



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
INSTITUTO DE CIÊNCIAS DO MAR
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS MARINHAS TROPICAIS**

HELENY NORONHA DAVID

**PADRÕES ESPAÇO-TEMPORAIS DE DISTRIBUIÇÃO DE *Littoraria
angulifera* (LAMARCK, 1822) (GASTROPODA: LITTORINIDAE): ASPECTOS
ECOFISIOLÓGICOS E CARACTERÍSTICAS POPULACIONAIS EM UM
MANGUEZAL DO SEMIÁRIDO NORDESTINO BRASILEIRO**

**FORTALEZA-CE
2024**

HELENY NORONHA DAVID

PADRÕES ESPAÇO-TEMPORAIS DE DISTRIBUIÇÃO DE *Littoraria angulifera* (LAMARCK, 1822) (GASTROPODA: LITTORINIDAE): ASPECTOS ECOFISIOLÓGICOS E CARACTERÍSTICAS POPULACIONAIS EM UM MANGUEZAL DO SEMIÁRIDO NORDESTINO BRASILEIRO

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Marinhas Tropicais da Universidade Federal do Ceará – UFC, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Doutora em Ciências Marinhas Tropicais. Linha de pesquisa: Prospecção de Recursos Marinhos

Orientadora: Profa. Dra. Cristina de Almeida Rocha-Barreira

Coorientadora: Profa. Dra. Rafaela Camargo Maia

FORTALEZA-CE

2024

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Sistema de Bibliotecas

Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

D273p David, Heleny Noronha.
PADRÕES ESPAÇO-TEMPORAIS DE DISTRIBUIÇÃO DE *Littoraria angulifera*
(LAMARCK, 1822) (GASTROPODA: LITTORINIDAE): ASPECTOS ECOFISIOLÓGICOS E
CARACTERÍSTICAS POPULACIONAIS EM UM MANGUEZAL DO SEMIÁRIDO
NORDESTINO BRASILEIRO / Heleny Noronha David. – 2024.
105 f. : il. color.

Tese (doutorado) – Universidade Federal do Ceará, Instituto de Ciências do Mar,
Programa de Pós-Graduação em Ciências Marinhas Tropicais, Fortaleza, 2024.
Orientação: Profa. Dra. Cristina de Almeida Rocha-Barreira.
Coorientação: Profa. Dra. Rafaela Camargo Maia.

1. Ecologia. 2. Estuário. 3. Gastropoda. 4. Gradientes ambientais. 5. Região entremarés. I.
Título.

CDD 551.46

HELENY NORONHA DAVID

PADRÕES ESPAÇO-TEMPORAIS DE DISTRIBUIÇÃO DE *Littoraria angulifera* (LAMARCK, 1822) (GASTROPODA: LITTORINIDAE): ASPECTOS ECOFISIOLÓGICOS E CARACTERÍSTICAS POPULACIONAIS EM UM MANGUEZAL DO SEMIÁRIDO NORDESTINO BRASILEIRO

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Marinhas Tropicais da Universidade Federal do Ceará – UFC, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Doutora em Ciências Marinhas Tropicais. Linha de pesquisa: Prospecção de Recursos Marinhos

Aprovada em __/__/____

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dra. Cristina de Almeida Rocha-Barreira (Orientadora)
Universidade Federal do Ceará

Prof. Dra. Rafaela Camargo Maia (Co-orientadora)
Universidade Federal do Ceará

Prof. Dr. Jesus Souza Troncoso
Universidad de Vigo

Prof. Dra. Helena Matthews-Cascon
Universidade Federal do Ceará

Prof. Dra. Magalline Maria Lemos Girão
Secretaria da Educação do Estado do Ceará

Prof. Dr. Alisson Sousa Matos
Universidade Federal do Recôncavo da Bahia

Resumo

Os manguezais são ecossistemas costeiros tropicais de grande importância ecológica e econômica, influenciando a distribuição de diversas espécies de invertebrados. Entre essas, destaca-se *Littoraria angulifera*, um gastrópode essencial no ecossistema manguezal e um excelente modelo para estudos de distribuição na zona entremarés devido à sua abundância, fácil coleta, identificação e capacidade de adaptação ao ambiente. Este estudo analisou a distribuição de *L. angulifera* em função das variações de temperatura, salinidade e estrutura do manguezal no estuário do rio Pacoti, Eusébio, CE. No primeiro capítulo, foram realizadas 12 coletas mensais de setembro de 2020 a setembro de 2021, focando nas respostas ecofisiológicas da espécie ao longo de gradientes espaço-temporais. O segundo capítulo abordou a distribuição espacial e a estrutura populacional de *L. angulifera* em diferentes regiões do estuário durante os períodos chuvoso, de transição e seco em 2022. Os resultados demonstraram que foram encontradas conchas maiores e mais pesadas próximas à água, possivelmente devido à maior disponibilidade de alimentos e capacidade de retenção de água. A temperatura interna dos animais aumentou com a distância do rio, indicando menor proteção contra fatores externos na zona de borda, onde há mais luz solar e estresse térmico. A saturação de oxigênio interno também variou, com maiores valores na porção mais distante do ambiente terrestre. A densidade de organismos foi significativamente influenciada pela sazonalidade e proximidade da linha d'água, variando conforme a posição nas árvores e as estações de coleta. Esses resultados enfatizam a necessidade de levar em conta os gradientes ambientais e micro-habitats ao investigar a ecologia da espécie. A proximidade da água parece criar um microclima mais favorável, com menos estresse hídrico e maior disponibilidade de alimento. Conclui-se que *L. angulifera* é uma espécie indicadora eficaz das modificações ambientais, respondendo de forma distinta às diferentes condições do ambiente.

Palavras-chave: Ecologia; Estuário; Gastropoda; Gradientes ambientais; Mollusca; Região entremarés.

Abstract

Mangroves are tropical coastal ecosystems which have a great ecological and economic importance, influencing the distribution of many invertebrate species. Among these, *Littoraria angulifera* stands out as an essential gastropod in the mangrove ecosystem and an excellent model for studying in the intertidal zone due to its abundance, ease of collection, identification, and environmental adaptability. This study analyzed the distribution of *L. angulifera* and the interaction with variations in temperature, salinity, and mangrove structure in the Pacoti River estuary, Eusébio, CE. In the first chapter, 12 monthly collections were conducted from September 2020 to September 2021, focusing on the ecophysiological responses of this species along spatial-temporal gradients. The second chapter focused on the spatial distribution and population structure of *L. angulifera* in different regions of the estuary during the rainy, transition, and dry periods in 2022. The results showed larger and heavier shells near the water, possibly due to better availability of food and water retention capacity. The internal temperature of the animals increased with distance from the river, indicating less protection against external factors in the edge zone, where there is more thermal stress. Internal oxygen saturation also varied, with higher values closer to the water. The density of organisms was significantly influenced by seasonality and proximity to the waterline, varying according to the position on the trees and the seasons. These results emphasize the importance of considering environmental gradients and micro-habitats when investigating the ecology of *L. angulifera*. Proximity to water seems to create a more favorable microclimate, with less water stress and greater food availability. It is concluded that *L. angulifera* is an effective indicator of environmental changes, responding distinctly to different environmental conditions.

Keywords: Ecology; Estuary; Gastropoda; Environmental gradients; Mollusca; Intertidal zone.

SUMÁRIO

1. Introdução geral da tese	12
1.1. Organismo modelo	14
1.2. Gradientes de distribuição	19
1.3. Semiárido nordestino	20
2. Hipóteses da pesquisa	22
3. Objetivos da tese	23
Referências	24

Capítulo I: Respostas ecofisiológicas de *Littoraria angulifera* (Lamarck, 1822) (Gastropoda: Littorinidae) ao longo de gradientes espaço-temporais em um estuário do semiárido brasileiro

1. Introdução	29
2. Hipóteses	32
3. Objetivos	33
4. Material e métodos	34
4.1. Área de estudo	34
4.2. Procedimento de campo	36
4.3. Distribuição de tamanho dos indivíduos	39
4.4. Análise estatística	40
5. Resultados	41
5.1. Variáveis abióticas observadas	41
5.2. Estrutura do bosque de mangue	43
5.3. Distribuição de <i>Littoraria angulifera</i>	46
5.4. Relação entre as respostas ecofisiológicas e as variáveis ambientais	55
6. Discussão	57
7. Conclusões	62
8. Referências	63

Capítulo II: Distribuição espacial e estrutura populacional de *Littoraria angulifera* no estuário do rio Pacoti: influência dos gradientes de salinidade e sazonalidade das chuvas

1. Introdução	71
2. Hipóteses	75
3. Objetivos	76
4. Material e métodos	77
4.1. Área de estudo	77
4.2. Amostragem em campo	78
4.3. Análises estatísticas	81
5. Resultados	82
5.1. Caracterização dos gradientes ambientais	82
5.2. Distribuição espaço-temporal de <i>Littoraria angulifera</i>	85
6. Discussão	94
7. Conclusões	101
Referências	102

Dedico este trabalho ao meu amor, Bruno Carneiro.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

Agradeço a todos os professores que me guiaram ao longo da minha trajetória, especialmente às minhas orientadoras, Dra. Cristina Rocha-Barreira e Dra. Rafaela Maia. Serei eternamente grata por terem acreditado em mim e por estarem sempre ao meu lado, mesmo diante de todos os momentos desafiadores que enfrentaram. A força que vocês demonstram é inspiradora. Jamais esquecerei o apoio e orientação que me proporcionaram, e tudo o que fizeram por mim. Vocês ocupam um lugar muito especial no meu coração.

Gostaria de agradecer à banca avaliadora da minha tese, composta pelo Dr. Jesus Troncoso, Dra. Helena Matthews-Cascon, Dra. Magalline Girão e Dr. Alisson Matos. MUITÍSSIMO obrigada por terem aceitado o nosso convite e pelo tempo dedicado à contribuição para a melhoria deste trabalho. É uma grande honra contar com vocês neste momento tão importante para mim! Suas contribuições são muito valiosas.

Ao meu amor e companheiro de vida, Bruno Carneiro, que se tornou biólogo ao meu lado e que me apoia incondicionalmente em todas as situações. Agradeço por segurar minha mão no manguenzal e na vida, e por nunca permitir que eu afundasse. Obrigada por tudo. Não teria conseguido sem você. Te amo para sempre!

Ao meu amado pai, Jurandi David, que está sempre comigo, me apoiando em todas as minhas decisões. Obrigada por ser meu maior exemplo de força e bondade, e por me ajudar diariamente a ser uma pessoa melhor.

Aos colegas do Laboratório de Zoobentos do Labomar/UFC, gostaria de expressar meu imenso agradecimento por toda a ajuda e pelos momentos de alegria compartilhados. Um agradecimento especial ao Dr. Wilson Franklin-Junior, uma pessoa que tanto admiro por sua sabedoria e disposição para ajudar.

Agradeço pelas contribuições na qualificação, pelas sugestões ao longo do trabalho e por ter aceitado ser membro suplente na minha defesa.

À UFC, Labomar e CEAC, por todo o suporte necessário à minha pesquisa.

“Tudo tem o seu tempo determinado, e há tempo para todo propósito debaixo do céu.”

Eclesiastes 3:1

1. Introdução geral da tese

Os manguezais são comunidades costeiras pantanosas típicas de regiões tropicais do globo, que podem ser encontradas em áreas de transição entre os ambientes terrestre e marinho, ocupando uma área de cerca de 162.000 km² no mundo inteiro (TOMLINSON, 2016). Possuem vegetação específica, com solo que apresenta baixa disponibilidade de oxigênio, grande quantidade de matéria orgânica e frequentes variações de salinidade (SOARES *et al.*, 2017; DUKE, 2017). Além de uma grande variedade de plantas, animais e microrganismos, os ecossistemas de manguezais abrigam diversas comunidades, tanto visíveis quanto invisíveis, como fungos e bactérias (WANG; GU, 2021). Embora esses ambientes sejam consideravelmente importantes tanto do ponto de vista ecológico e econômico, bem como para a regulação do clima, os manguezais estão cada vez mais sujeitos aos impactos das pressões humanas, devido a crescente exploração de seus recursos naturais e das consequências da urbanização acelerada em torno dessas áreas (MCHARG *et al.*, 2022; CUNHA-LIGNON *et al.*, 2009).

Os manguezais estão entre os primeiros ecossistemas marinhos a sentir os impactos das mudanças climáticas globais (GILMAN *et al.*, 2008). Servindo como uma barreira vital ao longo da costa, os manguezais são particularmente sensíveis às mudanças globais no clima e no ambiente, incluindo a poluição causada pela atividade humana (LOARIE *et al.*, 2009; WANG, 2019).

Os invertebrados que habitam os manguezais enfrentam desafios singulares e desenvolveram diversos ajustes para garantir sua sobrevivência nas condições específicas desse ecossistema (JENNERJAHN *et al.* 2017). Essas adaptações incluem a resistência às variações de temperatura; adaptações respiratórias que lhes permitem respirar em ambientes anaeróbicos ou em condições de baixo oxigênio; estratégias alimentares para aproveitar a disponibilidade de recursos tais como a matéria orgânica em decomposição, sedimentos e microrganismos presentes no solo e na superfície dos troncos e folhas das árvores; estratégias reprodutivas para garantir a sobrevivência dos

seus descendentes; mecanismos de excreção para eliminar o excesso de sais; e uma variedade de adaptações morfológicas para ocupar os diferentes tipos de habitat disponíveis (MARSHALL *et al.*, 2015). Considerando as mudanças climáticas, o desafio adicional é que as alterações na salinidade, na quantidade de CO₂ na atmosfera e no oxigênio dissolvido da água ocorrem simultaneamente com as mudanças de temperatura, tornando complexa a previsão dos efeitos futuros sobre esses organismos (BYRNE; PRZESLAWSKI, 2013).

Os moluscos arborícolas estão frequentemente expostos a mudanças de maré e, conseqüentemente, à exposição ao ar, o que torna seus níveis de tolerância à temperatura geralmente muito próximos das temperaturas mais elevadas que são observadas atualmente em seus habitats naturais (MARSHALL *et al.*, 2015). Conforme os autores, esses organismos se destacam devido à sua excepcional aptidão para ocupar habitats diversos e contrastantes, o que lhes permitiu desenvolver mecanismos para reter a umidade e minimizar a perda de água.

De acordo com Imakulata e Tokan (2018), a distribuição desses moluscos é fortemente influenciada pela sua adaptabilidade aos fatores ambientais das florestas de mangue. Condicionantes ecológicas, como disponibilidade de alimentos e qualidade do habitat, podem afetar a distribuição desses organismos, demonstrando sua capacidade de explorar uma variedade de habitats verticais, desde a zona das raízes até o topo das árvores, aproveitando nichos específicos no manguezal (IMAKULATA; TOKAN, 2018).

De acordo com Ortiz e Blanco (2012), a salinidade desempenha um papel relevante na distribuição da fauna de gastrópodes associadas ao manguezal. Como forma de adaptar-se a esse importante fator ambiental, os moluscos arborícolas que vivem nessas áreas apresentam sistemas fisiológicos que lhes permitem lidar com as flutuações na concentração salina do ambiente, já que podem ser expostos tanto à água doce que escorre das folhas, quanto à água salgada das marés. Ademais, diversos moluscos arborícolas se alimentam de material orgânico em decomposição presente nas folhas e cascas das árvores, ao mesmo tempo em que servem de alimento para vertebrados, como

aves e peixes, tornando clara sua importância para a cadeia alimentar e a reciclagem de nutrientes no ecossistema do manguezal (PENG *et al.*, 2017).

Estudos dos aspectos ecofisiológicos de animais que vivem em manguezais desempenham um papel fundamental na compreensão das possíveis respostas desses ecossistemas aos cenários de mudanças climáticas. À medida que o clima global continua a mudar, os manguezais enfrentam desafios crescentes que ameaçam essas áreas úmidas costeiras, como o aumento do nível do mar, aumento da temperatura, alterações na salinidade e eventos climáticos extremos (GOPAL, 2013; CHUNG *et al.*, 2023; BANERJEE *et al.*, 2017; SIPPO *et al.*, 2015).

A compreensão dos mecanismos de adaptação dos animais dos manguezais às mudanças climáticas é essencial para desenvolver estratégias de conservação e manejo eficazes para esses ambientes. Assim, investigar de que maneira os animais que habitam esses ecossistemas respondem a essas mudanças é fundamental para prever o futuro desses ambientes e tomar medidas para sua conservação.

1.1. Organismo modelo

Gastrópodes da família Littorinidae, organismos bastante conhecidos por sua plasticidade fenotípica, estão entre os invertebrados mais representativos nos ambientes costeiros, estando amplamente distribuídos em regiões tropicais e temperadas do planeta (NG *et al.*, 2011). Sua notável plasticidade os capacita a se adaptarem ao ambiente em termos morfológicos e fisiológicos, o que os torna modelos excepcionais para pesquisas ecológicas na zona entremarés (MALTSEVA *et al.*, 2021; NG *et al.*, 2011).

O gastrópode arborícola *Littoraria angulifera* (LAMARCK, 1822) (Figura 1) habita zonas de supralitoral dos manguezais do Atlântico tropical e do Caribe. A distribuição geográfica de *L. angulifera* abrange desde a Flórida, nos Estados Unidos, até o Brasil, incluindo toda a região do Caribe e Bermudas, podendo também ser encontrada no Atlântico Leste, desde o Senegal até a

Angola (KOHLMEYER; BEBOUT, 1986; MERKT; ELLISON, 1998). No Brasil, segundo Rios (2009), esse gastrópode se distribui desde o Ceará até o estado de São Paulo.

Essa espécie cumpre um importante papel ecológico nos manguezais e vive associada a raízes e troncos de árvores de mangue, sendo encontrada principalmente na superfície das raízes que sustentam as árvores do gênero *Rhizophora* (KOHLMEYER; BEBOUT, 1986; MERKT; ELLISON, 1998; MELO *et al.*, 2012). Nessas áreas, conforme Kohlmeier e Bebout (1986), é possível encontrar uma grande quantidade de fungos pertencentes ao grupo dos Deuteromycetes, bem como filamentos da clorofícea *Chlorochytrium sp.*, os quais são consumidos pela *L. angulifera* (GUTIERREZ, 1988).

É comum observar comportamentos de migração vertical desses caramujos nas árvores para evitar ficar submersos durante a maré alta. Gutierrez (1988) afirmou que, embora mantenham a respiração branquial, esses organismos apenas suportam curtos períodos de submersão.

A maioria dos littorínídeos possui brânquias adaptadas para capturar oxigênio dissolvido na água, entretanto, algumas espécies, dentre elas *L. angulifera*, que vivem em ambientes intermareais, apresentam ctenídios relativamente degenerados, além de possuir alta vascularização no epitélio de sua cavidade do manto, o que lhes permite obter oxigênio tanto do ar, como da água (GUTIERREZ, 1988).

De acordo com Kohlmeier e Bebout (1986), durante os períodos de seca, esses litorínídeos entram em estado de dormência, frequentemente fixando-se com muco nas folhas das árvores, o que causa a formação de marcas necróticas em meia-lua no tecido foliar abaixo da área de fixação. Ao encontrar o ambiente úmido novamente, desprendem-se do local em que se fixaram, em busca de alimentação.

De acordo com Merkt e Ellison (1998), os padrões de tamanho da concha de *L. angulifera* podem variar em diferentes regiões geográficas, podendo esta variação ser resultante das condições e características ambientais

do habitat, como o clima local, sendo a temperatura um fator importante na distribuição desses organismos nos bosques (VERMEIJ, 1972).

Em estudo realizado por Melo *et al.* (2012) no estuário do Rio Pacoti, o qual avaliou a capacidade de adaptação morfológica de *L. angulifera* às condições do ambiente, foi observado que esses animais apresentam variações na sua distribuição em diferentes áreas estuarinas, o que sugere a sua capacidade de se adaptar a micro-habitats distintos. De acordo com Maia *et al.* (2010), as características morfológicas da concha de *L. angulifera* podem variar em resposta a fatores como a complexidade do ambiente, exposição à dessecação e a proximidade com a água. Essa plasticidade da espécie a torna uma boa ferramenta para o estudo de áreas sujeitas às perturbações humanas e às mudanças climáticas que afetam as áreas de manguezais.



Figura 1: *Littoraria angulifera* associada a tronco de *Rhizophora mangle* no estuário do Rio Pacoti. Fonte: Imagem da autora.

Esses gastrópodes apresentam um potencial notável como indicadores ecológicos, pois são facilmente acessíveis para coleta e observação em campo, o que simplifica a condução de estudos de longo prazo e a aquisição de dados essenciais para o monitoramento ambiental.

De acordo com Marshall *et al.* (2015), os litorinídeos apresentam uma considerável resistência ao calor, devido à sua capacidade de adaptação à grande variação de temperatura em seus habitats costeiros. Os autores ressaltaram que sua capacidade de termorregulação através de modificações comportamentais pode favorecer sua sobrevivência a eventos climáticos extremos. Em resposta a temperaturas estressantes, esses organismos têm a capacidade de diminuir consideravelmente sua atividade metabólica, adotando um estado de repouso como uma forma de conservar energia e se adaptar às condições térmicas adversas (MARSHALL *et al.*, 2011). Em estudo realizado por Wang *et al.* (2014) sobre litorinídeos que habitam áreas costeiras sujeitas a altas flutuações de temperatura, foi verificado que o sequenciamento genético de *Echinolittorina malaccana* (Philippi, 1847) evidenciou a identificação de genes que lhe conferem alta resistência ao estresse térmico, o que demonstra o potencial adaptativo desses organismos aos cenários de aquecimento global.

Emson *et al.* (2002) verificou que, em estudos de longo prazo, o litorinídeo *Cenchritis muricatus* (Linnaeus, 1758) apresentou considerável capacidade de suportar a dessecação. Os autores sugerem que essa aptidão se deve a uma regulação da concentração de hemolinfa, envolvendo o equilíbrio osmorregulatório a partir de trocas com a água livre na cavidade palial. O estudo compara o seu sistema excretor ao de espécies terrestres, evidenciando sua alta capacidade de adaptação ao ambiente intermareal.

A espécie também tem se mostrado sensível aos impactos da urbanização em áreas de manguezal. Ramos *et al.* (2021) encontraram uma maior densidade populacional de organismos associados à substratos antropogênicos em comparação aos substratos naturais. No entanto, a predominância observada desses animais nessas estruturas foi de organismos de menor tamanho do que o padrão observado em florestas de mangue, demonstrando que esses substratos possivelmente influenciam na dieta de *L. angulifera*, além de expor esses organismos a um maior estresse térmico. Costa *et al.* (2013) demonstraram que *L. angulifera* é uma boa sentinela para o monitoramento de áreas contaminadas por tributilestanho (TBT) no litoral do Espírito Santo, por apresentar níveis consideráveis de imposex, que é o desenvolvimento de características sexuais masculinas em fêmeas, que em

contato com a contaminação, desenvolvem vasos deferentes e pênis. O papel da espécie como indicador para estudos ecotoxicológicos foi confirmado por Zeidan e Boehs (2023), em estudo realizado na Bahia, onde foram evidenciadas alterações importantes no sistema reprodutivo de fêmeas de *L. angulifera*, em experimento que expôs a espécie a uma dieta artificial contaminada com TBT. De acordo com as pesquisadoras, foi observado um aumento na extensão do oviduto palial dessas fêmeas, o que pode prejudicar a reprodução da população, comprometendo a eliminação de suas larvas. Em um estudo realizado por Santos (2021), *L. angulifera* foi considerada bioindicadora da presença de metais pesados no ambiente, pois apresentou bioacumulação de cobre (Cu) e zinco (Zn), sendo sua glândula digestiva o órgão que obteve maior acúmulo desses compostos químicos. A autora também observou danos genotóxicos nos indivíduos, o que pode estar relacionado à disponibilidade de Zn no ambiente, o qual junto com a sua acumulação, também interferiu no crescimento dos organismos estudados.

Esse gastrópode, por sua associação com a vegetação, é considerado indicador de degradação ambiental em áreas desmatadas. Tanaka e Maia (2006) verificaram que a distribuição de tamanhos de *L. angulifera* se mostrou semelhante em bosques de menor altura decorrentes do impacto por desmatamento. Os autores apontam que isso se deve à maior intensidade de luz solar e maior temperatura nessas áreas.

Segundo Ortiz e Blanco (2012), *L. angulifera* responde aos danos causados pela erosão. De acordo com os autores, a perda de habitat ocasionada por esse tipo de impacto tem efeitos negativos sobre a espécie, contribuindo para a mortalidade dos adultos já estabelecidos. Em manguezais com sinais de erosão, a espécie se mostrou escassa, o que pode ser explicado pelo impacto das marés no ambiente desprotegido da ação do hidrodinamismo (ORTIZ; BLANCO, 2012).

Com o aumento das temperaturas e mudanças na salinidade associados às mudanças climáticas, os littorínídeos poderão enfrentar desafios na manutenção de suas funções respiratórias e na regulação osmótica. Temperaturas mais elevadas podem aumentar as taxas metabólicas, exigindo

mais oxigênio, enquanto variações na salinidade podem afetar a regulação de íons. Várias espécies de littorinídeos têm sido utilizados como indicadores de mudanças climáticas, já que podem apresentar uma ampla quantidade de comportamentos termorreguladores (MAIA; TRONCOSO, 2022; CHAPPERON; SEURONT 2011; NG *et al.*, 2017).

As mudanças climáticas, a partir de possíveis alterações no regime de chuvas, modificações nas correntes oceânicas e elevação do nível do mar, também poderão afetar a salinidade da água, o que conseqüentemente, influenciará a distribuição de moluscos que vivem em ambientes costeiros, tais como a espécie *L. angulifera* que habita os manguezais. Apesar de ser espécie tolerante às mudanças na salinidade, o que a permite viver em uma ampla gama de habitats no ambiente de manguezal, mudanças extremas como as causadas por eventos climáticos possivelmente afetarão negativamente a sobrevivência e a distribuição da espécie.

1.2. Gradientes de distribuição

A distribuição horizontal de tamanhos da concha de *L. angulifera* é suscetível à influência de diversos fatores, como competição intraespecífica, disponibilidade de alimento, pressão de predação e variações na temperatura e salinidade. Esses fatores podem influenciar não apenas no tamanho da concha dos organismos, mas também em sua densidade populacional. Em um estudo realizado por Maia *et al.* (2010), no estuário do Rio Pacoti, foi observada uma densidade populacional maior nas áreas mais próximas ao rio. Os autores sugerem que a proximidade com a água pode ser mais favorável a esta espécie, diminuindo os riscos de exposição à dessecação, o que explica a redução gradual na densidade à medida que a distância da água aumenta.

De acordo com Vermeij (1972), os gastrópodes da família Littorinidae exibem um padrão de distribuição vertical caracterizado por uma segregação ativa de tamanhos evidenciada pela migração diferencial de grandes indivíduos em direção às áreas mais altas da zona entremarés. Chaves (2002) observou que em *Littoraria angulifera*, os adultos são encontrados predominantemente em

níveis mais altos das árvores, enquanto os jovens são encontrados em níveis mais baixos. Conforme o autor, presume-se que as maiores conchas estejam mais próximas à copa, enquanto as de tamanho menor encontram-se mais próximas ao solo.

Considerando todas as informações mencionadas anteriormente, o potencial como indicadores ecológicos dos littorinídeos é evidente. Neste contexto, espera-se que os dados coletados neste estudo possam contribuir com projetos voltados para a conservação desse ecossistema, ao fornecer informações relevantes sobre a distribuição dessa espécie e suas respostas aos fatores ambientais.

1.3. Semiárido Nordeste

O litoral semiárido nordestino do Brasil, que se estende pelos estados do Maranhão, Piauí, Ceará e Rio Grande do Norte, é caracterizado por seu clima quente, com temperaturas elevadas durante todo o ano, diferenciando-se de outras regiões do litoral brasileiro pela sua proximidade com os biomas Caatinga e Cerrado (SOARES *et al.*, 2021). Conforme os autores, uma das principais características dessa região é a sua alta biodiversidade, que se abriga em ecossistemas como os manguezais, os quais desempenham um papel fundamental na mitigação dos impactos das mudanças globais, atuando no sequestro de carbono e na proteção da costa.

Apesar de sua relevância, o litoral semiárido nordestino apresenta uma série de desafios ambientais impostos pelas mudanças climáticas, tais como: alterações nos regimes de chuvas; aumento da acumulação de sedimentos em estuários devido à erosão e ao avanço das dunas; expansão dos manguezais devido à intrusão de água salina causada pelo aumento do nível do mar; além da ocorrência de eventos climáticos extremos, o que acarretará em impactos que irão abranger diversas escalas e diferentes níveis tróficos (BERNARDINO *et al.*, 2016; SOARES *et al.*, 2022; XIMENES *et al.*, 2018; SOARES *et al.*, 2021).

Nessa região, a frequente ocorrência de períodos de seca resulta em desafios relacionados à aridez, uma vez que os índices pluviométricos variam entre os anos, resultando em flutuações anuais no regime de chuvas e em períodos de estiagem (LIMA; LIRA, 2021). Em conformidade com os autores citados, essas variações na precipitação são influenciadas por sistemas atmosféricos e fenômenos climáticos de grande escala, como a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) e o *El Niño*.

As particularidades da região costeira do semiárido nordestino tornam esse ambiente altamente suscetível aos efeitos das mudanças climáticas (OBERMAIER e ROSA, 2013). Portanto, é de extrema importância realizar o monitoramento ambiental dessa área para que se possa compreender como os organismos estão reagindo frente a esses desafios ambientais globais.

2. Hipótese da pesquisa

A hipótese sugere que a exposição a diferentes variações de maré, variáveis abióticas e as características do bosque influenciam tanto no padrão horizontal quanto vertical de distribuição da espécie *Littoraria angulifera*.

3. Objetivos da tese

3.1. Objetivo geral

Investigar os padrões espaciais e temporais de distribuição de *Littoraria angulifera*, considerando aspectos ecofisiológicos e características populacionais em resposta às condições ambientais em um manguezal do semiárido do nordeste brasileiro.

3.2. Objetivos Específicos

- Observar as respostas ecofisiológicas (tamanho, biomassa úmida, salinidade, temperatura e níveis de oxigenação interna) de *Littoraria angulifera* ao longo de um gradiente vertical de maré e da sazonalidade climática no bosque de mangue no estuário médio do rio Pacoti, Ceará, Brasil.

- Caracterizar as variações espaciais da estrutura populacional de *Littoraria angulifera* ao longo de um gradiente horizontal no estuário do rio Pacoti, Ceará-Brasil, considerando variações na salinidade e estrutura do bosque de mangue.

Aspectos relacionados à distribuição espacial e temporal serão abordados no capítulo I da tese, que se concentrará em elucidar as adaptações ecofisiológicas de *L. angulifera* em resposta a diferentes condições ambientais. O capítulo II aborda a distribuição da espécie em um gradiente espacial, com a finalidade de se comparar a densidade populacional da espécie, tamanho e biomassa úmida dos animais em três diferentes pontos de amostragem, entre a foz e a região montante do estuário, considerando estação chuvosa, de transição e seca.

REFERÊNCIAS

- AMARAL, É. B. de M.; SANTOS, C. V. Poluição e invasão de mangues em zonas litorâneas. **Unisanta BioScience**, v. 11, n. 2, p. 117-123, 2022.
- BANERJEE, K.; GATTI, R. C.; MITRA, A. Climate change-induced salinity variation impacts on a stenoeious mangrove species in the Indian Sundarbans. **Ambio**, v. 46, n. 4, p. 492-499, 2017.
- BERNARDINO, A.F.; PAGLIOSA, P. R.; CHRISTOFOLETTI, R. A.; BARROS, F., NETTO, S. A., MUNIZ; P.; LANA, P. D. C. Benthic estuarine communities in Brazil: moving forward to long term studies to assess climate change impacts. **Brazilian Journal of Oceanography**, v. 64, n. spe2, p. 81-96, 2016.
- BYRNE, M.; PRZESLAWSKI, R. Multistressor impacts of warming and acidification of the ocean on marine invertebrates' life histories. **Integrative and comparative biology**, v. 53, n. 4, p. 582-596, 2013.
- CHUNG, C.; HOPE, P.; HUTLEY, L. B.; BROWN, J.; DUKE, N. C. Future climate change will increase risk to mangrove health in Northern Australia. **Communications Earth & Environment**, v. 4, n. 1, p. 192, 2023.
- COSTA, M. B.; ZAMPROGNO, G. C.; PEDRUZZI, F. C.; DALBEM, G. B.; TOGNELLA, M. M. P. Assessing the continuous impact of Tributyltin from Antifouling Paints in a Brazilian mangrove area using Intersex in *Littoraria angulifera* (Lamarck, 1822) as Biomarker. **International Journal of Oceanography**, v. 2013, 2013.
- CUNHA-LIGNON, M., MENGHINI, R.P., SANTOS, L.C.M., NIEMEYER-DINÓLA, C., SCHAEFFER-NOVELLI, Y. Estudos de Caso nos Manguezais do Estado de São Paulo (Brasil): Aplicação de Ferramentas com Diferentes Escalas Espaço-Temporais. **Revista da Gestão Costeira Integrada**, v.9, n.1, p. 79-91, nov. 2009.

DUKE, N. C. Mangrove Floristics and Biogeography Revisited: Further Deductions from Biodiversity Hot Spots, Ancestral Discontinuities, and Common Evolutionary Processes. In: **Mangrove Ecosystems: A Global Biogeographic Perspective**. Springer, Cham, 2017. p. 17-53.

EMSON, R.; MORRITT, D.; ANDREWS, E.; YOUNG, C. Life on a hot dry beach: behavioural, physiological, and ultrastructural adaptations of the littorinid gastropod *Cenchritis (Tectarius) muricatus*. **Marine Biology**, v. 140, p. 723-732, 2002.

GOLDBERG, L.; LAGOMASINO, D.; THOMAS, N.; FATOYINBO, T. Global declines in human-driven mangrove loss. **Global change biology**, v. 26, n. 10, p. 5844-5855, 2020.

GOPAL, B. Future of wetlands in tropical and subtropical Asia, especially in the face of climate change. **Aquatic sciences**, v. 75, p. 39-61, 2013.

GUTIERREZ, P. C. The ecology and behavior of the mangrove periwinkle, *Littorina angulifera*. **Biotropica**, v. 20, n. 4, p. 352-356, 1988.

IMAKULATA, M. M.; TOKAN, M. K. Species composition, density and dominance of arboreal mangrove molluscs on the Paradiso beach of Kupang city, Indonesia. **Aquaculture, Aquarium, Conservation & Legislation**, v. 11, n. 4, p. 1001-1008, 2018.

JENNERJAHN, T.C., GILMAN, E., KRAUSS, K.W., LACERDA, L.D., NORDHAUS, I., WOLANSKI, E. (2017). Mangrove Ecosystems under Climate Change. In: Rivera-Monroy, V., Lee, S., Kristensen, E., Twilley, R. (eds) **Mangrove Ecosystems: A Global Biogeographic Perspective**. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-62206-4_7

KOHLMEYER, J.; BEBOUT, B. On the occurrence of marine fungi in the diet of *Littorina angulifera* and observations on the behavior of the periwinkle. **Marine Ecology**, v. 7, n. 4, p. 333-343, 1986.

- LIMA, M. A. da S.; LIRA, M. A. T. A variabilidade climática e os desastres naturais no Estado do Ceará (1991-2019). **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 36, p. 603-614, 2021.
- MAIA, R. C.; TRONCOSO, J. S. Evaluation of the synergistic effects of climate change on estuarine ecosystems at temperate and tropical latitudes using Littorinids (Mollusca: Gastropoda) as indicators. **Brazilian Journal of Animal and Environmental Research**, v. 5, n. 2, p. 1642-1660, 2022.
- MALTSEVA, A. L.; VARFOLOMEEVA, M. A.; AYANKA, R. V.; GAFAROVA, E. R.; REPKIN, E. A.; PAVLOVA, P. A.; SHAVARDA, A. L.; MIKHAILOVA, N. A.; GRANOVITCH, A. I. Linking ecology, morphology, and metabolism: Niche differentiation in sympatric populations of closely related species of the genus *Littorina* (*Neritrema*). **Ecology and evolution**, v. 11, n. 16, p. 11134-11154, 2021.
- MARSHALL, D. J.; REZENDE, E. L., BAHARUDDIN, N., CHOI, F., HELMUTH, B. Thermal tolerance and climate warming sensitivity in tropical snails. **Ecology and evolution**, v. 5, n. 24, p. 5905-5919, 2015.
- MARSHALL, D. J.; DONG, Y. W.; MCQUAID, C. D.; WILLIAMS, G. A. Thermal adaptation in the intertidal snail *Echinolittorina malaccana* contradicts current theory by revealing the crucial roles of resting metabolism. **Journal of Experimental Biology**, v. 214, n. 21, p. 3649-3657, 2011.
- MCHARG, E.; MENGO, E.; BENSON, L.; DANIEL, J.; JOSEPH-WITZIG, A.; POSEN, P.; LUISETTI, T. Valuing the contribution of blue carbon to small island developing states' climate change commitments and Covid-19 recovery. **Environmental Science & Policy**, v. 132, p. 13-23, 2022.
- MELO, C.G.B., MAIA, R.C., ROCHA-BARREIRA, C.A. Variação morfológica da concha e densidade populacional de *Littoraria angulifera* (Mollusca: Gastropoda) em manguezais do Ceará, Brasil. **Arquivos de Ciências do Mar**, v.45, n.2, p. 68-76, 2012.
- MERKT, R. E.; ELLISON, A. M. *Littoraria* (*Litorinopsis*) *angulifera* (LAMARCK, 1822). **Malacologia**, v. 40, n. 1-2, p. 279-295, 1998.

NG, P.T., DAVIES, M. S., STAFFORD, R., WILLIAMS, G.A. Mucus trail following as a mate-searching strategy in mangrove littorinid snails. **Animal Behavior**, v.82, n.1, p. 459-465, jul. 2011.

OBERMAIER, M.; ROSA, L. P. Mudança climática e adaptação no Brasil: uma análise crítica. **Estudos avançados**, v. 27, p. 155-176, 2013.

ORTIZ, L. F.; BLANCO, J. F. Distribución de los gasterópodos del manglar, *Neritina virginea* (Neritidae) y *Littoraria angulifera* (Littorinidae) en la Ecorregión Darién, Caribe colombiano. **Revista de Biología Tropical**, v. 60, n. 1, p. 219-232, 2012.

PENG, Y.; ZHANG, M.; LEE, S. Y. Food availability and predation risk drive the distributional patterns of two pulmonate gastropods in a mangrove-saltmarsh transitional habitat. **Marine Environmental Research**, v. 130, p. 21-29, 2017.

SIPPO, J. Z.; SANDERS, C. J.; SANTOS, I. R.; JEFFREY, L. C.; CALL, M.; HARADA, Y.; MAGUIRE, K.; BROWN, D.; CONRAD, S. R.; MAHER, D. T. Coastal carbon cycle changes following mangrove loss. **Limnology and oceanography**, v. 65, n. 11, p. 2642-2656, 2020.

SOARES, M. O.; BEZERRA, L. E. A.; COPERTINO, M.; LOPES, B. D.; BARROS, K. V. S.; ROCHA-BARREIRA, C. A.; MAIA, R. C.; BELOTO, N.; COTOVICZ-JR, L. Blue Carbon Ecosystems in Brazil: overview and an urgent call for conservation and restoration. **Frontiers in Marine Science**, p. 446, 2022.

SOARES, M. L. G.; CHAVES, F. D. O.; ESTRADA, G. C. D.; FERNANDEZ, V. Mangrove forests associated with salt flats: a case study from southeast Brazil. **Brazilian Journal of Oceanography**, v. 65, n. 2, p. 102-115, 2017.

SOARES, M. O.; BARROS, E. L.; GUERRA, R. G. P. Not just sand: The folly of dismantling the environmental protection of dunes in Brazil. **Land Use Policy**, v. 112, p. 105803, 2022.

TOMLINSON, P. B. **The botany of mangroves**. Cambridge University Press, 2016.

VERMEIJ, G.J. Intraspecific Shore-Level Size Gradients in Intertidal Molluscs. **Ecology**, v.53, n.5, p. 693-700, jul. 1972.

WANG, W.; HUI, J. H.; CHAN, T. F.; CHU, K. H. De novo transcriptome sequencing of the snail *Echinolittorina malaccana*: Identification of genes responsive to thermal stress and development of genetic markers for population studies. **Marine biotechnology**, v. 16, p. 547-559, 2014.

XIMENES, A. C.; PONSONI, L.; LIRA, C. F.; KOEDAM, N.; DAHDOUH-GUEBAS, F. Does sea surface temperature contribute to determining range limits and expansion of Mangroves in Eastern South America (Brazil)?. **Remote Sensing**, v. 10, n. 11, p. 1787, 2018.

ZEIDAN, G. C.; BOEHS, G. Sexual Alteration in *Littoraria angulifera* (Gastropoda: Littorinidae) Fed with an Organotin-Contaminated Artificial Diet. **Revista de Gestão Social e Ambiental**, v. 17, n. 5, p. e03527-e03527, 2023.

CAPÍTULO I

Respostas ecofisiológicas de *Littoraria angulifera* (LAMARCK, 1822) (Gastropoda: Littorinidae) ao longo de gradientes espaço-temporais em um estuário do semiárido brasileiro

1. Introdução

Os ambientes marinhos e costeiros têm sido fortemente afetados pelas mudanças climáticas nos últimos anos, visto que os oceanos absorvem a maior parte da energia solar que penetra a superfície do planeta (HILLEBRAND *et al.*, 2018). O aquecimento, a acidificação e a desoxigenação das águas oceânicas têm causado diversos problemas aos organismos marinhos e costeiros, como a perda de habitat, mudanças nas teias alimentares e maior risco de extinções de espécies (PÖRTNER *et al.*, 2022).

As regiões estuarinas também estão sujeitas aos riscos da elevação do nível do mar e das mudanças que poderão ocorrer nos índices de precipitação, o que provavelmente afetará os padrões de salinidade, levando a biota ao estresse fisiológico induzido por essas condições modificadas (BUFFINGTON *et al.*, 2020). Além disso, as concentrações do oxigênio nas áreas costeiras, vêm diminuindo desde o início do século passado como uma das consequências das modificações causadas pelas atividades humanas (BREITBURG *et al.*, 2018).

De acordo com o IPCC (2022), todas as projeções, as quais se referem a estimativas e cenários baseados em modelos científicos, demonstram que as mudanças do clima devem impactar negativamente a biodiversidade do planeta, sendo esperadas alterações na abundância e diversidade de espécies, área de distribuição, padrões relacionados à migração, atividades sazonais e interações interespecíficas. Entre os organismos mais afetados, estão os macroinvertebrados bentônicos, os quais têm sido amplamente utilizados como bioindicadores de mudanças climáticas, devido à sua sensibilidade ambiental e

tempo de resposta rápido às alterações nas condições ambientais (BERNARDINO *et al.*, 2016).

Os invertebrados bentônicos que vivem nessas áreas apresentam, em distintas fases de suas vidas, diferentes estratégias comportamentais, morfológicas ou fisiológicas para lidar com as variações presentes nesses ambientes (REIS *et al.*, 2021).

A Ecofisiologia é uma área de estudo interdisciplinar que surgiu diante da necessidade de compreender o efeito das pressões seletivas do ambiente sobre determinadas adaptações fisiológicas apresentadas pelos organismos (CAREY, 2015). De acordo com a autora, esse campo temático possibilita que sejam realizados estudos da fisiologia de animais em seus próprios ambientes naturais, proporcionando uma melhor compreensão dos mecanismos exercidos pelos seres vivos que os permite prosperar em ambientes estressantes.

Moluscos gastrópodes da família Littorinidae têm sido amplamente utilizados como indicadores de mudanças climáticas, já que podem apresentar uma extensa quantidade de comportamentos termorreguladores para manter suas funções fisiológicas diante de variações de temperatura e salinidade (MAIA; TRONCOSO, 2022; CHAPPERON; SEURONT 2011; NG *et al.*, 2017).

Conforme evidenciado por Tanaka e Maia (2006), o gastrópode *L. angulifera* é considerado um importante indicador ecológico no ecossistema manguezal. Os autores observaram uma distribuição de tamanhos semelhante em bosques de menor altura devido ao impacto do desmatamento, atribuindo isso à maior intensidade de luz solar e temperatura nessas áreas. Além disso, Ortiz e Blanco (2012) destacaram a resposta dessa espécie aos danos causados pela erosão, observando sua escassez em ambientes desprotegidos.

Com base nessas informações, o uso de *L. angulifera* como indicador ecológico é de grande relevância, especialmente devido à sua facilidade de coleta e observação em campo, facilitando a condução de estudos de longo prazo e monitoramentos ambientais de longo prazo (VERMEIJ, 1972; MAIA *et al.*, 2010; CHAVES, 2002). Assim, evidencia-se a importância da contribuição deste estudo para uma compreensão mais aprofundada da ecofisiologia da

espécie, uma vez que fornece informações fundamentais como base para explicar a adaptabilidade desses organismos a diferentes condições ambientais no manguezal.

2. Hipóteses

- *Littoraria angulifera* exibe variações significativas em sua temperatura corporal em função de sua posição nos troncos do mangue, proximidade com a linha d'água, sendo as maiores temperaturas observadas em indivíduos em locais mais altos nos troncos do mangue e mais afastados da margem do rio, e devido às flutuações sazonais (períodos seco e chuvoso) na região, com uma tendência de aumento durante mais meses mais secos do ano.
- A salinidade do líquido da cavidade palial de *Littoraria angulifera* varia de acordo com as flutuações sazonais (períodos seco e chuvoso) na região, com uma tendência de aumento da salinidade durante os meses mais secos do ano.
- Os níveis de oxigênio na cavidade palial de *Littoraria angulifera* são influenciados em função de sua posição nos troncos do mangue, proximidade com a linha d'água, sendo as menores concentrações observadas em indivíduos em locais mais altos nos troncos do mangue e mais afastados da margem do rio, e das flutuações sazonais (períodos seco e chuvoso) na região, com uma tendência de redução do teor de oxigênio durante os meses mais secos do ano.
- Indivíduos de *Littoraria angulifera* distribuem-se em função de seu tamanho da concha e da biomassa corporal de acordo com a sua tolerância fisiológica, estando os maiores em locais mais altos nos troncos do mangue e mais afastados da margem do rio e os menores mais baixos nos troncos e mais próximos à linha d'água.

3. Objetivos

3.1. Objetivo geral

Investigar as respostas ecofisiológicas do gastrópode *Littoraria angulifera* ao longo de um gradiente vertical de maré e das variações sazonais climáticas em um estuário no Nordeste brasileiro, considerando a temperatura, salinidade e níveis de oxigênio da cavidade palial, bem como a distribuição populacional em relação ao tamanho da concha e biomassa corporal úmida no bosque de mangue.

3.2. Objetivos específicos

- Investigar as variações na temperatura interna, na salinidade e do teor de oxigênio do líquido da cavidade palial de *Littoraria angulifera*, considerando sua posição nos troncos do mangue e proximidade com a linha d'água, ao longo dos meses do ano.

- Investigar possíveis correlações entre o tamanho e biomassa dos organismos e sua localização nos troncos do mangue e proximidade com a linha d'água, e examinar se essas distribuições estão associadas à tolerância fisiológica da espécie frente às variações ambientais, como salinidade e temperatura.

4. Material e métodos

4.1. Área de estudo

A área escolhida para o desenvolvimento deste estudo foi o médio estuário do rio Pacoti, localizado dentro da Área de Proteção Ambiental (APA) do rio Pacoti, no município do Eusébio, Região Metropolitana de Fortaleza – CE (3,83527°S/38,42221°O; Figura 1).

A área se encontra na porção leste do estado do Ceará, litoral semiárido nordestino do Brasil, região com ocorrência frequente de períodos de estiagem. O clima é caracterizado como tropical semiárido e apresenta precipitação média anual de cerca de 1.200 mm, distribuída em estação chuvosa, que normalmente ocorre de fevereiro a junho, e estação seca de julho a janeiro (FUNCEME, 2024). Entretanto, a sazonalidade climática pode variar entre os anos, resultando em flutuações no regime pluviométrico (LIMA e LIRA, 2021). A temperatura média anual pode variar entre 26 a 29 °C. (FUNCEME, 2024).

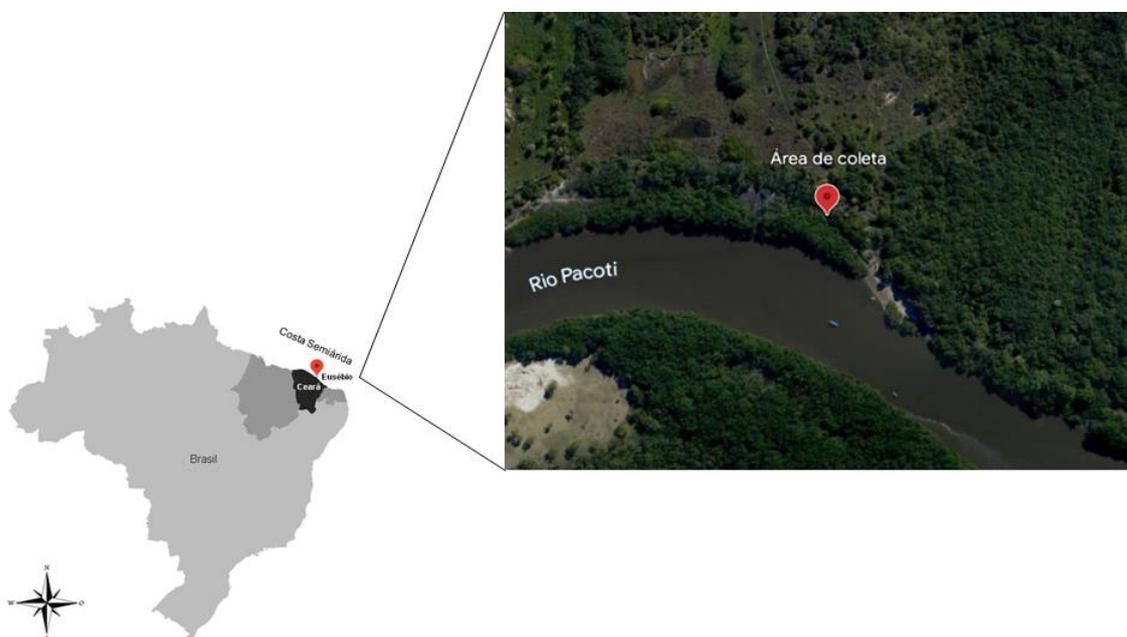


Figura 1: Área escolhida para o estudo, localizada no estuário do Rio Pacoti, no município do Eusébio, Ceará, Brasil.

De acordo com Maia (2016), a granulometria dessa área é predominantemente areno-lodosa, devido à alta taxa de sedimentação e influência dos cordões dunares arenosos presentes em parte do percurso do rio. Ainda de acordo com a autora, o estuário apresenta extensão total de 16,4km e se estende desde Aquiraz até Fortaleza.

As marés são semidiurnas com amplitude máxima de cerca de 3,1 m e mínima de 0,9 m (FERREIRA *et al.*, 2019). Até o início da década de 1980, a região abrigava salinas, hoje desativadas, que foram criadas sobre os manguezais na década de 1960 (LACERDA *et al.*, 2007). Conforme dados levantados por Schettini *et al.* (2016), o estuário do Rio Pacoti é ligeiramente hipersalino, com flutuabilidade quase neutra. Conforme os autores, a área apresenta moderada urbanização em seu entorno e impactos relacionados ao lançamento de efluentes.

Em relação à composição vegetal do bosque, podem ser encontradas quatro espécies de mangue na região. São elas: *Avicennia germinans* (L.) Stearn., *Avicennia schaueriana* Stapf & Leechm. (Acanthaceae), *Rhizophora mangle* L. (Rhizophoraceae) e *Laguncularia racemosa* (L.) Gaertn. (Combretaceae) (MAIA; COUTINHO, 2012). Conforme os referidos autores, o estuário do Rio Pacoti possui uma densidade vegetal de nível intermediário, que é influenciada pela idade e maturação das árvores de mangue (MAIA; COUTINHO, 2012).

Além disso, como em todo o estado do Ceará, essas florestas apresentam desenvolvimento limitado em altura, diâmetro à altura do peito (DAP) e área basal média em comparação com outras regiões do Brasil e do mundo. Essa limitação está associada às condições climáticas da região, que incluem chuvas escassas e acúmulo de sal, o que contribui para a formação de florestas de menor porte (PRATES; FUMI, 2018; SCHAEFFER-NOVELLI, 1990). Soma-se a isso a proximidade da região metropolitana que torna essa área suscetível a fatores de estresse, como erosão e assoreamento, influenciando, assim, a estrutura das florestas.

4.2. Procedimento de campo

A metodologia foi baseada na proposta desenvolvida por Schaffer-Novelli e Cintrón (1986), que consiste no emprego de parcelas múltiplas, adaptada por Maia e Coutinho (2012), que propõe a replicação dos transectos. Foram delimitados três sítios de amostragem na área vegetada e em cada um, demarcado um transecto de três parcelas com 100 m² cada. No presente estudo, os transectos e as parcelas foram dispostas sem espaçamento entre si e as parcelas foram orientadas perpendicularmente ao rio a partir do início da faixa de vegetação (Figura 2).

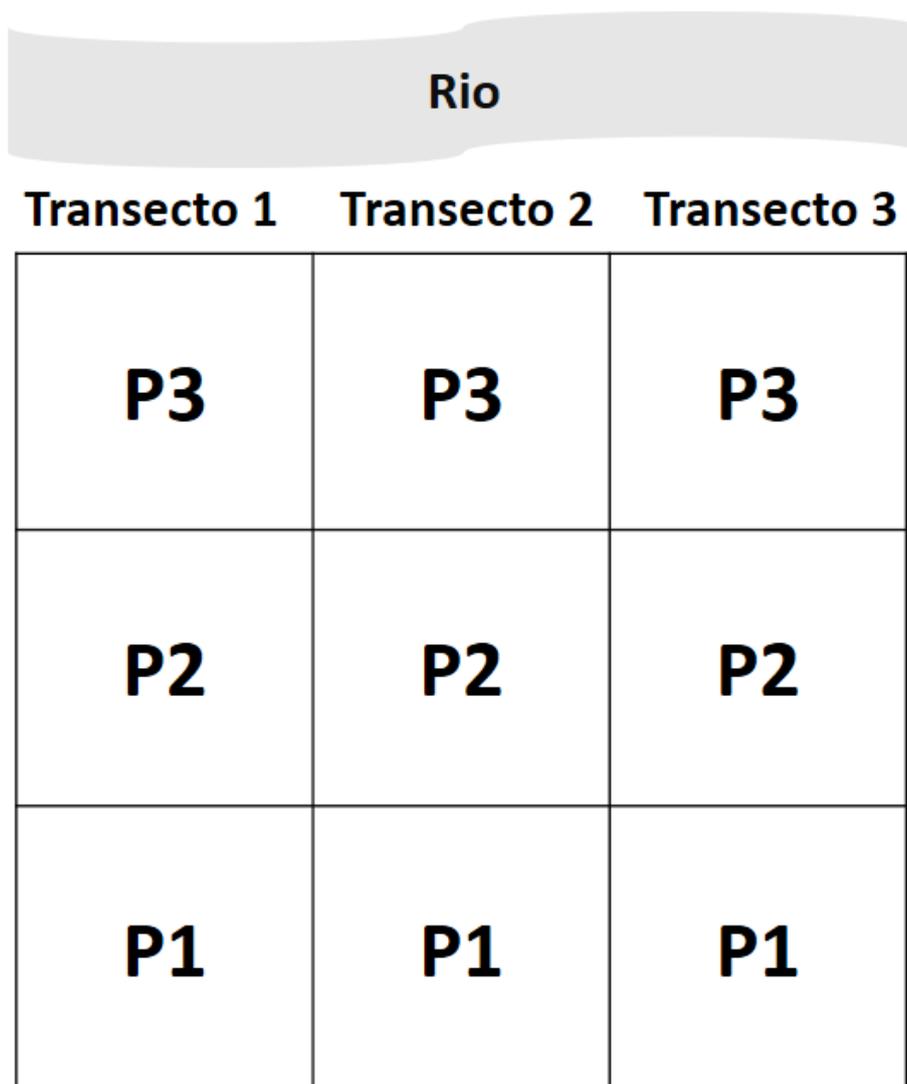


Figura 2: Representação esquemática da metodologia de amostragem. P1= parcela 1; P2 = parcela 2; P3 = parcela 3.

Em cada uma das parcelas, as árvores foram identificadas em nível de espécie, tendo sido estimada a altura de cada vegetal e medida a circunferência numa altura de 1,30m do solo, utilizando uma fita métrica. Para isso, foram consideradas apenas árvores com o mínimo de 1,30m de altura. Em seguida, os dados de circunferência foram transformados em diâmetro à altura do peito ($DAP = CAP/\pi$) e foram calculados para cada uma das áreas os valores médios da altura, o DAP médio e a área basal dos indivíduos.

Na área vegetada foram coletados dez indivíduos de *L. angulifera* em cada uma das parcelas: cinco organismos acima da altura do peito e cinco animais abaixo, totalizando 90 animais por coleta mensal, de setembro de 2020 a setembro de 2021 (Figura 3).

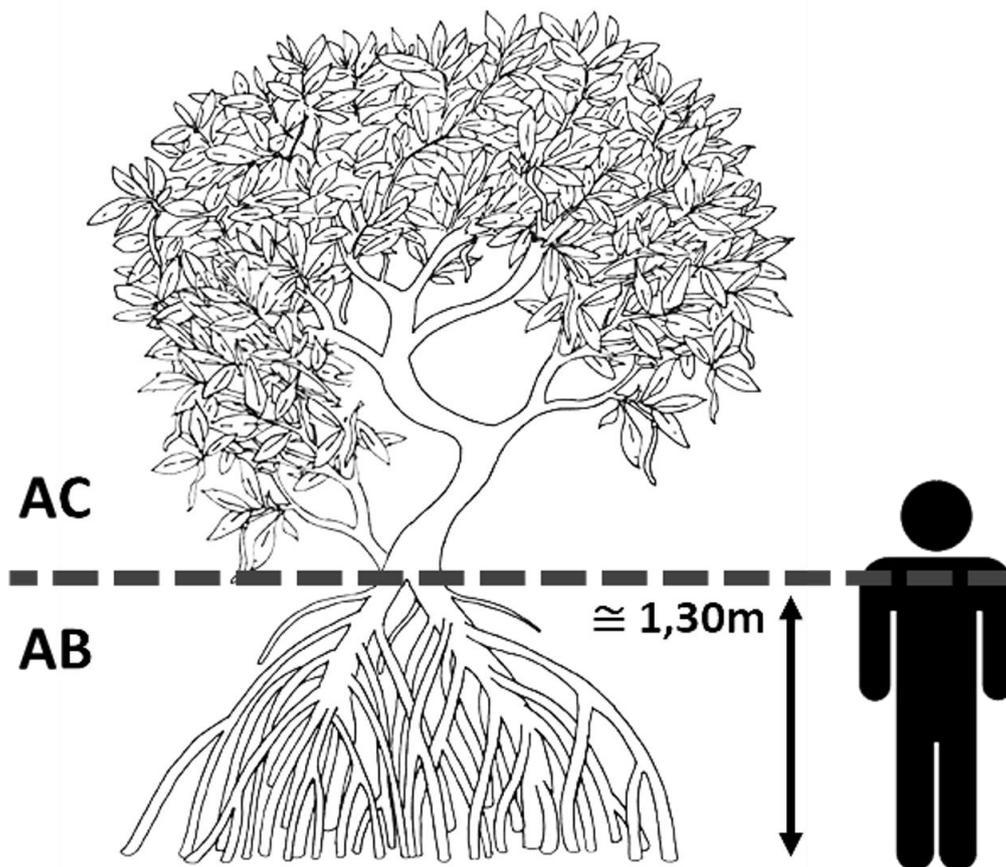


Figura 3: Representação esquemática do método de coleta manual de organismos encontrados acima da altura do peito (aproximadamente 1,30m do solo) (AC) e abaixo da altura do peito (AB). Fonte: Imagem da autora.

Foram aferidas a temperatura (°C) e saturação de oxigênio (mg/L) internas de cada animal com auxílio de sonda multiparâmetro modelo JPB-70A. Para obtenção dos dados, o sensor era inserido na câmara palial de cada animal durante alguns segundos até que os valores se mostrassem estáveis no leitor. Já a salinidade foi verificada mediante uso de pipeta Pasteur graduada para coleta do líquido interno da concha e posterior visualização no refratômetro. Para isso, utilizava-se a ponta da pipeta para afastar delicadamente o opérculo do indivíduo, o que permitia a aspiração do líquido para o interior do instrumento (Figura 4).

Os dados de temperatura do ar e da água foram obtidos a partir de um termômetro, o oxigênio dissolvido foi aferido com auxílio de sonda e a salinidade da água foi medida com um refratômetro. Já os dados de precipitação acumulada mensal foram obtidos junto à Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos (FUNCEME), a partir do posto pluviométrico do Eusébio (-3.9; -38.5) (<http://www.funceme.br>).



Figura 4: Aferição da temperatura e saturação de oxigênio internas (A) e coleta do líquido da cavidade palial para obtenção da salinidade interna (B).

4.3. Distribuição de tamanho dos indivíduos

Em laboratório, foram feitas medições de altura da concha com auxílio de paquímetro (precisão = 0,01 mm) e da obtenção da biomassa úmida dos indivíduos com uma balança de precisão (0,0001g) (Figura 5).

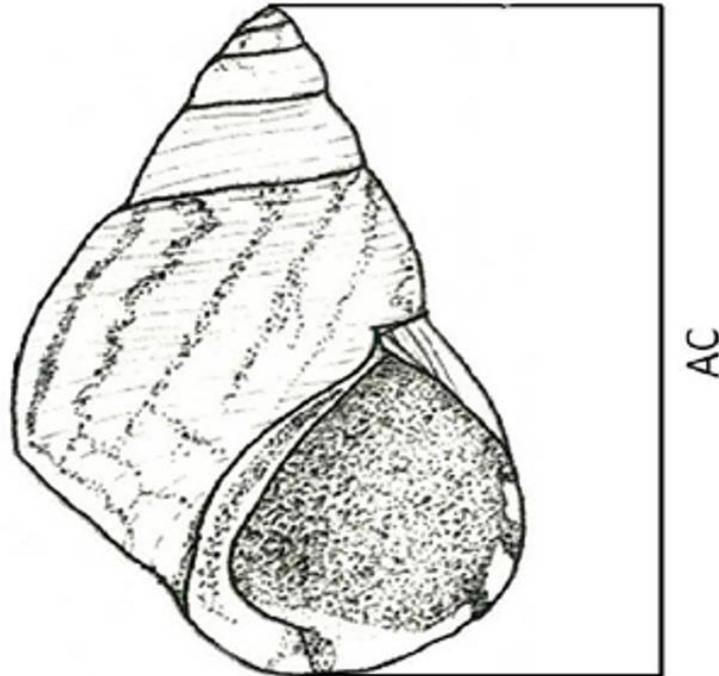


Figura 5: Desenho esquemático indicando as medições realizadas: AC= altura da concha. Fonte: BERNARDINO *et al* (2015).

4.4. Análise estatística

Inicialmente, foi realizada uma análise descritiva dos parâmetros analisados. Como os dados obtidos não atenderam os pressupostos para análises paramétricas, um teste não-paramétrico de Kruskal-Wallis foi utilizado para comparar as variáveis abióticas ao longo do ano.

Uma análise de agrupamento dos meses de coleta, considerando os dados abióticos foi realizada utilizando a média não ponderada (UPGMA – “Unweighted Pair-Group Method using Arithmetic Average”) (modo-Q) e a Distância Euclidiana como medida de similaridade. A similaridade entre os agrupamentos observados foi testada utilizando a Análise de Similaridades (ANOSIM) e a Análise de Porcentagem de Similaridades (SIMPER).

Para comparar os dados de tamanho, biomassa corporal úmida, temperatura, oxigenação e salinidade internas da concha de *L. angulifera* entre as parcelas, período de amostragem e posição dos organismos nas árvores, foi utilizada a Análise de Variância Multivariada Permutacional (PERMANOVA). Todas essas análises foram realizadas utilizando o software PRIMER (Plymouth Routines In Multivariate Ecological Research) versão 6.0 (CLARK; GORLEY, 2006).

Para compreensão da influência da vegetação na distribuição de *L. angulifera* foi realizada uma Análise de Correlação entre a densidade, tamanho da concha e biomassa corporal úmida com os parâmetros estruturais dos bosques amostrados (altura, área basal e DAP). Os dados de altura da concha, biomassa corporal úmida, saturação de oxigênio, temperatura e salinidade no líquido do interior da cavidade palial de *L. angulifera* foram correlacionados com as variáveis ambientais (temperatura do ar, temperatura da água, oxigênio dissolvido, salinidade e precipitação pluviométrica) através da análise de correlação não-paramétrica de Spearman, sendo utilizado o software STATISTICA® versão 7.0 e nível de significância de 5% ($p < 0,05$).

5. Resultados

5.1. Variáveis abióticas observadas

No que se refere às variações ambientais avaliadas nesse estudo, a precipitação variou entre zero e 346mm. Pôde-se observar que os índices de pluviosidade variaram significativamente entre os meses de estudo, sendo o mês de maio de 2021 o mais chuvoso, com 346mm de precipitação total [Kruskal-Wallis: $H(11, N = 36) = 35, p = 0,0002$]. Considerando estes dados, bem como as médias mensais esperadas, conforme a FUNCEME, foi possível reconhecer, dentro do intervalo temporal da pesquisa, os meses de setembro a dezembro de 2020 e de junho a setembro de 2021 como secos; e os meses de janeiro a maio de 2021 como chuvosos (Figura 6).

As médias de salinidade da água do leito estuarino no momento da coleta apresentaram diferenças significativas ao longo dos meses de estudo [Kruskal-Wallis: $H(11, N = 36) = 30,06860 p = 0,0015$], sendo a maior taxa registrada em janeiro de 2021, com valor 44, e, menor em maio de 2021, com 20 (Figura 6).

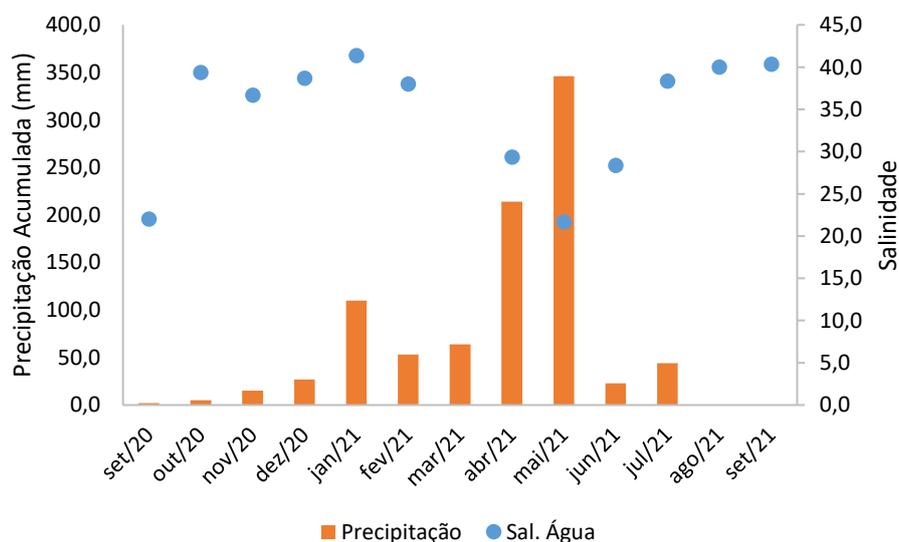


Figura 6: Precipitação pluviométrica mensal acumulada (mm), de acordo com a FUNCEME, e salinidade média da água do leito estuarino do rio Pacoti, no momento da coleta, ao longo dos meses do estudo.

A temperatura do ar apresentou média de 31,36°C, variando entre 29°C e 34°C. Essas variações, entretanto, não apresentaram diferenças significativas [Kruskal-Wallis: H (11, N = 36) = 18,37461 p = 0,0733] (Figura 7). O oxigênio dissolvido na água variou significativamente [Kruskal-Wallis: H (11, N= 36) = 21,31109 p = 0,0303] e apresentou média de 8,09mg/L. (Figura 7).

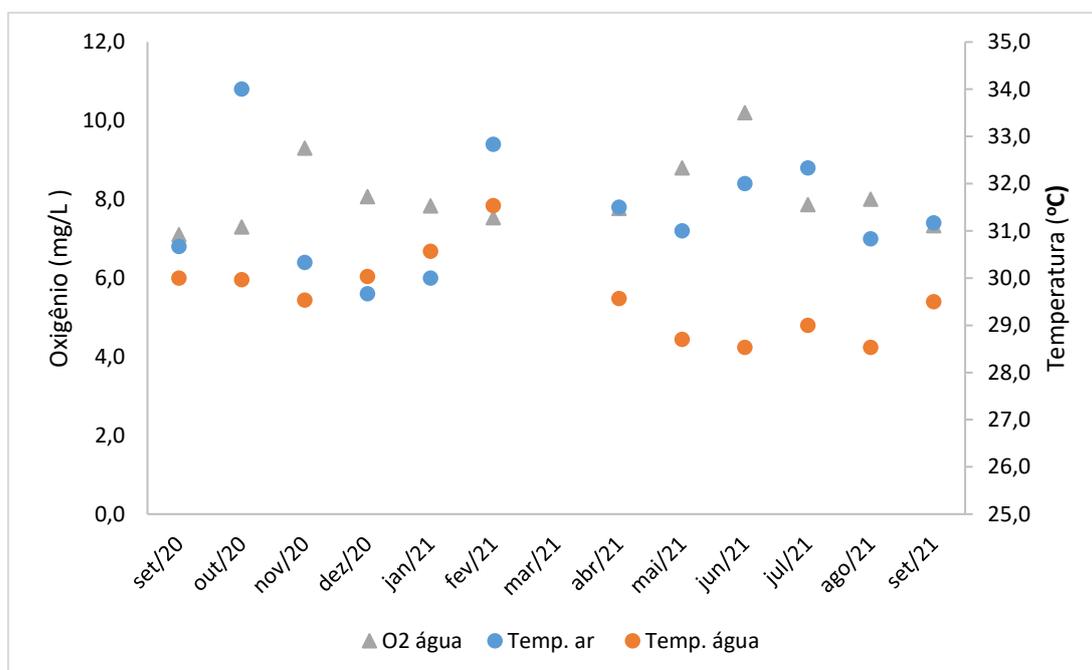


Figura 7: Valores médios mensais de temperatura do ar e da água e oxigênio dissolvido no leito estuarino do rio Pacoti mensurados no momento da coleta ao longo do estudo.

Os meses de amostragem apresentaram uma baixa similaridade, considerando os valores das variáveis ambientais medidas pontualmente (ANOSIM, R global = 0,669, p = 0,001). Considerando a variação sazonal na precipitação pluviométrica na região do estudo, os meses de amostragem, definidos como secos e chuvosos, não apresentaram dissimilaridades (ANOSIM, R global = 0,136, p = 0,28), entretanto foi observado que a salinidade da água do leito do estuário foi a variável com maior poder de explicação das características dos dois períodos (SIMPER, 92,53%) (Figura 8).

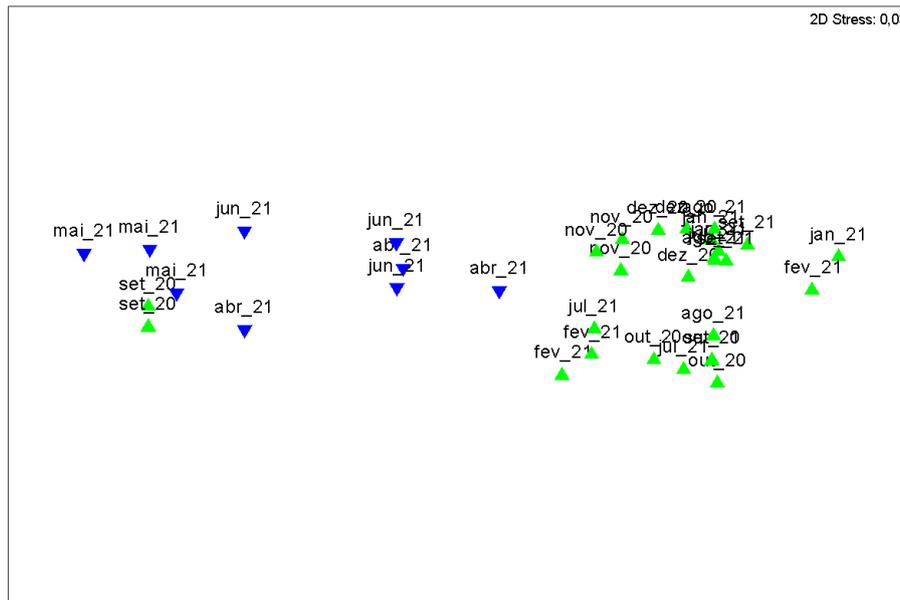


Figura 8: Análise de ordenamento bidimensional (MDS) dos meses de amostragem, considerando a valores de temperatura do ar e salinidade, temperatura e concentração de oxigênio dissolvido da água do leito estuarino do rio Pacoti. [Período Seco (setembro, outubro, novembro e dezembro de 2020; janeiro e fevereiro de 2021); Período chuvoso (abril, maio e junho de 2021). Os períodos foram baseados nos dados obtidos através do presente trabalho.] Distância Euclidiana como medida de similaridade; Precipitação pluviométrica como fator de agrupamento. Mínimo “Stress” gráfico do MDS = 0,03.

5.2. Estrutura do bosque de mangue

Na área coletada, foram registradas 95 árvores de três espécies: *Rhizophora mangle*, *Avicennia shaueriana* e *Laguncularia racemosa*. *R. mangle* foi a espécie que obteve mais espécimes registrados, com 77,9% de registro de sua presença no ambiente, seguido por *L. racemosa*, com 21,1% e *A. shaueriana* com apenas 1%. *R. mangle* foi a única que apresentou 100% de frequência nas parcelas amostradas.

As árvores amostradas obtiveram altura média de $3,76\text{m} \pm 1,26$, sendo as árvores da espécie *R. mangle* as mais altas, com média de $4,19\text{m} \pm 1,06$. *A. shaueriana* apresentou a menor média de altura, com $1,80\text{m} \pm 1,80$, seguido por *L. racemosa*, com média de $3,02\text{m} \pm 1,71$.

Devido a predominância da *R. mangle*, a estrutura do bosque de mangue, ao longo das parcelas estudadas, foi analisada considerando todas as árvores conjuntamente, independente da espécie (Tabela 1).

O diâmetro das árvores na altura do peito (DAP) médio foi de $3,1\text{cm} \pm 1,71$ e a área basal total foi de $0,1065\text{m}^2/\text{ha} \pm 0,01$. Os valores variaram significativamente entre as parcelas (Tabela 1), com variações na altura das árvores (Kruskal-Wallis H (2, N= 95) = 33,79, p =0,00) (Figura 9), DAP (H (2, N= 95) =29,95, p=0,00) (Figura 10) e área basal (H (2, N= 95) =29,95, p=0,00) (Figura 11).

Tabela 1: Valores de abundância, densidade (ind./m²), altura (m), diâmetro na Altura do Peito (DAP) (cm) e Área basal (m²/ha) das árvores do bosque de mangue nas parcelas de amostragem (P1= distante da margem; P2= intermediária; P3= próximo a água). Teste de variância não-paramétrica de Kruskal-Wallis.

Parcelas	Altura (m)		DAP		Área basal	
	Média	Desvio	Média	Desvio	Média	Desvio
P1	2,97	1,33	1,58	1,37	0,00034	0,00053
P2	4,50	0,97	3,184	1,05	0,00088	0,00059
P3	4,78	0,479	4,23	2,69	0,0019	0,00305
Total	4,09	1,26	3,05	2,23	0,00112	0,00206
Kruskal-Wallis	H (2, N= 95) = 33,79, p =0,00		H (2, N= 95) =29,95, p=0,00		H (2, N= 95) =29,95, p=0,00	

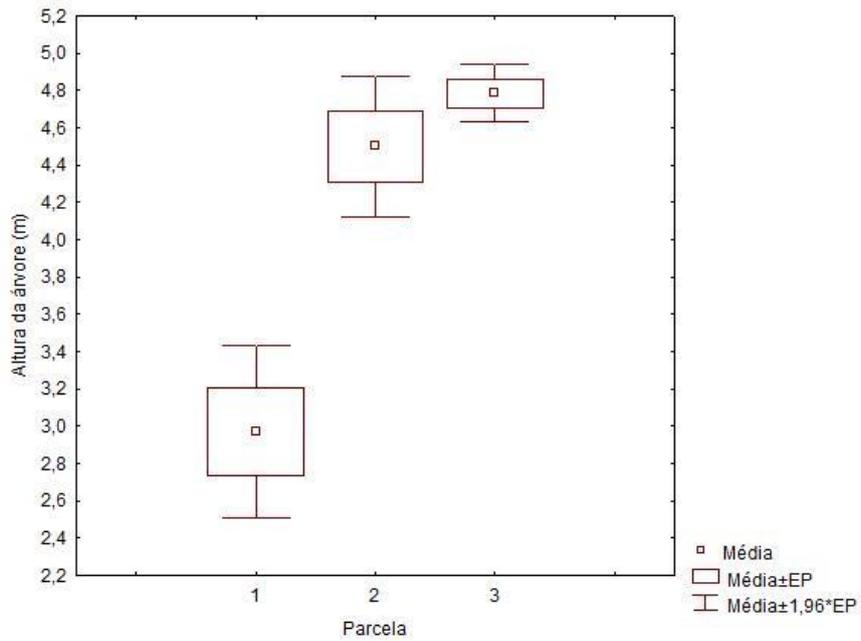


Figura 9: Altura das árvores do bosque de mangue nas parcelas de amostragem (P1= distante da margem; P2= intermediária; P3= próximo a água)

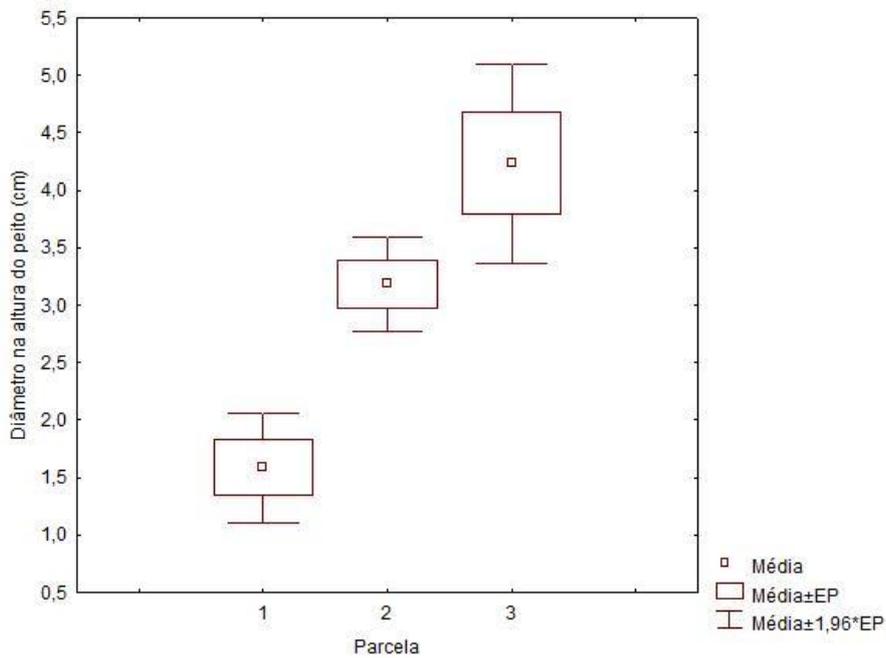


Figura 10: DAP nas parcelas de amostragem (P1= distante da margem; P2= intermediária; P3= próximo a água)

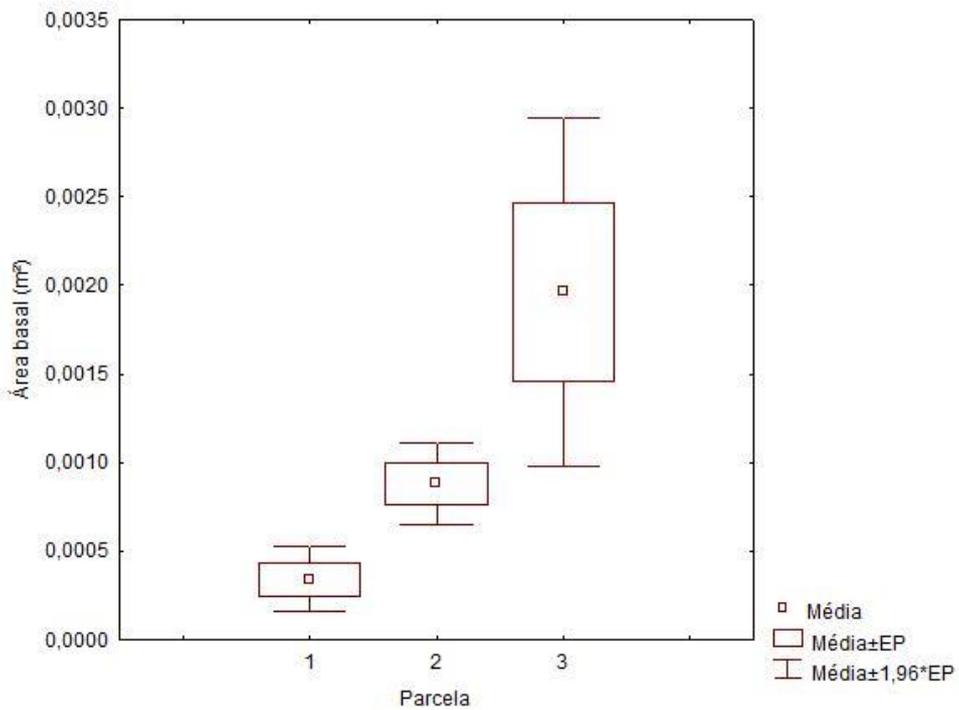


Figura 11: Área basal nas parcelas de amostragem (P1= distante da margem; P2= intermediária; P3= próximo a água)

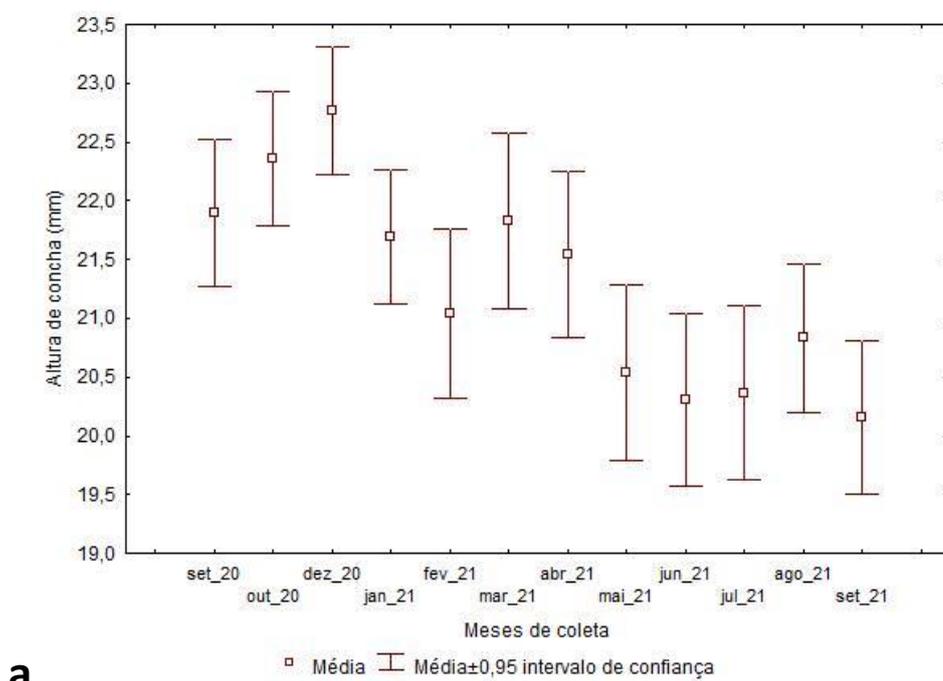
5.3. Distribuição de *Littoraria angulifera*

Durante o período amostral, foi coletado um total de 1.080 gastrópodes da espécie *L. angulifera*. Os valores de altura dos organismos variaram conforme pode ser observado na tabela 2.

Tabela 2: Tamanhos máximo, mínimo e média para cada variável (Altura da concha, biomassa corporal úmida, saturação de oxigênio, temperatura e salinidade interna).

	Altura da concha (mm)	Biomassa corporal úmida (g)	Saturação de oxigênio interna (mg/L)	Temperatura interna (°C)	Salinidade interna
Valor máximo	30,33	3,1893	10,1	36,2	80
Valor mínimo	12,20	0,1648	1,3	24,9	20
Média	21,66	1,1486	7,5838	32,14	50,17

Ao longo dos meses de estudo, a altura e a largura da concha e o peso úmido de *L. angulifera* variaram significativamente (Figura 12 a, b). Os menores valores foram observados nos meses de maio a setembro de 2021.



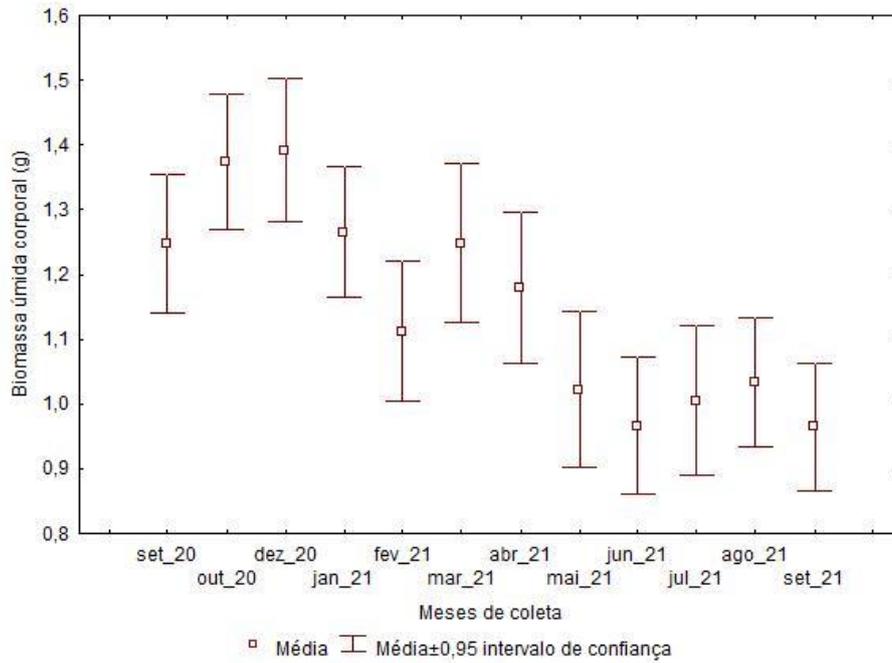


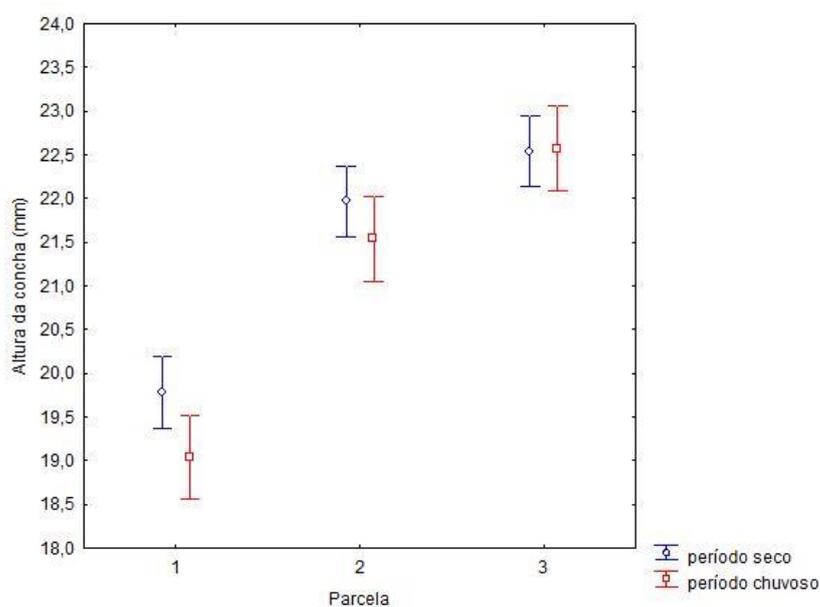
Figura 12: (a) Altura da concha e (b) biomassa corporal úmida de *Littoraria angulifera* coletadas no estuário do rio Pacoti – Ceará ao longo dos meses do estudo.

Ao comparar as características de tamanho da concha, biomassa corporal e os parâmetros fisiológicos (temperatura, salinidade e saturação de oxigênio internos) de *L. angulifera*, considerando a interação entre os fatores, período de estudo (seco e chuvoso), proximidade com o leito do rio (Parcela 1= distante da margem; Parcela 2 = intermediária; Parcela 3 = pimo a água), posição nas árvores (acima e abaixo do DAP), não foram observadas diferenças significativas (Tabela 3). As principais diferenças foram observadas quando as comparações foram feitas dentro de cada fator.

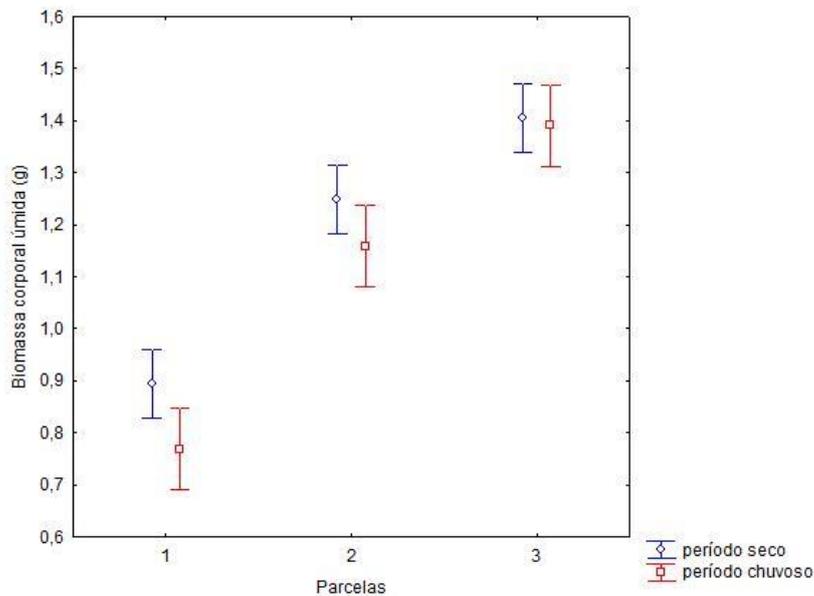
Tabela 3: Análise de Variância Multivariada Permutacional (PERMANOVA) dos dados de altura, biomassa corporal úmida (peso) e parâmetros fisiológicos (temperatura, salinidade e saturação de oxigênio internos) de *Littoraria angulifera* no estuário do rio Pacoti – Ceará, considerando os períodos de estudo (seco e chuvoso), relação à proximidade com o leito do rio (Parcela 1= distante da margem; Parcela 2 = intermediária; Parcela 3 = próximo a água), a posição nas árvores (acima e abaixo do DAP), bem como, a interação entre esses fatores. Os dados em vermelho representam resultados significativos ($p < 0,05$).

Tratamentos	Altura (mm)	Peso (g)	Temperatura interna (°C)	Salinidade interna	Oxigênio interno (ml/l)
Período	0,044	0,009	0,001	0,001	0,001
Parcela	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
Posição	0,001	0,031	0,244	0,003	0,36
Período x Parcela	0,236	0,282	0,008	0,878	0,879
Período x Posição	0,856	0,697	0,348	0,098	0,497
Parcela x Posição	0,003	0,004	0,915	0,819	0,937
Período x Parcela x Posição	0,289	0,152	0,881	0,666	0,092

De acordo com a tabela 3, os resultados revelaram diferenças significativas na altura da concha e na biomassa corporal entre as parcelas e os períodos seco e chuvoso. Observou-se que a proximidade com o leito do rio influenciou no tamanho e peso da espécie, com valores mais elevados nas parcelas próximas à água, conforme pode ser observado na Figura 13.



a



b

Figura 13: (a) Altura da concha (média \pm erro-padrão) e (b) biomassa corporal úmida (média \pm erro-padrão) de *Littoraria angulifera* coletadas no estuário do rio Pacoti – Ceará em relação à proximidade com o leito do rio (Parcela 1= distante da margem; Parcela 2 = intermediária; Parcela 3 = próximo a água) e dos períodos seco e chuvoso.

A temperatura interna variou significativamente, com os valores mais elevados observados nas parcelas mais distantes do rio. Durante o período chuvoso, as médias de temperatura interna foram significativamente maiores em todas as parcelas. As maiores médias foram encontradas na parcela 1, que é a mais distante do leito do rio, enquanto as menores temperaturas foram registradas na parcela 3, mais próxima ao rio (Figura 14).

Verificou-se ainda, que, as médias de salinidade interna foram maiores nos organismos que se estabeleceram nas parcelas mais próximas ao leito do rio, independentemente do período observado (Figura 14). Quanto à saturação de oxigênio entre as parcelas, os menores valores foram registrados na porção mais distante da água.

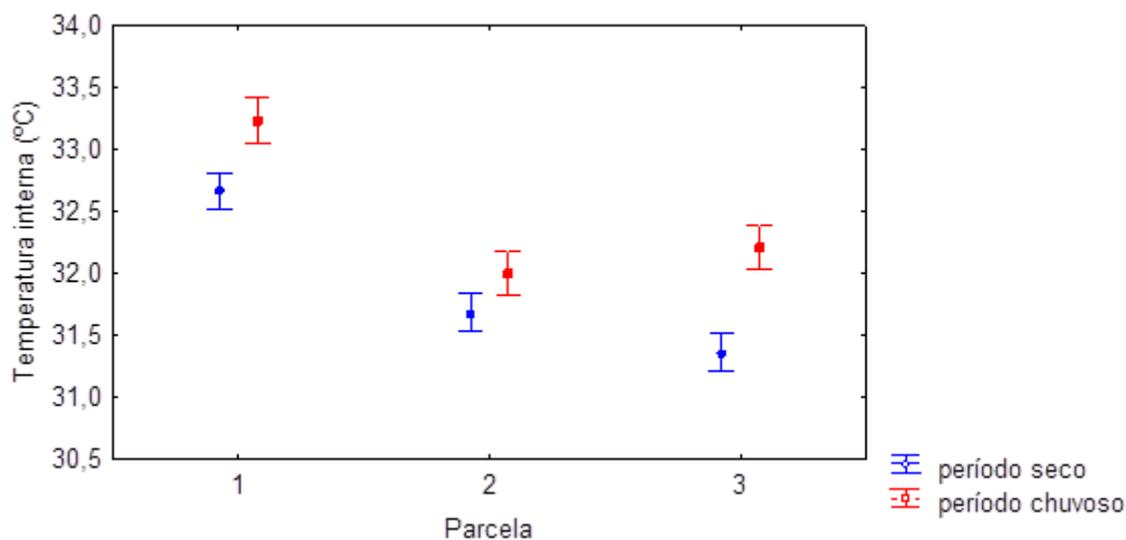


Figura 14: Temperatura interna (média \pm erro-padrão) de *Littoraria angulifera* coletadas no estuário do rio Pacoti – Ceará em relação à proximidade com o leito do rio (Parcela 1= distante da margem; Parcela 2 = intermediária; Parcela 3 = próximo a água) e dos períodos seco e chuvoso.

As menores médias de saturação de oxigênio foram observadas no período seco em todas as parcelas (Tabela 2, Figura 15). Somente na parcela 3, mais próxima da linha d'água, não foi observada diferença significativa entre os períodos seco e chuvoso.

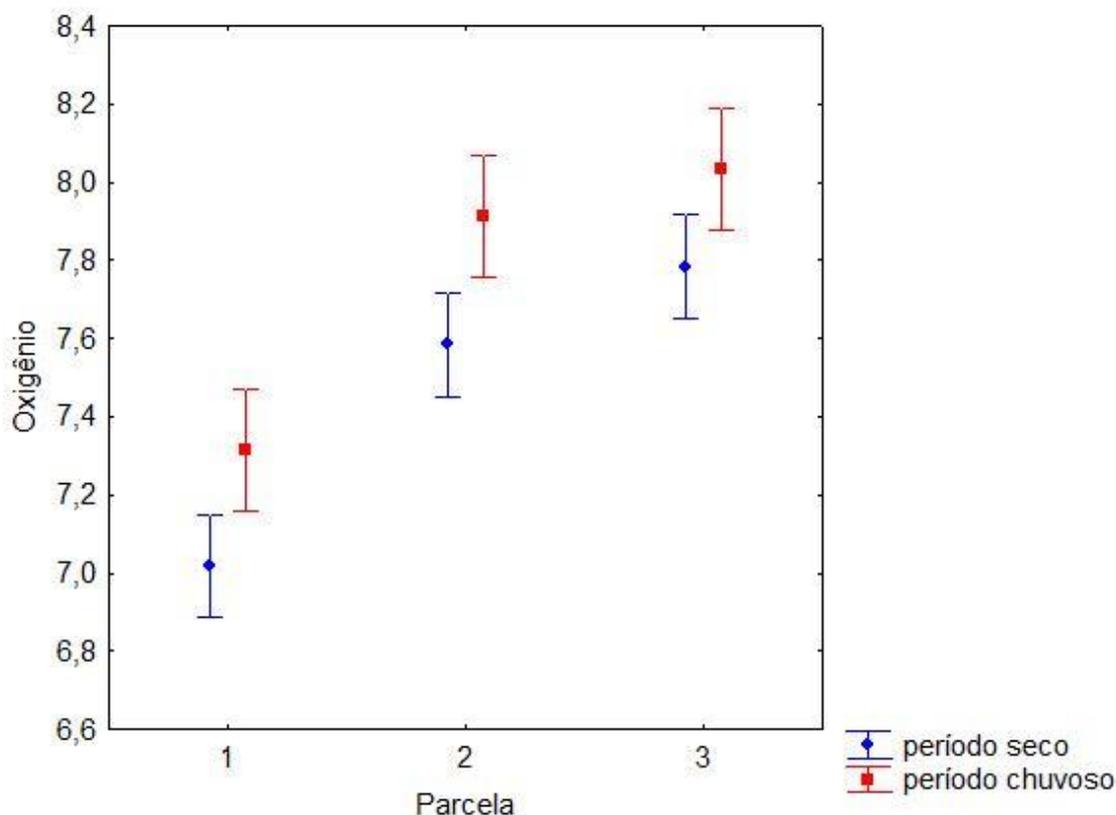


Figura 15: Saturação de oxigênio (média ± erro-padrão) de *Littoraria angulifera* coletadas no estuário do rio Pacoti – Ceará, em função a distância em relação à proximidade com o leito do rio (Parcela 1= distante da margem; Parcela 2 = intermediária; Parcela 3 = próximo a água) e dos períodos seco e chuvoso.

Já em relação à posição dos indivíduos no tronco das árvores, apenas a temperatura interna e o oxigênio dissolvido interno não variaram significativamente. Verificou-se ainda, que, as médias de salinidade interna foram maiores nos organismos que se estabelecem nas porções das árvores mais próximas ao solo (abaixo do DAP) (Figura 16).

Apesar de terem sido observadas diferenças significativas na salinidade interna dos organismos em relação a posição acima e abaixo do DAP e entre as parcelas de distância do leito do rio (Tabela 3), quando foram consideradas a interação entre fatores período x parcela, parcela x posição e período x parcela x posição, essas diferenças não foram confirmadas (Figura 18).

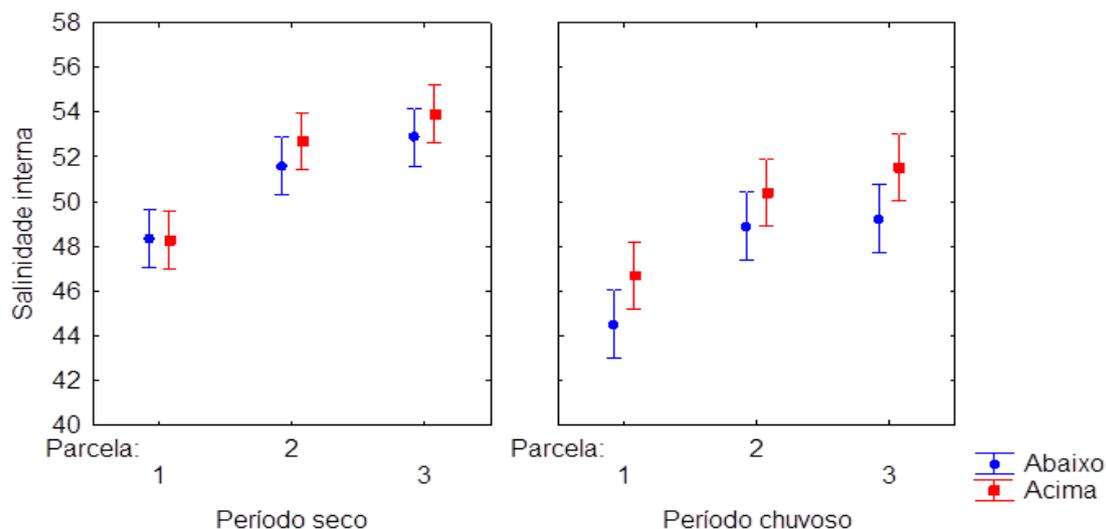


Figura 16: Salinidade interna (média \pm erro-padrão) de *Littoraria angulifera* coletadas no estuário do rio Pacoti – Ceará em relação à proximidade com o leito do rio (Parcela 1= distante da margem; Parcela 2 = intermediária; Parcela 3 = próximo a água), posição na árvore (acima e abaixo do DAP) e dos períodos seco e chuvoso.

Foi possível verificar ainda que existem variações significativas no tamanho dos organismos na parcela mais afastada da água do rio, onde os maiores tendem a se posicionar acima do DAP (Tabela 3, Figura 17).

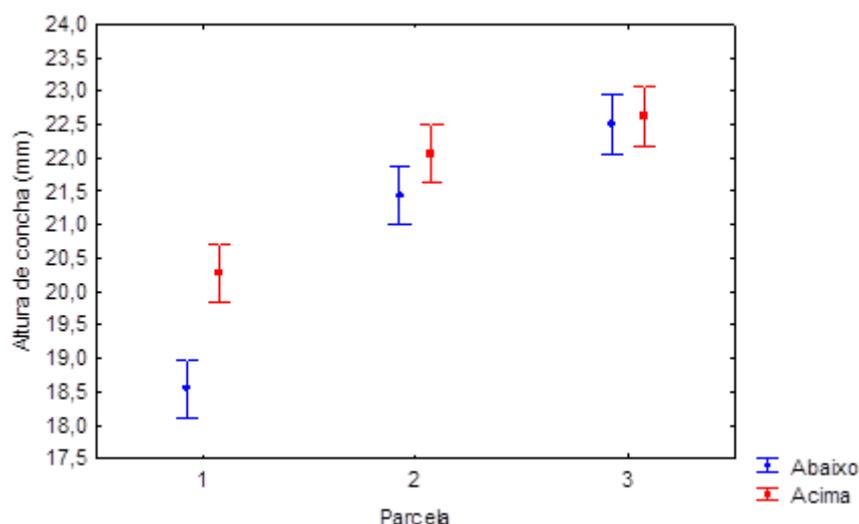


Figura 17: Altura da concha (média \pm erro-padrão) de *L. angulifera* em relação à proximidade com o leito do rio (Parcela 1= distante da margem; Parcela 2 = intermediária; Parcela 3 = próximo a água) e em relação às suas posições nas árvores (acima e abaixo do DAP).

A análise de similaridade, considerando os dados biométricos e parâmetros fisiológicos de *L. angulifera*, indicou uma similaridade superior a 95% entre as amostras de indivíduos coletados ao longo dos meses de estudo (ANOSIM, R global = 0,153, p = 0,053). Os agrupamentos de amostras mensais observados não corresponderam claramente à categorização em períodos seco e chuvoso, os quais apresentaram 3,57% de dissimilaridade. Entretanto, a salinidade interna foi a variável que melhor explicou as características das amostras ao longo dos meses de estudo (SIMPER, 66,78 %) (Tabela 4).

Tabela 4: Análise de similaridade (SIMPER) entre os meses de coleta, considerando os dados de altura e parâmetros fisiológicos (temperatura, salinidade e saturação de oxigênio internos) de *Littoraria angulifera* no estuário do rio Pacoti – Ceará. Medida de similaridade de Bray Curtis.

		Dissimilaridade		
		Períodos seco x chuvoso = 3,57%		
	Similaridade	% Contribuição		
Salinidade Interna	2,39	66,78		
Altura da concha	0,53	14,81		
Temperatura interna	0,34	9,38		
		Similaridade		
		Período Seco: 96,87%	Período Chuvoso: 97,57%	
	Similaridade	% Contribuição	Similaridade	% Contribuição
Salinidade Interna	43,33	44,73	41,31	42,34
Temperatura interna	27,88	28,78	29,51	30,24
Altura da concha	18,37	18,96	18,77	19,24

A análise de similaridade apontou ainda uma alta similaridade (>90%) entre as amostras de *L. angulifera* das parcelas ao longo dos meses (Figura 18). A referida análise indicou a formação de dois grupos, o primeiro formado pelas amostras da parcela 1 (mais distante do leito do rio), com exceção das parcelas de dezembro e outubro de 2020; e o segundo reunindo as amostras das parcelas 2 e 3 (mais próximas do leito do rio) (ANOSIM, R global = 0,378, p = 0,01).

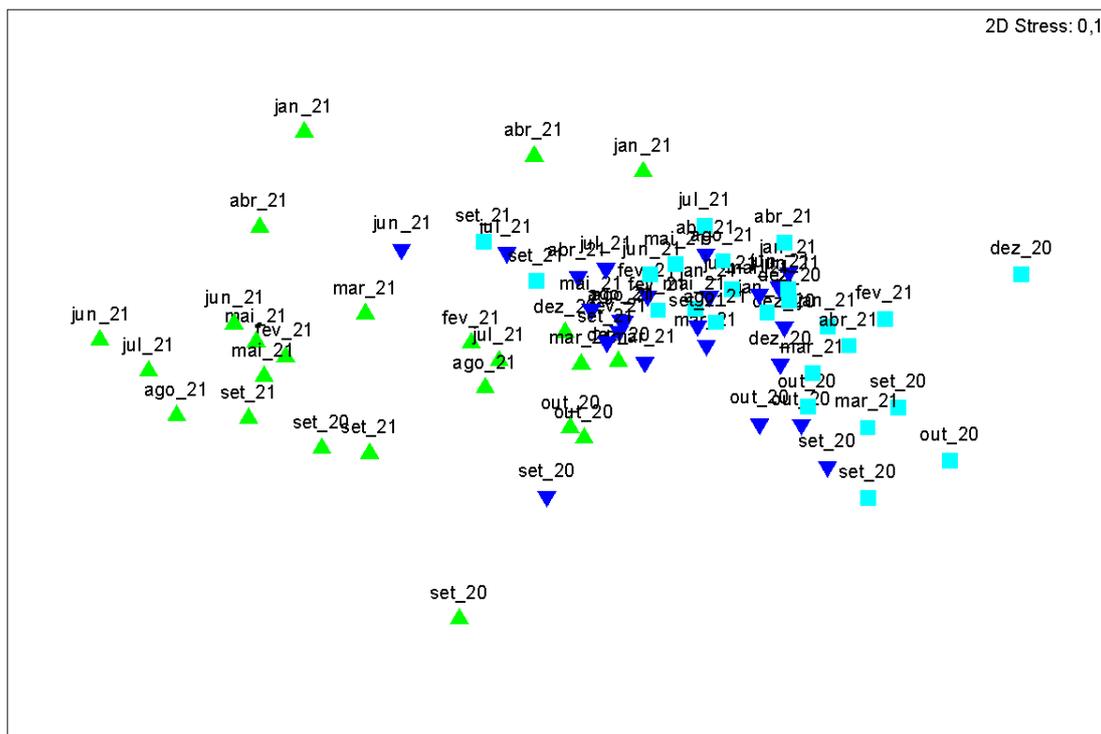


Figura 18: Análise de ordenamento bidimensional (MDS) entre as amostragens das parcelas [Parcela 1 (▲)= distante da margem; Parcela 2 (▼)= intermediária; Parcela 3 (■)= próximo a água] ao longo dos meses, considerando os dados de altura da concha e parâmetros fisiológicos (temperatura, salinidade e saturação de oxigênio internos) de *Littoraria angulifera* no estuário do rio Pacoti – Ceará. Índice de Bray Curtis como medida de similaridade; Mínimo “Stress” gráfico do MDS = 0,1.

5.4 Relação entre as respostas ecofisiológicas e as variáveis ambientais

Os dados biométricos e parâmetros fisiológicos de *L. angulifera* apresentaram fracas correlações com a maioria das variáveis abióticas (Tabela 5). Entretanto, correlações positivas fortes foram observadas entre a salinidade do líquido da cavidade palial e a salinidade da água do leito do rio, o que evidencia a influência da água do ambiente na água que o organismo acumula em seu interior. O DAP e a área basal das árvores de mangue também apresentaram correlação positiva com o tamanho e biomassa corporal úmida dos organismos e com a salinidade interna. Esses resultados sugerem que as características do bosque de mangue e a proximidade com a água durante a

maré baixa influenciam significativamente na ecologia de *L. angulifera*, afetando tanto seu crescimento quanto sua capacidade de regular a salinidade interna.

Tabela 5: Correlação de Spearman entre as variáveis ambientais e as morfométricas e fisiológicas de *L. angulifera*. Os dados em negrito representam resultados significativos ($p < 0,05$).

Variáveis	Altura da concha (mm)	Peso (g)	Temperatura interna (°C)	Salinidade Interna	Saturação de O ₂ interno (mg/L)
Temperatura do ar	0,008	0,059	-0,077	0,2	-0,179
Temperatura da água	0,382	0,371	0,172	-0,067	-0,275
O ₂ água	-0,007	-0,022	-0,02	-0,146	0,402
Salinidade água	0,047	0,017	0,286	0,711	-0,029
Precipitação Pluviométrica	-0,029	-0,037	0,181	-0,296	0,443
Altura da árvore (m)	0,412	0,176	-0,353	0,210	0,546
DAP da árvore(cm)	0,717	0,767	-0,583	0,700	0,600
Área basal da árvore (m ²)	0,733	0,783	-0,567	0,733	0,617

5. Discussão

Os resultados deste estudo mostram que a distribuição e as respostas ecofisiológicas de *L. angulifera* ao longo do período amostrado foram diretamente influenciadas pelas variações nas condições ambientais características dos manguezais no semiárido brasileiro. Essas áreas são marcadas por condições climáticas específicas, como a aridez provocada por longos períodos de seca e as flutuações anuais no regime de chuvas (LIMA; LIRA, 2021).

Essa espécie apresenta alta mobilidade dentro do manguezal e exibe elevada capacidade de migrar para micro-habitats favoráveis ao seu desenvolvimento (REIS *et al.*, 2021; DAVID, 2019). Microalgas, que compõem grande parte da dieta dessa espécie, apresentam maior densidade na margem do rio, com distribuição decrescente conforme a distância da água aumenta (GUTIERREZ, 1988). Ou seja, o ambiente mais úmido e com maior quantidade de alimento favorece o desenvolvimento desses moluscos.

Em contraste com os resultados desta pesquisa, um estudo conduzido por Reis *et al.* (2020) em um manguezal do nordeste do Brasil revelou que, em um gradiente horizontal, o comprimento da concha de *L. angulifera* apresentou aumento da margem da água em direção ao interior do manguezal. No presente estudo, foram considerados apenas indivíduos adultos com tamanho superior a 12,20 mm, o que pode explicar essa disparidade, possivelmente relacionada a fatores ontogenéticos mencionados por Reis *et al.* (2020).

Ao analisar o padrão de movimento de *L. angulifera*, os autores observaram que não houve diferenças nos padrões de movimento entre organismos maiores e menores. Porém, foi demonstrado que a maioria dos indivíduos prefere permanecer próximo à linha d'água, sendo verificado que esses animais se deslocam em direção à água. Este movimento constante em direção à margem da água é, provavelmente, uma resposta aos requisitos fisiológicos da espécie, como a necessidade de evitar o estresse hídrico.

Gutierrez (1988) e Chaves (2002) afirmaram que existe uma predominância de organismos de maior tamanho nas porções mais altas das árvores, enquanto os organismos menores são mais frequentes próximos ao solo. Esses autores atribuíram esse padrão ao fato de que animais menores são mais suscetíveis à dessecação, buscando abrigo em áreas mais próximas da linha d'água, assim, à medida que crescem, se distribuem para alturas maiores. Os resultados do presente estudo são consistentes com estes achados e, portanto, corroboram com a hipótese de que a dessecação é um fator limitante para os organismos menores.

De acordo com Maia *et al.* (2010), em estudo realizado no estuário do rio Pacoti, a morfologia da concha de *L. angulifera* varia de acordo com a posição que ocupa nas árvores de mangue. Segundo os autores, em regiões mais sujeitas à insolação, esses organismos apresentam uma maior reserva de água no interior de suas conchas para evitar a dessecação, apresentando conchas maiores e/ou mais largas. Esse padrão pode explicar a ocorrência de organismos maiores acima do DAP na parcela mais distante da água. Essa observação se alinha com os achados de Merkt e Ellison (1998), que destacaram a influência das condições ambientais locais, como umidade e exposição solar, se mostram determinantes para a morfologia e distribuição de *L. angulifera*.

A temperatura interna de *L. angulifera* seguiu um padrão de distribuição horizontal no manguezal em estudo, sendo os valores mais altos na região da borda e mais amenos tanto na porção intermediária do bosque quanto nas parcelas mais próximas da água. De acordo com Sokolova e Pörtner (2003), esse é um fator de grande relevância na distribuição de organismos ectotérmicos, tendo em vista que a temperatura corporal é fortemente influenciada pelo hábitat, flutuando de acordo com as condições do ambiente.

Em trabalho experimental conduzido por David (2019) com organismos coletados no estuário do Rio Pacoti, os indivíduos da espécie *L. angulifera* apresentaram alta mortalidade tanto no Cenário Otimista quanto no Cenário Pessimista previstos pelo IPCC. Os animais também apresentaram diferentes comportamentos termorregulatórios em resposta à elevação da temperatura, no entanto, ao simular o cenário pessimista, todos os animais

apresentaram 100% de mortalidade, o que indica que, apesar da alta incidência de comportamentos termorregulatórios, esses não foram suficientes para garantir a sobrevivência dos animais nesse cenário extremo. Conforme observações realizadas em campo durante o desenvolvimento deste trabalho, essa espécie apresentou variados comportamentos termorregulatórios que foram observados em mesocosmos, de forma a evitar condições a que são mais vulneráveis. Segundo Marshall *et al.* (2011), a seleção comportamental de habitats diminui a exposição desses organismos a fatores desfavoráveis para o seu desenvolvimento.

De acordo com Maia e Troncoso (2022), as taxas de mortalidade observadas em litorinídeos submetidos a tratamentos que simulavam as condições climáticas futuras variaram conforme a temperatura, em diferentes latitudes, com menores taxas de sobrevivência no cenário pessimista. Além disso, os autores observaram maior perda de peso em ambos os cenários em comparação ao tratamento controle. O resultado dos autores citados demonstra que a espécie *L. angulifera* responderá às mudanças climáticas, o que poderá afetar o equilíbrio ecossistêmico das relações ecológicas naturais em estuários. Na presente pesquisa, a salinidade da água do rio apresentou forte correlação com a salinidade interna da concha, sendo mais elevada nos organismos nas áreas mais próximas ao rio e posicionados abaixo da altura do peito. Embora a salinidade interna não tenha se relacionado com a precipitação, as projeções de cenários climáticos futuros apontam para um aumento mínimo ou nenhuma mudança significativa no padrão de chuvas no Nordeste do Brasil (BERNARDINO *et al.*, 2016), o que poderá influenciar diretamente na salinidade e no volume de água no leito estuarino. Sendo a salinidade um fator limitante na distribuição dos organismos no ambiente, além de considerar que mudanças nesse fator abiótico podem resultar em redução considerável de litorinídeos em seu habitat (KOZMINSKY, 2013), é possível que *L. angulifera* sofra o impacto decorrente da diminuição das chuvas e do consequente aumento da salinidade na região estuarina caso tais projeções se confirmem.

Ainda no contexto de cenários climáticos futuros, uma maior incidência de períodos secos prolongados pode alterar os padrões de distribuição da espécie no futuro, tendo em vista a intensificação do estresse da

dessecação nas áreas do manguezal mais distantes da água do rio, que poderão impossibilitar a sobrevivência dos organismos nessa área, restringindo assim, a sua zona de distribuição para a franja mais próximo à linha d'água.

O oxigênio dissolvido no líquido presente na cavidade palial variou temporalmente, com menores valores na estação seca, e, especialmente, com os menores valores encontrados nas parcelas mais distantes do rio. Este resultado reforça a hipótese de que a dessecação é um fator importante na distribuição dos indivíduos dentro do bosque. Organismos ectotérmicos, tais como a espécie *L. angulifera*, são bastante sensíveis às modificações na temperatura e oxigenação do ambiente, já que suas demandas metabólicas são influenciadas por essas condições (IPCC, 2022; STOCKS *et al.*, 2013).

Nos manguezais, as espécies vegetais seguem um padrão de distribuição em zonas em relação à linha d'água, com a espécie *Rhizophora mangle* ocupando a porção mais interna e, portanto, mais distante da transição com a terra firme (PRATES; FUMI, 2018). Apesar da área de estudo corresponder a uma estreita faixa de manguezal dominada por *R. mangle*, as características do bosque influenciaram a distribuição de *L. angulifera*. Ficou evidente que esse gastrópode evita o efeito de borda, pois nas parcelas mais próximas da água, esses organismos estão mais protegidos da dessecação e dos fatores externos presentes na porção marginal do ambiente.

Portanto, *L. angulifera* pode reagir às condições mais quentes decorrentes da expansão urbana nos manguezais, manifestando uma redução no seu tamanho corporal. Esse fenômeno foi identificado como uma "resposta ecológica universal ao aquecimento global em sistemas aquáticos" e é associado à "regra do tamanho da temperatura", que é amplamente observada na maioria dos organismos ectotérmicos (DAUFRESNE *et al.*, 2009; VERBEK *et al.*, 2021).

Assim, os resultados deste estudo corroboram as hipóteses propostas, evidenciando que *L. angulifera* apresenta variações ecofisiológicas e de distribuição significativas em resposta às condições ambientais sazonais e à sua posição no manguezal. As variações observadas na temperatura, salinidade e oxigênio dissolvido na cavidade palial e distribuição dos organismos em função

do tamanho da concha e biomassa corporal são indicativos da complexidade das interações ecológicas desta espécie em ambientes estuarinos.

6. Conclusões

- A distribuição espacial e as respostas ecofisiológicas de *L. angulifera* variaram ao longo do período de amostragem, em resposta às variações ambientais, especialmente às características climáticas do manguezal do estuário do rio Pacoti.
- *L. angulifera* mostrou sensibilidade aos efeitos da dessecação, evidenciada pela predominância de animais menores em ambientes mais expostos à radiação solar.
- A distribuição horizontal de *L. angulifera* no manguezal seguiu padrões similares a estudos anteriores, com maior presença de organismos maiores nas áreas mais próximas ao rio, onde as condições ambientais são mais favoráveis.
- Mudanças climáticas futuras, especialmente relacionadas à salinidade e padrões de chuvas, representam desafios significativos para a distribuição e sobrevivência de *L. angulifera*.

REFERÊNCIAS

- AMARAL, É. B. de M.; SANTOS, C. V. Poluição e invasão de mangues em zonas litorâneas. **Unisanta BioScience**, v. 11, n. 2, p. 117-123, 2022.
- BAGLIANO, R. V. Principais organismos utilizados como bioindicadores relatados com uso de avaliadores de danos ambientais. **Revista Meio Ambiente e Sustentabilidade**, v. 2, n. 1, p. 24-40, 2012.
- BERNARDINO, A.F.; PAGLIOSA, P. R.; CHRISTOFOLETTI, R. A., BARROS; F., NETTO, S. A., MUNIZ; P.; LANA, P. D. C. Benthic estuarine communities in Brazil: moving forward to long term studies to assess climate change impacts. **Brazilian Journal of Oceanography**, v. 64, n. spe2, p. 81-96, 2016.
- BERNARDINO, A. F.; BARROS, F.; PEREZ, L. F., NETTO, S. A.; COLLING, L. A.; PAGLIOSA, P. R.; LANA, P. C.; MAIA, R. C.; CHRISTOFOLETTI, R. A.; ROSA-FILHO, J. S.; COSTA, T. M. Monitoramento de ecossistemas bentônicos estuarinos. In: TURRA, A.; DENADAI, M. R., orgs. **Protocolos de campo para monitoramento de habitats bentônicos costeiros - Rede de Monitoramento de Habitat Bentônico Costeiros – ReBentos** [online]. São Paulo: Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo, 2015.
- BREITBURG, D.; LEVIN, L. A.; OSCHLIES, A.; GRÉGOIRE, M.; CHAVEZ, F. P.; CONLEY, D. J.; GARÇON, V.; GILBERT, D; GUTIÉRREZ, D.; ISENSEE, K.; JACINTO, G. S.; LIMBURG, K. E.; MONTES, I.; NAQVI, S. W. A., PITCHER, G. C.; RABALAIS, N. N.; ROMAN, M. R.; ROSE, K. A.; SEIBEL, B. A.; ELSZEWSKI, M.; YASUHARA, M.; ZHANG, J. Declining oxygen in the global ocean and coastal waters. **Science**, v. 359, n. 6371, 2018.
- BUFFINGTON, K. J.; GOODMAN, A. C.; FREEMAN, C. M.; THORNE, K. M. Testing the interactive effects of flooding and salinity on tidal marsh plant productivity. **Aquatic Botany**, v. 164, p. 103231, 2020.
- CAREY, H. V. Lessons learned from comparative and evolutionary physiology. **Physiology**, v. 30, n. 2, p. 80-81, 2015.

CHAPARRO, O. R.; CUBILLOS, V. M., MONTORY, J. A., NAVARRO, J. M., & ANDRADE-VILLAGRÁN, P. V. Reproductive biology of the encapsulating, brooding gastropod *Crepidatella dilatata* Lamarck (Gastropoda, Calyptraeidae). **Plos one**, v. 14, n. 7, p. e0220051, 2019.

CHAPPERON, C.; SEURONT, L. Behavioral thermoregulation in a tropical gastropod: links to climate change scenarios. **Global Change Biology**, v. 17, n. 4, p. 1740-1749, 2011.

COSTA, M. B.; ZAMPROGNO, G. C.; PEDRUZZI, F. C.; DALBEM, G. B.; TOGNELLA, M. M. P. Assessing the continuous impact of Tributyltin from Antifouling Paints in a Brazilian mangrove area using Intersex in *Littoraria angulifera* (Lamarck, 1822) as Biomarker. **International Journal of Oceanography**, v. 2013, 2013.

CUNHA-LIGNON, M., MENGHINI, R.P., SANTOS, L.C.M., NIEMEYER-DINÓLA, C., SCHAEFFER-NOVELLI, Y. Estudos de Caso nos Manguezais do Estado de São Paulo (Brasil): Aplicação de Ferramentas com Diferentes Escalas Espaço-Temporais. **Revista da Gestão Costeira Integrada**, v.9, n.1, p. 79-91, nov. 2009.

DAUFRESNE, M.; LENGFELLNER, K.; SOMMER, U. Global warming benefits the small in aquatic ecosystems. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 106, n. 31, p. 12788-12793, 2009.

DUKE, N. C. Mangrove Floristics and Biogeography Revisited: Further Deductions from Biodiversity Hot Spots, Ancestral Discontinuities, and Common Evolutionary Processes. In: **Mangrove Ecosystems: A Global Biogeographic Perspective**. Springer, Cham, 2017. p. 17-53.

FERREIRA, A. C.; ALENCAR, C. E. R. D.; BEZERRA, L. E. A. Interrelationships among ecological factors of brachyuran crabs, trees and soil in mangrove community assemblage in Northeast Brazil. **Community Ecology**, v. 20, n. 3, p. 277-290, 2019.

FUSI, M.; DAFFONCHIO, D.; BOOTH, J.; GIOMI, F. Dissolved Oxygen in Heterogeneous Environments Dictates the Metabolic Rate and Thermal

Sensitivity of a Tropical Aquatic Crab. **Frontiers in Marine Science**. Vol. 8; pags 1-9, 2021

GOLDBERG, L.; LAGOMASINO, D.; THOMAS, N.; FATOYINBO, T. Global declines in human-driven mangrove loss. **Global change biology**, v. 26, n. 10, p. 5844-5855, 2020.

GUTIERREZ, P. C. The ecology and behavior of the mangrove periwinkle, *Littorina angulifera*. **Biotropica**, v. 20, n. 4, p. 352-356, 1988.

HILLEBRAND, H.; BREY, T.; GUTT, J.; HAGEN, W.; METFIES, K.; MEYER, B.; LEWANDOWSKA, A. Climate change: warming impacts on marine biodiversity. In: **Handbook on marine environment protection**. Springer, Cham, 2018. p. 353-373.

PRATES, A. P. L.; FUMI, M. **Atlas dos Manguezais do Brasil**. Brasília: ICMBio, 176P., 2018.

IMAKULATA, M. M.; TOKAN, M. K. Species composition, density and dominance of arboreal mangrove molluscs on the Paradiso beach of Kupang city, Indonesia. **Aquaculture, Aquarium, Conservation & Legislation**, v. 11, n. 4, p. 1001-1008, 2018.

JANE, S. F.; HANSEN, G. J.; KRAEMER, B. M.; LEAVITT, P. R.; MINCER, J. L.; NORTH, R. L.; PILLA, R. M.; STETLER, J. T.; WILLIAMSON, C. E.; R.; WOOLWAY, R. I.; ARVOLA, L.; CHANDRA, S.; DEGASPERI, C. L.; DIEMER, L.; DUNALSKA, L.; ERINA, O.; FLAIM, G.; GROSSART, H. P.; HAMBRIGHT, K. D.; HEIN, C.; HEJZLAR, J.; JANUS, L. L.; JENNY, J. P.; JONES, J. R.; KNOLL, L. B.; LEONI, B.; MACKAY, E.; MATSUZAKI, S. I. S.; MCBRIDE, C.; MÜLLER-NAVARRA, D. C.; PATERSON, A. M.; PIERSON, D.; ROGORA, M.; RUSAK, J. A.; SADRO, S.; SAULNIER-TALBOT, E.; SCHMID, M.; SOMMARUGA, R.; THIERY, W.; VERBURG, P.; WEATHERS, K. C.; WEYHENMEYER, G. A.; YOKOTA, K.; ROSE, K. C. Widespread deoxygenation of temperate lakes. **Nature**, v. 594, n. 7861, p. 66-70, 2021.

- KOZMINSKY, E. V. Effects of environmental and biotic factors on the fluctuations of abundance of *Littorina obtusata* (Gastropoda: Littorinidae). **Hydrobiologia**, v. 706, n. 1, p. 81-90, 2013.
- LACERDA, L. D. de; MENEZES, M. O. T. de; MOLISANI, M. M. Changes in mangrove extension at the Pacoti River estuary, CE, NE Brazil due to regional environmental changes between 1958 and 2004. **Biota Neotropica**, v. 7, p. 67-72, 2007.
- LIJTEROFF, R., LIMA, L., PRIERI, B. Uso de líquenes como bioindicadores de contaminación atmosférica em la ciudad de San Luis, Argentina. **Revista internacional de educación ambiental.**, v.3. n.1, p.3-6, octubre. 2008.
- LINS, S. R. R. M.; MEDEIROS, C. Propagação da maré Salina em um estuário tropical estrangulado, Ipojuca, NE-Brasil. **Tropical Oceanography**, v. 46, n. 1, p. 70-91, 2018.
- MAIA, R. C.; TRONCOSO, J. S. Evaluation of the synergistic effects of climate change on estuarine ecosystems at temperate and tropical latitudes using Littorinids (Mollusca: Gastropoda) as indicators. **Brazilian Journal of Animal and Environmental Research**, v. 5, n. 2, p. 1642-1660, 2022.
- MAIA, R. Manguezais do Ceará. Imprima, Recife, 2016. 55p.
- MAIA, R.C., COUTINHO, R. Structural characteristics of mangrove forests in Brazilian estuaries: A comparative study. **Revista de Biología Marina y Oceanografía**, v.47, n.1, p. 87-98, abril, 2012.
- MALTSEVA, A. L.; VARFOLOMEEVA, M. A.; AYANKA, R. V.; GAFAROVA, E. R.; REPKIN, E. A.; PAVLOVA, P. A.; SHAVARDA, A. L.; MIKHAILOVA, N. A.; GRANOVITCH, A. I. Linking ecology, morphology, and metabolism: Niche differentiation in sympatric populations of closely related species of the genus *Littorina* (*Neritrema*). **Ecology and evolution**, v. 11, n. 16, p. 11134-11154, 2021.
- MARSHALL, D. J.; DONG, Y. W.; MCQUAID, C. D.; WILLIAMS, G. A. Thermal adaptation in the intertidal snail *Echinolittorina malaccana* contradicts current

theory by revealing the crucial roles of resting metabolism. **Journal of Experimental Biology**, v. 214, n. 21, p. 3649-3657, 2011.

MCHARG, E.; MENGO, E.; BENSON, L.; DANIEL, J.; JOSEPH-WITZIG, A.; POSEN, P.; LUISETTI, T. Valuing the contribution of blue carbon to small island developing states' climate change commitments and Covid-19 recovery. **Environmental Science & Policy**, v. 132, p. 13-23, 2022.

MELO, C.G.B., MAIA, R.C., ROCHA-BARREIRA, C.A. Variação morfológica da concha e densidade populacional de *Littoraria angulifera* (Mollusca: Gastropoda) em manguezais do Ceará, Brasil. **Arquivos de Ciências do Mar**, v.45, n.2, p. 68-76, 2012.

MERKT, R. E.; ELLISON, A. M. *Littoraria* (Litorinopsis) *angulifera* (LAMARCK, 1822). **Malacologia**, v. 40, n. 1-2, p. 279-295, 1998.

NATH, B.; BIRCH, G.; CHAUDHURI, P. Trace metal biogeochemistry in mangrove ecosystems: a comparative assessment of acidified (by acid sulfate soils) and non-acidified sites. **Science of the Total Environment**, v. 463, p. 667-674, 2013.

NG, P.T., DAVIES, M. S., STAFFORD, R., WILLIAMS, G.A. Mucus trail following as a mate-searching strategy in mangrove littorinid snails. **Animal Behavior**, v.82, n.1, p. 459-465, jul. 2011.

ORTIZ, L. F.; BLANCO, J. F. Distribución de los gasterópodos del manglar, *Neritina virginea* (Neritidae) y *Littoraria angulifera* (Littorinidae) en la Ecorregión Darién, Caribe colombiano. **Revista de Biología Tropical**, v. 60, n. 1, p. 219-232, 2012.

PÖRTNER, H. O.; ROBERTS, D. C.; POLOCZANSKA, E. S.; MINTENBECK, K.; TIGNOR, M.; ALEGRÍA, A.; CRAIG, M.; LANGSDORF, S.; LÖSCHKE, S.; MÖLLER, V.; OKEM, A. IPCC. (2022). Summary for policymakers. In: **Climate change 2022: Impacts, adaptation, and vulnerability: contribution of working group II to the sixth assessment report of the intergovernmental panel on climate change**. Cambridge, UK and New York, NY, US: Cambridge University Press. pp. 3-33.

RAMOS, J.; BOTO, M.; BLANCO-LIBREROS, J. F.; RIASCOS, J. M. The Mangrove Periwinkle *Littoraria angulifera* (Mollusca: Littorinidae) in the Urabá Gulf (Colombian Caribbean): Finding Ways in an Urbanizing Coast? **Frontiers in Marine Science**, p. 1338, 2021.

REIS, A.; ALVES, A. T.; DÓREA, A.; BENELI, T. M.; FREITAS, T. S. S.; BARROS, F. Distribution and movement of the mangrove gastropod *Littoraria angulifera*. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 250, p. 107145, 2021.

SANTOS, K. M. B. **Pressão ambiental sobre *Littoraria angulifera*: acumulação de elementos químicos e mutagenicidade associadas a alterações histológicas**. 2016. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Pernambuco.

SCHETTINI, C. A. F.; VALLE-LEVINSON, A.; TRUCCOLO, E. C. Circulation and transport in short, low-inflow estuaries under anthropogenic stresses. **Regional Studies in Marine Science**, v. 10, p. 52-64, 2017.

SCHAEFFER-NOVELLI, Y. **Manguezal. Ecosistema entre a Terra e o Mar**. Caribbean Ecological Research. São Paulo, 1995. 64p.

SCHAEFFER-NOVELLI, Y.; MOLERO, G. C.; ADAIME, R. R.; CAMARGO, T. M. Variability of mangrove ecosystems along the Brazilian coast. **Estuaries** v. 13, p. 204 - 218, 1990.

SCHAEFFER-NOVELLI, Y.; CINTRÓN, G. **Guia para estudo de áreas de manguezal: estrutura, função e flora**. São Paulo, Caribbean Ecological Research, 1986. 150p.

SCHINDLER, D. E. Warmer climate squeezes aquatic predators out of their preferred habitat. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 114, n. 37, p. 9764-9765, 2017.

SILVA, M. B. O. **O PAPEL DA ECOFISIOLOGIA NA DISTRIBUIÇÃO ESPAÇO-TEMPORAL DE *Littoraria angulifera* (MOLLUSCA: GASTROPODA) EM MANGUEZAIS**, 2020. Trabalho de conclusão de curso

(Graduação em Ciências Biológicas) Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará, Acaraú, Ceará.

SOARES, M. L. G.; CHAVES, F. D. O.; ESTRADA, G. C. D.; FERNANDEZ, V. Mangrove forests associated with salt flats: a case study from southeast Brazil. **Brazilian Journal of Oceanography**, v. 65, n. 2, p. 102-115, 2017.

SOKOLOVA, I. M.; PÖRTNER, H. O. Metabolic plasticity and critical temperatures for aerobic scope in a eurythermal marine invertebrate (*Littorina saxatilis*, Gastropoda: Littorinidae) from different latitudes. **Journal of experimental Biology**, v. 206, n. 1, p. 195-207, 2003.

STOKS, R.; GEERTS, A. N.; DE MEESTER, L. Evolutionary and plastic responses of freshwater invertebrates to climate change: realized patterns and future potential. **Evolutionary applications**, v. 7, n. 1, p. 42-55, 2014.

THIERS, P.R.L., MEIRELES, A. J. A., SANTOS, J. O. **Manguezais na costa oeste cearense**. Imprensa Universitária. Fortaleza. 2016. 126p.

TOMLINSON, P. B. **The botany of mangroves**. Cambridge University Press, 2016.

VANNUCCI, M. **Os manguezais e nós: uma síntese de percepções**. São Paulo: Universidade de São Paulo, 3193 - 3205 p., 2003.

VERBERK, W.C.; ATKINSON, D.; HOEFNAGEL, K. N.; HIRST, A. G.; HORNE, C. R.; SIEPEL, H. Shrinking body sizes in response to warming: explanations for the temperature–size rule with special emphasis on the role of oxygen. **Biological Reviews**, v. 96, n. 1, p. 247-268, 2021.

VERMEIJ, G.J. Intraspecific Shore-Level Size Gradients in Intertidal Molluscs. **Ecology**, v.53, n.5, p. 693-700, jul. 1972.

WANG, F.; XIAO, K.; SANTOS, I. R.; LU, Z.; TAMBORSKI, J.; WANG, Y.; RUIFENG, Y.; CHEN, N. Porewater exchange drives nutrient cycling and export in a mangrove-salt marsh ecotone. **Journal of Hydrology**, v. 606, p. 127401, 2022.

ZEIDAN, G. C.; FREITAS, L. A.; SANTOS, G. B. M.; SILVA-NETO, E. M.;
BOEHS, G. Morphometric analysis of *Littoraria angulifera* (Caenogastropoda) in
estuarine regions of northeastern Brazil. **Brazilian Journal of Biology**, v. 80, p.
424-430, 2020.

CAPÍTULO II

Distribuição espacial e estrutura populacional de *Littoraria angulifera* no estuário do rio Pacoti: influência dos gradientes de salinidade e sazonalidade das chuvas

1. Introdução

Estuários são ecossistemas de transição entre o ambiente terrestre e marinho, que apresentam alta diversidade biológica e produtividade, desempenhando um papel importante no ciclo de vida e reprodução de diversas espécies terrestres, marinhas e de água doce, o que forma um conjunto de ambientes de grande complexidade ecológica (REGNIER *et al.*, 2013; LIMA *et al.*, 2019). Além disso, os estuários exibem distintas características ao longo de um gradiente de salinidade, refletindo mudanças ambientais significativas em suas diferentes regiões, como o estuário superior, médio e inferior, podendo, desta forma, influenciar na estrutura das comunidades que vivem nessas áreas.

As condições ambientais no estuário superior são predominantemente influenciadas pelos fluxos de água doce que entram no estuário. Isso resulta em menor salinidade e maior disponibilidade de nutrientes nesta região. Durante os períodos chuvosos, a vazão fluvial média para o estuário do Rio Pacoti atinge 19 m³, enquanto durante a estiagem diminui drasticamente para apenas 1 m³ (MOLISANI *et al.*, 2006). Como destacado por Garcia *et al.* (2020), esse aumento significativo no fluxo de água doce, seja pelas chuvas ou pela liberação da barragem, pode ocasionar no transporte de materiais do estuário para áreas a jusante, sendo esse fenômeno mais pronunciado durante o período chuvoso.

Já no estuário médio, a salinidade começa a aumentar à medida que a água sofre influência da água salgada proveniente das marés, apresentando uma transição gradual de habitats. No estuário inferior, que é mais próximo da foz, a salinidade é mais alta devido à influência predominante da água salgada. Além disso, essa região sofre os impactos da erosão e enfrenta mudanças nos processos biogeoquímicos devido à contaminação das bacias de drenagem e ao

assoreamento das barras arenosas (GODOY *et al.*, 2015; MARINS *et al.*, 2007; LACERDA *et al.*, 2020; PINHEIRO *et al.*, 2007; MEDEIROS *et al.*, 2018).

Essas mudanças ao longo do gradiente de salinidade refletem as adaptações das comunidades biológicas às condições ambientais variáveis do estuário e têm importantes implicações para a biodiversidade e ecologia do ecossistema estuarino, especialmente nas condições da região semiárida. Os ecossistemas costeiros em regiões semiáridas enfrentam condições de clima extremo, caracterizadas por altas temperaturas, baixa precipitação e intensa radiação solar, resultando em altas taxas de evaporação (HUXMAN *et al.*, 2004; SCHWINNING *et al.*, 2004; POULTER *et al.*, 2014). Como resultado, é comum encontrar nesses ambientes certos micro-habitats com uma baixa umidade e alta salinidade, levando ao estresse fisiológico, devido à escassez de água doce e à produtividade reduzida em comparação com ecossistemas não limitados pela disponibilidade de água (ADAME *et al.*, 2020). Esses padrões climáticos também influenciam a oferta de serviços ecossistêmicos e a capacidade de resistência desses sistemas costeiros semiáridos aos impactos locais das atividades humanas e às mudanças climáticas globais que ocorrem na atualidade (WATERS *et al.*, 2016; CHENG *et al.*, 2019).

As mudanças climáticas são consideradas a mais significativa ameaça atual à biodiversidade do planeta, o que tem sido visto com preocupação e atenção crescente devido aos impactos negativos previstos, em especial, na zona costeira (MAIA; TRONCOSO, 2022; STAVI, 2023). Os estuários, enquanto ambientes de transição, estão intimamente associados à influência da dinâmica físico-química da costa, sofrendo influência de suas variáveis meteorológicas, oceanográficas e biológicas. Assim, esses ambientes tornam-se vulneráveis aos impactos das mudanças globais, como as alterações no nível do mar e mudanças no regime de chuvas (COSTA *et al.*, 2023). Tais mudanças poderão ocasionar modificações significativas na dinâmica estuarina, favorecendo inundações, erosão, alterações na salinidade, modificação da circulação das águas e marés (STAVI, 2023; COSTA *et al.*, 2023; HARLEY, *et al.*, 2006).

Invertebrados são considerados importantes indicadores de mudanças ambientais, visto que suas características biológicas e ecológicas os

tornam sensíveis às mais diversas modificações do ambiente, incluindo alterações na temperatura ou gradientes de salinidade, por exemplo (BASS; FALKENBERG, 2023). Esses organismos podem responder a essas mudanças a partir de limitações em seu crescimento e reprodução, causando impactos na cadeia alimentar e na biodiversidade do ecossistema (BASS; FALKENBERG, 2023). Assim, o monitoramento para análise das populações de animais invertebrados, tais como moluscos, a longo prazo, pode fornecer informações valiosas sobre as mudanças climáticas e seus impactos no ambiente estuarino, visto que modificações na composição da fauna de invertebrados podem trazer consequências expressivas, causando efeitos negativos em cascata, inclusive para os ecossistemas adjacentes (CANNICI *et al.*, 2021).

Littoraria angulifera é uma espécie de molusco gastrópode pertencente à família Littorinidae, conhecida por sua capacidade de se adaptar a uma ampla gama de condições ambientais, incluindo variações na temperatura e salinidade, o que a torna uma excelente ferramenta para o monitoramento ambiental em manguezais (NG *et al.*, 2011; MERKT; ELLISON, 1998). Esse gastrópode apresenta grande importância ecológica, considerando sua relevância para o fluxo de nutrientes do ecossistema, tendo em vista seu papel na cadeia alimentar, já que é uma importante fonte de alimento para vários animais, incluindo aves e peixes, sendo peça fundamental na manutenção da biodiversidade do manguezal.

Visto isso, essa espécie vem sendo estudada no âmbito do Programa de Pesquisas Ecológicas de Longa Duração da Costa do Semiárido Brasileiro (PELD-CSB) (No. 442337/2020-5 - CNPq / PELD-00177-0005.01.00/21-FUNCAP), que investiga como as mudanças ambientais afetam os sistemas socioecológicos costeiros. O PELD-CSB conta com diversos grupos de pesquisa que estudam as relações da biota no ecossistema e seu papel na dinâmica ambiental. O projeto visa coletar dados científicos a longo prazo, para que se possa compreender os efeitos das mudanças ambientais no estuário do Rio Pacoti, além de promover a popularização e a divulgação científica. O presente estudo faz parte dos dados levantados pelo Eixo 2, que aborda o tema: “Ecologia de Populações, Comunidades e Ecossistemas”. Essa linha de pesquisa estuda aspectos da variabilidade espacial e temporal de populações de espécies-chave,

entre elas a *L. angulifera*, as quais foram selecionadas devido à sua relevância ecológica no estuário do Pacoti.

O estudo da distribuição espacial desses moluscos, conforme proposto pelo PELD-CSB, tem fornecido importantes dados sobre a saúde e o estado de conservação atual do manguezal estudado. Entretanto, ainda são escassos na literatura científica trabalhos de monitoramento envolvendo a espécie *L. angulifera* em manguezais. Dessa forma, o presente trabalho visa testar as potenciais diferenças na distribuição de *L. angulifera* em um gradiente espacial de uma floresta de mangue estuarino no litoral do Ceará em um ano de coleta.

2. Hipóteses

- A distribuição espacial de *L. angulifera* no estuário do rio Pacoti varia significativamente ao longo de gradientes de salinidade, apresentando maiores densidades nas áreas mais próximas à foz e mais próximas à linha da água do rio.
- A estrutura populacional de *L. angulifera* é influenciada pela variação sazonal da pluviosidade característica da região.

3. Objetivos

3.1. Objetivo geral

O objetivo geral deste estudo é investigar a distribuição espaço-temporal do gastrópode *Littoraria angulifera* ao longo de gradientes ambientais de salinidade e de variação de maré no estuário do rio Pacoti, visando compreender como esses fatores influenciam a estrutura populacional da espécie em um ambiente semiárido.

3.2. Objetivos específicos

- Investigar as relações entre a variação da maré e a distribuição espacial de *Littoraria angulifera*, identificando como o nível da maré influencia a ocupação e a abundância dessa espécie em diferentes áreas do estuário.
- Compreender a resposta na estrutura populacional da espécie às variações na pluviosidade e na salinidade no estuário considerando os períodos chuvoso, transição e seco em um contexto do semiárido brasileiro.

4. Material e Métodos

4.1. Área de estudo

O estudo foi realizado no estuário do rio Pacoti, parte da Área de Proteção Ambiental (APA) do Rio Pacoti, localizada no município de Eusébio, Região Metropolitana de Fortaleza – CE. O clima da região é tropical semiárido, com chuvas concentradas de fevereiro a junho e uma estação seca de julho a janeiro. Assim, os meses de junho a setembro marcam o período de transição. A temperatura média anual varia de 26 a 29 °C. As marés são semidiurnas, com amplitude máxima de cerca de 3,1 m e mínima de 0,9 m. O estuário é ligeiramente hipersalino, com flutuabilidade quase neutra e moderada urbanização no entorno, com impactos relacionados ao lançamento de efluentes (SCHETTINI *et al.*, 2016).

Diversas dinâmicas ambientais impactam na heterogeneidade ambiental do baixo rio Pacoti, tais como o avanço das dunas na porção mais próxima do mar, o que contribui para o assoreamento progressivo ao longo do tempo (MARINO; FREIRE, 2013). Além da erosão, foram relatadas mudanças nos processos biogeoquímicos devido a contaminantes das bacias de drenagem, além da modificação das marés, que também impactam a hidroquímica estuarina (GODOY *et al.*, 2015; MARINS *et al.*, 2007; LACERDA *et al.*, 2020; PINHEIRO *et al.*, 2007; MEDEIROS *et al.*, 2018).

A área é caracterizada por quatro espécies de mangue: *Avicennia germinans* (L.) Stearn., *Avicennia schaueriana* Stapf & Leechm. (Acanthaceae), *Rhizophora mangle* L. (Rhizophoraceae) e *Laguncularia racemosa* (L.) Gaertn. (Combretaceae), com densidade vegetal de nível intermediário influenciada pela idade e maturação das árvores de mangue (MAIA; COUTINHO, 2012). Em comparação a outras regiões do mundo com presença de manguezais, as florestas de mangue do Ceará apresentam desenvolvimento limitado em altura, diâmetro à altura do peito (DAP) e área basal média, o que é atribuído às condições climáticas e à proximidade da região metropolitana, sujeita a fatores de estresse como erosão e assoreamento (MAIA; COUTINHO, 2012; PRATES; FUMI, 2018; SCHAEFFER-NOVELLI, 1990).

4.2. Amostragem em campo

A amostragem foi realizada em abril de 2022, período chuvoso, agosto de 2022, período de transição, e novembro de 2022, período seco. Os dados de precipitação acumulada mensal foram obtidos junto à Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos (FUNCEME), a partir do posto pluviométrico do Eusébio (-3.9; -38.5) (<http://www.funceme.br>) (Figura 1).

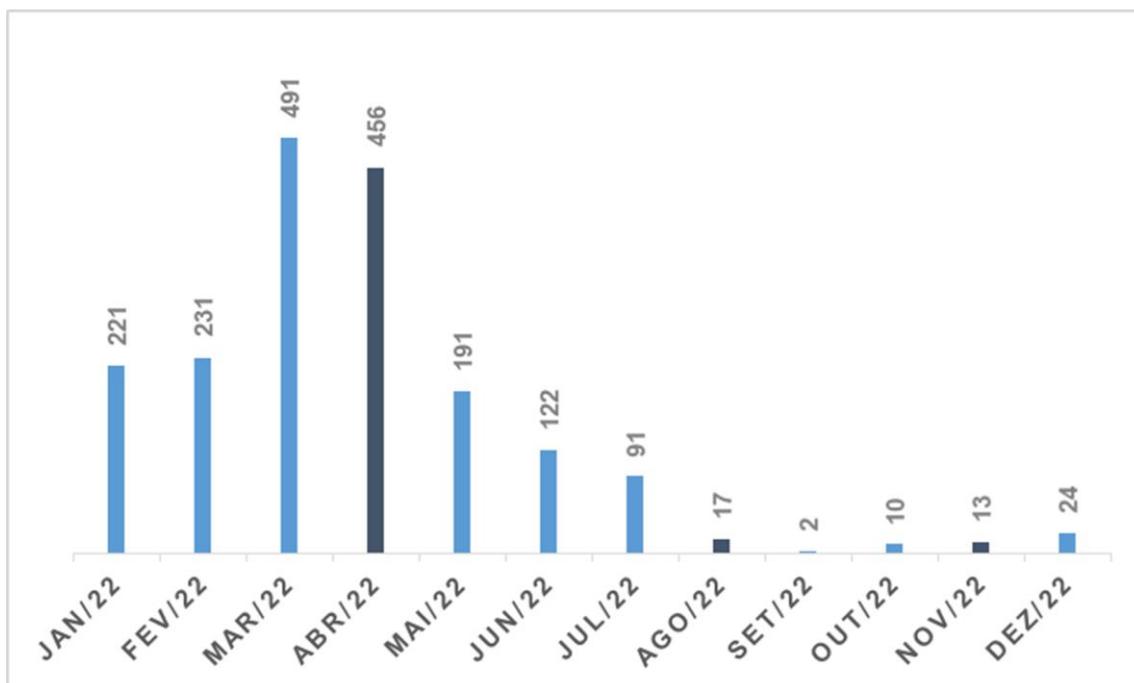


Figura 1: Precipitação pluviométrica mensal acumulada (mm), de acordo com a FUNCEME no ano de 2022. Os meses em destaque correspondem ao período em que foram realizadas as amostragens (abril/22 - estação chuvosa; agosto/22 - transição; nov/22 - estação seca).

Todas as coletas foram realizadas durante as marés baixas de sizígia diurnas, sendo os dados de hora e altura da maré adquiridos por meio da Diretoria de Hidrografia e Navegação da Marinha do Brasil. Para efeito deste estudo, foram realizadas amostragens em três áreas distintas do estuário: Estação COFECO (ECO), localizada próximo à foz do rio Pacoti (3°48'53.18"S; 38°24'40.12"W), Estação CEAC (ECE), que corresponde à região intermediária (3°49'56.13"S; 38°25'12.67"W) e a Estação River Park (ERI), situada na região mais à montante (3°50'43.22"S; 38°25'4.84"W) (Figura 2).



Figura 2: Mapa indicando as estações de coleta no estuário do Rio Pacoti: Estação COFECO (ECO), próxima à desembocadura do rio Pacoti; Estação CEAC (ECE), representando a área intermediária; Estação River Park (ERI), posicionada na região mais montante.

Em cada uma das áreas foram delimitados 3 transectos paralelos à margem do rio, com base na metodologia proposta por Schaffer-Novelli e Cintrón (1986), adaptada por Maia e Coutinho (2012), que propõem a replicação dos transectos. Cada um dos transectos apresenta 3 parcelas de dimensão de 100m². No presente estudo, os transectos e as parcelas foram dispostas sem espaçamento entre si (Figura 3). As parcelas foram orientadas perpendicularmente ao rio a partir do início da faixa de vegetação.

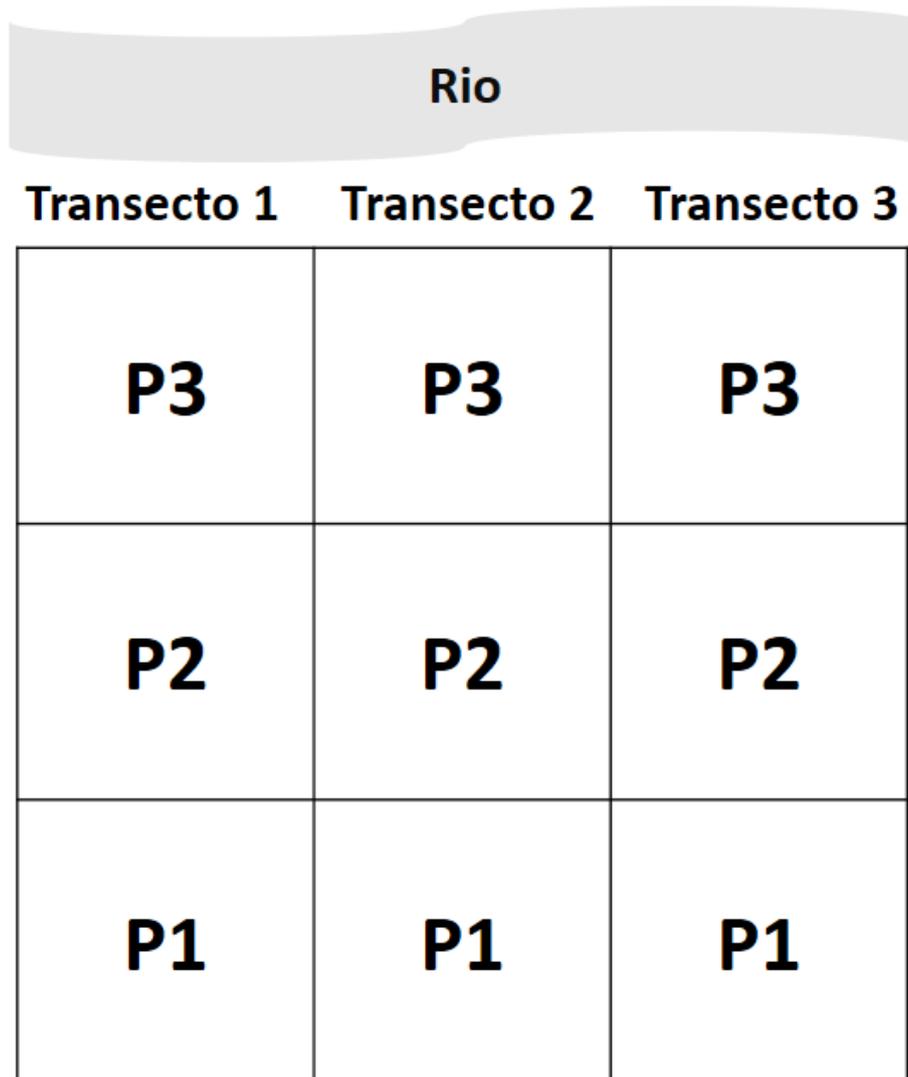


Figura 3: Representação esquemática da metodologia de amostragem. P1= parcela 1; P2 = parcela 2; P3 = parcela 3.

A caracterização do bosque de mangue nas estações de coleta foi realizada a partir dos dados obtidos pela equipe do projeto PELD-CSB, onde, em cada parcela, as árvores foram identificadas em nível de espécie e contadas, tendo sido também estimada a altura de cada vegetal e medida a circunferência na altura de 1,30m do solo. Os dados de circunferência foram transformados em diâmetro à altura do peito ($DAP = CAP/\pi$) e foram calculados para cada uma das áreas os valores médios da altura, o DAP médio e a área basal das árvores.

Em cada parcela, foram mensurados a temperatura da água de percolação no substrato, do ar e da superfície do sedimento, com auxílio de um

termômetro digital, e a salinidade da água de percolação no substrato, com o auxílio de um refratômetro, paralelamente à coleta dos indivíduos.

A amostragem dos espécimes de *L. angulifera* foi realizada considerando dois estratos: organismos encontrados acima da altura do peito (aproximadamente 1,30m do solo) e aqueles organismos encontrados abaixo desta altura, visando analisar a distribuição vertical dos organismos. Em cada estrato, por parcela, os indivíduos foram coletados pelo método de captura por unidade de esforço (CPUE), com um pesquisador coletando manualmente por 20 minutos. Os animais coletados foram colocados em sacos plásticos, etiquetados e transportados em caixas térmicas até o Laboratório de Zoobentos do Instituto de Ciências do Mar (Labomar) para análise.

Em laboratório, os animais foram observados quanto ao sexo e tamanho da concha, com auxílio de paquímetro (precisão = 0,01 mm) Após aquisição destes dados, todos os animais foram devolvidos à região de origem.

4.3. Análises estatísticas

Os dados da estrutura do bosque de mangue (Altura da árvore, DAP e área basal) e salinidade da água de percolação, os dados populacionais de *L. angulifera* (densidade, altura da concha e sexo) foram comparados considerando o gradiente de maré, a posição dos organismos nos troncos das árvores, o gradiente de salinidade ao longo do estuário e a sazonalidade das chuvas. Uma vez que estes dados não atenderam os pressupostos para análises paramétricas, foi utilizada a Análise de Variância Multivariada Permutacional (PERMANOVA). Todas essas análises foram realizadas utilizando o software PRIMER (Plymouth Routines In Multivariate Ecological Research) versão 6.0 (Clark & Gorley, 2006).

A fim de compreender a influência da estrutura do bosque e da salinidade da água de percolação na distribuição de *L. angulifera* foi realizada uma análise de correlação não-paramétrica de Spearman, sendo utilizado o *software* STATISTICA® versão 7.0 e nível de significância de 5% ($p < 0,05$).

5. Resultados

5.1 Caracterização dos gradientes ambientais

Ao longo das três estações de amostragem, foram observadas cinco espécies de mangue: *Rhizophora mangle* (L.), *Avicennia schaueriana* Stapft & Leechm., *Avicennia germinans* (L.) Stearn., *Laguncularia racemosa* (L.) Gaertn. e *Conocarpus erectus* L. A espécie *R. mangle* apresentou a maior densidade nas três áreas estudadas, enquanto as outras quatro espécies exibiram densidades semelhantes, porém inferiores a de *R. mangle* (PERMANOVA, $p = 0,019$). Não foram detectadas diferenças significativas nos padrões de riqueza e distribuição das árvores entre as áreas (PERMANOVA, $p=0,315$) nem entre as parcelas (PERMANOVA, $p=0,992$). Assim, considerando a predominância de *R. mangle*, a estrutura do bosque de mangue foi analisada considerando todas as árvores conjuntamente independente da espécie.

Não foram observadas diferenças significativas entre as estações e as parcelas analisadas, considerando o diâmetro das árvores na altura do peito (DAP) médio de $3,1\text{cm} \pm 1,71$ e a área basal total de $0,1065\text{m}^2/\text{ha} \pm 0,01$ (Tabela 1). A altura das árvores de mangue apresentou diferença significativa entre as estações de amostragem (Tabela 1). Esta variação pode ser visualizada na Figura 4, na qual se evidencia que, na estação CEAC (ECE), as árvores tendem a ser mais altas em comparação com as estações COFECO (ECO) e River Park (ERI).

Tabela 1: Análise de Variância Multivariada Permutacional (PERMANOVA) dos dados de abundância, densidade (ind./m²), altura (m), diâmetro na Altura do Peito (DAP) (cm) e Área basal (m²/ha) das árvores do bosque de mangue, considerando as estações de amostragem (ECO, ECE e ERI) e as parcelas de amostragem (P1= distante da margem; P2= intermediária; P3= próximo a água), bem como, a interação entre esses fatores. Os dados em vermelho representam resultados significativos ($p < 0,05$).

Local	N			DAP				Altura				Densidade				Área basal				
	Total	Média	Desvio	Média	Desvio	Média	Desvio	Média	Desvio	Média	Desvio	Média	Desvio	Média	Desvio	Média	Desvio			
Cofeco	431	28,73	53,44	4,39	4,37	2,85	2,48	0,29	0,53	724,95	1143,91									
CEAC	244	16,27	28,02	4,29	3,65	4,13	3,70	0,16	0,28	508,78	199,93									
River Park	444	29,60	42,94	4,64	4,13	2,91	2,43	0,30	0,43	509,38	452,03									
Total	1119	24,87	42,23	4,44	3,97	3,30	2,92	0,25	0,42	583,82	711,53									
Pemanova	GL	SQ	Pseudo-F	P(perm)	GL	SQ	Pseudo-F	P(perm)	GL	SQ	Pseudo-F	P(perm)	GL	SQ	Pseudo-F	P(perm)	GL	SQ	Pseudo-F	P(perm)
	Local	2	609,91	0,48	0,75	2	610	0,76	0,50	2	3116	8,82	0,002	2	2173,7	0,48	0,75	2	5944,1	1,9368
Parcela	2	82,973	1,07	0,37	2	83	0,10	0,96	2	127,4	0,36	0,742	2	4809,2	1,07	0,36	2	2875,1	0,93679	0,477
Local x Parcela	4	1471,2	0,26	0,99	4	1471	0,92	0,46	4	298,2	0,42	0,809	4	2360,5	0,26	0,99	4	6449,7	1,0507	0,387

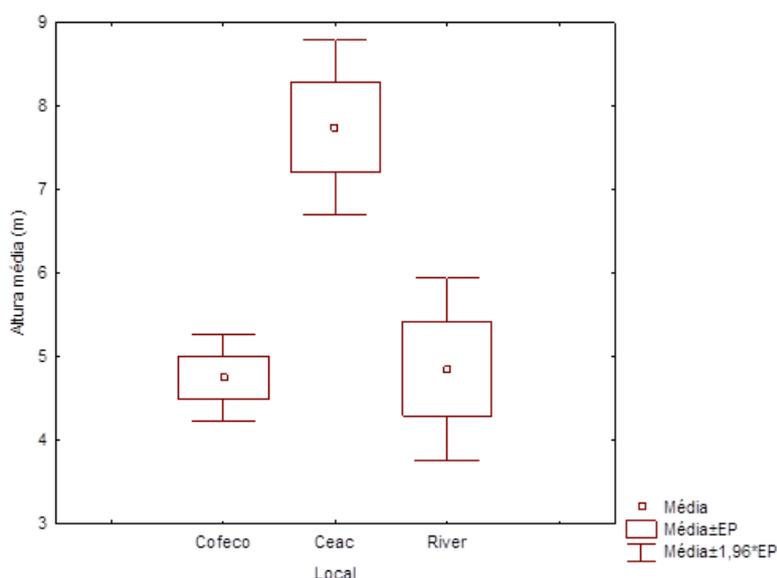


Figura 4: Altura (m) das árvores do bosque de mangue nas estações de amostragem (ECO = Cofeco, ECE = Ceac e ERI = River Park), na área de estudo de *Littoraria angulifera* no estuário do rio Pacoti – Ceará.

A análise representada na Tabela 2 demonstra uma diferença estatisticamente significativa na salinidade da água de percolação no substrato do bosque de mangue entre as diferentes campanhas de amostragem e estações de coleta. Foi observada uma variação significativa da salinidade entre as campanhas de abril, agosto e novembro de 2022 e entre as estações ECO, ECE e ERI, conforme pode ser evidenciado na Figura 5. O gráfico demonstra que foi observada uma maior salinidade na ECO, uma salinidade intermediária na ECE e a salinidade mais baixa na ERI. Além disso, em relação ao período do

ano, constatou-se que a salinidade foi mais elevada durante o período seco, seguida por uma salinidade intermediária durante o período de transição e a salinidade mais baixa foi observada na estação chuvosa.

Tabela 2: Análise de Variância Multivariada Permutacional (PERMANOVA) dos dados de salinidade da água de percolação no substrato do bosque de mangue, considerando as estações de amostragem (ECO = COFECO, ECE = CEAC e ERI = River Park) e as campanhas de amostragem (abril, agosto e novembro de 2022), bem como, a interação entre esses fatores. Os dados destacados em vermelho representam resultados significativos ($p < 0,05$).

Campanha	Área	Média	Desvio	
Apr-2022	COFECO	24,50	0,89	
Apr-2022	CEAC	17,33	1,91	
Apr-2022	River Park	3,92	0,97	
Aug-2022	COFECO	38,00	1,22	
Aug-2022	CEAC	27,22	5,01	
Aug-2022	River Park	17,44	1,67	
Nov-2022	COFECO	40,78	0,83	
Nov-2022	CEAC	36,89	3,44	
Nov-2022	River Park	34,44	5,05	
<i>PERMANOVA</i>				
Source	GL	SQ	Pseudo-F	P(perm)
Campanha	2	5300,3	294,73	0,001
Local	2	2903,7	161,46	0,001
Campanha x Local	4	611,8	17,01	0,001
Resíduo	63	566,49		
Total	71	9263,4		

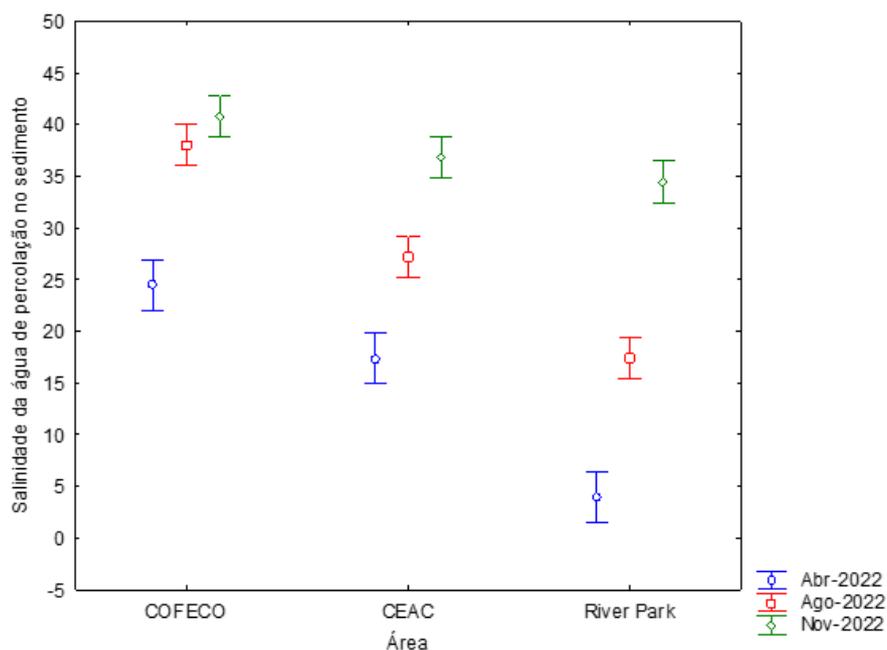


Figura 5: Salinidade da água de percolação no substrato do bosque de mangue nas estações de amostragem (ECO = COFECO, ECE = CEAC e ERI = River Park), considerando as campanhas de amostragem (abril, agosto e novembro de 2022).

5.2 Distribuição espaço-temporal de *Littoraria angulifera*

Durante o período amostral foi coletado um total de 4.689 organismos da espécie *L. angulifera*, tendo sido observado diferenças significativas entre as estações de coleta (Tabela 3; Figura 6). A Estação River Park (ERI) apresentou a maior quantidade de espécimes amostrados, totalizando 2.136 organismos. Já a Estação Cofeco (ECO), foi o local com menor número de organismos coletados, com 865 indivíduos no total. A Estação CEAC (ECE) obteve um total de 1.688 organismos amostrados. Não foram observadas diferenças significativas na densidade obtida nos períodos chuvoso (abril/2022), transição (agosto/2022) e seco (novembro/2022) (Tabela 3).

Tabela 3: Análise de Variância Multivariada Permutacional (PERMANOVA) dos dados de abundância e densidade (ind./m²) de *Littoraria angulifera* no bosque de mangue, considerando as estações (ECO, ECE e ERI) e as campanhas de amostragem (abril, agosto e novembro de 2022), bem como, a interação entre esses fatores. Os dados em vermelho representam resultados significativos ($p < 0,05$).

Área	Data	Abundância	Densidade (ind./m ²)
COFECO (ECO)	Apr-2022	232	0,39
COFECO (ECO)	Aug-2022	282	0,31
COFECO (ECO)	Nov-2022	351	0,39
CEAC (ECE)	Apr-2022	545	0,61
CEAC (ECE)	Aug-2022	718	0,80
CEAC (ECE)	Nov-2022	425	0,47
RIVER PARK (ERI)	Apr-2022	651	0,72
RIVER PARK (ERI)	Aug-2022	755	0,84
RIVER PARK (ERI)	Nov-2022	730	0,81
Total		4689	

Source	graus de liberdade	SS	MS	Pseudo-F	P(perm)	Permutações
área	2	402,64	201,32	8,24	0,00	999
período	2	29,273	14,636	0,60	0,56	999
área x período	4	84,597	21,149	0,87	0,53	999
Resíduo	18	439,71	24,428			
Total	26	956,21				

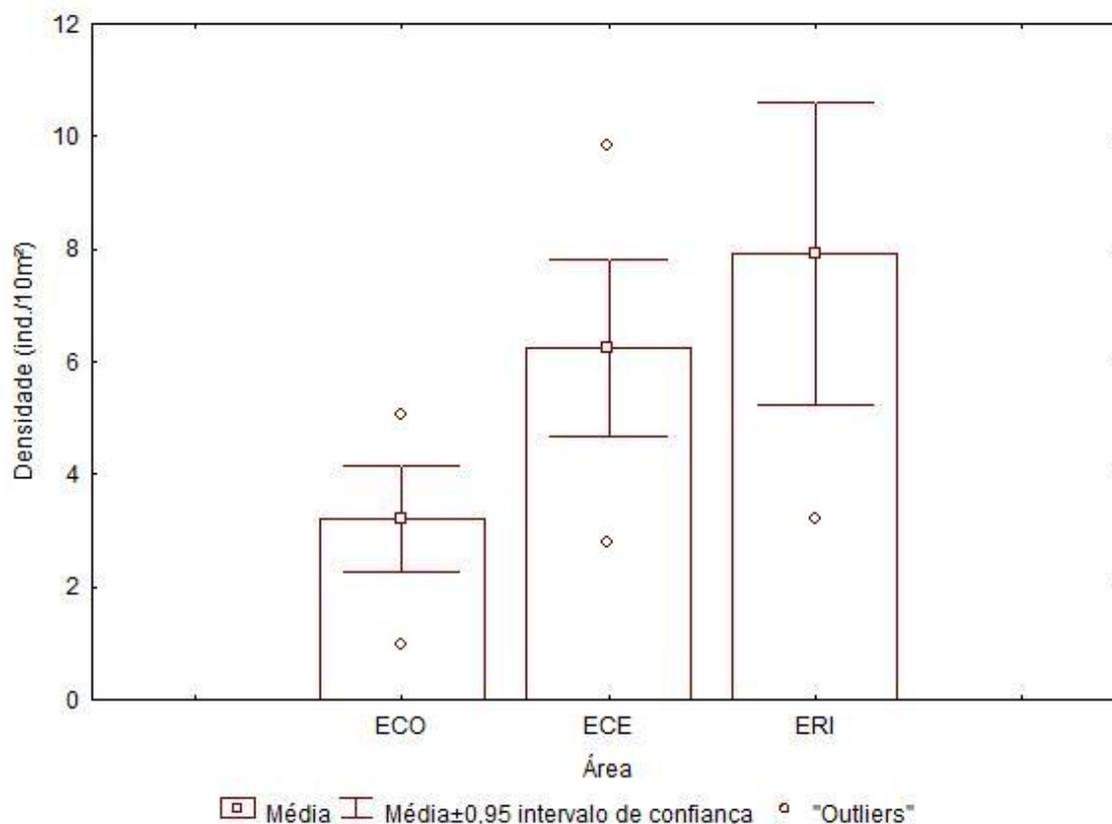


Figura 6: Densidade (ind./10m²) de *Littoraria angulifera* no bosque de mangue nas estações de amostragem (ECO, ECE e ERI) no período de estudo, no estuário do rio Pacoti – Ceará.

Considerando todo o período de estudo, 51,16% (2399) dos organismos identificados eram machos, 47,98% (2250) fêmeas, e 0,85% (40) animais cujo sexo não pôde ser determinado. A proporção sexual observada foi de 1:1,06 ($p=0,25138$) para todo o período de estudo.

A distribuição espacial dos indivíduos de *L. angulifera* variou ao longo das estações e parcelas durante os períodos de amostragem (Tabela 4). Em abril de 2022, durante o período chuvoso, não foram observadas diferenças significativas entre as estações de amostragem e as parcelas (Figura 7a). As parcelas da ECO e ECE não apresentaram diferenças significativas na densidade de *L. angulifera*. Na ERI, a parcela R3, próxima à linha d'água, teve densidade significativamente menor que as parcelas R2 e R1. A maior densidade na parcela R3 foi observada na ECE, enquanto na R1, a maior densidade foi na ERI, sugerindo que diferentes

locais oferecem microhabitats variados. No período seco de novembro de 2022, a densidade de organismos foi maior na parcela R3 na ERI.

Tabela 4: Análise de Variância Multivariada Permutacional (PERMANOVA) da densidade de *Littoraria angulifera* (ind/10m²), considerando os períodos de estudo (abril, agosto e novembro de 2022), relação à proximidade com o leito do rio (R1= distante da margem; R2 = intermediária; R3 = próximo a água), bem como, a interação entre esses fatores. Os dados em vermelho representam resultados significativos (p < 0,05).

Fatores	Graus de liberdade	SS	MS	Pseudo-F	P(perm)
Estações	2	0,316	0,158	17,284	0,001
Períodos	2	0,024	0,012	1,320	0,271
Parcelas	2	0,099	0,050	5,427	0,006
Estações x Períodos	4	0,076	0,019	2,088	0,076
Estações x Parcelas	4	0,039	0,010	1,065	0,365
Períodos x Parcelas	4	0,180	0,045	4,916	0,001
Estações x Períodos x Parcelas	8	0,350	0,044	4,775	0,001
Resíduos	281	2,571	0,009	-	-
Total	307	3,666	-	-	-

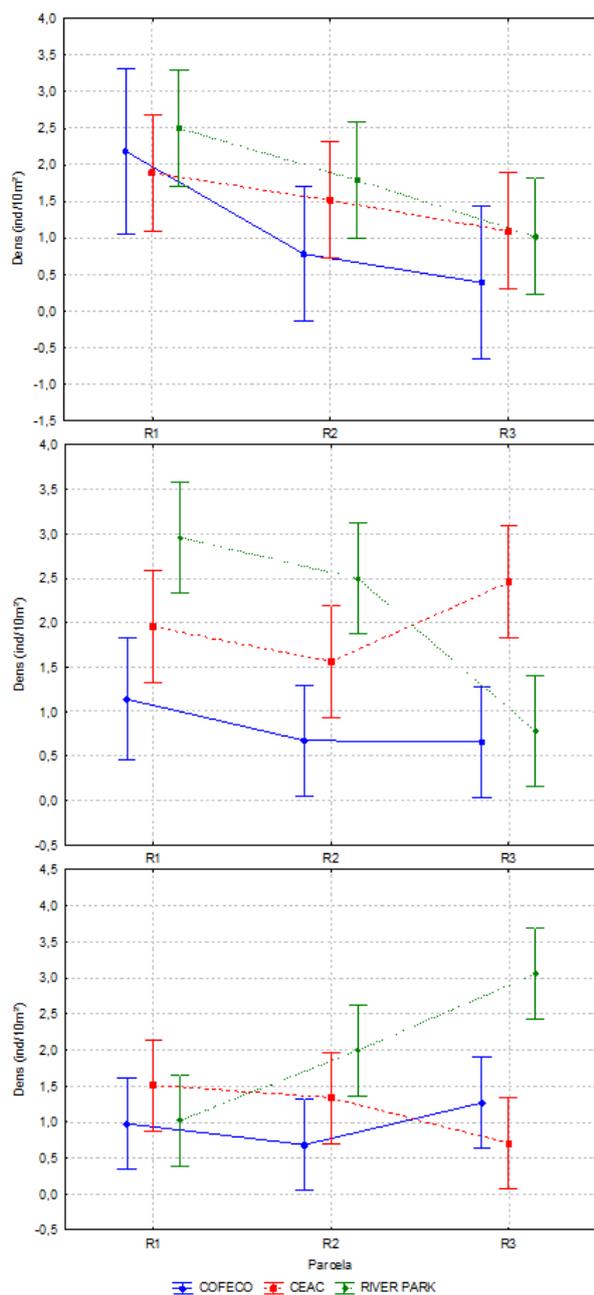


Figura 7: Densidade de *Littoraria angulifera* (ind./10m²) no manguezal, registrada nas parcelas (R1 = distante da margem; R2 = intermediária; R3 = próximo a água) das estações de amostragem (COFECO, CEAC e River Park), durante as campanhas de amostragem em abril (A), agosto (B) e novembro (C) de 2022, no estuário do rio Pacoti, Ceará.

A análise dos dados revelou diferenças significativas na densidade de *L. angulifera*, considerando a posição dos organismos nas árvores, as estações de

coleta e os períodos de estudo (Tabela 5, Figura 8). A densidade populacional foi maior abaixo do DAP somente no River Park durante os períodos de transição e seco.

Tabela 5: Análise de Variância Multivariada Permutacional (PERMANOVA) da densidade de *Littoraria angulifera* (ind/10m²), as estações de coleta (ECO, ECE e ERI), posição dos organismos nas árvores (acima e abaixo do DAP) e os períodos de estudo (abril, agosto e novembro de 2022), bem como, a interação entre esses fatores. Os dados em vermelho representam resultados significativos ($p < 0,05$).

Fatores	Graus de liberdade	SS	MS	Pseudo-F	P(perm)
Posição	1	0,307	0,307	36,394	0,001
Estação x Posição	2	0,254	0,127	15,029	0,001
Período x Posição	2	0,010	0,005	0,602	0,519
Estação x Período x Posição	4	0,139	0,035	4,116	0,003
Res	290	2,448	0,008		
Total	307	3,666			

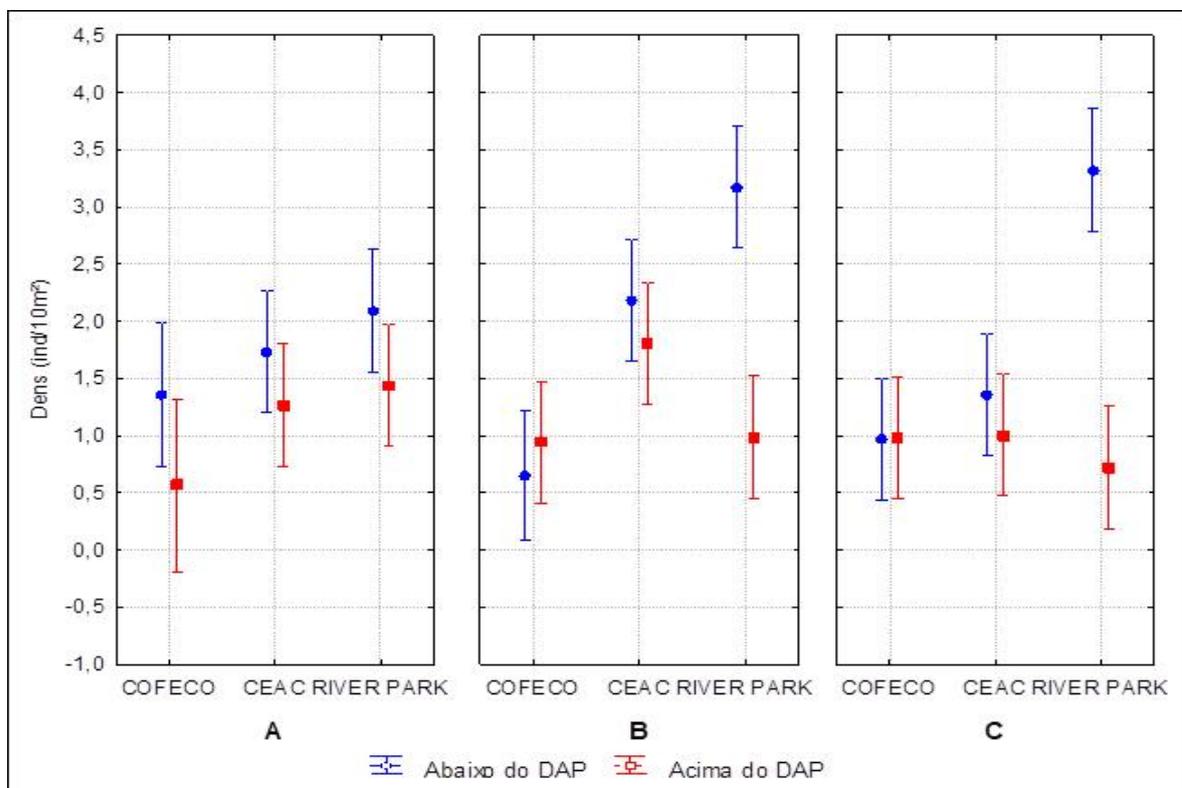


Figura 8: Densidade de *Littoraria angulifera* (ind./10m²) no manguezal, registrada das estações de amostragem (ECO = COFECO, ECE = CEAC e

ERI = River Park), considerando a posição dos organismos na árvore (acima e abaixo do DAP), durante as campanhas de amostragem em abril (A), agosto (B) e novembro (C) de 2022, no estuário do rio Pacoti, Ceará.

Conforme os resultados apresentados na tabela 6, o tamanho da concha variou entre os diferentes períodos analisados. Além disso, a estação de coleta também teve uma influência significativa no tamanho da concha, com os maiores tamanhos encontrados na ERI, tamanhos intermediários na ECE e tamanhos menores na ECO (Figura 9). A interação entre o período e a estação de coleta também foi significativa, sugerindo que o efeito do período do ano no tamanho da concha depende da estação em que os dados foram coletados. A interação entre a estação de coleta e as parcelas também apresentou valor significativo, indicando que esses fatores juntos afetam o tamanho do organismo. Além disso, a interação entre período, estação de coleta e parcela também foi significativa. Já a posição ao longo dos troncos das árvores não apresentou diferenças em relação ao tamanho da concha, nem mesmo ao considerar as interações com as estações, parcelas e os períodos de coleta.

Tabela 6: Análise de Variância Multivariada Permutacional (PERMANOVA) do tamanho da concha de *Littoraria angulifera*, as estações de coleta (ECO, ECE e ERI) e os períodos de estudo (abril, agosto e novembro de 2022) e parcelas (R1 = distante da margem; R2 = intermediária; R3 = próximo a água), bem como, a interação entre esses fatores. Os dados em vermelho representam resultados significativos ($p < 0,05$).

Fatores	Grau de liberdade	SS	MS	Pseudo-F	P(perm)
Período	2	1947,5	973,74	19,252	0,001
Estação	2	13827	6913,7	136,69	0,001
Parcela	2	123,7	61,851	1,2229	0,291
Período x Estação	4	2867,3	716,84	14,173	0,001
Período x Parcela	4	206,64	51,659	1,0214	0,398
Estação x Parcela	4	697,39	174,35	3,4471	0,004
Período x Estação x Parcela	8	1021,7	127,71	2,5251	0,005
Resíduo	269	13606	50,578		
Total	295	35638			

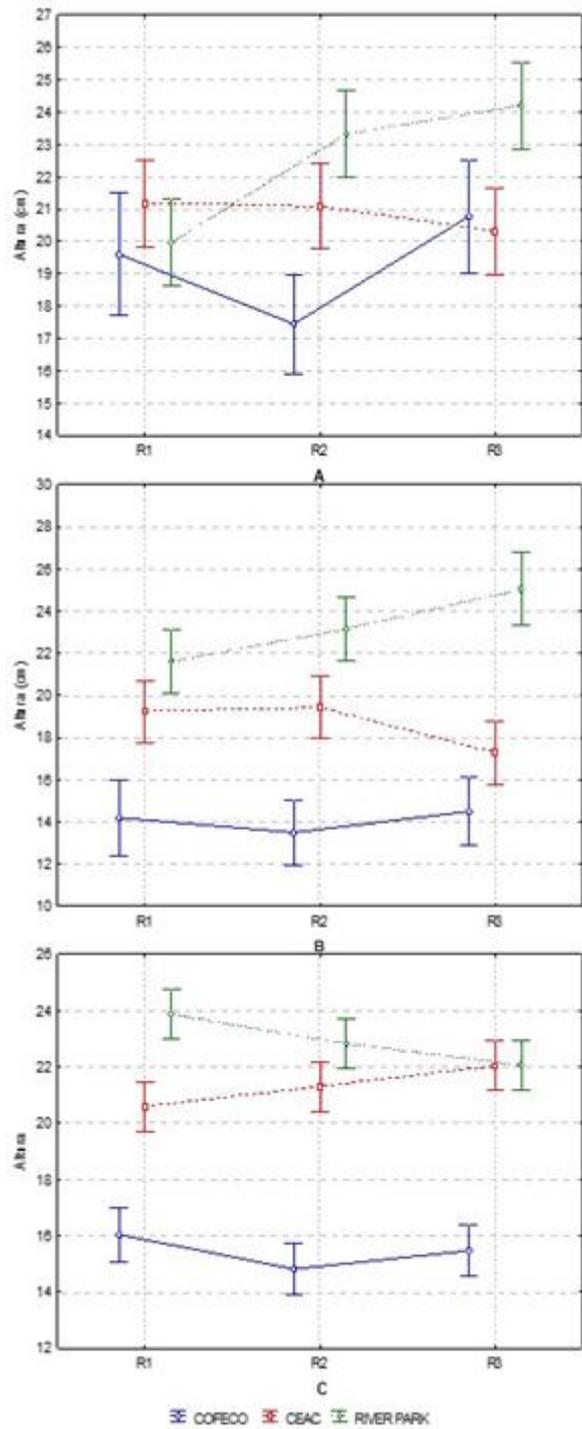


Figura 9: Altura da concha (média + erro-padrão) de *L. angulifera* nas áreas Estação COFECO (ECO), Estação River Park (ERI) e Estação CEAC (ECE) registrada nas parcelas (R1 = distante da margem; R2 = intermediária; R3 = próximo a água) das estações de amostragem (COFECO, CEAC e River

Park), durante as campanhas de amostragem em abril (A), agosto (B) e novembro (C) de 2022, no estuário do rio Pacoti, Ceará.

Os parâmetros da vegetação (densidade, altura, DAP e área basal) não apresentaram correlações significativas com a densidade e a altura da concha de *Littoraria angulifera*, conforme pode ser observado na tabela 7. No entanto, a salinidade da água de percolação mostrou uma correlação negativa significativa com o tamanho da concha desta espécie (Correlação de Spearman, $r = -0,58$, $p < 0,05$), embora não tenha mostrado correlação com a densidade populacional. Esse resultado sugere uma tendência de ocorrência de indivíduos menores durante os períodos de maior salinidade na água.

Tabela 7: Correlação de Spearman entre as variáveis ambientais e a altura da concha e densidade de *L. angulifera* observadas durante o período de estudo. Os dados em vermelho representam resultados significativos ($p < 0,05$).

Variáveis	Altura da concha (mm)	Densidade (ind./10m ²)
Salinidade da água de percolação	0,067	-0,546
Densidade de árvores	0,009	-0,263
Altura da árvore (m)	-0,083	0,562
DAP da árvore (cm)	0,083	0,123
Área basal (m ²)	0,333	-0,214

6. Discussão

Este estudo trouxe contribuições importantes para a compreensão da variação populacional de *L. angulifera* no estuário do rio Pacoti, uma região semiárida caracterizada por variações sazonais de pluviosidade.

Tal como evidenciado por diversos autores, as características ambientais, determinadas principalmente por variações significativas da salinidade da água, estabelecem gradientes estuarinos, os quais influenciam na distribuição das espécies (GODOY *et al.*, 2015; MARINS *et al.*, 2007; LACERDA *et al.*, 2020). Neste estudo, tanto a densidade da população como o tamanho da concha dos indivíduos de *L. angulifera* apresentaram resultados que confirmam essas afirmações.

O gradiente horizontal de salinidade em um estuário pode ter um impacto significativo na distribuição da malacofauna, visto que esse fator ambiental é considerado uma barreira fisiológica para a distribuição dos organismos que vivem em manguezais (QUERINO *et al.*, 2013). Em geral, este gradiente de salinidade pode variar significativamente, com maiores valores nas áreas mais próximas ao mar e menores valores na região mais a montante, onde há menor influência marinha, limitando a distribuição das espécies que habitam essas áreas. Embora a maioria dos moluscos associados aos manguezais tenha uma origem marinha, ocorra predominantemente ou exclusivamente neste ambiente (REID *et al.*, 2010) e respondam às condições ambientais conforme postulado acima, a heterogeneidade ambiental dos estuários e dos bosques de mangue podem interferir nos padrões populacionais dessas espécies. Este fato foi observado no presente estudo, em que as densidades mais elevadas de *L. angulifera* foram observadas na estação de amostragem mais distante da foz (ERI), apresentando um padrão inverso ao que foi hipotetizado inicialmente, e, proposto por outros autores.

Anderson *et al.* (2022), em seu estudo sobre a distribuição de *L. irrorata* em uma área de marismas na região do Golfo do México, verificaram que a densidade populacional dos animais variou consideravelmente entre os pontos

de coleta e atribuíram tais variações à influência que as marés desempenham na distribuição dessa espécie de molusco.

Os ecossistemas costeiros em regiões semiáridas enfrentam condições de clima extremo, caracterizadas por altas temperaturas, baixa precipitação e intensa radiação solar, resultando em altas taxas de evaporação (HUXMAN *et al.*, 2004; SCHWINNING *et al.*, 2004; POULTER *et al.*, 2014). Assim, considerando as condições sazonais de chuvas na região do estuário do rio Pacoti, e a conseqüente redução no fluxo de água doce e aumento da salinidade no leito estuarino nos períodos de estiagem, é provável que a área do River Park, à montante aproximadamente 10km da foz estuarina, apresente condições mais favoráveis, uma vez que mesmo em momentos de baixa precipitação e alta salinidade fornece condições mais amenas para os organismos. Além disso, é importante considerar que outros fatores ambientais, como substrato disponível, disponibilidade de alimento, temperatura e umidade ambientais, também podem influenciar a distribuição de *L. angulifera*. Esta maior disponibilidade de recursos favorece uma maior densidade de organismos (MELO *et al.*, 2012).

Apesar de não ter sido verificada variação significativa na estrutura do bosque de mangue entre as áreas das estações de coleta, foi possível observar que os bosques são influenciados pela atividade humana no seu entorno. A área do River Park apresenta-se mais conservada, devido ser menos acessível e não possuir construções humanas próximas. As demais estações (ECE e ECO) localizam-se em regiões habitadas e fortemente alteradas pelas atividades humanas. Na ECO, mais próxima à foz do rio, os efeitos de assoreamento também podem ser percebidos. Diversos estudos têm demonstrado a relação das características populacionais de litorinídeos com a estrutura dos mangues (BOEHS; FREITAS, 2022; RAMOS *et al.*, 2021; REID, 1985; TORRES *et al.*, 2008; ORTIZ; BLANCO, 2012; CHAVES, 2002; BONEKA *et al.*, 2019; MELO *et al.*, 2012; GUTIERREZ, 1988). Em manguezais perturbados ou com áreas de bosques com altura baixa, os organismos que habitam o bosque estão sujeitos à maior exposição à luminosidade/temperatura resultantes de uma redução do dossel, além de dispor de uma menor área de substrato para esses indivíduos (TANANA; MAIA, 2006). Considerando estes aspectos, é provável que o bosque

da estação ERI atue como uma área mais favorável para *L.angulifera*, uma vez que, apesar da salinidade tender a concentrações mais baixas, os organismos não estão sujeitos à extremos de salinidade e dessecação, principalmente nos meses mais quentes do ano. Esta hipótese também é reforçada pelos resultados obtidos por David (ver capítulo 1 desta tese), ao avaliar a população de *L. angulifera* em uma outra área no manguezal do rio Pacoti, e que verificou que os organismos são sensíveis aos efeitos da dessecação, sendo evidenciada a predominância de adultos menores em ambientes mais expostos à radiação solar.

O gradiente de maré influenciou na densidade populacional de *L. angulifera* de forma diferenciada ao longo das três estações de coleta. No período chuvoso, não foram observadas diferenças significativas na densidade dos indivíduos entre as estações e as parcelas, sugerindo uma distribuição mais homogênea dos organismos durante a estação chuvosa, possivelmente devido ao aumento na disponibilidade de recursos e menor estresse ambiental de salinidade e dessecação. Durante esta época do ano, o aumento das chuvas resulta em uma maior entrada de água doce no estuário, que pode diminuir a salinidade de forma mais uniforme ao longo do rio. A homogeneização da salinidade pode criar condições ambientais mais estáveis e semelhantes entre as diferentes estações e parcelas, reduzindo assim as variações na distribuição de *L. angulifera*. Já no período de transição, a ausência de diferenças significativas entre as parcelas da ECO e da ECE sugere que os fatores ambientais nessas áreas foram relativamente homogêneos, não influenciando significativamente a distribuição espacial dos organismos. Por outro lado, na estação ERI, a parcela R3, localizada mais próxima da linha d'água, apresentou uma densidade significativamente menor em comparação com as parcelas R2 e R1. A parcela R3, estando mais próxima da linha d'água, está sujeita a maiores variações de maré e salinidade. No período seco, a maior densidade de *L. angulifera* na parcela R3 na ERI, mais próxima da linha d'água, pode ser explicada pela disponibilidade de recursos e condições ambientais mais favoráveis. Nesse período, a salinidade na região estuarina tende a ser mais elevada devido à menor influência de água doce das chuvas. No entanto, áreas mais próximas à linha d'água podem oferecer microclimas mais estáveis, com

maior umidade, criando um ambiente mais adequado para a sobrevivência e reprodução dos organismos. Além disso, a umidade relativa mais alta e a sombra proporcionada pela vegetação do mangue também podem criar um micro-habitat favorável. A ausência de diferenças significativas entre as demais parcelas e estações sugere que os efeitos sazonais e espaciais são complexos e podem ser modulados por uma combinação de fatores ambientais.

Estes resultados evidenciam a capacidade de *L. angulifera* habitar a zona de influência da maré nos bosques de mangue em função de sua capacidade de tolerar mudanças abióticas extremas ao longo do ciclo de marés (VERMEIJ, 1972; CHAVES, 2002; BAHARUDDIN *et al.*, 2018). Os gastrópodes que habitam essas áreas podem ser altamente resistentes e adaptáveis a essas mudanças, sendo capazes de tolerar variações na temperatura, salinidade e disponibilidade de oxigênio, apresentando assim diferentes padrões de distribuição.

Estes resultados confirmam também as observações de Maia *et al.* (2010), no estuário do Rio Pacoti, onde a densidade populacional foi maior nas áreas mais próximas ao rio. Os autores sugeriram que a proximidade com a água pode ser mais favorável a esta espécie, diminuindo os riscos de exposição à dessecação, o que explica a redução gradual na densidade à medida que a distância da água aumenta. No presente estudo, ficou claro que as variações na densidade populacional podem ser influenciadas por fatores específicos de cada local, considerando múltiplos fatores ambientais e a heterogeneidade do habitat nos estuários.

De acordo com Maia e Troncoso (2022), o tamanho da concha em litorínídeos é um fator importante para a sobrevivência e adaptação desses organismos ao estresse ambiental. O comprimento da concha pode variar significativamente em resposta aos fatores ambientais, podendo essa plasticidade trazer vantagens seletivas (MAIA *et al.*, 2010).

As diferenças significativas no tamanho da concha de *L. angulifera* observadas neste estudo parecem ser em resposta ao gradiente horizontal de salinidade do estuário. A estação ECO, próxima à foz e, possivelmente, com as

maiores perturbações humanas, apresenta os organismos com os menores tamanhos de concha. Anderson *et al.* (2022) identificaram uma forte correlação negativa entre a salinidade do estuário e o comprimento médio da concha de *L. irrorata*. Os autores, assim como observado no presente estudo, encontraram organismos menores em áreas mais próximas ao mar aberto e sugeriram que a distribuição dos organismos estaria relacionada a uma resposta ao gradiente horizontal de salinidade, em que os animais maiores possuem maior resistência a salinidades mais baixas em comparação com os indivíduos juvenis. Considerando o contexto de um estuário na região semiárida, entretanto, é provável que a presença de organismos menores, assim como as menores densidades, na estação ECO pode estar relacionada a alterações no bosque de mangue em função das atividades humanas, as quais tornam a área mais estressante devido à dessecação e, assim, dificultam a sobrevivência e o crescimento dos indivíduos. Em contraste, a estação ERI, estando mais distante da foz do rio, pode oferecer condições ambientais mais estáveis, com maior sombreamento e menor influência de impactos antropogênicos, favorecendo o maior crescimento dos organismos, visto que foram observados tanto indivíduos juvenis como adultos durante todo o estudo.

Embora não tenham sido observadas variações na densidade populacional entre os períodos chuvoso, de transição e seco, o tamanho dos indivíduos apresentou variação, com conchas maiores em abril (chuvoso) e menores em novembro (seco). A interação significativa entre o período do ano e a estação de coleta indica que o efeito da sazonalidade climática sobre o tamanho dos indivíduos não é uniforme, mas depende das condições ambientais específicas de cada local ao longo do tempo. Esta interação complexa sugere que fatores como salinidade, temperatura e disponibilidade de recursos variam de maneira distinta em cada estação ao longo do ano, afetando o crescimento dos indivíduos de formas diferentes. Esta variação temporal pode também refletir adaptações sazonais, em que os indivíduos se desenvolvem de acordo com as condições ambientais prevalentes em cada estação do ano. Em um monitoramento de sete anos no estuário do Rio Acaraú, no Ceará, foi observada uma variação significativa na altura da concha de *L. angulifera* ao longo dos meses de coleta, com valores mais elevados registrados durante os meses de

fevereiro e março, coincidindo com o período chuvoso na região, caracterizado por níveis mais baixos de salinidade (DAVID, 2019).

A interação significativa entre estações de coleta e parcelas, assim como a interação entre período, estação de coleta e parcela, reforça a ideia de que micro-habitats dentro das estações. Diferentes parcelas dentro de uma mesma estação podem apresentar variações em fatores como sombreamento, disponibilidade de alimento e umidade, que influenciam o tamanho da concha de *L. angulifera*. Essa espécie apresenta alta mobilidade dentro do manguezal e exibe elevada capacidade de migrar para micro-habitats favoráveis ao seu desenvolvimento (REIS *et al.*, 2021; DAVID, 2019). Microorganismos associados à superfície dos troncos e galhos das árvores, como microalgas e fungos, compõem grande parte da dieta de *L. angulifera*, apresentam maior densidade na margem do rio e nas porções baixas das árvores onde a maré alcança, com distribuição decrescente conforme a distância da água aumenta (GUTIERREZ, 1988). Ou seja, o ambiente mais úmido e com maior quantidade de alimento favorece o desenvolvimento desses moluscos e são áreas mais favoráveis para estes animais.

Conforme Vermeij (1972) e Chaves (2002), a distribuição vertical dos gastrópodes da família Littorinidae é caracterizada por uma segregação ativa de tamanhos, com grandes indivíduos migrando para áreas mais altas da zona entremarés e adultos de *L. angulifera* predominando nos níveis mais altos das árvores, enquanto os jovens ficam mais próximos ao solo. No presente estudo, a densidade de organismos confirmou os achados desses autores, principalmente na estação ERI. No entanto, a posição ao longo dos troncos das árvores não apresentou diferenças significativas em relação ao tamanho da concha, nem mesmo ao considerar as interações com as estações, parcelas e os períodos de coleta. Isso sugere que, embora *L. angulifera* utilize a verticalidade dos troncos para evitar predadores e desidratação, essa posição não afeta diretamente o tamanho da concha. É provável que embora *L. angulifera* utilize a verticalidade dos troncos para evitar predadores e a desidratação, essa posição não afeta diretamente o tamanho da concha. Pode ser que os fatores que influenciam o crescimento e tamanho da concha atuem

de maneira mais horizontal e dependam mais da variação ambiental ao nível do solo e da umidade do que da altura nos troncos.

Conforme os resultados apresentados, observou-se que a distribuição de *L. angulifera* apresentou variações espaciais e temporais durante o período de estudo, sendo influenciada por fatores como sazonalidade e proximidade da linha d'água. Estes resultados destacam a importância de considerar gradientes ambientais e micro-habitats ao estudar a ecologia da espécie. A proximidade da água parece proporcionar um microclima mais favorável, com menor estresse hídrico e maior disponibilidade de alimento.

7. Conclusões

- A variação sazonal e a salinidade estuarina influenciam significativamente a distribuição e o tamanho da concha de *L. angulifera*. Indivíduos com conchas maiores foram encontrados durante o período chuvoso, quando a salinidade é mais baixa, indicando uma maior resistência dos adultos a estas condições.
- A estação de coleta ERI apresentou as maiores densidades populacionais, possivelmente devido a condições mais estáveis e menos impactadas por atividades humana
- A distribuição vertical de *L. angulifera*, considerando a densidade, foi confirmada neste estudo. No entanto, a posição vertical não influenciou significativamente o tamanho da concha, sugerindo que a variação ambiental ao nível do solo e da umidade tem um papel mais determinante.
- Micro-habitats dentro das estações de coleta, considerando sombreamento e umidade, influenciam a densidade e o crescimento de *L. angulifera*, com áreas mais úmidas e sombreadas favorecendo maior desenvolvimento.
- A capacidade de *L. angulifera* de tolerar variações de temperatura, salinidade e dessecação permite sua sobrevivência e adaptação em diferentes zonas dentro do bosque de mangue, demonstrando alta resiliência a mudanças abióticas.
- Os resultados desta pesquisa destacaram a complexidade da ecologia desta espécie e a importância de considerar múltiplos fatores ambientais na compreensão de sua distribuição.

REFERÊNCIAS

- ANDERSON, C. J.; GARCIA, C.; CASH, J. S. Distribution and Morphology of *Littoraria irrorata* in Mesohaline Tidal Marshes Dominated by *Juncus roemerianus*. **Estuaries and Coasts**, p. 1-10, 2022.
- BAHARUDDIN, N.; BASIR, N. H. M.; ZAINUDDIN, S. N. H. Tropical intertidal gastropods: Insights on diversity, abundance, distribution and shell morphometrics of Pulau Bidong, Malaysia. **Aquaculture, Aquarium, Conservation & Legislation**, v. 12, n. 4, p. 1375-1387, 2019.
- BONEKA, F. B.; LUMINGAS, L. J. L.; PRATASIK, S. E. *Littoraria scabra* (Linnaeus, 1758) (Littorinidae: Prosobranchia) in the mangrove of Bunaken Island, North Sulawesi. **Journal Moluska Indonesia**, v. 3, n. 2, p. 35-38, 2019.
- CANNICCI, S.; LEE, S. Y.; BRAVO, H.; CANTERA-KINTZ, J. R.; DAHDOUH-GUEBAS, F.; FRATINI, S.; DIELE, K. A functional analysis reveals extremely low redundancy in global mangrove invertebrate fauna. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 118, n. 32, p. e2016913118, 2021.
- COLLIN, R.; KERR, K.; CONTOLINI, G.; OCHOA, I. Reproductive cycles in tropical intertidal gastropods are timed around tidal amplitude cycles. **Ecology and Evolution**, v. 7, n. 15, p. 5977-5991, 2017.
- COSTA, Y.; MARTINS, I.; CARVALHO, G. C.; BARROS, F. Trends of sea-level rise effects on estuaries and estimates of future saline intrusion. **Ocean & Coastal Management**, v. 236, p. 106490, 2023.
- COSTA, M. B.; ZAMPROGNO, G. C.; PEDRUZZI, F. C.; DALBEM, G. B.; TOGNELLA, M. M. P. Assessing the continuous impact of Tributyltin from Antifouling Paints in a Brazilian mangrove area using Intersex in *Littoraria angulifera* (Lamarck, 1822) as Biomarker. **International Journal of Oceanography**, v. 2013, 2013.
- DAVID, H. N. **RESPOSTAS DO GASTRÓPODE *Littoraria angulifera* (LAMARCK, 1822) ÀS VARIAÇÕES AMBIENTAIS PREVISTAS PARA**

MANGUEZAIS ESTUARINOS NO CEARÁ. 2019. Dissertação (Mestrado em Ciências Marinhas Tropicais), Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2019.

HARLEY, C. D. G.; RANDALL-HUGHES, A.; HULTGREN, K. M.; MINER, B. G.; SORTE, C. J.; THORNER, C. S.; WILLIAMS, S. L. The impacts of climate change in coastal marine systems. **Ecology letters**, v. 9, n. 2, p. 228-241, 2006.

MAIA, R. C.; TRONCOSO, J. S. The effect of extreme climatic events on littorinid snails in two estuarine environments, temperate (NW Spain) and tropical (NE Brazil). **Ocean and Coastal Research**, v. 72, n. 1, 2024.

MAIA, R. C.; TRONCOSO, J. S. Evaluation of the synergistic effects of climate change on estuarine ecosystems at temperate and tropical latitudes using Littorinids (Mollusca: Gastropoda) as indicators. **Brazilian Journal of Animal and Environmental Research**, v. 5, n. 2, p. 1642-1660, 2022.

MAIA, R.C., LIMA-VERDE, F.B., ROLEMBERG, K.F. Padrões de distribuição vertical e horizontal de *Littoraria angulifera* (Lamarck, 1822) nos estuários dos rios Ceará e Pacoti, Estado de Ceará. **Arquivos de Ciências do Mar**, v.43, n.2, p. 32-39, 2010.

MAIA, R. C.; RODRIGUES, A. B.; ROCHA-BARREIRA, C. A. Distribuição espaço-temporal de *Melampus coffeus* (Mollusca: Gastropoda) em manguezais estuarinos da região metropolitana de Fortaleza, Ceará, Brasil. **Conexões: Ciência e Tecnologia**. v. 5, n. 3, 2011.

MELO, C.G.B., MAIA, R.C., ROCHA-BARREIRA, C.A. Variação morfológica da concha e densidade populacional de *Littoraria angulifera* (Mollusca: Gastropoda) em manguezais do Ceará, Brasil. **Arquivos de Ciências do Mar**, v.45, n.2, p. 68-76, 2012.

MERKT, R. E.; ELLISON, A. M. *Littoraria* (Litorinopsis) *angulifera* (LAMARCK, 1822). Malacologia, v. 40, n. 1-2, p. 279-295, 1998.

NG, P.T., DAVIES, M. S., STAFFORD, R., WILLIAMS, G.A. Mucus trail following as a mate-searching strategy in mangrove littorinid snails. **Animal Behavior**, v.82, n.1, p. 459-465, jul. 2011.

- PARK, J. J.; KIM, H. J.; SHIN, S. R.; JIN, Y. G.; KIM, J. W.; LEE, J. S. Reproductive Cycle and Sexual Group Maturity of *Buccinum osagawai* (Neogastropoda: Buccinidae). **Fishes**, v. 7, n. 5, p. 267, 2022.
- QUERINO, C. A. S.; MOURA, M. A. L.; QUERINO, K. A. DA S. Impacto do desmatamento de uma área de mangue no albedo superficial. **Revista Brasileira de Meteorologia**. v. 28, n. 4, p. 401-408, 2013.
- RAMOS, J.; BOTO, M.; BLANCO-LIBREROS, J. F.; RIASCOS, J. M. The Mangrove Periwinkle *Littoraria angulifera* (Mollusca: Littorinidae) in the Urabá Gulf (Colombian Caribbean): Finding Ways in an Urbanizing Coast?. **Frontiers in Marine Science**, v. 8, 641567, 2021.
- REID, DAVID G. Habitat and zonation patterns of *Littoraria* species (Gastropoda: Littorinidae) in Indo-Pacific mangrove forests. **Biological Journal of the Linnean Society**, v. 26, n. 1, p. 39-68, 1985.
- REID, D. G.; DYAL, P.; WILLIAMS, S. T. Global diversification of mangrove fauna: a molecular phylogeny of *Littoraria* (Gastropoda: Littorinidae). **Molecular Phylogenetics and Evolution**, v. 55, n. 1, p. 185-201, 2010. ISSN 1055-7903. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ympev.2009.09.036>. Acesso em: 10 jun. 2024.
- RIBEIRO, M. B. **Ocorrência de contaminação por tributestanho (TBT) na baía de Vitória, ES por meio de intersex em *Littoraria angulifera* (GASTROPODA, CAENOGASTROPODA, LITTORINIDAE)**. 2013. 80f. Trabalho de Conclusão de Curso (Ciências Biológicas). Faculdade Católica Salesiana do Espírito Santo, Vitória, 2013.
- SILVESTRI, F.; CORDEIRO, G. B.; COSTA, P. M. S. Parâmetros reprodutivos do mexilhão *Perna perna* (L. 1758) em fazendas marinhas na Ilha Grande (RJ). **Acta of Fisheries and Aquatic Resources**, v. 6, n. 1, p. 43-49, 2018.
- STAVI, I. Urgent reduction in greenhouse gas emissions is needed to avoid irreversible tipping points: Time is running out. **All Earth**, UK, vol. 35, n. 1, p. 38-45, fev. 2023.

TORRES, P.; ALFIADO, A.; GLASSOM, D.; JIDDAWI, N.; MACIA, A.; REID, D. G.; PAULA, J. Species composition, comparative size and abundance of the genus *Littoraria* (Gastropoda: Littorinidae) from different mangrove strata along the East African coast. **Hydrobiologia**, v. 614, p. 339-351, 2008.