturbação gerada pela produção de tocas, permitindo o transporte de material e substâncias (NORDHAUS *et al.*, 2009) e modificação de nutrientes através da maceração ou digestão de alimentos (ROBERTSON; DANIEL, 1989; NORDHAUS *et al.*, 2006; CRISTOFOLETTI *et al.*, 2013). Todos esses processos desempenhados pelos caranguejos possuem a capacidade de mudar a qualidade, quantidade e distribuição de recursos utilizados por outras espécies, tornando esses animais animais engenheiros do ecossistema (KRISTENSEN, 2008).

O papel desempenhado como engenheiro de ecossistema pelos caranguejos *Brachyura* torna esses animais essenciais para a estruturação da teia trófica do manguezal. Esses animais compõem um relevante grupo de consumidores que exercem um forte controle *top-down* em teias tróficas, além de possuírem uma elevada variação trófica (GRIFFEN; MOSBLACK, 2011). No manguezal brasileiro, algumas espécies se destacam pela sua abundância e distribuição, dentre elas *Ucides cordatus* e *Goniopsis cruentata* (Latreille, 1803), que são encontradas desde o sul (Santa Catarina) até o norte (Amapá) do Brasil (COELHO; RAMOS, 1972). Além de sua ampla distribuição, *U. cordatus* possui um grande apelo econômico, visto que é uma importante fonte de renda para populações ribeirinhas (SOUTO, 2007).

Goniopsis cruentata é uma espécie conhecida por ser bastante versátil quanto à escolha do alimento, já tendo sido classificada como onívora (BURGGREN *et al.*, 1993), detritívora (LIMA-GOMES *et al.*, 2011) e herbívora (FERREIRA *et al.*, 2013). Devido à diversidade de itens alimentares encontrados em sua dieta, *G. cruentata* foi considerada uma espécie generalista (LIMA-GOMES *et al.*, 2011). Por outro lado, *U. cordatus* é especialista, sendo considerado o consumidor de serapilheira mais importante dos mangues brasileiros (WELLENS *et al.*, 2015).

Diversos estudos já foram realizados sobre o hábito alimentar de caranguejos de mangue, como *Ucides cordatus* (NORDHAUS *et al.*, 2006; NORDHAUS; WOLFF, 2007; FERREIRA *et al.*, 2013), *Goniopsis cruentata* (LIMA-GOMES *et al.*, 2011; WELLENS *et al.*, 2015; FERREIRA *et al.*, 2013), *Carcinus maenas* (Linnaeus, 1758) (ELNER; HUGHES, 1978), *Portunus pelagicus* (Linnaeus, 1758) (De Lestang *et al.*, 2000), *Neoepisesarma versicolor* (THONGTHAM; KRISTENSEN, 2005), porém ainda existem questões não respondidas quanto

ao nicho trófico dessas espécies. O conceito de nicho trófico tem sofrido algumas alterações com o passar do tempo e com o advento de novas tecnologias. Strong (1979) foi o primeiro a conceituar nicho, sendo este abstratamente representado como uma figura geométrica n-dimensional, cujos eixos representam as variáveis do ambiente. Porém, utilizar esse conceito tornou-se bastante difícil devido à dificuldade em mensurar todas as variáveis ambientais (NEWSOME *et al.*, 2007; JACKSON *et al.*, 2011). Atualmente, o uso do conceito de nicho isotópico mantém a característica multidimensional do nicho trófico ao utilizar a denotação delta espacial, que permite identificar a largura do nicho de uma espécie e sua posição trófica (NEWSOME *et al.*, 2007; JACKSON *et al.*, 2011).

Entre as espécies *U. Cordatus* e *G. cruentata*, prevalecem algumas dúvidas quanto ao seu nicho trófico, visto que as duas espécies apresentam diferentes hábitos alimentares descritos na literatura. Em um estudo de Ferreira *et al.* (2013), foi identificado que tanto *U. cordatus* quanto *G. cruentata* são importantes consumidores de propágulos e que a presença de uma das espécies reduz o consumo de alimento da outra, podendo haver uma possível sobreposição de nicho. Porém, no trabalho de Wellens *et al.* (2015), o consumo de propágulos da espécie *Rhizophora mangle* por *G. cruentata* não foi afetado pela presença de *U. cordatus*, demonstrando não haver sobreposição de nicho entre as espécies.

A maior parte dos trabalhos realizados sobre o hábito alimentar de *G. cruentata* e *U. cordatus* utilizou análise de conteúdo estomacal e experimentos em campo (ROBERTSON; DANIEL, 1989; NORDHAUS *et al.*, 2009; FERREIRA *et al.*, 2013; CHRISTOFOLETTI *et al.*, 2013; WELLENS *et al.*, 2015). O uso de métodos mais convencionais no estudo do hábito alimentar dificulta o entendimento da ecologia trófica desses animais. Com o advento dos isótopos estáveis de $\delta^{15}\text{N}$ e $\delta^{13}\text{C}$ em trabalhos de ecologia trófica, foi possível identificar a posição trófica do animal juntamente com a identificação da fonte alimentar dos nutrientes que compõem o seu tecido (VERMEIREN *et al.*, 2015). Não é possível apenas com a análise de conteúdo estomacal identificar a real fonte dos nutrientes de caranguejos, sendo ressaltada apenas o item alimentar consumido mais recentemente (BEARHOP *et al.*, 2004; NEWSOME *et al.*, 2007).

Os trabalhos realizados com *U. cordatus* utilizando isótopos estáveis identificaram que a principal fonte de carbono dessa espécie advém de plantas vasculares de mangue. Porém, ainda restam algumas dúvidas quanto à forma que essa espécie adquire o nitrogênio de sua dieta, visto que as folhas possuem um baixo valor nutritivo dado seu elevado valor C/N (LINTON;

GREENAWAY, 2007; THONGTHAM; KRISTENSEN, 2005; BUI; LEE, 2014). Com relação a espécie *G. cruentata*, já foi realizado estudo com isótopos estáveis, porém não com o objetivo de identificar sua fonte de nutrientes (CLAUDINO *et al.*, 2015).

Tendo em vista o importante papel desempenhado por caranguejos *Brachyuras* no ciclo de nutrientes de manguezais, o presente trabalho objetivou identificar as principais fontes de nutrientes das espécies *G. cruentata* e *U. cordatus* em dois estuários localizados no litoral do Ceará que apresentam distintas pressões antrópicas, bem como quantificar o nicho trófico ocupado por essas espécies. A hipótese é de que *U. cordatus* é uma espécie herbívora e *G. cruentata* uma espécie onívora e mesmo com diferentes hábitos alimentares as espécies apresentarão sobreposição de nicho isotópico.

2 MATERIAL E MÉTODOS

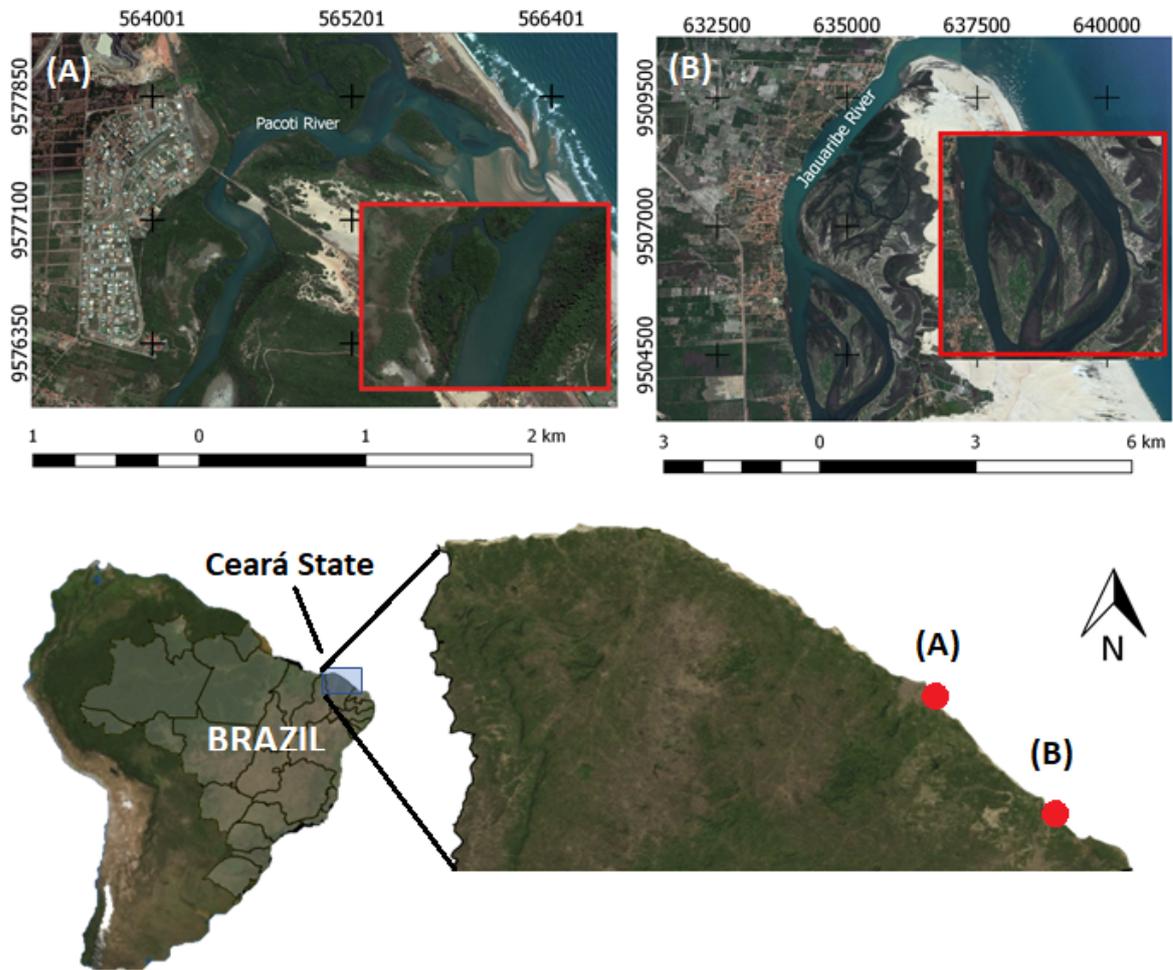
2.1 Área de estudo

As coletas foram realizadas em dois manguezais localizados em diferentes bacias hidrográficas no Estado do Ceará (Brasil) e impactados por diferentes ações antrópicas, sendo um pertencente a Bacia Metropolitana (Manguezal do Rio Pacoti) e o outro a Bacia do Baixo Jaguaribe (Manguezal do Rio Jaguaribe) (Figura 1).

As coletas no Manguezal do Rio Pacoti (MRP) ocorreram dentro da Área de Preservação Ambiental (APA) do Rio Pacoti, localizada no Centro de Estudos em Aquicultura Costeira (CEAC) do Instituto de Ciências do Mar da Universidade Federal do Ceará (LABOMAR/UFC). A área total da bacia do rio Pacoti atinge 1.000 km², dos quais 1.4 km² são ocupados pelo manguezal (MAIA *et al.*, 2006). O mangue do rio Pacoti é considerada uma área mais preservada, sendo afetada com mais intensidade pelo desmatamento (NILIN *et al.*, 2013) (Figura 1A).

As coletas no Manguezal do Rio Jaguaribe (MRJ) foram realizadas nas proximidades da comunidade do Cumbe, localizada no município de Aracati. O Rio Jaguaribe é o rio com a maior bacia hidrográfica do Ceará, com uma área de mangue de 11,8 km². O manguezal é bastante afetado por atividades antrópicas, como a carcinicultura intensiva, que ao depositarem seus dejetos no rio tem ocasionado grande devastação e alterações nos córregos e gamboas do rio Jaguaribe (SILVA, 2016; NOGUEIRA *et al.*, 2009) (Figura 1 B).

Figura 1 – Manguezais estudados na costa nordeste do Brasil e a realização da coleta no rio Pacoti (MRP) e Jaguaribe (MRJ).



Fonte: Daniel Pontes de Oliveira

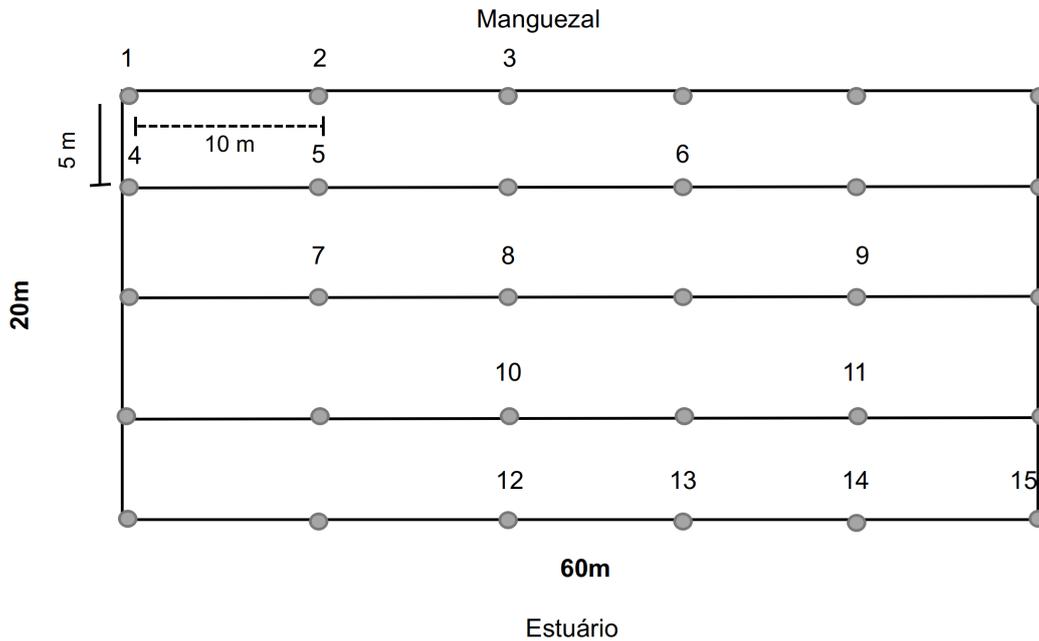
2.2 Coleta do material

As coletas foram divididas em duas etapas, onde na primeira coletou-se as espécies de Brachyura (*Goniopsis cruentata* e *Ucides cordatus*). Na segunda etapa, realizou-se a caracterização dos mangues e coleta dos recursos alimentares. A caracterização do mangue foi realizada através da quantificação e caracterização da serapilheira, mensuração de variáveis físico-químicas do solo e quantificação de nutrientes, como fósforo, ferro, nitrogênio e carbono. As coletas foram feitas em dois períodos, seco (dezembro de 2015) e chuvoso (março de 2016). Em ambos os meses, foram escolhidas as datas com a maré mais baixa, facilitando a coleta dos animais e possibilitando um maior tempo de exposição dos coletores de serapilheira. As coletas nos diferentes períodos foram analisadas juntas devido à similaridade dos dados coletados.

As coletas dos crustáceos Brachyura foram realizadas manualmente com o auxílio de um pescador. Para evitar a variação alimentar já observada em outros trabalhos entre Brachyuras adultos/juvenis e machos/fêmeas (NORDHAUS *et al.*, 2006), foram estudados apenas indivíduos machos e adultos. Em cada mangue, período e espécie foram capturados um total de dez indivíduos. A sexagem dos espécimes foi realizada ainda em campo através da observação do abdômen. O abdômen do macho é estreito, alongado, com formato triangular e apresenta internamente um par de gonopódios; enquanto que as fêmeas possuem um abdômen mais alargado e quatro pares de pleópodos na região interna do abdômem. Para separar entre juvenis e adultos foi utilizado o tamanho de primeira maturação comprovado em laboratório com o auxílio de um paquímetro, seguindo os tamanhos determinados segundo Leite *et al.* (2013) para *U. cordatus* e De Lira *et al.* (2014) para *G. cruentata*. Ainda em campo, os indivíduos foram postos em um isopor com gelo, a fim de desacelerar o seu metabolismo e conservá-los durante o transporte até o laboratório.

Em cada mangue, um total de 2.400 m² foram utilizados para a quantificação dos recursos alimentares dos caranguejos e para caracterização do ambiente. Para isso, foram estudadas duas áreas de 1.200 m², nas quais foram traçados cinco transectos, com 60 m de extensão, sendo separados entre si por cinco metros. Em cada transecto, foram estabelecidos seis pontos, espaçados em 10 m entre si. Para aleatorizar a coleta de dados em cada área, foram sorteados 15 pontos entre os 30 estabelecidos previamente (Figura2).

Figura 2 – Desenho esquemático do delineamento amostral, com a exemplificação dos pontos sorteados para a coleta



Fonte: Autor

Para quantificar o aporte da serapilheira, foram realizados dois dias de coleta em cada período e mangue. Utilizou-se coletores quadrados de madeira e tela de nylon com dimensões de 50 por 50 cm (Figura 3), que foram posicionados nos 15 pontos sorteados previamente, totalizando 30 coletores por mangue. Em cada coleta, os coletores foram colocados no manguezal quando a maré iniciava seu processo de secagem e retirados antes da maré encher completamente. Todo esse processo foi cronometrado, porém devido as diferentes frequências de inundação da maré, o tempo de exposição variou entre 8 e 13h de exposição por mangue e período de coleta.

Figura 3 – Foto do coletor de serapilheira no manguezal do rio Jaguaribe (Ceará).



Fonte: Autor

Para a coleta das prováveis fontes alimentares dos caranguejos, foram utilizados os mesmos pontos de coleta de serapilheira. A área de coleta (1 m^2) foi delimitada com o auxílio de um barbante. Em cada ponto de coleta, recolheu-se toda a serapilheira e macroinvertebrados. Em campo, as amostras foram separadas por ponto de coleta, acondicionadas em sacos plásticos e armazenadas em isopor com gelo.

Para a coleta de solo, foram utilizados tubos de policarbonato (0,05 m de diâmetro interno e 0,5 m de comprimento) acoplados a um amostrador de solo especial para ambientes alagados seguindo a mesma metodologia de coleta de Nóbrega *et al.* (2014). Em cada mangue, foram escolhidos três pontos de amostragem dentro das áreas previamente estabelecidas. Para a escolha dos pontos foi levado em consideração a distância até o rio, sendo escolhidos pontos em diferentes distâncias do rio (5, 10 e 20 m). Os tubos de PVC contendo as amostras de solo foram armazenados e posicionados verticalmente em um isopor com gelo, afim de prevenir a oxidação do material, e transportados até o laboratório.

2.3 Procedimentos laboratoriais

Em laboratório, as amostras de *G. cruentata* e *U. cordatus* foram medidas, etiquetadas e armazenadas no freezer, juntamente com os outros invertebrados (moluscos e crustáceos Cirripedia). Os espécimes de *G. cruentata* e *U. cordatus* tiveram os quelípodos dissecados para a

retirada de amostras da musculatura. As amostras de músculo foram secas em estufa a 60 °C e, posteriormente, maceradas com o auxílio de um cadinho e pistilo até a formação de um pó fino. Por fim entre 0,8-1,2 mg dessas amostras foram pesadas e envoltas em cápsulas de estanho, para posterior análise isotópica. Os invertebrados coletados como recurso alimentar dos braquiúros tiveram toda a sua parte mole removida, seca e macerada, igualmente ao descrito para Brachyura.

As amostras de serapilheira foram triadas e separadas por espécie e por tipo de material, como folha, fruto, flor e galhos de até 2 cm de diâmetro. Após a triagem, foi aferido o peso seco de cada uma das estruturas e das espécies vegetais em balança digital com precisão de 0,01 g, com a finalidade de quantificar a porcentagem de serapilheira e decaimento de cada mangue. Para análise isotópica, foram escolhidas aleatoriamente exemplares de cada espécie vegetal. Esse material foi triturado e macerado até a formação de um pó fino. Por fim, o material vegetal foi pesado entre 2,4-2,7 mg e armazenados em cápsulas de estanho.

Com as amostras de solo foram feitas análises de granulometria, isótopo de carbono e nitrogênio, fracionamento de fósforo e ferro e medições de pH e Eh. As amostras foram subdivididas a cada 10 cm de profundidade, compondo três subamostras (10, 20 e 30 cm). Essas subamostras foram secas em estufa a 60°C até peso constante. Foram separadas aleatoriamente porções dessas amostras para a realização das análises físico-químicas e isotópicas. Para a análise isotópica, o solo foi quarteado, afim de reduzir o volume da amostra de forma aleatória. Posteriormente, as amostras de solo foram peneiradas em malha de 0,25 mm, maceradas até a formação de um pó fino, pesadas entre 20- 25 mg e armazenadas em cápsulas de estanho.

2.3.1 Análises isotópicas

Afim de identificarmos os principais itens alimentares que constituem a dieta de *G. cruentata* e *U. cordatus*, assim como calcularmos sua posição trófica nos diferentes manguezais, foram realizadas análises isotópicas da musculatura dos caranguejos e das suas possíveis fontes alimentares (detritos presentes nas amostras de solo, serapilheira e macroinvertebrados). A leitura isotópica das amostras de solo, planta e animal foram realizadas no Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA), localizado no Campus Luiz de Queiroz da Universidade de São Paulo, com a utilização de um Espectrômetro de massa “EA 1110”. A leitura isotópica quantificou os isótopos de $\delta^{15}\text{N}$ e $\delta^{13}\text{C}$ presentes no músculo dos Brachyura e nas suas possíveis fontes alimentares, além de mensurar a proporção carbono-nitrogênio (C/N), porcentagem de carbono (%C) e porcentagem de nitrogênio (%N) das amostras.

2.3.2 Análises de solo

Com a finalidade de caracterizar as duas áreas de estudo quanto a capacidade de absorção e quantidade de nutrientes presentes no solo, foram realizadas análises físicas e químicas. Para essas análises foram utilizadas amostras de diferentes profundidades (10, 20 e 30 cm) dos dois estuários, onde para cada profundidade foram feitas três réplicas.

A análise granulométrica nos permite comparar os ambientes quanto a capacidade de retenção e absorção de nutrientes, enquanto as análises químicas, como o fracionamento do fósforo e do ferro, nos permitem avaliar a disponibilidade desses nutrientes em sua forma biodisponível e agregados a outros nutrientes.

Para a análise granulométrica, foram necessários procedimentos prévios como a retirada do sal e do excesso de matéria orgânica. Como a quantidade e a natureza dos sais presentes em solos de mangue podem prejudicar a ação do dispersante, foi necessário filtrar uma amostra de 50 g de solo em um papel filtro com o acréscimo de álcool a 60% e repetir esse procedimento várias vezes até que o filtrado não reagisse mais com nitrato de prata. Posteriormente, foi retirado o excesso de matéria orgânica com acréscimo de 5 a 10 mL de água oxigenada 30 volumes a 50 g de solo até que não houvesse reação de efervescência na amostra. Após a realização desses procedimentos prévios, foram feitas análises granulométricas utilizando 20 g de solo através da metodologia da pipeta descrita no Manual de Métodos de Análise de Solo EMBRAPA (1997).

Nas análises químicas, foram mensurados valores de pH, potencial redox (Eh), teor de matéria orgânica e o fracionamento de fósforo e ferro. O pH e Eh foram aferidos em laboratório utilizando um phmetro e medidor de condutividade.

O teor de matéria orgânica foi determinado através da combustão da matéria orgânica presente no solo e a aferição do peso da mesma. Para isso, utilizou-se uma grama de amostra de solo a qual foi posta em uma mufla por 2 horas e pesadas novamente. A subtração do peso inicial com o peso final foi considerada o peso de matéria orgânica presente na amostra.

Para o fracionamento do fósforo e do ferro, foram usadas duas gramas de cada amostra de solo, seguindo-se a metodologia descrita por Nóbrega *et al.* (2014) e Nóbrega *et al.* (2013), respectivamente. Nessas análises, foram obtidas seis frações de cada um dos elementos. As frações de fósforo foram: fósforo permutável, fósforo associado com oxihidróxidos de ferro e manganês, fósforo associado com silicatos, fósforo associado com ácidos húmicos, fósforo associado com cálcio e magnésio e fósforo residual. Para o ferro, foram obtidas as frações: ferro substituível e solúvel, ferro associado ao carbonato, ferridrite de ferro, ferro lepidocrocite, óxidos

e oxihidróxidos de ferro cristalinos e ferro piritico.

2.4 Análises estatísticas

Para todos os dados, foi realizado o teste de normalidade de Shapiro-Wilk, seguidos de testes descritos mais adiante utilizando pacotes estatísticos em ambiente R (R Core Team, 2011).

Com a finalidade de caracterizar o mangue quanto a composição da serapilheira, utilizou-se os valores de peso seco por espécie da flora e calculou-se a porcentagem de contribuição de cada espécie em relação ao peso total da serapilheira de cada mangue. Para o cálculo do aporte de serapilheira, utilizou-se o peso seco da serapilheira recolhida nos coletores, sendo este valor dividido pelo total de horas na qual os coletores ficaram expostos. O aporte de serapilheira foi comparado entre mangues utilizando o teste de Mann-Whitney, uma vez que os dados não responderam as premissas de normalidade.

O pH e o Eh do solo foram comparados entre mangues através do teste T de Student. Para a caracterização da granulometria, foram calculadas a porcentagem de contribuição das texturas do solo. As frações de fósforo foram agrupadas em fósforo orgânico e inorgânico e calculou-se a porcentagem dessas frações em relação ao fósforo total.

Afim de observar se as variáveis físico-químicas do solo agrupavam os mangues, foi realizada uma Análise de Componente Principal (PCA) com todas as variáveis do solo, matéria orgânica, pH, Eh, granulometria, frações do fósforo e frações do ferro. Como a PCA foi realizada por agrupamento de similaridade, os dados foram, primeiramente, padronizados e a colinearidade entre as variáveis foi testada. As análises explanatórias para o teste de colinearidade e a PCA foram realizados utilizando o pacote Vegan no ambiente estatístico R.

As características do solo também foram comparadas quanto as suas assinaturas isotópicas de $\delta^{15}\text{N}$ e $\delta^{13}\text{C}$. Para a comparação do $\delta^{13}\text{C}$ entre mangues, foi realizado o teste de Mann-Whitney, já que seus dados não apresentarem uma distribuição normal. Já para as assinaturas de $\delta^{15}\text{N}$ foi realizado o teste T de Student, dada a normalidade dos dados.

Para a identificar o recurso alimentar das espécies *U. cordatus* e *G. cruentata*, foi realizado o modelo de mistura Bayesiana usando o pacote de Análise de Isótopos Estáveis no R (SIAR) (JACKSON *et al.*, 2011). Os modelos foram realizados separadamente para cada uma das espécies de Brachyura nos dois manguezais estudados. Por fim, o nicho isotópico foi quantificado para *U. cordatus* e *G. cruentata* através do cálculo da área da elipse padrão

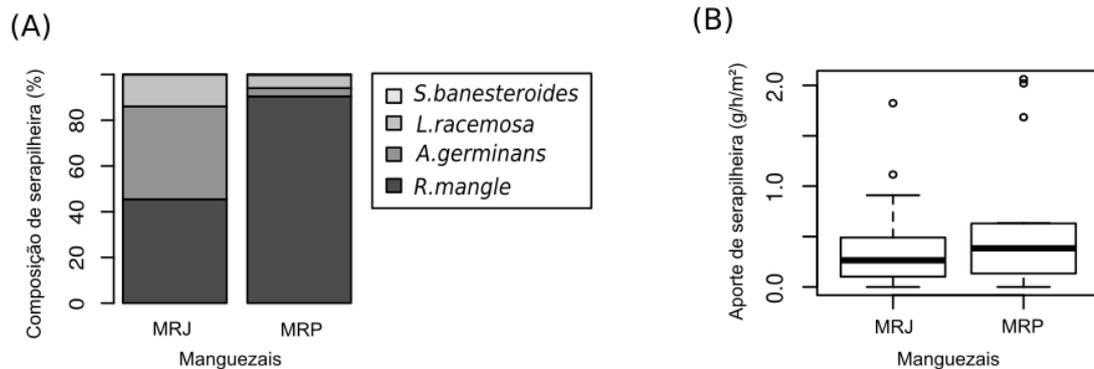
Bayesiana (SEAB).

3 RESULTADOS

Os manguezais dos rios Jaguaribe (MRJ) e Pacoti (MRP) apresentaram composições de flora bastante similares, sendo os dois constituídos pelas espécies *Rhizophora mangle*, *Laguncularia racemosa* e *Avicenia germinans*, com a exceção da espécie *Stigmaphyllon bannisteroides* encontrada apenas no MRP. A espécie *R. mangle* teve uma maior representatividade no MRP, visto que compôs cerca de 90% da sua serapilheira, enquanto no MRJ sua contribuição foi de 45% (Figura 4A). No MRJ, além da *R. mangle*, a espécie *A. germinans* apresentou um elevado percentual de contribuição, compondo 40% da serapilheira (Figura 4A).

O aporte de serapilheira foi maior no MRP (média = $0,63 \text{ g/h/m}^2 \pm 0,70$) em relação ao MRJ (média = $0,44 \text{ g/h/m}^2 \pm 0,51$), mesmo não havendo diferença significativa entre os mangues ($W=103,5$, $gL=14$, $p=0,72$) (Figura 4B).

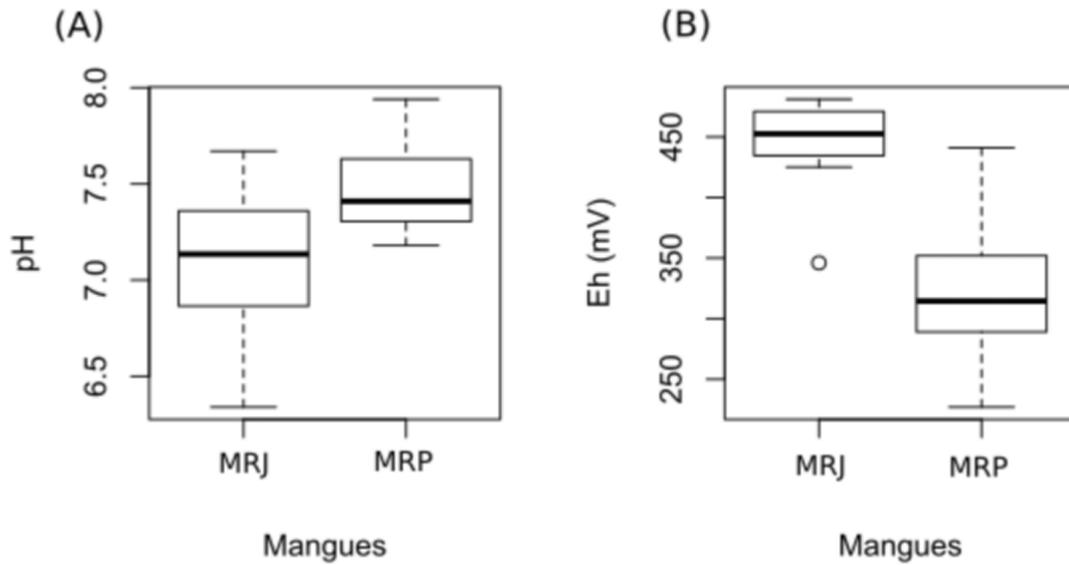
Figura 4 – A-Contribuição percentual das espécies vegetais na composição da serapilheira nos manguezais dos rios Jaguaribe (MRJ) e Pacoti (MRP). B- Aporte de serapilheira dos manguezais.



Fonte: Autora

Entre os parâmetros químicos do solo, usados para a caracterização dos mangues, tanto o pH ($t=-3,02$, $gL=11$, $p<0,05$) quanto o Eh ($t=6,49$, $gL=11$, $p<0,05$) apresentaram diferenças entre as áreas de estudo. No MRJ, o pH apresentou valor médio ($7,10 \pm 0,37$), sendo relativamente menor quando comparado ao do MRP ($7,47 \pm 0,22$). Por outro lado, os valores de Eh no MRJ ($445,83 \pm 36,92$) foram maiores do que no MRP ($320,83 \pm 55,47$) (Figura 5).

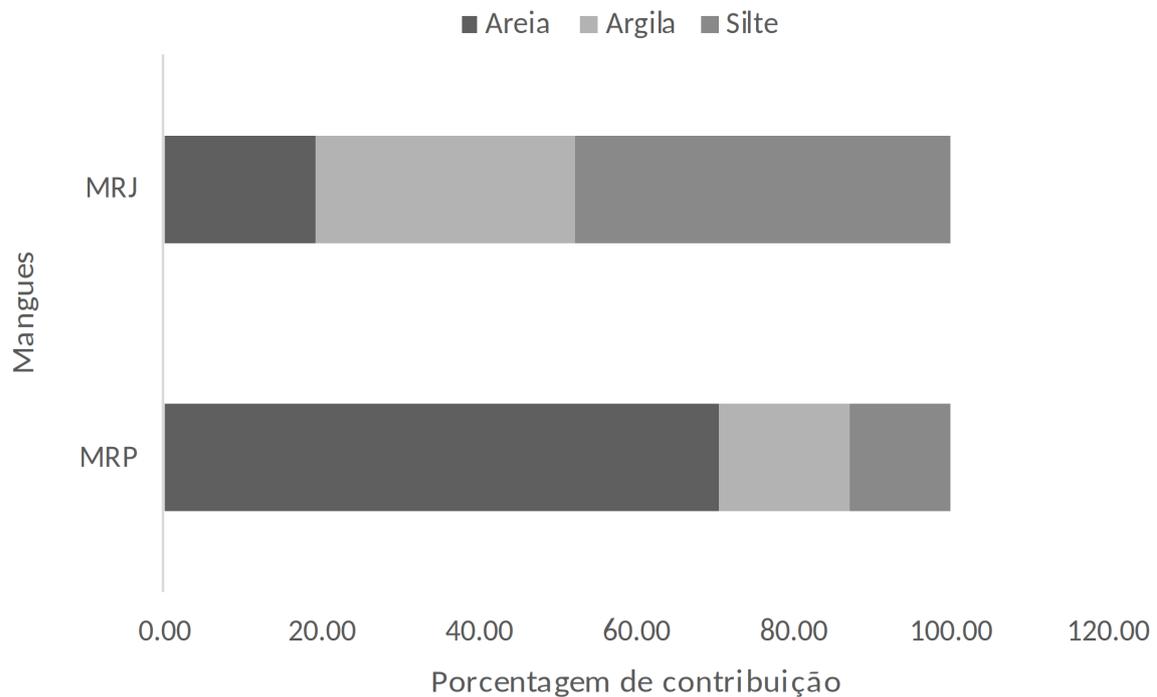
Figura 5 – Parâmetros químicos do solo dos manguezais dos rios Jaguaribe (MRJ) e Pacoti (MRP), Ceará, Brasil. A: pH e B: Eh. Linha sublinhada demonstrando os valores de medianas e as linhas tracejadas, os valores de máxima e mínima.



Fonte: Autora

Entre os parâmetros do solo analisados, a textura também diferenciou os manguezais, visto que o MRJ foi composto principalmente por silte (48%) e argila (33%), enquanto o MRP foi composto em grande parte por areia (70%) (Figura6). Seguindo a classe textural proposta por Reinert e Reichert (2006), o MRJ pode ser classificado como franco argiloso e o MRP como areia franca.

Figura 6 – Percentuais de contribuição das diferentes texturas do solo (areia, argila e silte) nos manguezais dos rios Jaguaribe (MRJ) e Pacoti (MRP), Ceará, Brasil.

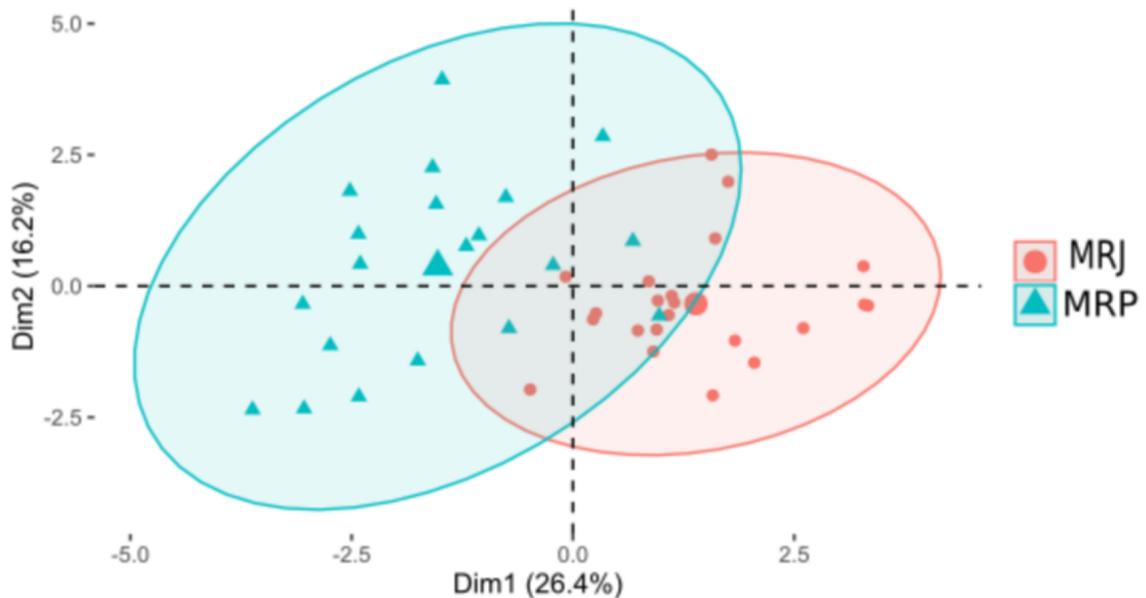


Fonte: Autora

Entre os nutrientes do solo mensurados nos dois diferentes manguezais, o fósforo foi utilizado apenas na caracterização dos ambientes. Para essa análise, foram usadas seis frações do fósforo que foram agrupadas, segundo Nóbrega *et al.* (2014), em fósforo orgânico e inorgânico. O fósforo total apresentou maior valor no MRJ (21499,22 mg) em relação ao MRP (13048,07 mg). Porém, nos dois mangues, o fósforo inorgânico (FI) foi mais representativo que o fósforo orgânico (FO), onde no MRJ o FI compôs 63% do fósforo total, enquanto o FO compôs apenas 34%. O mesmo ocorreu no MRP, com o FI representando 60% e o FO 40% do fósforo total.

A Análise de Componente Principal (PCA) gerou dois agrupamentos em relação aos manguezais. As duas primeiras componentes da PCA explicaram 42,58% dos dados (Figura 7). A primeira componente explicou 26,39% dos resultados e o parâmetro ferro substituível e solúvel (F1) foi a variável com maior poder explicativo, seguida por uma outra fração do mesmo elemento, o ferro piritico (F6). A segunda componente explicou 16,19% da variação e apresentou como principal parâmetro explicativo o fósforo associado aos silicatos (P-Si) (Tabela1).

Figura 7 – Análise de componente principal PCA dos parâmetros físicos e químicos do solo para o MRJ e para o MRP.



Fonte: Autora

Tabela 1 – Análise de componente principal, com os parâmetros físicos e químicos do solo e seus respectivos pesos em relação aos componentes 1 e 2.

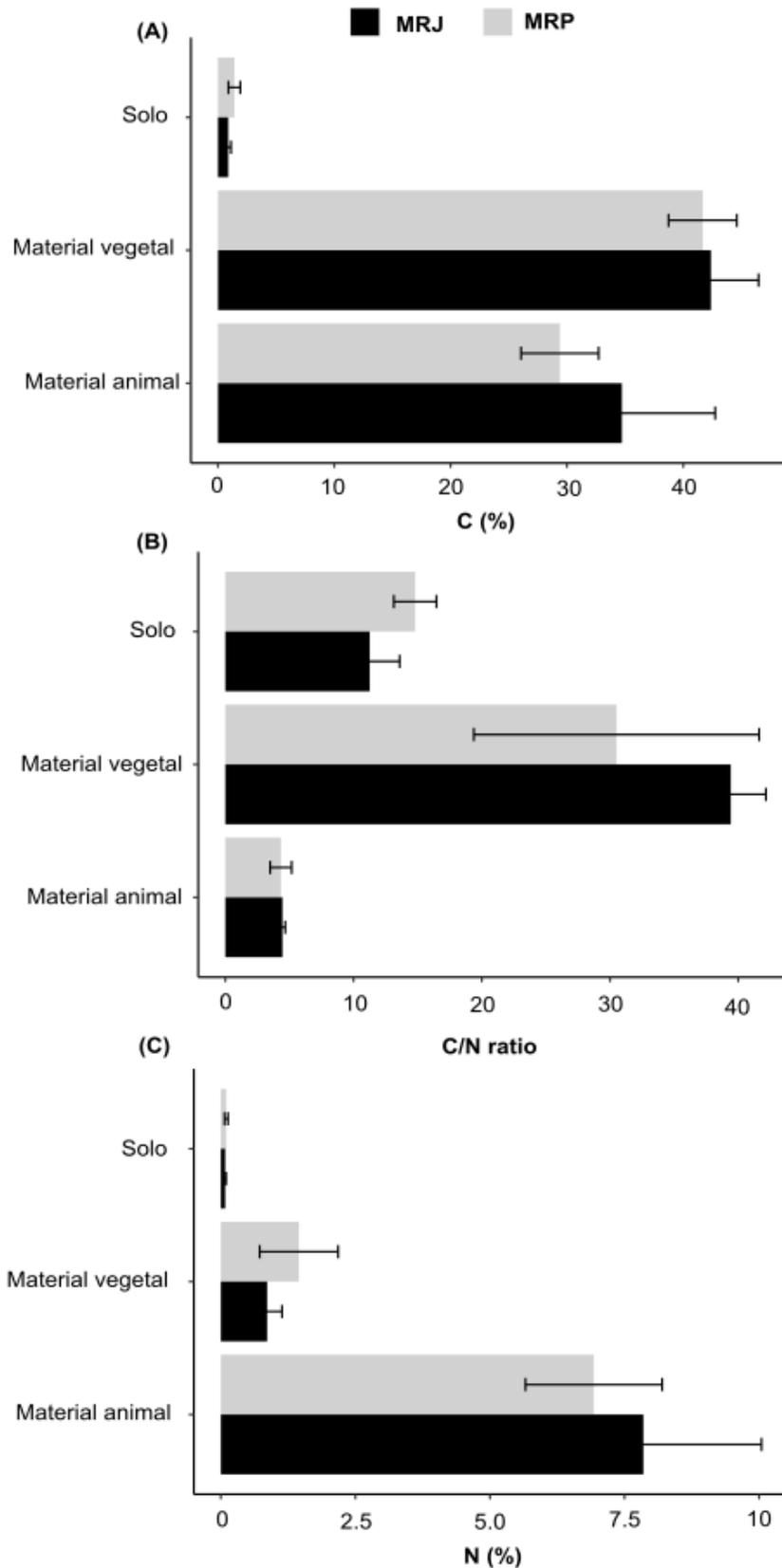
Parâmetros	Componentes	
	1	2
Matéria orgânica (MO)	-0,16	0,45
Ferro substituível e solúvel (F1)	0,6	-0,07
Ferro associado ao carbonato (F2)	-0,24	-0,09
Ferro Ferroidrite (F3)	0,26	0,009
Ferro pirítico (F6)	0,42	-0,44
Fósforo trocável (P-CTC)	-0,07	-0,06
Fósforo associado aos hidróxidos reduzíveis de Fe e MN (P-OX)	0,03	-0,07
Fósforo associado aos silicatos (P-Si)	0,02	-0,65
Fósforo associado aos ácidos húmicos (P-AH)	0,39	0,29
pH	-0,34	-0,29
Eh	0,01	-0,12
Fração argila	-0,08	0,09
Fração areia fina	-0,17	-0,06

A diferença na composição do solo entre os mangues foi observada através das assinaturas isotópicas. Os mangues apresentaram diferenças significativas nas assinaturas de $\delta^{13}\text{C}$ do solo ($W = 136$, $gL = 11$, $p\text{-value} = 4.955e-05$), onde o Pacoti apresentou maiores valores em relação ao Jaguaribe. Já em relação ao $\delta^{15}\text{N}$, o Jaguaribe apresentou um acréscimo em

relação ao Pacoti ($t = 10.623$, $gL=11$, $p\text{-value} = 4.329e-10$).

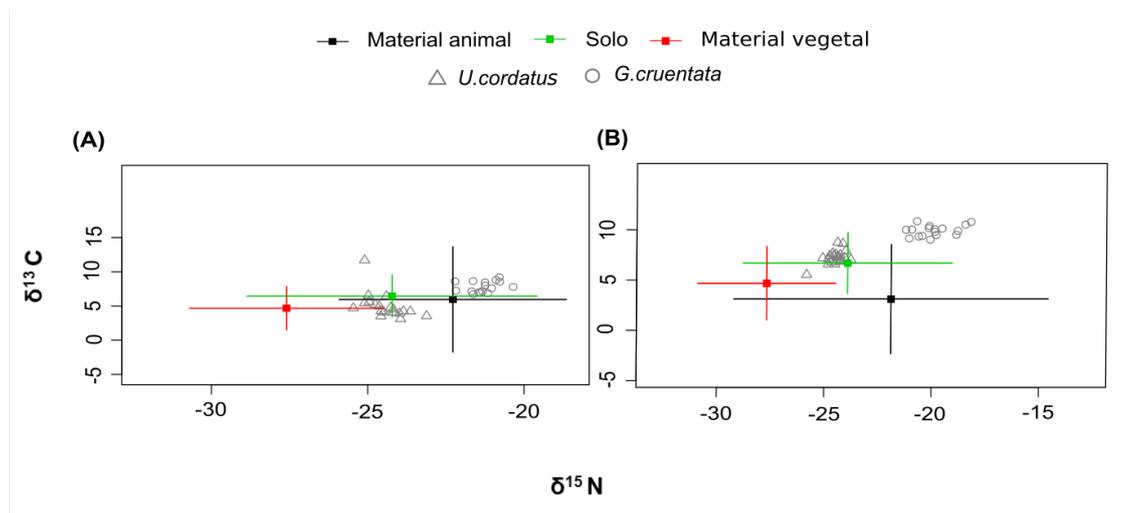
As fontes alimentares foram agrupadas em material vegetal, material animal e solo e as suas respectivas concentrações de carbono e nitrogênio foram mensuradas com o objetivo de compreendermos o seu valor nutritivo para os animais. O material vegetal apresentou o maior valor C/N e, conseqüentemente, a maior porcentagem de carbono (Figura 8). Por outro lado, o material animal obteve o menor valor C/N e a maior porcentagem de nitrogênio. O solo, por sua vez, possui valores C/N intermediários, quando comparado as outras duas fontes, apresentando as menores porcentagens de carbono e nitrogênio (Figura 8).

Figura 8 – Valores médios de C e N (\pm desvio padrão) dos recursos alimentares (solo, material animal e material vegetal). (A) Porcentagem de carbono, (B) Porcentagem de nitrogênio, (C) Razão C/N dos manguezais (MRJ: Manguê do rio Jaguaribe; MRP: Manguê do rio Pacoti).



As espécies de caranguejo estudadas diferiram entre seus valores isotópicos de $\delta^{13}\text{C}$ ($t=20,21$, $gL=38$, $p<0,05$) e $\delta^{15}\text{N}$ ($t=7,49$, $gL=38$, $p<0,05$) (Figura 9). Os indivíduos da espécie *U. cordatus* apresentaram os maiores valores de $\delta^{13}\text{C}$, em contrapartida os maiores valores de $\delta^{15}\text{N}$ foram dos indivíduos da espécie *G. cruentata*. As assinaturas isotópicas tanto das espécies de caranguejo quanto de suas presas diferiram em pelo menos 1 (por mil) em relação aos dois diferentes mangues. A espécie *U. cordatus* só apresentou diferença significativa no isótopo $\delta^{15}\text{N}$ entre os mangues ($t=4,9698$, $p=5,223e-05$, $gL=19$), onde o Pacoti apresentou maiores valores. Já em relação ao *G. cruentata*, houve diferença significativa tanto no $\delta^{13}\text{C}$ ($t = 5,0455$, $p\text{-value} = 2,752e-05$, $gL=17$) quanto no $\delta^{15}\text{N}$ ($t = 9,0558$, $p\text{-value} = 7,271e-10$, $gl=16$), no qual o Pacoti apresentou os maiores valores de $\delta^{13}\text{C}$ e o Jaguaribe os maiores valores de $\delta^{15}\text{N}$ (Figura 9).

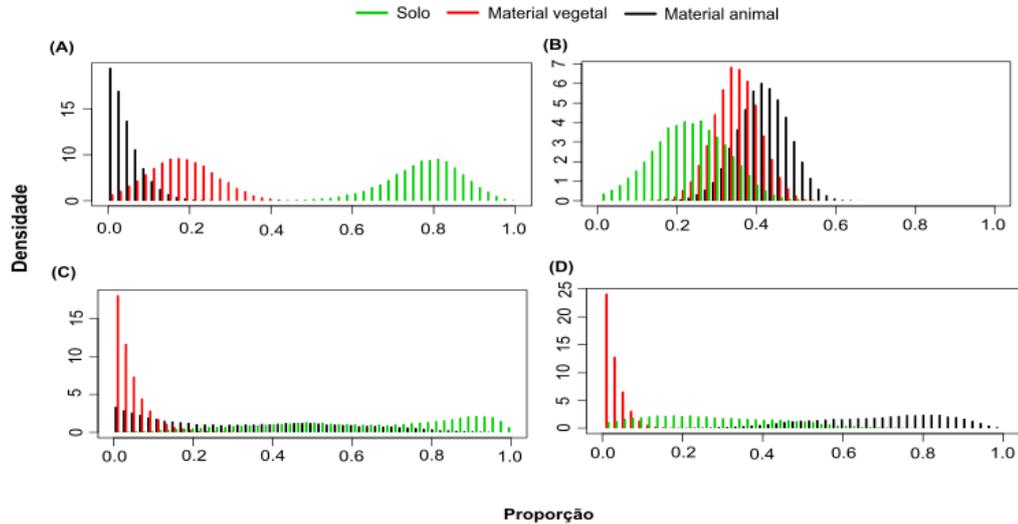
Figura 9 – Representação das variações do $\delta^{13}\text{C}$ e do $\delta^{15}\text{N}$ de cada espécie de caranguejo e de suas possíveis fontes alimentares em diferentes mangues (a) MRJ e (b) MRP. Os valores representados são as médias \pm SD. Espécies de caranguejo: *Goniopsis cruentata* (círculo aberto) e *Ucides cordatus* (triângulo aberto). Fontes alimentares: material animal, material vegetal e solo.



Fonte: Autora

O modelo de mistura Bayesiana indicou que a proporção de assimilação dos recursos alimentares diferiram entre os mangues e entre as duas espécies de caranguejo estudadas. Para *G. cruentata*, o material animal foi sua principal fonte de nutrientes no MRP (Figura ?? B), enquanto no MRJ a principal fonte foi solo (Figura ??A). Já a espécie *U. cordatus* no MRP apresentou material animal e planta como principais fontes alimentares (Figura 10 D, enquanto no MRJ o solo foi a fonte mais representativa da dieta (Figura 10 C).

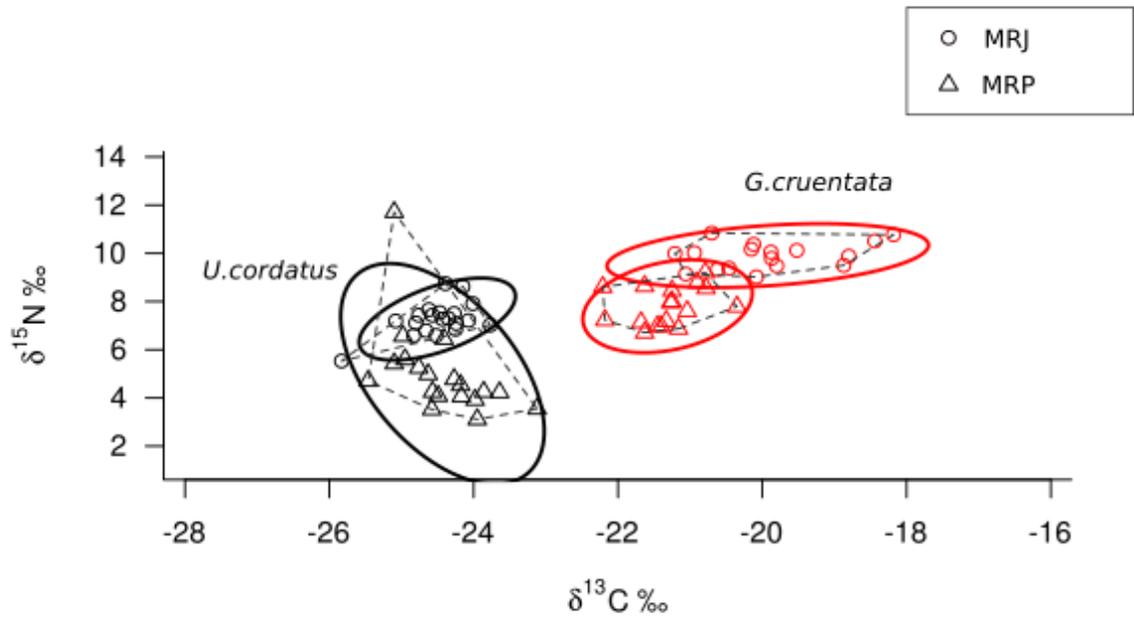
Figura 10 – Proporção da assimilação dos diferentes recursos alimentares nos dois manguezais de estudo. (A) *Goniopsis cruentata* no MRJ; (B) *Goniopsis cruentata* no MRP; (C) *Ucides cordatus* no MRJ e (D) *Ucides cordatus* no MRP.



Fonte: Autora

Segundo os resultados da análise da área da elipse padrão (SEAb), a espécie *U. cordatus* apresentou uma maior largura de nicho isotópico (TA=4,00) no MRP em relação ao MRJ (TA= 2,40), enquanto a espécie *G. cruentata* apresentou maior nicho no MRJ (TA= 9,58) em relação ao MRP (TA= 3,17). *U. cordata* e *G. cruentata* apresentaram nicho isotópicos diferenciados (Figura 11).

Figura 11 – Valores de $\delta^{13}\text{C}$ versus $\delta^{15}\text{N}$ das duas espécies de caranguejo estudadas (*G.cruentata* e *U.cordatus*) nos dois mangues (Jaguaribe e Pacoti). As linhas sólidas incluem a área padrão das elipses (SEAc), contendo 40% dos dados, mostrando o nicho isotópico das espécies. As linhas pontilhadas representam a área do envoltório convexo de cada espécie, correspondendo a área que inclui todos os indivíduos amostrados da mesma espécie.



Fonte: Autora

4 DISCUSSÃO

Os mangues diferiram em relação a vegetação encontrada na serrapelhira, apesar da composição de espécies ser similar, há dominância de *R. mangle* no MRP enquanto no MRJ tanto *R. mangle* quanto *A. germinans* tem elevada contribuição no ambiente. A predominância de *Rhizophora* pode ocorrer devido à baixa taxa de consumo de seus propágulos, ocasionada pela capacidade de seleção alimentar por *Brachyura* (CHRISTOFOLETTI *et al.*, 2013; FERREIRA *et al.*, 2013). Essa seletividade quanto ao consumo de uma espécie vegetal pode ocorrer devido a diversos fatores como, facilidade de captura, valor nutricional ou capacidade de digestão do alimento (CHRISTOFOLETTI *et al.*, 2013), onde, nesse caso, os propágulos de *Avicennia* e *Laguncularia* são mais fáceis de capturar devido ao seu menor tamanho em relação aos de *Rhizophora* (FERREIRA *et al.*, 2013), além de possuírem menores concentrações de tanino, que é uma substância de defesa do vegetal capaz de inibir ou retardar a digestão em animais herbívoros (LINTON; GREENAWAY, 2007; CHRISTOFOLETTI *et al.*, 2013).

Rhizophora mangle é uma espécie com elevado valor C/N em relação a *A. germinans*, logo possui um baixo teor de nitrogênio (CLAUDINO *et al.*, 2015), sugerindo com isso que a serapilheira do MRP apresente uma menor concentração de nitrogênio em relação ao MRJ. A diferença na composição da serapilheira entre mangues pode influenciar na qualidade desse recurso alimentar e com isso na seleção desse recurso como fonte de nutrientes por *Brachyura*. Visto que, a composição química da espécie vegetal, principalmente a concentração de macronutrientes como nitrogênio e fósforo, está intimamente relacionado a escolha do alimento (THONGTHAM; KRISTENSEN, 2005; CHRISTOFOLETTI *et al.*, 2013). Além da seleção entre espécies vegetais, o animal pode possuir preferência quanto ao estado de maturação da folha, dado que folhas em estágio de decomposição possuem menor teor de tanino, aumentando a sua palatabilidade em relação aos outros estágios de maturação da folha (KRISTENSEN, 2008; CHRISTOFOLETTI *et al.*, 2013).

Mesmo com a representatividade das espécies vegetais sendo diferentes entre o MRP e MRJ, o aporte de serapilheira não apresentou diferença significativa. A similaridade no aporte de serapilheira demonstrou que a disponibilidade de recurso alimentar vegetal é semelhante entre os mangues. Porém, a disponibilidade de alimento vegetal é influenciada também por outros fatores que atuam na ciclagem da serapilheira, como a remoção por espécies herbívoras, a taxa de decomposição microbiana (HOLGUIN *et al.*, 2001) e características da maré, como o grau e a frequência de inundação (TWILLEY *et al.*, 1986; ROBERTSON; DANIEL, 1989; TWILLEY

et al., 1992).

As condições redox e acido-básica variam em função das alterações nos fatores físicos, químicos e biológicos como por exemplo sazonalidade, precipitação, atividades das plantas e bioturbação (NÓBREGA *et al.*, 2014). Ambos os mangues apresentaram valores de pH próximo a 7, porém no MRJ a sua variação média (6,73 até 7,47) caracterizou esse mangue como mais ácido do que o MRP que apresentou uma variação média de pH com valores mais altos (7,25 até 7,69). Em relação a oxigenação do solo, ambos apresentaram elevados valores de Eh sendo caracterizados como óxidos, porém o MRJ se mostrou mais óxido do que o MRP. A condição oxidada do solo pode levar a uma maior acidez do mesmo (NÓBREGA *et al.*, 2014), como pôde ser observado no MRJ.

Já entre os parâmetros físicos, a análise da textura do solo também foi diferenciada entre mangues. O MRP apresentou um maior teor de areia e foi classificado como arenoso, enquanto o MRJ apresentou maior teor de argila e foi classificado como argiloso. Devido ao aumento na área superficial de um solo argiloso em relação a um solo arenoso, diversas propriedades do solo são diferentes entre essas texturas (Brady; Weil, 2004). Dentre essas propriedades a capacidade de armazenamento de nutrientes e o teor de matéria orgânica do solo é mais alta em um solo argiloso em comparação com um arenoso (BRADY; WEIL, 2004; REINERT; REICHERT, 2006).

A concentração de fósforo total foi maior no MRJ do que no MRP, essa maior concentração pode gerar uma maior decomposição da matéria orgânica e estar associada a presença de fazendas de carcinicultura próximas a área de coleta (NÓBREGA *et al.*, 2014). As frações orgânicas e inorgânicas do fósforo apresentaram contribuições diferentes em relação ao fósforo total nos dois mangues, sendo o fósforo inorgânico presente em maior quantidade. A maior concentração de fósforo inorgânico pode ser um indicio de poluição ambiental (NÓBREGA *et al.*, 2014).

O resultado da PCA agrupou os mangues quanto a duas frações do ferro, ferro solúvel e ferro pirítico. Variações nas concentrações de ferro estão associadas a mudanças no potencial de oxidação do mangue, causadas por diferenças na frequência de inundação da maré, salinidade e condições geoquímicas de cada mangue (NÓBREGA *et al.*, 2013). A maior concentração de ferro pirítico também está relacionada a altos teores de nitrato redutível, gerado pelos dejetos de fazendas de carcinicultura (NÓBREGA *et al.*, 2013).

Entre os nutrientes mensurados do solo no presente trabalho, o carbono e o nitrogênio

também diferiram entre os mangues. Essa diferença foi observada através das suas assinaturas isotópicas de $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$. Os valores isotópicos de $\delta^{13}\text{C}$ demonstraram que os solos do MRJ possuem uma menor concentração de carbono e uma maior variabilidade em relação ao MRP. A maior variabilidade observada no MRJ deve-se ao maior número de espécies com grande representatividade na composição da serapilheira, a qual será incorporada no solo na forma de detrito (HOLGUIN *et al.*, 2001; KRISTENSEN, 2008). O solo do mangue é composto por detritos oriundos de diversas fontes, dentre elas, algas, ervas daninhas carregadas de outros ambientes e folhas das árvores de mangue (BOUILLON *et al.*, 2008), porém a principal fonte de carbono do solo é oriunda das folhas de mangue (THIMDEE *et al.*, 2001; GIARRIZZO *et al.*, 2011), fazendo com que o solo possa ter uma grande variabilidade em relação ao isótopo $\delta^{13}\text{C}$ (BOUILLON *et al.*, 2008). Em relação ao isótopo $\delta^{15}\text{N}$, o MRJ apresentou valores mais elevados do que o MRP. Valores mais elevados de $\delta^{15}\text{N}$, podem ser indicativos de poluição de origem urbana ou agrícola (FRY *et al.*, 2000; JONES *et al.*, 2001). Além disso, a variação do $\delta^{15}\text{N}$ é mais acentuada do que a do $\delta^{13}\text{C}$, podendo variar seu valor em diferentes pontos dentro de um mesmo estuário (FRY *et al.*, 2000; BOUILLON *et al.*, 2008).

Os recursos alimentares apresentaram diferenças quanto o seu valor nutricional tendo em vista os valores de C/N, onde material animal foi o mais nutritivo, seguido pelo o solo e por último material vegetal. Considera-se o alimento mais nutritivo aquele com maior teor de nitrogênio, visto que o carbono é encontrado em abundância na maior parte dos recursos alimentares e o nitrogênio é um recurso mais limitante, importante indicador de proteína e fundamental para a obtenção de energia para a realização de diversas funções metabólicas (LINTON; GREENAWAY, 2007). Esses resultados corroboram com diversos trabalhos, onde o material vegetal possui elevados valores C/N em relação ao solo (THONGTHAM; KRISTENSEN, 2005) e sugerem o solo como uma importante fonte de nutrientes para espécies herbívoras de *Brachyura* (SKOV; HARTNOLL, 2002). O valor nutritivo do alimento é de suma importância para compreendermos a escolha do recurso alimentar pelo animal, visto que essa escolha pode considerar a abundância ou o valor nutricional do alimento (CLAUDINO *et al.*, 2015).

As duas espécies estudadas apresentaram assinaturas de $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$ significativamente diferentes, indicando dietas com diferentes fontes de nutrientes (THIMDEE *et al.*, 2001). Entre mangues também houve variação nas assinaturas isotópicas, principalmente em relação ao $\delta^{15}\text{N}$ que variou tanto em *U. cordatus* quanto em *G. cruentata*. Essa variação foi acompanhada por mudanças nas assinaturas dos recursos alimentares, principalmente do solo, sugerindo que

acrécimos nos animais seja devido ao acréscimo das fontes.

O modelo de mistura Bayesiana mostrou que a contribuição dos recursos alimentares foi diferente entre espécies e entre mangues. As duas espécies selecionaram seus recursos alimentares pela sua qualidade nutricional nos dois mangues. A espécie *U. cordatus* conservou seu consumo de material vegetal como descrito em outros trabalhos (NORDHAUS *et al.*, 2006; CHRISTOFOLETTI *et al.*, 2013), porém os recursos de maior contribuição foram os com assinaturas isotópicas de $\delta^{15}\text{N}$ maiores, material animal no MRP e solo no MRJ. Do mesmo modo, a espécie *G. cruentata* consumiu os recursos alimentares com maiores assinaturas de $\delta^{15}\text{N}$. A escolha de alimentos mais ricos em nitrogênio é uma das estratégias utilizadas por espécies de Brachyura, os quais necessitam desse nutriente para realizar mecanismos como crescimento e reprodução (LINTON; GREENAWAY, 2007).

A diferença na contribuição do recurso alimentar entre mangues se deu principalmente por mudanças no valor nutritivo das fontes entre os ambientes. Mudança na dieta é comum em espécies de Brachyura, podendo ser alterada por características fisiológicas do animal, como idade e ciclos reprodutivos, ou por características do ambiente, como frequência de inundação da maré, disponibilidade de recursos e presença de espécies competidoras (WELLENS *et al.*, 2015).

Mesmo as espécies apresentando preferência pelo mesmo item alimentar no MRJ (solo), a análise da elipse padrão (SIAR) mostrou que as espécies ocupam diferentes nichos isotópicos. A segregação entre os nichos deve-se a complexidade e elevada dinâmica nas condições ambientais de um ecossistema de manguezal, onde as assembleias de fauna apresentam distinção na sua distribuição espacial ou temporal de forrageamento (BOUILLON *et al.*, 2008). Essa segregação é observada nos hábitos de vida das espécies de estudo, visto que *G. cruentata* é uma espécie que vive tanto no solo quanto em árvores, o que lhe permite ocupar quase todos os habitats de um ecossistema de manguezal (WELLENS *et al.*, 2015), além de não produzir sua própria toca, utilizando a de outras espécies para a sua proteção (LIMA-GOMES *et al.*, 2011). Por outro lado, *U. cordatus* é uma espécie produtora de toca, que se alimenta basicamente do material presente no substrato do mangue (NORDHAUS *et al.*, 2009).

A análise da elipse padrão mostrou também que *G. cruentata* apresentou uma maior variação quanto os valores de $\delta^{13}\text{C}$, caracterizando a espécie como generalista (LIMA-GOMES *et al.*, 2011) visto que o isótopo de $\delta^{13}\text{C}$ é usado para identificar a fonte alimentar e que uma variação do mesmo indica que houve o consumo de diferentes fontes. Já a espécie *U. cordatus* teve uma maior variação nos valores de $\delta^{15}\text{N}$, demonstrando ser uma espécie que sofre mais

alterações na sua posição trófica. Diferenças entre as posições tróficas e fonte de alimento entre as espécies de caranguejo demonstra que esses animais são importantes e contribuem para a dinâmica do mangue em vários níveis na teia trófica (THIMDEE *et al.*, 2001).

As espécies de *Brachyura* estudadas selecionam o recurso alimentar de acordo com seu valor nutritivo. Além disso, foi possível observar a importância do solo como fonte de nutrientes em espécies com diferentes nichos tróficos, visto que o solo apresentou uma taxa C/N intermediária em relação as outras duas fontes, indicando com isso ser um alimento mais nutritivamente equilibrado. Além disso, o solo esteve presente de forma bastante representativa na dieta das duas espécies de *Brachyura* estudadas. Por fim, características do mangue como porcentagem de contribuição da flora, características físicas e químicas do solo podem contribuir para variações no teor de nutrientes dos recursos alimentares presentes no ambiente. Diante disso, torna-se fundamental a compreensão da estrutura química e física do mangue como uma forma de prevermos futuras alterações na dinâmica da estrutura trófica do ecossistema.

5 CONCLUSÃO

- A composição e representatividade da serapilheira do mangue influenciam na qualidade do recurso alimentar disponível para espécies de Brachyura, principalmente na composição do solo.
- A composição e representatividade da serapilheira do mangue influenciam na qualidade do recurso alimentar disponível para espécies de Brachyura, principalmente na composição do solo.
- Fatores químicos e físicos do solo podem aumentar ou diminuir a quantidade de nutrientes disponíveis para o consumo por Brachyura.
- O solo foi um importante recurso alimentar para ambas as espécies de Brachyura estudadas.
- A escolha do recurso alimentar pelas espécies de Brachyura estudadas sugere uma relação com a qualidade nutricional do alimento.
- *G. cruentata* e *U. cordatus* possuem diferentes nichos isotópicos, mesmo compartilhando os mesmos recursos alimentares.

REFERÊNCIAS

- BEARHOP, S.; ADAMS, C. E.; WALDRON, S.; FULLER, R. A.; MACLEOD, H. Determining trophic niche width: A novel approach using stable isotope analysis. **Journal of Animal Ecology**, v. 73, n. 5, p. 1007–1012, 2004. ISSN 00218790.
- BOUILLON, S.; CONNOLLY, R. M.; LEE, S. Y. Organic matter exchange and cycling in mangrove ecosystems: Recent insights from stable isotope studies. **Journal of Sea Research**, v. 59, n. 1-2, p. 44–58, 2008. ISSN 13851101.
- BRADY, N. C.; WEIL, R. R. Elements of the Nature and Properties of Soils. **Journal of Chemical Information and Modeling**, v. 53, n. 9, p. 1–606, 2004. ISSN 1098-6596.
- BUI, T. H. H.; LEE, S. Y. Does 'you are what you eat' apply to mangrove grapsid crabs? **PLoS ONE**, v. 9, n. 2, 2014. ISSN 19326203.
- BURGGREN, W. W.; MOREIRA, G. S.; SANTOS, M. d. C. F. Specific dynamic action and the metabolism of the brachyuran land crabs *Ocypode quadrata* (Fabricius, 1787), *Goniopsis cruentata* (Latreille, 1803) and *Cardisoma guanhumi* Latreille, 1825. **Journal of Experimental Marine Biology and Ecology**, v. 169, n. 1, p. 117–130, 1993.
- CEBRIAN, J. Patterns in the Fate of Production in Plant Communities. **American Society of Naturalists**, v. 154, n. June 2000, p. 449–468, 1999. ISSN 10773711.
- CHRISTOFOLETTI, A. R.; HATTORI, Y. G.; PINHEIRO, A. M. Food selection by a mangrove crab: Temporal changes in fasted animals. **Hydrobiologia**, v. 702, n. 1, p. 63–72, 2013. ISSN 00188158.
- CLAUDINO, M. C.; PESSANHA, A. L. M.; ARAÚJO, F. G.; GARCIA, A. M. Trophic connectivity and basal food sources sustaining tropical aquatic consumers along a mangrove to ocean gradient. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 167, p. 45–55, 2015. ISSN 02727714.
- COELHO, P. A.; RAMOS, M. d. A. A constituição e a distribuição da fauna de decapodos do litoral leste da América do Sul entre as latitudes de 5° N e 39° S. **Tropical Oceanography**, Recife, v. 13, p. 133–236, 1972.
- De Lestang, S.; PLATELL, M. E.; POTTER, I. C. Dietary composition of the blue swimmer crab *Portunus pelagicus* L. Does it vary with body size and shell state and between estuaries? **Journal of Experimental Marine Biology and Ecology**, v. 246, n. 2, p. 241–257, 2000. ISSN 00220981.
- De Lira, J. J. P. R.; REZENDE, C. F.; MARTINS, R. P.; SOUZA, L. P.; FERREIRA, T. O.; SILVA, J. R. F.; LIRA, D. Population biology of the crab *Goniopsis cruentata*: variation in body size, sexual maturity, and population density. **Animal Biology**, v. 64, n. 4, p. 383–394, nov 2014. ISSN 1570-7555.
- DONATO, D. C.; KAUFFMAN, J. B.; MURDIYARSO, D.; KURNIANTO, S.; STIDHAM, M.; KANNINEN, M. Mangroves among the most carbon-rich forests in the tropics. **Nature Geoscience**, Nature Publishing Group, v. 4, n. 5, p. 293–297, 2011. ISSN 1752-0894.
- ELNER, W. R.; HUGHES, N. R. Energy Maximization in the Diet of the Shore Crab, *Carcinus maenas*. **Journal of Animal Ecology**, v. 47, n. 1, p. 103–116, 1978.

- EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro: SNLCS, 1997. 412 p. p.
- FERREIRA, A. C.; GANADE, G.; Morais Freire, F. a.; ATTAYDE, J. L. Propagule predation in a Neotropical mangrove: The role of the Grapsid crab *Goniopsis cruentata*. **Hydrobiologia**, v. 707, n. 1, p. 135–146, 2013. ISSN 00188158.
- FRY, B.; BERN, A.; ROSS, M.; MEEDER, J. $\delta^{15}\text{N}$ Studies of Nitrogen Use by the Red Mangrove, *Rhizophora mangle* L. in South Florida. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 50, n. 2, p. 291–296, 2000. ISSN 02727714.
- GIARRIZZO, T.; SCHWAMBORN, R.; SAINT-PAUL, U. Utilization of carbon sources in a northern Brazilian mangrove ecosystem. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, Elsevier Ltd, v. 95, n. 4, p. 447–457, 2011. ISSN 02727714.
- GRIFFEN, B. D.; MOSBLACK, H. Predicting diet and consumption rate differences between and within species using gut ecomorphology. **Journal of Animal Ecology**, v. 80, n. 4, p. 854–863, 2011. ISSN 00218790.
- HOLGUIN, G.; VAZQUEZ, P.; BASHAN, Y. The role of sediment microorganisms in the productivity, conservation, and rehabilitation of mangrove ecosystems: An overview. **Biology and Fertility of Soils**, v. 33, n. 4, p. 265–278, 2001. ISSN 01782762.
- JACKSON, A. L.; INGER, R.; PARNELL, A. C.; BEARHOP, S. Comparing isotopic niche widths among and within communities: SIBER - Stable Isotope Bayesian Ellipses in R. **Journal of Animal Ecology**, v. 80, n. 3, p. 595–602, 2011. ISSN 00218790.
- JONES a.B.; O'DONOHUE, M.; UDY, J.; DENNISON, W. Assessing Ecological Impacts of Shrimp and Sewage Effluent: Biological Indicators with Standard Water Quality Analyses. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 52, n. 1, p. 91–109, 2001. ISSN 02727714.
- KRISTENSEN, E. Mangrove crabs as ecosystem engineers; with emphasis on sediment processes. **Journal of Sea Research**, v. 59, n. 1-2, p. 30–43, 2008. ISSN 13851101.
- LEITE, M. D. M. L.; REZENDE, C. F.; SILVA, J. R. F. Population biology of the mangrove crab *Ucides cordatus* (Decapoda: Ucidae) in an estuary from semiarid northeastern Brazil. **Revista de biología tropical**, v. 61, n. 4, p. 1721–1735, 2013. ISSN 00347744.
- LIMA-GOMES, R. D.; COBO, V.; FRANSOZO, A. Feeding behaviour and ecosystem role of the red mangrove crab *Goniopsis cruentata* (Latreille, 1803) (Decapoda, Grapsoidea) in a subtropical estuary on the Brazilian coast. **Crustaceana**, v. 84, n. 5-6, p. 735–747, 2011. ISSN 0011-216X.
- LINTON, S. M.; GREENAWAY, P. A review of feeding and nutrition of herbivorous land crabs: adaptations to low quality plant diets. **Journal of Comparative Physiology B**, v. 177, n. 3, p. 269–286, 2007. ISSN 0174-1578.
- MAIA, L. P.; LACERDA, L. D. de; MONTEIRO, U. H. L.; SOUZA, M. G. **Atlas dos manguezais do nordeste do Brasil**. [S. l.: s. n.], 2006. 55 p. p.
- NEWSOME, S. D.; RIO, C. M. del; BEARHOP, S.; PHILLIPS, D. L. A niche for isotopic ecology Seth. **The Ecological Society of America**, v. 5, n. 8, p. 429–436, 2007.

NILIN, J.; MOREIRA, L. B.; AGUIAR, J. E.; MARINS, R.; Moledo de Souza Abessa, D.; Monteiro da Cruz Lotufo, T.; COSTA-LOTUFO, L. V. Sediment quality assessment in a tropical estuary: The case of Ceará River, Northeastern Brazil. **Marine Environmental Research**, Elsevier Ltd, v. 91, p. 89–96, 2013. ISSN 01411136.

NÓBREGA, G. N.; FERREIRA, T. O.; ROMERO, R. E.; MARQUES, A. G. B.; OTERO, X. L. Iron and sulfur geochemistry in semi-arid mangrove soils (Ceará, Brazil) in relation to seasonal changes and shrimp farming effluents. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 185, n. 9, p. 7393–7407, 2013. ISSN 01676369.

NÓBREGA, G. N.; OTERO, X. L.; MACÍAS, F.; FERREIRA, T. O. Phosphorus geochemistry in a Brazilian semiarid mangrove soil affected by shrimp farm effluents. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 186, n. 9, p. 5749–5762, 2014. ISSN 15732959.

NOGUEIRA, F. N. A.; RIGOTTO, R. M.; TEIXEIRA, A. C. D. A. O agronegócio do camarão: processo de trabalho e riscos à saúde dos trabalhadores no município de Aracati/Ceará. **Revista Brasileira de Saúde Ocupacional**, v. 34, n. 119, p. 40–50, 2009. ISSN 0303-7657.

NORDHAUS, I.; DIELE, K.; WOLFF, M. Activity patterns, feeding and burrowing behaviour of the crab *Ucides cordatus* (Ucididae) in a high intertidal mangrove forest in North Brazil. **Journal of Experimental Marine Biology and Ecology**, Elsevier B.V., v. 374, n. 2, p. 104–112, 2009. ISSN 00220981.

NORDHAUS, I.; WOLFF, M. Feeding ecology of the mangrove crab *Ucides cordatus* (Ocypodidae): Food choice, food quality and assimilation efficiency. **Marine Biology**, v. 151, n. 5, p. 1665–1681, 2007. ISSN 00253162.

NORDHAUS, I.; WOLFF, M.; DIELE, K. Litter processing and population food intake of the mangrove crab *Ucides cordatus* in a high intertidal forest in northern Brazil. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 67, n. 1-2, p. 239–250, 2006. ISSN 02727714.

ODUM, W. E.; HEALD, E. J. The detritus-based food web of an estuarine mangrove community. **Estuarine Research**, v. 1, p. 265, 1975.

R Core Team. **R: A Language and Environment for Statistical Computing**. Vienna, Austria, 2011.

REINERT, J. R.; REICHERT, J. M. **Propriedades física do solo**. 2006. 18 p.

ROBERTSON, A.; DANIEL, P. The influence of crabs on litter processing in high intertidal mangrove forests in tropical Australia. **Oecologia**, v. 78, p. 191–198, 1989.

SILVA, L. V. C. **RELAÇÃO ENTRE A DINÂMICA ESPAÇO-TEMPORAL DE USO E OCUPAÇÃO DO SOLO E OS CONFLITOS AMBIENTAIS: O CASO DA COMUNIDADE DO CUMBE, ARACATI, CEARÁ, BRASIL**. 127 p. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Ceará, 2016.

SKOV, M. W.; HARTNOLL, R. G. Paradoxical selective feeding on a low-nutrient diet: Why do mangrove crabs eat leaves? **Oecologia**, v. 131, n. 1, p. 1–7, 2002. ISSN 00298549.

SOUTO, F. J. B. Uma abordagem etnoecológica da pesca do caranguejo, *Ucides cordatus*, Linnaeus, 1763 (Decapoda: Brachyura), no manguezal do Distrito de Acupe (Santo Amaro-BA). **Biotemas**, v. 20, n. 1, p. 69–80, 2007. ISSN 2175-7925.

STRONG, D. R. **Journal of Biogeography**, Wiley, v. 6, n. 2, p. 201–204, 1979. ISSN 03050270, 13652699.

THIMDEE, W.; DEEIN, G.; SANGRUNGRUANG, C.; MATSUNAGA, K. Stable Carbon and Nitrogen Isotopes of Mangrove Crabs and Their Food Sources in a Mangrove-fringed Estuary in Thailand. **BENTHOS RESEARCH**, v. 56, n. 2, p. 73–80, 2001.

THONGTHAM, N.; KRISTENSEN, E. Carbon and nitrogen balance of leaf-eating sesarmid crabs (*Neopisesarma versicolor*) offered different food sources. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 65, n. 1-2, p. 213–222, 2005. ISSN 02727714.

TWILLEY, R. R.; CHEN, R. R.; HARGIS, T. Carbon sinks in mangroves and their implications to carbon budget of tropical coastal ecosystems. **Water air and soil pollution**, v. 64, p. 265–288, 1992.

TWILLEY, R. R.; LUGO, A. E.; PATTERSON-ZUCCA, C. Litter production and turnover in basin mangrove forests in Southwest Florida. **Ecology**, v. 67, n. 3, p. 670–683, 1986. ISSN 1939-9170.

VERMEIREN, P.; ABRANTES, K.; SHEAVES, M. Generalist and Specialist Feeding Crabs Maintain Discrete Trophic Niches Within and Among Estuarine Locations. **Estuaries and Coasts**, v. 38, n. 6, p. 2070–2082, 2015. ISSN 15592731.

WELLENS, S.; SANDRINI-NETO, L.; GONZÁLEZ-WANGÜEMERT, M.; LANA, P. Do the crabs *Goniopsis cruentata* and *Ucides cordatus* compete for mangrove propagules? A field-based experimental approach. **Hydrobiologia**, 2015. ISSN 0018-8158.