



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO  
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS  
DEPARTAMENTO DE OCEANOGRAFIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM OCEANOGRAFIA



LUCAS DE LIMA SEIXAS SANTANA

**HIDRODINÂMICA ESTUARINA - interação com a arquitetura das raízes de  
*Rhizophora mangle* (Nascimento 1983) e implicações para a dispersão e  
fixação de larvas de *Crassostrea rhizophorae* (Guilding 1828) no rio Ipojuca,  
Pernambuco, Brasil**

Recife  
2019

**LUCAS DE LIMA SEIXAS SANTANA**

**HIDRODINÂMICA ESTUARINA - interação com a arquitetura das raízes de *Rhizophora mangle* (Nascimento 1983) e implicações para a dispersão e fixação de larvas de *Crassostrea rhizophorae* (Guilding 1828) no rio Ipojuca, Pernambuco, Brasil**

Dissertação apresentada ao Colegiado do Programa de Pós-graduação em Oceanografia, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Oceanografia.

Área de concentração: Oceanografia  
Abiótica

Orientador: Profa. Dra. Carmen Medeiros Limongi

Recife  
2019

Catálogo na fonte  
Bibliotecária Maria Luiza de Moura Ferreira, CRB-4 / 1469

S232h Santana, Lucas de Lima Seixas.  
Hidrodinâmica estuarina - interação com a arquitetura das raízes de *Rhizophora mangle* (Nascimento 1983) e implicações para a dispersão e fixação de larvas de *Crassostrea rhizophorae* (Guilding 1828) no rio Ipojuca, Pernambuco, Brasil / Lucas de Lima Seixas Santana. - 2020.

117 folhas, il., tab. abr. e símb.

Orientadora: Profa. Dra. Carmen Medeiros Limongi.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Programa de Pós-Graduação em Oceanografia, 2020.

Inclui referências.

1. Oceanografia. 2. Hidrodinâmica estuarina. 3. Mangue vermelho. 4. Ostra-de-mangue. I. Limongi, Carmen (Orientadora). II. Título.

UFPE

551.46 CDD (22. ed.)

BCTG/2020-62

**LUCAS DE LIMA SEIXAS DE SANANA**

**HIDRODINÂMICA ESTUARINA - interação com a arquitetura das raízes de *Rhizophora mangle* (Nascimento 1983) e implicações para a dispersão e fixação de larvas de *Crassostrea rhizophorae* (Guilding 1828) no rio Ipojuca, Pernambuco, Brasil**

Dissertação apresentada ao colegiado do Programa de Pós-Graduação em Oceanografia da Universidade Federal de Pernambuco como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Oceanografia na área de Oceanografia Abiótica.

Aprovação em: 29 de novembro de 2019

**BANCA EXAMINADORA**

---

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Carmen Medeiros Limongi (Orientador)  
Universidade Federal de Pernambuco

---

Prof. Dr. Manuel de Jesus Flores Montes (Examinador Interno)  
Universidade Federal de Pernambuco

---

Prof. Dr. Humberto Lázaro Varona González (Examinador Externo)  
Universidade Federal de Pernambuco

Dedico esta dissertação ao meu avô Tito de Almeida Seixas, por tudo o que me deu e por me ensinar a ser uma pessoa melhor.

Descanse em paz, sempre o levo em meu coração.

## **AGRADECIMENTOS**

Não tenho palavras para expressar todo meu agradecimento a minha orientadora e professora Dra. Carmen Medeiros Limongi. Ela foi e é uma orientadora absoluta, sendo incondicionalmente: comprometida, atenciosa, presente, humilde e rigorosa. Que fique registrada minha gratidão a ela.

Agradeço ao Programa de Pós-graduação em Oceanografia (PPGO) e ao Departamento de Oceanografia da Universidade Federal de Pernambuco (DOCEAN/UFPE), pelas excelentes disciplinas ministradas pelos grandiosos professores. Obrigado pelo apoio.

Agradeço ao Laboratório de Oceanografia Física Estuarina e Costeira da Universidade Federal de Pernambuco, (LOFEC-UFPE), pela infraestrutura e treinamento dos procedimentos laboratoriais, mais especificamente a Dra. Carmen Medeiros Limongi.

Agradeço ao professor de graduação Fernando Feitosa, pela melhor aula de campo do programa e pelos conselhos ao lhe dar com pescadores.

Agradeço ao amigo de todas as horas, Isaac Cristiano de Freitas. Obrigado pelas coletas, pelos ensinamentos e por compartilhar as mais divertidas histórias, junto com minha orientadora, nos momentos difíceis de campo.

Obrigado, também ao Josimar Vicente de Araújo (Jó), por todo o apoio e suporte.

Agradeço, em especial, a minha esposa Liliana do Carmo Nascimento, que chamo carinhosamente de Lili, pelo apoio emocional e psicológico a toda hora e há 10 anos. Obrigado pela ajuda do início ao fim, por partilhar dos mesmos sonhos e decepções, por estar sempre ao meu lado, por ser a pessoa mais importante da minha vida e pelo amor incondicional.

Agradeço as nossas filhas Clarice e Maria Lis. Tudo por elas, sempre. Meu combustível, minha vida e minha razão. Papai ama muito vocês.

Agradeço ao Amigo de todas as horas Anderson Rodrigues (Cabeça), pelo compartilhamento do conhecimento e conselhos nos momentos de dificuldade.

Agradeço a todos os Amigos e colegas de trabalho (Babalu, Dora e Libélula) pelo compartilhamento de ideias e conhecimento e por ajudar no meu

enriquecimento profissional.

Agradeço ao amigo e primo Carlos Geraldo (Chorão) por todos os conhecimentos e pesquisas feitas em paralelo e, obviamente, por sua amizade e companhia.

Agradeço a toda minha família (avós, pais, irmã, tios, tias, primos, primas dentre outras) por terem me apoiado e me incentivado a sempre buscar mais conhecimento e não desistir dos meus objetivos. Em especial aos meus Tio Tito Jr. e Sérgio Seixas.

Agradeço a minha mãe Susy Mary, ao meu padrasto (a quem trato como 'Meu Pai') Wladimir Nascimento e a minha irmã Ana Júlia pela companhia e apoio nessa caminhada. Amo a todos.

Agradeço aos meus avós, Tito Seixas e Maria Luiza Seixas (pais de criação) sem os quais o início de toda essa caminhada seria impossível e inviável, Amo-os.

Por fim, o agradecimento mais importante, a Deus, por absolutamente tudo.

## RESUMO

A recuperação dos sistemas estuarinos inicia-se pela revitalização de seus bancos de ostras já que estes contribuem grandemente para a melhoria da qualidade de suas águas. O presente estudo visou investigar a interação de diferentes arquiteturas/densidades das raízes escora da vegetação de mangue vermelho com as forçantes hidrodinâmicas locais e mapear as áreas que apresentam condições favoráveis de temperatura, salinidade, hidrodinâmica e arquitetura das raízes do mangue vermelho ao longo do rio Ipojuca para o estabelecimento e desenvolvimento dos bancos de ostras-de-mangue e assim subsidiar a montagem de protocolos voltados para a revitalização deste ambiente. Os trabalhos foram desenvolvidos ao longo do rio Ipojuca, de modo a representar os períodos de estiagem (Jan/2019) e chuvoso (Abr-Out/2019) e diferentes estágios de ciclos de marés. Incluiu o mapeamento da distribuição dos bancos de ostras, a caracterização da arquitetura das raízes escoras dos mangues a eles associados; a coleta e biometria de ostras e a caracterização do regime termohalino e de correntes dentro do sistema de raízes e na área adjacente. Incluíram igualmente o cálculo de vários índices de monitoramento e qualidade das ostras. Os principais bancos de ostras ao longo do rio Ipojuca ocorrem entre 1,3 e 2,3 km para montante de sua foz. As raízes dos bosques de mangue no Ipojuca podem apresentar-se bem desenvolvidas com poucas ramificações ou com menores diâmetros e um maior número de ramificações. O número de ostras vivas e mortas nas raízes de mangue variaram, respectivamente entre 49 e 1133 indiv.m<sup>-2</sup> de superfície de raiz e entre 3 e 148 indiv.m<sup>-2</sup>. O número de sementes fixadas nas raízes foi reduzido (0-6 indiv.m<sup>-2</sup>) no período de estiagem e de 3 a 15 indiv.m<sup>-2</sup> no período chuvoso e de desova. As ostras no Ipojuca apresentaram alturas médias de 3,55 a 4,54 cm; comprimento médio de 2,6 a 3,2 cm; peso de 12,5 a 18,7 g, com peso úmido de carne de 0,5 a 1,1g. Os índices de qualidade indicaram ocorrência de ostras com um bom preenchimento de suas cavidades intervalvar em algumas áreas e em outras ostras com probabilidade de estarem contaminadas por Tributilestanho (TBT). Comparação de registros da velocidade e direção das correntes, salinidade e temperatura obtidos dentro e fora dos sistemas de raízes de *Rhizophora mangle* indicaram que o sistema de raízes da vegetação de mangue atua criando um microcosmo onde os valores das correntes e da salinidade podem ser distintos daqueles das águas de seu entorno. Essas condições podem resultar em um ambiente favorável a fixação e

desenvolvimento dos bancos de ostras, mas também resultar na ampliação das oscilações de alta frequência, dificultando a fixação das sementes. A densidade das raízes parece ser mais favorável no estabelecimento do banco de ostras do que o número de ramificações. As áreas situadas ao fundo do trecho mais largo do Ipojuca e ao longo de sua margem direita, pouco a montante da confluência com o rio Merepe são as que reúnem melhores características para a implantação de esforços para revitalização dos bancos de ostra ali presentes.

**Palavras-chave:** Hidrodinâmica estuarina. Mangue vermelho. Ostra-de-mangue.

## ABSTRACT

The recovery of estuarine systems begins with the revitalization of their oyster banks as they contribute to the improvement of their water quality. The present study aimed to investigate the interaction of different architectures/densities of the red mangrove root systems with the local hydrodynamic forcing and to identify and map the areas that present favorable conditions of temperature, salinity, hydrodynamics and architecture of the red mangrove roots for the establishment and development of the mangrove oyster banks along the Ipojuca River and thus, subsidize the creation of protocols aiming revitalizing those environments. The works were developed along the Ipojuca River, in a way to represent the periods of drought (Jan/2019) and rainy (Apr-Oct/2019) and different stages of the tidal cycles. It included mapping of the distribution of oyster banks, a characterization of the mangrove roots architecture associated to them, sampling of oysters for biometric purpose and a characterization of the thermohaline and currents regimes within the root system and in the area adjacent to them. The major oyster banks along the Ipojuca River occur between 1.3 and 2.3 km upstream. The roots of the mangrove forests along the Ipojuca River can be well developed with few branches or present smaller diameters and a larger number of branches. The number of alive and dead oysters in the roots varied, respectively, between 49 and 1133 indiv.m<sup>-2</sup> of root surface and between 3 and 148 indiv.m<sup>-2</sup>. The number of seeds fixed to the roots was reduced (0-6 indiv.m<sup>-2</sup>) in the dry season and 3 to 15 indiv.m<sup>-2</sup> in the rainy and spawning periods. Oysters in the Ipojuca River presented average heights of 3.55 to 4.54 cm; average length of 2.6 to 3.2 cm; average weight varying from 12.5 to 18.7 g, and average moist meat weight varying from 0.5 to 1.1 g. The calculated quality indexes indicated the occurrence of oysters with a good filling rate of their intervalvar cavities, in some areas, and in others, oysters likely to be contaminated with Tributyltin (TBT). Comparison of records of current speed and direction, salinity and temperature obtained inside and outside *Rhizophora mangle* root systems indicated that the root system of mangrove vegetation acts by creating a microcosm where the values of currents and salinity can be different from those of the waters around it. These conditions can result in a favorable environment for the establishment and development of oyster banks, but also result in the expansion of high frequency oscillations, making it difficult to fix the seeds. The root density seems to be more favorable in the establishment of the oyster bank than the number of branches. The areas located at the bottom of the

widest stretch of the Ipojuca River and along its right bank, just upstream of the confluence with the Merepe River are the ones that have the best characteristics for the implementation of efforts to revitalize the oyster banks there present.

**Keywords:** Estuarine hydrodynamics. Red mangrove.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Morfologia (A) externa e (B) interna da ostra-de-mangue <i>Crassostrea rhizophorae</i> . .....	40
Figura 2 - Ciclo de vida da ostra-de-mangue <i>Crassostrea rhizophorae</i> . .....	43
Figura 3 - Vista geral da área de estudo. Manguezais no baixo estuário do rio Ipojuca. ....	48
Figura 4 - Localização das áreas amostrais A1, A2, A3 e A4. ....	51
Figura 5 - Marcação e medição das raízes das áreas amostrais A1, A2, A3 e A4. ....	52
Figura 6 - Esquema de medição das raízes escoras do mangue vermelho. ....	52
Figura 7 - Esquema de medição das raízes escoras do mangue vermelho. R0 sem ramificação; R0 raiz principal; R1, R2, R3 ramificações primária, secundária, terciária, etc. A, B, C distintas ramificações de um mesmo nível. ....	54
Figura 8 - Esquema de medição biométrica das ostras. ....	56
Figura 9 - Imagens da medição de correntes e da obtenção de registros de temperatura e salinidade. (A) correntometro adjacente ao banco de ostra fora do sistema de raízes e (B) S4 entre as raízes de mangue. ....	59
Figura 10 - Distribuição dos bancos de ostras-de-mangue ao longo do alto (AE), médio (ME) e baixo (BE) estuário do rio Ipojuca. ....	62
Figura 11 - Número e nível de ramificações das raízes monitoradas nas áreas A1 a A4. ....	64
Figura 12 - Peso (g), volume (ml), altura (mm), comprimento (mm), largura (mm) e peso de carne (g) médios nas áreas A1 a A4 durante as amostragens em Jan/2019 (período de estiagem) e em Out/2019 (período chuvoso). ....	68
Figura 13 - Correlação de altura (mm) x peso (g) nas áreas A1 a A4 em Jan2019 e Out2019. ....	73
Figura 14 - Índices de Condição STI1 (1-10), CDR, RVD, LVD e AFNOR (0 - $\infty$ ) das ostras nas áreas A1 a A4 em Jan2019 e Out2019. ....	74

<b>Figura 15 - Velocidade e direção das correntes, de suas componentes U (+Este) e V (+Norte), da temperatura e da salinidade em pontos externo e internos das raízes de mangue nos bancos de ostra da área A1, durante o estágio de enchente (EN). .....</b>	<b>76</b>
<b>Figura 16 - Velocidade e direção das correntes, de suas componentes U (+Este) e V (+Norte), da temperatura e da salinidade em pontos externo e internos das raízes de mangue nos bancos de ostra da área A1, durante o estágio de preamar (PM).....</b>	<b>76</b>
<b>Figura 17 - Velocidade e direção das correntes, de suas componentes U (+Este) e V (+Norte), da temperatura e da salinidade em pontos externo e internos das raízes de mangue nos bancos de ostra da área A1, durante o estágio de vazante (VZ). .....</b>	<b>77</b>
<b>Figura 18 - Velocidade e direção das correntes, de suas componentes U (+Este) e V (+Norte), da temperatura e da salinidade em pontos externo e internos das raízes de mangue nos bancos de ostra da área A2, durante o estágio de enchente (EN). .....</b>	<b>78</b>
<b>Figura 19 - Velocidade e direção das correntes, de suas componentes U (+Este) e V (+Norte), da temperatura e da salinidade em pontos externo e internos das raízes de mangue nos bancos de ostra da área A2, durante o estágio de preamar (PM).....</b>	<b>79</b>
<b>Figura 20 - Velocidade e direção das correntes, de suas componentes U (+Este) e V (+Norte), da temperatura e da salinidade em pontos externo e internos das raízes de mangue nos bancos de ostra da área A2, durante o estágio de vazante (VZ). .....</b>	<b>80</b>
<b>Figura 21 - Velocidade e direção das correntes, de suas componentes U (+Este) e V (+Norte), da temperatura e da salinidade em pontos externo e internos das raízes de mangue nos bancos de ostra da área A3, durante o estágio de preamar (PM).....</b>	<b>81</b>
<b>Figura 22 - Velocidade e direção das correntes, de suas componentes U (+Este) e V (+Norte), da temperatura e da salinidade em pontos externo e internos das raízes de mangue nos bancos de ostra</b>	

da área A3, durante o estágio de enchente (EN). .....	82
<b>Figura 23 - Velocidade e direção das correntes, de suas componentes U (+Este) e V (+Norte), da temperatura e da salinidade em pontos externo e internos das raízes de mangue nos bancos de ostra da área A3, durante o estágio de vazante (VZ). .....</b>	<b>83</b>
<b>Figura 24 - Velocidade e direção das correntes, de suas componentes U (+Este) e V (+Norte), da temperatura e da salinidade em pontos externo e internos das raízes de mangue nos bancos de ostra da área A4, durante o estágio de enchente (EN). .....</b>	<b>84</b>
<b>Figura 25 - Velocidade e direção das correntes, de suas componentes U (+Este) e V (+Norte), da temperatura e da salinidade em pontos externo e internos das raízes de mangue nos bancos de ostra da área A4, durante o estágio de preamar (PM).....</b>	<b>86</b>
<b>Figura 26 - Velocidade e direção das correntes, de suas componentes U (+Este) e V (+Norte), da temperatura e da salinidade em pontos externo e internos das raízes de mangue nos bancos de ostra da área A4, durante o estágio de vazante (VZ). .....</b>	<b>86</b>

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Coordenadas UTM (25L) do centro das áreas experimentais.....	50
Tabela 2 - Densidade de raízes da <i>R. mangle</i> , complexidade de suas ramificações e densidade da ostra-de-mangue nas raízes, em 37 pontos do alto, médio e baixo estuário do rio Ipojuca.....	61
Tabela 3 - Superfície de raiz disponível para fixação de ostras – SRD (cm <sup>2</sup> ); diâmetro médio da raiz – dm; número de raízes sem ramificações (SR) e o número de ramificações de primeira (R1a), segunda (R2a), terceira (R3a), quarta (R4a) e quinta (R5a) ordens das raízes da <i>R. mangle</i> , monitoradas nas áreas amostrais A1 a A4. ....	63
Tabela 4 - Superfície de raiz disponível média (SDR) para a fixação de ostras e sementes e número médio de indivíduos vivos, mortos e de sementes por m <sup>2</sup> de SDR.....	66
Tabela 5 - Valores mínimos, máximos e médios ± DP da altura (mm), comprimento (mm) e largura (mm) das ostras-de-mangue no estuário do rio Ipojuca. ....	67
Tabela 6 - Valores mínimos, máximos e médios±DP do peso (g), volume (ml) e peso de carne (mg) das ostras-de-mangue no estuário do rio Ipojuca. ....	67
Tabela 7 - Valores dos índices STI1, CDR, RVD, LVD e AFNOR das ostras do estuário do rio Ipojuca (áreas A1 a A4) em Janeiro e Outubro de 2019. ....	74

## LISTA DE ABREVIATURAS E ACRÔNIMOS

Abr	Abril
AE	Alto estuário
AFNOR	Association Française de Normalisation
BE	Baixo estuário
BM	Baixa-mar
CDR	Índice de taxa volume da cavidade/largura da ostra
CIPS	Complexo Industrial Portuário de Suape
CONDEP/FIDEM	Agência Estadual de Planejamento e Pesquisas de Pernambuco
DHN	Diretoria de Hidrografia e Navegação
DOCEAN	Departamento de Oceanografia
DP	Desvio Padrão
EN	Enchente
Fig.	Figura
GPS	Global Positioning System
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IDS	Indicadores de Desenvolvimento Sustentável
IQA	Índice de Qualidade da Água
Jan	Janeiro
Jul	Julho
LOFEC	Laboratório de Oceanografia Física Estuarina e Costeira
LVD	Densidade da valva esquerda
ME	Médio estuário
NF	Norma Francesa
Out	Outubro
PM	Preamar
PPGO	Programa de Pós-graduação em Oceanografia
PR	Paraná
PSU	Unidade Prática de Salinidade
RVD	Densidade da valva direita

SR	Sem ramificação
SRD	Superfície de raiz disponível para fixação de ostras
STI1	Índice de espessura da concha - Shell Thickness Index
SUDENE	Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste
SP	São Paulo
TermoPE	Termo Elétrica Pernambuco
TBT	Tributilestanho
UFPE	Universidade Federal de Pernambuco
UTM	Universal Transversa de Mercator
VZ	Vazante
ZR	Zona Ribeirinha

## LISTA DE SÍMBOLOS

km	Quilômetro
indv.m <sup>-2</sup>	Indivíduos por metro quadrado
g	Gramas
ml	Mililitro
mm	Milímetro
U	Componente da velocidade eixo Leste-Oeste
V	Componente da velocidade eixo Norte-Sul
CaCO <sub>3</sub>	Carbonato de Cálcio
m	Metro
°C	Graus Celsius
pH	Potencial Hidrogeniônico
L	Litro
µm	Micrômetro
R	Raiz
dm	Diâmetro médio
d	Diâmetro
p	Perímetro
s	Segundo
π	3,141592
Σ	Somatório
c	Comprimento do segmento de raiz
A	Altura da concha/valva da ostra
C	Comprimento da concha/valva da ostra
L	Largura da concha/valva da ostra
<i>avd</i>	Altura da valva direita
<i>lvd</i>	Altura da valva esquerda
<i>lmo</i>	Largura máxima da ostra
<i>vo</i>	Volume total da ostra
<i>vv</i>	Volume das valvas da ostra
<i>pvd</i>	Peso da valva direita da ostra

<i>vvd</i>	Volume da valva direita da ostra
<i>pve</i>	Peso da valva esquerda da ostra
<i>vve</i>	Volume da valva esquerda da ostra
PMS	Nível da Preamar de Sizígia
r	Coefficiente de correlação linear
E	Este
N	Norte

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>21</b>
<b>2 JUSTIFICATIVA</b> .....	<b>24</b>
<b>3 OBJETIVOS</b> .....	<b>25</b>
<b>4 HIPÓTESES DE TRABALHO</b> .....	<b>26</b>
<b>5 REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	<b>27</b>
5.1 ESTUÁRIOS, CONCEITO E GÊNESE .....	27
5.2 CIRCULAÇÃO ESTUARINA .....	30
5.3 AS MARÉS E O REGIME SALINO E DE CORRENTES NOS ESTUÁRIOS .....	32
5.4 O SISTEMA MANGUEZAL.....	34
5.5 A OSTRAS-DE-MANGUE, CRASSOSTREA RHIZOPHORAE .....	39
5.5.1 <b>Classificação biológica/Taxonomia e Morfologia</b> .....	40
5.5.2 <b>Distribuição geográfica</b> .....	41
5.5.3 <b>Reprodução e Ciclo de Vida</b> .....	42
5.5.4 <b>Importância ecológica das ostras</b> .....	45
<b>6 MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	<b>47</b>
6.1 ÁREA DE ESTUDO.....	47
6.2 MAPA DE DISTRIBUIÇÃO DOS BANCOS DE OSTRAS NO MANGUEZAL .....	49
6.3 ESTAÇÕES AMOSTRAIS.....	50
6.4 ARQUITETURA DAS RAÍZES ESCORAS DOS MANGUES .....	51
6.5 OCORRÊNCIA E CONDIÇÃO DAS OSTRAS-DE-MANGUE .....	54
6.6 ÍNDICES DE MONITORAÇÃO.....	56
6.7 REGIMES TÉRMICO E SALINO E INTERAÇÃO HIDRODINÂMICA.....	58
<b>7 RESULTADOS</b> .....	<b>60</b>
7.1 MAPA DE DISTRIBUIÇÃO DOS BANCOS DE OSTRAS.....	60
7.2 ARQUITETURA DAS RAÍZES ESCORAS DOS MANGUES .....	62
7.3 OCORRÊNCIA E CONDIÇÃO DAS OSTRAS-DE-MANGUE .....	65
7.4 REGIMES TÉRMICO, SALINO E INTERAÇÃO HIDRODINÂMICA .....	75
7.5 ÁREAS MAIS PROPÍCIAS PARA ESFORÇOS DE REVITALIZAÇÃO DOS BANCOS DE OSTRAS .....	88
<b>8 DISCUSSÃO</b> .....	<b>90</b>

<b>9 CONCLUSÕES .....</b>	<b>102</b>
<b>10 CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>104</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>105</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Ambientes estuarinos são reentrâncias costeiras com uma conexão restrita com o oceano que permanece aberta, pelo menos de forma intermitente, sendo influenciados pelos aportes de água doce via descargas fluviais e/ou drenagem continental e pela intrusão das águas marinhas através das ondas e marés (CIRM, 1981; KJERFVE, 1989).

Os estuários são ambientes aquáticos costeiros de grande importância ecológica por servirem como sítio de reprodução e crescimento e como fonte de alimento e habitat para uma grande variedade de organismos que têm papel importante na cadeia alimentar das águas interiores, estuarinas e oceânicas (CIRM, 1981). São áreas que geralmente apresentam uma boa diversidade e muito produtivas devido à sua capacidade de gerarem e reterem matéria orgânica e nutrientes (MANN, 1982). Por serem propícias ao desenvolvimento de atividades econômicas variadas (navegação, indústria e comércio, urbanização, lazer, pesca e aquicultura, etc.) as áreas estuarinas são palcos de intensa ocupação e veem sofrendo através dos tempos, desmatamentos, modificações de suas características geométricas e dos aportes de água doce e marinha que repercutem fortemente no regime salino local, nos processos de circulação e mistura de suas águas, nas trocas de materiais com as áreas costeiras (MIRANDA, et al., 2002) bem como na qualidade de suas águas pelo efeito acumulado dos descartes de efluentes domésticos e industriais ao longo de sua bacia de drenagem. Tudo isso compromete grandemente a prestação de serviços e função ecológica dos estuários.

Em estuários tropicais, predomina a vegetação de mangue, com uma variedade de nichos ecológicos, abrigando uma fauna diversificada e sendo considerada no Brasil, área de preservação permanente (CÓDIGO FLORESTAL - Lei Nº 12.651/12, 2012). Dentre as espécies de mangue, que ocorrem nos estuários do Nordeste do Brasil, destaca-se o mangue vermelho (*Rhizophora mangle*) que ocorre em amplo gradiente de inundação. Esta espécie apresenta um intrincado sistema de raízes escoras que dá sustentação à planta, mesmo em condições hidrodinâmicas mais severas, contribuindo também para a proteção da costa contra ação erosiva das ondas. As raízes do mangue funcionam como filtros na retenção

dos sedimentos e nutrientes, incrementando a produtividade local ao mesmo tempo, servindo de refúgio e substrato para diversas espécies dentre as quais a ostra-de-mangue (*Crassostrea rhizophorae*).

Por serem organismos sésseis e bioacumuladores, as ostras podem ser utilizadas como indicadores de contaminação. Ainda, os bancos de ostras sequestram carbono na forma de Carbonato de Cálcio ( $\text{CaCO}_3$ ) incorporando-o a matriz de suas conchas (HARGIS e HAVEN 1999), contribuindo para o balanço global de Carbono. Igualmente, proveem refugio e alimento para invertebrados e vertebrados de diferentes níveis tróficos, contribuindo para o incremento da produtividade estuarina e a sobrevivência de muitas espécies de valor ecológico e comercial (MARTINEZ e RUSH, 2014; NRC, 2010, GRABOWSKIE e PETERSEN, 2007;). As assembleias desses bivalves filtradores contribuem também para a melhoria da qualidade das águas estuarinas reduzindo sua turbidez e eutrofização (JACKSON et al., 2001); reduzindo a biomassa microbiana (inclusive de coliformes fecais); estimulando a desnitrificação do sedimento (NEWELL et al. 2002) e favorecendo o desenvolvimento do microfítobentos. Por essas razões, a revitalização dos sistemas estuarinos, passa necessariamente pela revitalização dos bancos de ostras aí presentes e esta, pelo conhecimento do regime salino e da hidrodinâmica local, que condicionam a dispersão e fixação de suas larvas (sementes) bem como a disponibilidade de alimento para seu desenvolvimento.

Os estuários podem ser subdivididos em 3 zonas: uma zona fluvial, caracterizada por ausência de salinidade na água, mas submetida à subida e descida da maré; uma zona de mistura, caracterizada pela mistura de água doce e salgada e apresentando gradientes químicos, físicos e bióticos; e, uma zona de turbidez máxima oceânica, à jusante da desembocadura, entendendo tão longe quanto for observada a pluma de maré vazante no momento de descarga máxima. O limite superior da zona fluvial correspondendo ao limite de penetração da maré dinâmica e a interface entre as zonas fluvial e de mistura correspondendo ao limite de propagação da maré salina, os manguezais sendo encontrados na zona de mistura (MIRANDA, et al., 2002; KJERFVE, 1989).

O regime salino em um estuário é condicionado pelos aportes de água doce e pela penetração de águas marinhas. A descarga de água doce que chega ao

sistema sendo função das condições climáticas, da morfologia da bacia de drenagem, das características do solo, da cobertura vegetal, da evapotranspiração na região de captação, e da ocupação antropogênica. Depende também de interferências nesta drenagem pela captação de água através de barragens, canais ou a fio d'água. Já a penetração da maré em um estuário depende inicialmente de suas características à desembocadura. Ao se propagar estuário acima, a onda da maré é geralmente amortecida e progressivamente distorcida pelas forças do atrito das margens e de fundo e pela vazão fluvial (GODIN, 1999).

O rio Ipojuca figura dentre os rios Pernambucanos que sofreu maiores alterações na configuração de sua calha e desembocadura (LINS e MEDEIROS, 2018). Com o aterro para a construção do Porto de Suape, seu curso foi alterado e sua foz deslocada e estrangulada. O rio Ipojuca sofreu também alterações em seu regime fluvial pela captação a fio d'água ao longo de seu curso, havendo também um projeto de construção de uma barragem na área do Engenho Maranhão. A qualidade de suas águas encontra-se hoje bastante comprometida sendo o rio Ipojuca considerado um dos 3 rios mais poluídos do país, urgindo assim por ações para sua proteção e revitalização (IBGE, 2015).

É neste panorama que o presente projeto busca contribuir com informações sobre o regime salino e térmico, condições hidrodinâmica em diferentes pontos do estuário do rio Ipojuca, associado à configuração dos seus bosques de mangue vermelho (*Rhizophora mangle*) de forma a subsidiar ações voltadas para a recuperação dos bancos da ostra-de-mangue (*Crassostrea rhizophorae*) neste estuário e assim contribuir para a recuperação da capacidade produtividade suas águas.

## 2 JUSTIFICATIVA

O reconhecimento da importância dos sistemas naturais e de sua acelerada degradação tem impulsionado mais e mais ações voltadas para sua recuperação. De acordo com o levantamento “Indicadores de Desenvolvimento Sustentável”, do IBGE, os rios brasileiros estão aumentando o seu nível de poluição.

Os estuários, embora reconhecidamente constituam ambientes que devam ser poupados da degradação ambiental (SEWELL, 1978), acham-se grandemente comprometidos pelas alterações decorrentes da atividade humana direta ou remota (MIRANDA et al., 2002). Este é também o caso do estuário do rio Ipojuca no estado de Pernambuco cujo Índice de Qualidade da Água (IQA) calculado pelo IBGE foi o terceiro pior dos rios mais poluídos do país (IBGE, 2015).

A recuperação dos sistemas estuarinos passa obrigatoriamente pela revitalização dos bancos de ostras nos mesmos (NRC, 2010; HARDING e MANN, 2001) uma vez que eles contribuem para a melhoria da qualidade da água dos sistemas estuarinos (DAME, 2011). Como filtradores as ostras removem microalgas, material orgânica em suspensão e possivelmente dissolvida da coluna d'água retendo-os em suas brânquias para se alimentarem (PETERSON et al., 2003) melhorando sua qualidade e favorecendo a recuperação de vários outros organismos aquáticos, sobretudo dos crustáceos e peixes.

Identificar e mapear as áreas que apresentam condições favoráveis de temperatura, salinidade, hidrodinâmica e arquitetura das raízes do mangue vermelho ao longo do rio Ipojuca para o estabelecimento e desenvolvimento dos bancos de ostras-de-mangue seria de grande valia na montagem de um protocolo de revitalização deste ambiente.

### 3 OBJETIVOS

O objetivo geral do presente projeto é investigar a interação das diferentes arquiteturas dos sistemas de raízes escora da vegetação de mangue vermelho (*R. mangle*) com as forçantes hidrodinâmicas locais e o desenvolvimento dos bancos de ostras-de-mangue (*C. rhizophorae*), mapeando as áreas ao longo do rio Ipojuca que apresentam-se mais propícias para esforços de restauração dos mesmos em função das condições das ostras e das condições hidrológicas e hidrodinâmicas reinantes. Mais especificamente, o projeto visa:

- a) Mapear os principais bancos de ostra-de-mangue naturais que ocorrem no estuário de rio Ipojuca, correlacionando seu estado e nível de desenvolvimento com as arquiteturas das raízes escoras do mangue vermelho (*R. mangle*) aí presente;
- b) Comparar o regime de correntes, de temperatura e da salinidade no entorno e no interior do sistema de raízes de *R. mangle* na área dos bancos principais de ostras-de-mangue, em função do ciclo das marés;
- c) Avaliar a ocorrência de sementes e de adultos vivos e mortos de ostras-de-mangue e a condição das ostras através de suas características biométricas e da aplicação de índices de monitoramento e qualidade;
- d) Identificar as áreas ao longo do baixo estuário do rio Ipojuca que se mostram mais favoráveis para a implantação de ações de revitalização dos bancos de ostras do ponto de vista dos regimes térmico, salino e da hidrodinâmica estuarina.

#### 4 HIPÓTESES DE TRABALHO

A seguir serão apresentadas as hipóteses

- a) A interação do fluxo estuarino com o intrincado sistema de raízes escora do mangue vermelho causa mistura turbulenta, podendo alterar as condições hidrológicas e hidrodinâmicas locais e assim favorecer ou não o sucesso da fertilização externa das ostras-de-mangue, o transporte e retenção de suas larvas e assim o desenvolvimento dos adultos.
- b) É provável que algumas das diferentes arquiteturas dos sistemas radiculares do mangue vermelho sejam mais favoráveis à formação e desenvolvimento dos bancos de ostra-de-mangue no rio Ipojuca.
- c) A fertilização, dispersão e fixação das larvas de ostras e o desenvolvimento de sua fase adulta é fortemente condicionada pelos regimes térmico e salino e pela hidrodinâmica estuarina.

## 5 REFERENCIAL TEÓRICO

Neste capítulo serão apresentados e discutidos os conceitos e características dos principais tipos de estuários, seus modos de circulação, as marés e sua dinâmica no ambiente estuarino; compiladas informações sobre o ecossistema manguezal, sua composição arbórea e arquitetura de seus bosques, bem como sobre a ostra-de-mangue, seu ciclo de vida e as implicações dos regimes térmico, salino, da concentração de sólidos em suspensão e do padrão de correntes para sua distribuição nos estuários.

### 5.1 ESTUÁRIOS, CONCEITO E GÊNESE

Geologicamente, os estuários são considerados feições “jovens” formadas durante a época atual, o Holoceno e localizadas em áreas delgadas de regiões costeiras onde havia conexão entre o mar e porções de terras continentais. Ao longo dos séculos essas regiões sofreram processos eustáticos e isostáticos e experimentaram uma elevação do nível do mar de cerca de 130 m nos últimos 35 mil anos. A formação dos estuários atuais, porém, se deu somente entre os últimos sete a dois mil anos, quando o mar atingiu o nível atual, permitindo o surgimento gradativo de regiões costeiras inundadas (MILLIMAN e EMERY, 1968).

O termo estuário deriva do termo latino *aestuarium* que significa uma entrada da maré do mar e que por sua vez é derivado do termo *aestus* que significa maré. Inicialmente os estuários foram definidos como corpos aquáticos costeiros semifechados, conectados com o mar, até o limite da influencia das marés ou da intrusão de águas salinas e que recebiam água doce da descarga continental; entretanto, sua conexão com o mar poderia não ser perene e manter-se fechada parte do ano, bem como a influencia da maré ser por vezes insignificante (CAMERON e PRITCHARD, 1963; PRITCHARD, 1967).

Posteriormente, esse conceito adquiriu um cunho mais funcional e abrangente tendo sido modificado de forma a incluir também outros sistemas e regiões que ou apresentavam características ou funcionavam como estuários. (KJERFVE, 1989, MIRANDA et al., 2002)

Pritchard (1952) levando em consideração os eventos geomorfológicos que ocorreram durante o processo de formação dos estuários, classificou-os em quatro tipos distintos: Planície Costeira; Fiorde; Formados por Barras e por Outros Processos. Destes, apenas os fjords não são encontrados na zona costeira Pernambucana (SILVA et. al, 2005).

Os Estuários do tipo Planície Costeira se formaram durante a transgressão marinha no Holoceno, quando vales de rios foram inundados. O processo de inundação suplantando o de sedimentação, tornando a topografia atual dos estuários semelhantes ao vale do rio. Estes estuários são geralmente rasos, apresentam calha em formato de “V” e raramente apresentam profundidades superiores a 30 m de profundidade.

Os Fiordes são ambientes localizados em latitudes altas, formados durante o Pleistoceno, nas regiões que estavam cobertas por calotas de gelo, devido à intensa escavação glacial na planície costeira ou próximo à plataforma continental. A pressão dessas calotas nos blocos continentais e os efeitos erosivos durante o descongelamento aprofundaram os vales dos rios primitivos e deixaram um fundo rochoso na entrada, as morenas, que restringe a circulação estuarina. São em geral íngremes, apresentando calha profunda (300-400 m) e em forma de “U”.

Os estuários do tipo Formados por Barra foram também formados em decorrência de inundação de vales primitivos, contudo aqui, o processo de sedimentação recente ocasionou a formação de uma ilha ou uma barra em sua foz. Devido aos processos erosivos, grandes quantidades de sedimentos são retrabalhados pelas ondas e transportados por correntes litorâneas formando canais e lagunas extensas no seu interior. A ação das marés, sendo em geral reduzida em seu interior. O rio ou sistema de rios que nutrem estes estuários apresentam variação na descarga fluvial em função da estação do ano, podendo transportar grande concentração de sedimentos em suspensão, modificando a geometria da barra ou de sua entrada. Em alguns sistemas observam-se a erosão da barra em função do aumento da descarga, até mesmo completamente, restabelecendo-se quando cessa o período de chuvas mais intensas.

Estuários que não são classificados como de Planície Costeira, Fiordes ou Construídos por Barra, são genericamente colocados na categoria Outros

Processos. Dentre os outros processos costeiros formadores de estuários incluem-se as falhas tectônicas, as erupção vulcânica e os tremores e deslizamento de terras e a formação desses estuários se dando pela confluência de água doce e do mar nas reentrâncias e depressões resultante do tectonismo.

Na categoria de estuários formados por Outros Processos Miranda et al., (2002) incluem também os sistemas costeiros cuja morfologia foi modificada significativamente por processos sedimentológicos recentes, como rias e os deltas.

As rias são sistemas típicos de regiões montanhosas de alta latitude, anteriormente ocupadas por glaciares, São de origem tectônica, sendo formadas por elevação de blocos onde se localizavam o vale interior dos rios pelo alívio do peso dos glaciares quando de seu descongelamento (MIRANDA et al., 2002). Apresentam morfologia irregular onde seus tributários drenam regiões adjacentes. Apresentam-se como um vale fluvial no entorno da foz de um rio, em que um vale costeiro permanece submerso sob as águas (GUTIERREZ, 2013). As Rias são também descritas como braços de mar que adentram na costa e que estão submetidos à ação das marés (BIRD, 2010).

Os deltas correspondem à foz de um curso de água em que os aluviões fluviais se acumulam em vez de serem redistribuídos pelas vagas e correntes litorais. Os deltas actuais são holocénicos, mas sobrepõem-se muitas vezes a deltas mais antigos em locais subsidentes, o que explica a existência de espessuras de mais de 10.000 m de sedimentos deltaicos, por exemplo, no delta do Níger (PASKOFF, 1985). Ainda de acordo com o mesmo autor, os deltas caracterizam-se por um avanço da terra em relação ao mar em uma situação em que acções fluviais, de origem continental, dominam sobre as acções marinhas. Um traço típico dos deltas é a divisão do rio em vários braços, embora essa não seja uma condição absolutamente necessária. Em função do balanço entre o volume de material transportado, da descarga de água doce e do trabalho das ondas e correntes de maré esses depósitos podem também se acumular no interior da foz ou de forma aderente às margens.

## 5.2 CIRCULAÇÃO ESTUARINA

A circulação das águas nos estuários é conduzida por variações do nível do mar, pela descarga de água doce, pelo gradiente de pressão devido à influência termohalina da salinidade sobre a densidade, pela circulação da plataforma continental e pelo vento agindo diretamente sobre a superfície livre. Essas forçantes são funções do espaço e do tempo e atuam concomitantemente sobre o corpo de água estuarino (MIRANDA et al., 2002).

A entrada de água doce é um elemento essencial aos estuários e a forçante que mais afeta a estrutura e a função dos ambientes transicionais da costa (ALBER, 2002; SKLAR e BROWDER, 1998). Esses autores relatam que a entrada de água doce tem influência em todos os níveis básicos de interação de baías e de estuários, com consequências físicas, químicas e biológicas. Efeitos positivos são agregados à geração dos padrões de circulação estuarina, na formação do gradiente de salinidade, no transporte de sedimentos, no fornecimento de nutrientes e na produção de peixes importantes. Já os efeitos negativos, em sua maioria, estão ligados ao transporte de componentes tóxicos, poluentes e organismos patogênicos vindos das bacias hidrográficas adjacentes (POWELL et al., 2002).

Segundo Kjerfve (1990) existem três tipos principais de circulação estuarina. São elas: a circulação induzida pelos ventos; a circulação induzida pelas marés e a circulação gravitacional.

A circulação induzida pelos ventos em estuários pode ter ou não uma grande importância. Em sistemas estreitos e longos, predominantemente ditado pela maré, o vento tende a ter pouca influência na determinação das correntes, as quais tenderiam a responder mais de perto ao regime de maré (LINS, 2002). Já se o sistema for largo ou formado em uma série de baías, a ação dos ventos na superfície pode gerar correntes de considerável importância e promover mistura. Normalmente, a mistura induzida pelo vento, é menos importante que aquela ditada pela maré. No entanto, o vento é responsável pela geração de ondas de superfície e de ondas internas, as quais podem ter efeito significativo nos processos de mistura.

A circulação induzida pelas marés é resultante das diferenças entre os fluxos

durante os períodos de enchente e vazante, causados principalmente por uma interação não linear entre a geomorfologia estuarina e as correntes de maré. Esse tipo de circulação ocorre em estuários rasos, e com uma grande variação de maré.

Geralmente a causa mais importante de mistura em estuários é a força da maré. Relações entre as correntes de maré e os limites estuarinos geram turbulência e promovem mistura em grande escala. Estas promovem mistura, principalmente por: fricção entre o fluxo de maré e o fundo do estuário; e interação de ondas de maré com a batimetria estuarina.

A circulação gravitacional decorre da diferença de densidade entre camadas de água com salinidades distintas, que por sua vez, resultam das diferenças em temperatura, profundidade, concentração de partículas em suspensão e dissolvidas e grau de mistura entre a água salgada de fundo com massas de água doce superficiais. Assim, os fatores determinantes deste tipo de circulação são a quantidade de água doce que entra, induzindo a estratificação, e a força das marés que agem para misturar a coluna d'água, inibindo a estratificação (DYER, 1977). Vale ressaltar que em estuários rasos e localizados em regiões tropicais do Nordeste brasileiro, como o Ipojuca, a temperatura varia pouco, a salinidade governa a densidade (MEDEIROS e KJERFVE, 1993).

A circulação gravitacional é geralmente, um processo longitudinal-vertical e a circulação pelas marés um processo longitudinal-lateral. Já a circulação induzida pelos ventos é mais variável, visto que sua direção e intensidade variam frequentemente (MEDEIROS e KJERFVE, 1993). A circulação longitudinal é ditada por desníveis da superfície das águas (marés), e por gradientes longitudinais de densidade, ditados, principalmente, pela salinidade (OFFICER, 1977, MEDEIROS, 1991; MEDEIROS e KJERFVE, 1993). Na maioria dos estuários, a força promovida pelo desnível na superfície das águas, domina a porção superior da coluna d'água produzindo um fluxo líquido de circulação rio acima. As forças do gradiente de densidade, por sua vez, dominam a porção inferior da coluna d'água, e produzem um fluxo líquido no sentido oposto. A circulação vertical e transversal ocorre principalmente devido a uma seção de um estuário não ser retangular, e ainda pelo fato da mesma seção transversal não ser uniforme ao longo do eixo do estuário. A geometria estuarina e a batimetria também são fatores importantes na circulação. Porém o que os difere das três principais é fato de serem passivos, alterando o

padrão de circulação apenas quando realmente existem correntes.

Os estuários são ambientes aquáticos costeiros cujo regime salino é influenciado pelos aportes de água doce via descargas fluviais e/ou drenagem continental e pela intrusão das águas marinhas através das ondas e marés. A distribuição da salinidade estuarina pode ser usada para indicar o grau de mistura, já que a salinidade não é afetada por processos biogeoquímicos, é um constituinte conservativo e afetada por processos de mistura (dispersão e advecção), em menor grau por outros processos, como, evaporação ou chuvas locais o sal estuarino é derivado, em sua grande maioria, de uma única fonte, o oceano.

Pode também ter grande influência na circulação estuarina o efeito de rotação da terra (força de Coriolis) sendo mais evidenciado em estuários largos, já em ambientes estreitos é pouco importante, onde o desvio de fluxo é mais influenciado pela profundidade, curvatura e afunilamento do canal.

Embora, normalmente, um estuário seja dominado por um dos processos descritos anteriormente, isso pode mudar temporariamente, e dois ou mais tipos de circulação podem estar atuando simultaneamente no mesmo estuário, determinando uma situação de difícil compreensão.

### 5.3 AS MARÉS E O REGIME SALINO E DE CORRENTES NOS ESTUÁRIOS

A onda de maré é gerada globalmente nos oceanos devido às forças astronômicas, sendo responsável por intensos processos advectivos e difusivos, variáveis espacialmente e condicionados pela geometria estuarina. As variações do nível do mar podem ocorrer em escala de tempo de segundos, ou seja, ondas geradas pelo vento, por horas, aquelas geradas pela maré astronômicas, por dias, as ondas produzidas por influências meteorológicas, meses: meandros e vórtices das correntes oceânicas, anual: variações sazonais das interações oceano-atmosfera, nível termo-estérico do mar, ondas geradas pela maré astronômica e interanual (alterações climáticas geradas por processos globais do tipo El Niño).

Essas ondas de diferentes formas apresentam influências variadas no comportamento hidrodinâmico dos estuários (MIRANDA et al., 2002). As oscilações diurnas ou semi-diurnas são denominadas de alta frequência. As demais variações

do nível do mar passam a ser referidas como baixa frequência ou submaré (oscilações com frequência inferior à frequência da maré) (MIRANDA et al., 2002).

Ao se propagar ao longo de um estuário, a onda de maré sofre distorções, causadas pela variação da topografia de fundo, descarga fluvial e reflexão da energia nos limites estuarinos. Estas deformidades se manifestam na forma de assimetrias verticais e horizontais da onda. A convergência das margens do estuário faz com que a onda de maré seja comprimida lateralmente, podendo ocasionar o aumento da altura da maré. Por sua vez, em estuário muito raso o atrito causa o decréscimo da altura da maré (DYER, 1997).

De acordo com a importância relativa do atrito e afunilamento do estuário, em três situações podem ocorrer (NICHOLS e BIGGS, 1985): estuários hiper-síncronos; estuários síncronos e estuários hiposíncronos.

Nos estuários denominados de hiper-síncronos, sua forma afunilada e a convergência lateral da energia excedente a perda por atrito e a altura da maré e a velocidade das correntes aumentam em direção à cabeceira do mesmo. Na zona ribeirinha (ZR) a convergência diminui, o efeito do atrito torna-se maior e a altura da maré diminui. Nos estuários denominados síncronos a altura de maré se preserva pois os efeitos do atrito e da convergência estão em balanço, e a altura da maré permanece constante até a ZR. Nos estuários hiposíncronos o efeito do atrito excede o da convergência e, em consequência, a altura da maré diminui ao longo do mesmo.

O fluxo das marés no estuário eleva o nível da água entre 2 e 4 m, dependendo do período do ano. Normalmente as marés da época mais chuvosa atingem as cotas mais altas, devido ao efeito aditivo do refluxo oceânico e da elevada descarga hídricas do rio nesta época do ano. A assimetria da onda de maré pode ocorrer na duração e na velocidade das marés de vazante e enchente. A assimetria de duração é caracterizada por diferentes tempos de enchente e vazante. A assimetria é dita positiva, quando o tempo de enchente é maior que o tempo de vazante, e negativa na situação oposta (BOON e BYRNE, 1981).

#### 5.4 O SISTEMA MANGUEZAL

O ecossistema Manguezal é um ambiente costeiro de transição entre os espaços terrestre e marinho, característico de regiões tropicais e subtropicais. Ele propicia a formação de depósitos sedimentares formados por vasas lamosas, argilosas ou arenosas sendo influenciados pela dinâmica das descargas fluviais e das marés (SCHAEFFER-NOVELLI, 2002). Os manguezais ocorrem em regiões costeiras abrigadas como estuários, baías e lagunas. Sua distribuição é descontínua ao longo do litoral brasileiro, do Amapá a Santa Catarina, podendo apresentar sucessivas feições distintas em função do perfil da linha de costa e das frequências e amplitude das marés (SCHAEFFER-NOVELLI, 2002). Este ecossistema representa 8% de toda a linha de costa do planeta e um quarto da linha de costa da zona tropical, totalizando 181.077 km<sup>2</sup>. Estima-se que os manguezais do Brasil ocupem uma área de 12.254,44 km<sup>2</sup>, sendo considerado a segunda maior área do globo (SCHAEFFER-NOVELLI op cit.; GIRI et al. 2010; MMA 2010).

Os manguezais são considerados importantes transformadores de nutrientes em matéria orgânica e geradores de bens e serviços (SCHAEFFER-NOVELLI 1995). São fontes de detritos para as regiões costeiras próximas, compondo a base de teias tróficas de espécies de importância econômica e/ou ecológica. Considerados como berçários naturais para várias espécies marinhas, terrestres, estuarinas e de água doce, os manguezais são sítios de reprodução, abrigo e de alimentação pra numerosas espécies. Os sistemas manguezal contribuem para a manutenção da diversidade biológica da região costeira protegem a linha de costa, impedindo ou atenuando a erosão e o assoreamento dos corpos d'água adjacentes. São ainda fontes de alimentos e produtos diversos, associados ao sustento de comunidades tradicionais que vivem em áreas vizinhas (SCHAEFFER-NOVELLI, op cit.).

Segundo Schaeffer- Novelli (1995), o melhor desenvolvimento desse sistema se dá sob condições específicas temperatura e precipitação: temperaturas médias superiores a 20 °C, com uma amplitude térmica anual inferior a 5 °C e precipitação pluvial acima de 1.500 mm.ano<sup>-1</sup>, sem prolongados períodos de chuva. Por esses requerimentos, o ecossistema manguezal apresenta maior desenvolvimento na faixa entre os trópicos de câncer e capricórnio, uma vez que é uma formação tropical.

(SCHAEFFER-NOVELLI, op cit)

A distinção estrutural da vegetação do manguezal constitui importante instrumento no que diz respeito à resposta desse ecossistema às condições ambientais existentes, assim como aos estudos e ações que induzem à conservação do ambiente (SOARES 1999). O estudo da estrutura da vegetação analisa o grau de desenvolvimento da floresta, possibilitando a identificação e a delimitação de bosques com características semelhantes. Sua descrição fornece a ideia de desenvolvimento, além de permitir realizar a comparação entre áreas. A descrição desta estrutura inclui medidas de altura, diâmetro na altura do peito, área basal e densidade de árvores (SCHAEFFER-NOVELLI e CINTRÓN 1986). É conhecido que diversos fatores, como biogeografia e clima, geomorfologia, topografia, salinidade, pH, recursos, nutrientes, luz e frequência de inundação alteram esse habitat (TWILLEY e RIVERA-MONROY, 2005), Contudo, pouco se sabe sobre a estrutura das raízes dos mangues e sua influência sobre a dinâmica desse ecossistema, uma vez que essas estruturas alteram a morfologia do manguezal.

Determinar a idade de um bosque é uma avaliação bastante difícil, muitas vezes não sendo possível, já que o crescimento das árvores não segue um padrão. Isso porque cada bosque que compõe a floresta de manguezal está sujeito a diferentes tensores que atuam em magnitude e regularidade distinta. Em seus estudos, Lovelock e Ellison (2007) afirmam que troncos e raízes, incluindo pneumatóforos geram fricção, o que causa a redução do fluxo de água, resultando na deposição de sedimento. Através do processo de retenção de sedimentos e matéria orgânica particulada, a qualidade da água em habitats adjacentes, como pradarias e recifes de corais, é melhorada.

Estresses de origem humana, como alterações na drenagem, aumento da salinidade, poluição por óleo, alterações na temperatura, e aumento na sedimentação, causam diminuição da altura e do crescimento de florestas de mangue (LUGO, 1980). Áreas de manguezal podem diferir estruturalmente de acordo com os distúrbios ao ambiente. Estudos compararam manguezais de Pohnpei e Kosrae, ambas localizadas na Micronésia, mostraram que onde ocorrem maiores perturbações eólicas, as árvores apresentam menores classes de diâmetro e maiores densidades quando comparadas a áreas que não experimentam muita

interferência, apresentando árvores de grande diâmetro e em menor densidade. Cole et al. (1999), Isso mostra que o dinamismo interfere na estrutura da planta, que por sua vez, proporciona ao ambiente diversas condições.

Em Pernambuco a floresta de mangue é composta principalmente pelo “mangue vermelho” *Rhizophora mangle* L. (Rhizophoraceae), “mangue siriúba” (*Avicennia schaueriana*e, *A. germinans* Stapf. e Leechmam (Avicenniaceae), “mangue branco” *Laguncularia racemosa* (L.) Gaertn. F. (Combretaceae). (ALMEIDA et al., 2004).

A tendência de dominância do gênero *Rhizophora* em estuários deve-se aparentemente a capacidade de produção de estruturas de suporte. As espécies de *Rhizophora* apresentam uma tendência de desenvolver uma maior quantidade de raízes adventícias em condições desfavoráveis, como maior exposição ao vento e maior fluxo de água, o que significa um maior suporte para a planta. Outras espécies possuem baixa capacidade de produção de estruturas de suporte, sendo assim poucas espécies conseguem se estabelecer em frente a bosques de *Rhizophora* (DUKE et al., 1998).

A distribuição das espécies de mangue pode ser explicada por diferenças na tolerância a inundação (MCKEE, 1993; YE et al., 2003). Segundo McKee (1993), *R. mangle* apresenta uma maior tolerância a inundação do que *Avicennia germinans* (L.) L., o que favoreceria a primeira nas áreas com maior frequência de inundação. A dominância de *R. mangle* na Baía Almirante no Panamá foi associada a uma maior inundação em resposta a subsidência da região (LOVELOCK et al., 2005). Um exemplo de fator biótico, além da predação, que pode influenciar a ocorrência de uma espécie é o tempo de germinação. O curto período existente para o estabelecimento dos propágulos de mangue, avaliado em um manguezal do México, devido a condições hidrodinâmicas locais, foi proposto por Floresverdugo et al. (1987) como o motivo para a dominância por *L. racemosa*, que requer menos tempo para a germinação e estabelecimento de raízes do que as demais espécies presentes no Golfo do México. Nickerson e Thibodeau (1985) explicam a distribuição de *A. germinans* e *R. mangle* de acordo com a concentração de sulfetos, onde *R. mangle* tenderia a ocorrer em áreas com menores concentrações de sulfeto e *A. germinans* em áreas com maiores concentrações de sulfeto, devido à maior

capacidade da última espécie em reduzir as concentrações de sulfeto. Entretanto, os resultados do experimento em laboratório realizado por McKee (1993) demonstraram o oposto, uma vez que *R. mangle* foi mais tolerante do que *A. germinans* a presença desse elemento.

Lugo e Snedaker (1974) classificaram os bosques de mangue de acordo com suas características fisiográficas e seu desenvolvimento estrutural. Os bosques tipo bacia desenvolvem-se em áreas condicionadas por uma suave depressão, onde a frequência de inundação pelas marés é menor. O tipo fisiográfico de bosque ribeirinho, ocorrendo ao longo do rio, sofrendo influência da maré e maior aporte de nutrientes. Já o bosque tipo franja, tem ocorrência em áreas de borda de um ambiente em contato com o mar, sendo menor a recepção de nutrientes quando comparado ao tipo ribeirinho. Este tipo de bosque tende a ter um menor desenvolvimento estrutural quando comparado ao ribeirinho (CINTRÓN et al., 1980).

Diferenças hidrológicas em manguezais resultam em florestas com diferentes características estruturais e funcionais (TWILLEY, 1995; TWILLEY, 1998), isto é, nos tipos fisiográficos propostos por Lugo e Snedaker (1974) e Schaeffer-Novelli et al. (2000) sugerem o reconhecimento de dois tipos fisiográficos principais sustentados pela energia hidrológica atuando sobre o habitat, bacia e franja, e três subtipos, ilhote, anão e arbustivo.

O principal critério de classificação para os tipos bacia e franja é a circulação da água, sendo que bosques de franja são considerados sistemas com “fluxo de água”, e as bacias, sistemas de “água parada” com menor frequência de inundação. O subtipo ilhote é considerado um tipo especial de franja, enquanto os subtipos, arbustivo e anão, são caracterizados por florestas com desenvolvimento reduzido devido a condições marginais impostas por fatores climáticos ou outros tensores, e por baixa disponibilidade de nutrientes, respectivamente.

Os bosques de franja ocorrem ao longo das margens de costas protegidas, em estuários e baías abrigadas, e em ilhas lavadas intensamente, também conhecidas como ilhotes. Movimentos verticais induzidos pelas marés são típicos das franjas e estes auxiliam na ventilação das raízes e retirada de substâncias tóxicas do sedimento. Além disso, bosques de franja se desenvolvem desde ambientes com teores de salinidade superiores ao da água do mar e locais

oligotróficos até regiões ribeirinhas com influência de água doce e altos níveis de nutrientes (SCHAEFFERNOVELLI et al., 2000).

As florestas ribeirinhas são consideradas por Schaeffer-Novelli et al. (2000) um tipo de franja, cujos elevados atributos estruturais se devem ao fato de ocorrerem ao longo de rios. Estes bosques não sofrem com acúmulo de sais ou falta de nutrientes, pois os fluxos de água doce são contínuos ou quase contínuos e a energia cinética da água contribui para a oxigenação e dissipação de substâncias nocivas (CINTRÓN e SCHAEFFER-NOVELLI, 1983). Por estarem sujeitas a menor inundação, algumas florestas são submergidas apenas pelas marés mais altas (SCHAEFFER-NOVELLI et al., 2000).

O grau de desenvolvimento deste tipo fisiográfico está relacionado à quantidade de água recebida das chuvas ou do escoamento superficial e à frequência de inundação pelas marés, que influenciam a salinidade, o aporte de nutrientes e a concentração de sulfetos (CINTRÓN e SCHAEFFER-NOVELLI, 1983). As maiores densidades de troncos tendem a ser encontradas nos bosques de franja e de bacia. Os bosques ribeirinhos caracterizam-se pelos menores valores de densidade e maiores valores de diâmetro médio, altura e área basal.

Os bosques de bacia e franja atingem um menor nível de desenvolvimento estrutural do que as florestas de franja ribeirinhas, possivelmente devido à maior vulnerabilidade daqueles bosques a perturbações (CINTRÓN e SCHAEFFER-NOVELLI, 1983). Considerando isto, as bacias apresentam menor desenvolvimento estrutural (altura e biomassa) e produtividade do que as franjas. Estas diferenças estruturais e funcionais entre franjas e bacias são atribuídas à menor frequência de inundação nas últimas, resultando em altas salinidades e concentrações de sulfetos (CINTRON e SCHAEFFER-NOVELLI, 1983).

A produtividade primária e outras funções do ecossistema sofrem incrementos por condições de maior fluxo de água e são geralmente prejudicadas em condições de estagnação deste (MITSCH e GOSSELINK, 2007). A troca de matéria orgânica entre manguezais e águas estuarinas adjacentes também aumenta com o incremento da intensidade das energias geofísicas (TWILLEY, 1998). As franjas tendem a exportar mais detritos do que as bacias por serem mais frequentemente inundadas pelas marés, assim apresentam maior capacidade de manter os

nutrientes realizando uma maior retranslocação destes das folhas senescentes em direção ao tronco (TWILLEY e DAY, 1999).

Já nas bacias, onde a serapilheira está sujeita a acumular, observa-se uma menor retranslocação para o vegetal, e ocorre imobilização de nutrientes nos detritos do sedimento. Além disso, as taxas de decomposição e mineralização tendem a serem maiores nas bacias do que nas franjas (TWILLEY e DAY, 1999). As maiores taxas de decomposição e de mineralização, bem como, baixas taxas de exportação de matéria orgânica para o sistema costeiro aumentam a disponibilidade de nutrientes para reabsorção pelas raízes nas bacias (TWILLEY et al., 1986). Este é um mecanismo importante para uma floresta que recebe um menor aporte de nutrientes pelas marés, devido à baixa frequência de inundação.

A produção de serapilheira tende a ser maior nas áreas com menores salinidades e maiores frequências de inundação, visto que os estudos de Twilley et al. (1986) permitiram aos autores agruparem áreas por produtividade de serapilheira, e esta classificação por produtividade dividiu as florestas de acordo com as características hidrológicas, ou seja, em florestas de franja e de bacia. A frequência de inundação também pode interferir na viabilidade dos propágulos. Propágulos de *A. schaueriana* e *L. racemosa* provenientes de um bosque de bacia apresentaram uma menor germinação do que os oriundos do bosque de franja, devido ao stress (baixa frequência de inundação, alta salinidade e baixa concentração de nutrientes) imposto às árvores portadoras das sementes do bosque de bacia (CAVALCANTI et al., 2007). Estes aspectos relacionados aos fluxos de inundação vinculados a produtividade dos manguezais e também na qualidade ambiental dos bosques nos induzem sugerir cuidados especiais com as questões relativas ao gerenciamento das bacias hidrográficas com ocorrência de manguezal.

## 5.5 A OSTRAS-DE-MAGUE, CRASSOSTREA RHIZOPHORAE

Em ambientes de manguezais as ostras são importantes recursos pesqueiros para as comunidades costeiras (GALVÃO et al., 2012). A ostra-do-mangue é uma das espécies com maior potencial para a maricultura na costa brasileira, tanto em

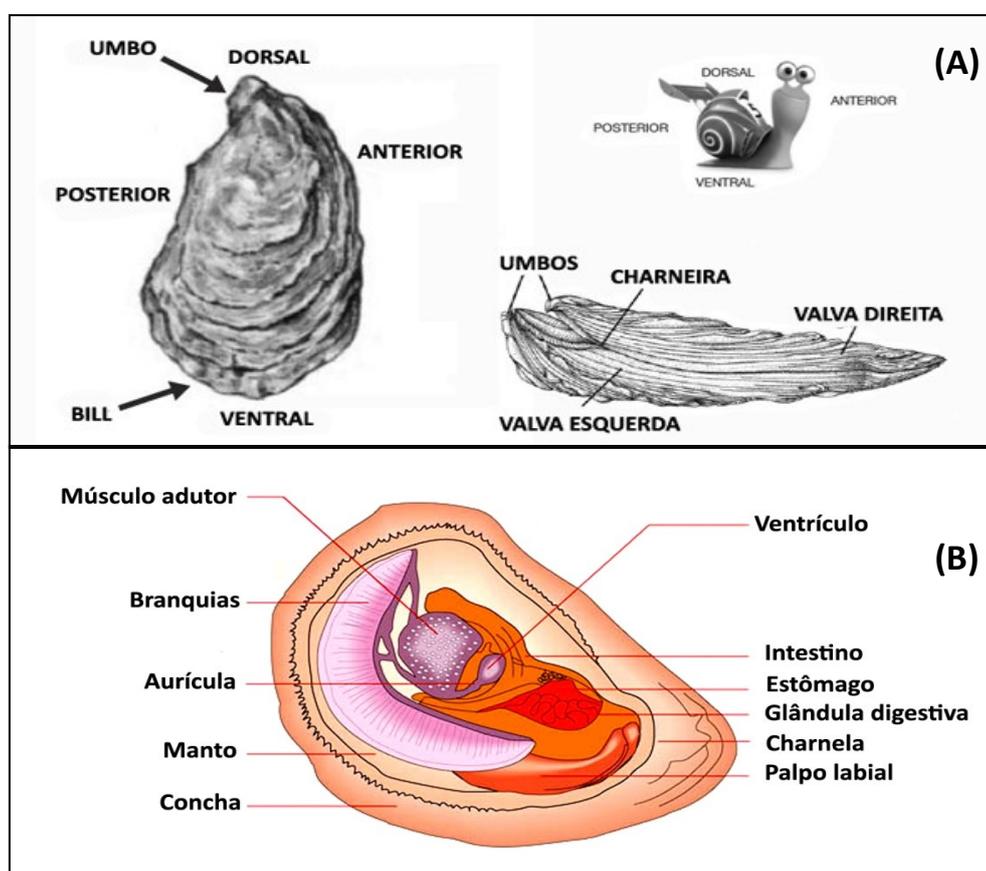
nível de subsistência como em escala comercial (PEREIRA et al., 2003; NASCIMENTO e PEREIRA, 2004).

### 5.5.1 Classificação biológica/Taxonomia e Morfologia

As ostras são seres eucariontes (apresentam células com núcleo individualizado, protegido por uma membrana e com citoplasma organizado) pertencentes ao reino Metazoa, filo mollusca, classe Bivalvia (caracterizada por apresentarem duas valvas) e à família Ostreidae (RIOS, 1994).

A figura 1 ilustra a morfologia interna e externa da ostra-de-mangue. As ostras produzem suas próprias conchas através de um órgão chamado manto. Suas conchas estão divididas em duas valvas de forma irregular e assimétrica; a valva inferior se fixa ao substrato ou a algum objeto submerso e apresenta um recuo para acomodar a massa corporal consumida. A valva superior é menor, achatada e fina.

Figura 1 - Morfologia (A) externa e (B) interna da ostra-de-mangue *Crassostrea rhizophorae*.



Fonte: GALTSOFF, 1964; NEEMA, 2008.

As valvas são ásperas externamente e lisas internamente, onde o carbonato de cálcio que a transforma é transformado em uma substância iridescente de bela tonalidade chamada de nacar ou madrepérola. Elas se articulam em um ponto chamado charneira e unidas por um ligamento. A abertura das valvas é controlada pelo músculo adutor, também chamado de calo que é muito apreciado pelos consumidores de ostras, que ao cham a parte mais saborosa.

As estruturas que formam o corpo das ostras são pouco diferenciadas; o sistema digestivo é adaptado para filtrar a água; Estima-se que 150 litros por dia penetram na concha transportando protozoários, ovos, larvas de outros organismos e pequenas algas que são a comida da vieira; Ao sair, a água carrega o lixo.

O sistema respiratório das ostras é estruturado por brânquias laminares que são banhadas pelas águas, das quais fixam oxigênio e liberam o dióxido de carbono que sai da água expelida pelo animal. Seu sistema nervoso está completo e possui um coração formado por um único ventrículo.

### **5.5.2 Distribuição geográfica**

A ostra-do-mangue, *Crassostrea rhizophorae* (Guilding, 1828) ocorre desde o Caribe na faixa equatorial até o Uruguai na faixa de frio moderado (RIOS, 1994; COSTA, 1985). Distribui-se por toda a costa brasileira, habitam as regiões de manguezal em estuários, baías e enseadas (RIOS, 1994). Nos manguezais, encontra-se geralmente fixadas aos rizóforos do mangue vermelho (*Rhizophora mangle*) ocupando a região entre-marés, podendo também fixar-se à raízes e caules de outras espécies de mangue e a rochas e substratos consolidados (MATTOX, 1949; BACON, 1971; NASCIMENTO, 1983).

Existe controvérsia entre a ocorrência de uma única ou mais espécies de ostra ao longo da costa brasileira. Segundo Varela et al. (2007) duas espécies de ostras nativas ocorrem ao longo de nossa costa: *Crassostrea gasar*, ao longo da costa Norte (entre a foz do rio Amazonas e o Delta do rio Parnaíba) e a *Crassostrea rhizophorae* ao longo da costa Nordeste, Sudeste e Sul do Brasil. Ignácio et al. (2000) identificou a presença de *Crassostrea brasiliiana* e *Crassostrea rhizophorae* no litoral do Paraná, com base em análises eletroforética de aloenzimas de indivíduos coletados naquela costa. Apesar da ocorrência dessas duas espécies ter

sido posteriormente confirmada por outros autores (ABSHER, 1989; LAZOSKI, 2004; RIOS 2009; 1994) consideram como sinonímia as designações de *C. rhizophorae* e *C. brasiliiana* para a ostra-de-mangue.

As espécies gênero *Crassostrea* são consideradas eurihalinas, apesar da espécie *Crassostrea rhizophorae* (Guilding, 1828) ser encontrada em zonas estuarinas de baixa salinidade (CHRISTO, 2006). O gênero *Crassostrea* também é considerado euritérico e altamente adaptado a ambientes de turbidez elevada (GALVÃO et al., 2000).

### 5.5.3 Reprodução e Ciclo de Vida

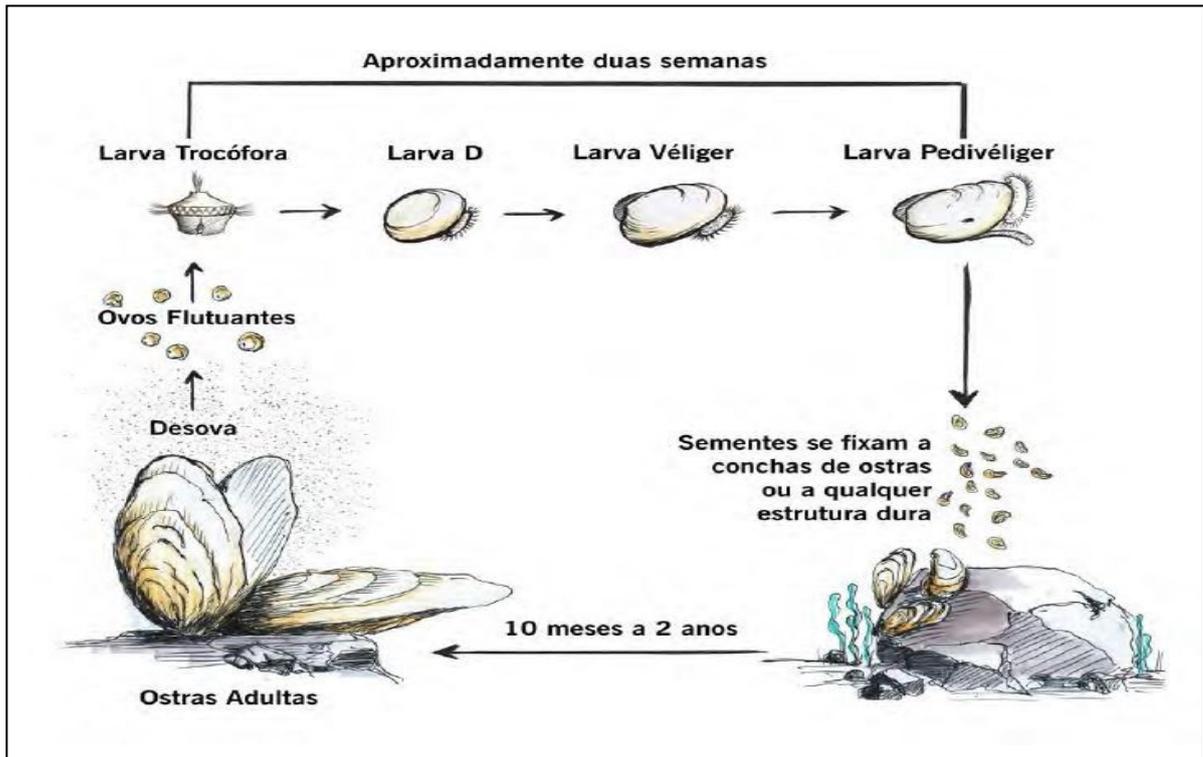
As ostras do gênero *Crassostrea* são ovíparas e hermafroditas sequenciais apresentando a gônada primária bissexual (GALTSOFF, 1964). Não apresentam dimorfismo sexual podendo os indivíduos assumir um ou outro sexo ou alternarem de sexo em função das condições ambientais reinantes (GALTSOFF, 1964; WAKAMATSU, 1973; ANDREWS, 1979). Normalmente um mesmo animal se reproduz uma única vez ao ano, mas em regiões quentes, a exemplo do nordeste brasileiro, as ostras podem desovar intermitentemente ao longo do ano, principalmente durante os meses mais quentes (SEBRAE, 2005; COSTA, 1975).

O ciclo reprodutivo da ostra do mangue (Fig. 2) sofre influência de fatores endógenos e exógenos e envolve várias fases: gametogênese, desenvolvimento larval, fixação e metamorfose.

As ostras iniciam sua vida em geral como indivíduos machos, e em seguida passam a produzir ovócitos e tornam-se indivíduos fêmeos, podendo tornar-se novamente indivíduos machos e a produzir espermatozoides (GALTSOFF, 1964; ANDREWS, 1979).

Apresentam fecundação externa, que ocorre na água, com a liberação dos ovócitos e espermatozoides. A desova de uma única ostra funciona como gatilho, disparando uma mensagem para as outras que estão próximas de que é o momento de reproduzirem, fazendo-as desovarem juntas (NEEMA, 2008).

Figura 2. Ciclo de vida da ostra-de-mangue *Crassostrea rhizophorae*.



Fonte: SEBRAE, 2015.

A desova é seguida de desenvolvimento larval planctotrófico (GALTSOFF, 1964; WAKAMATSU, 1973; ANDREWS, 1979). A duração do período larval na natureza é determinada principalmente pela temperatura da água e também pela disponibilidade de alimento (MANN, 1988; ROEGNER; CURTIS e MANN, 1990).

As ostras fêmeas adultas do gênero *Crassostrea* podem liberar até meio bilhão de ovócitos por período de desova (GALTSOFF, 1930). O desenvolvimento larval planctônico de ostras do gênero *Crassostrea* é caracterizado por quatro estágios larvais: larva Trocófora; larva D, larva Véliger e larva Pedivéliger (LE PENNEC, 1980). Nesta última fase, quando o pé toca uma superfície sólida, a larva para de nadar, o velum se contrai parcialmente e esta começa a rastejar. Quando encontra condições favoráveis para a fixação, ocorre o assentamento final, através da secreção de cimento liberada pela glândula do bisso, ocorrendo a fixação definitiva em substrato duro. A mudança de larva para ostra juvenil começa imediatamente. Durante a metamorfose, os órgãos larvais desaparecem, o pé é reabsorvido e o músculo retrator do velum desaparece, pondo fim à fase larval

(GALTSOFF, 1964; WAKAMATSU, 1973; CHRISTO, 2006).

As larvas são organismos natantes e os adultos, sésseis, são encontrados aderidos a substratos firmes formando bancos naturais (ANDREWS, 1979; GALTSOFF, 1964). Embora as larvas tenham capacidade de deslocamento horizontal e vertical na coluna d'água, as correntes e velocidade de marés são responsáveis por uma dispersão mais ampla, especialmente referente à posição horizontal das mesmas. O deslocamento vertical das larvas pode depender do período larval e de fatores ambientais, relacionados à temperatura e salinidade da água (DEKSHENIEKS et al., 1996; LIANG et al., 2000; ORBAN et al., 2004).

Estudos buscando caracterizar o ciclo reprodutivo e a influência das variáveis abióticas sobre a reprodução de *C. rhizophorae* foram desenvolvidos nas áreas de ocorrência da espécie (GALVÃO et al., 2000; LUNETTA e GROTTA, 1982; NASCIMENTO, 1978; VÉLEZ, 1977; NASCIMENTO e LUNETTA, 1978). O estudo mais detalhado sobre o ciclo gonádico dessa ostra no Brasil foi realizado por Nascimento (1978), que caracterizou os estádios de maturação e as influências abióticas sobre o processo reprodutivo. Conhecer as características sexuais e os estímulos ambientais que regem a maturação gonádica e a liberação dos gametas é importante para subsidiar a exploração comercial de moluscos (CLEDÓN et al., 2004), já que evidenciam os picos de reprodução e o recrutamento de larvas nas áreas em estudo (WAKAMATSU, 1973; GALVÃO et al., 2000).

A maioria dos juvenis alcança a maturidade sexual antes dos 30 mm, aproximadamente 120 dias após a fixação (VÉLEZ, 1976; NASCIMENTO et al., 1980a,b). Conforme Newkirk e Field (1990), o crescimento das ostras é geralmente maior em locais onde há grande quantidade de alimento disponível associado à baixa salinidade. As principais influências sobre o crescimento das ostras estão relacionadas à temperatura, salinidade (LUNETTA e GROTTA, 1982; MIRANDA e GUZENSKI, 1999), disponibilidade de alimento (JMELIOVA e SANZ, 1969), tempo de imersão (LITTLEWOOD, 1988) e genética (ABSHER, 1989).

O fitoplâncton é um item chave da alimentação das ostras e sua disponibilidade influi diretamente no crescimento desse molusco (NEWKIRK e FIELD, 1990; WAKAMATSU, 1973). Além das algas planctônicas, as necessidades alimentares das ostras são satisfeitas por substâncias orgânicas suspensas na água,

através do processo de filtração e seleção das partículas (JMELIOVA e SANZ (1969). A taxa de filtração das ostras é influenciada tanto pela concentração de partículas quanto pelo tamanho destas. Ostras do gênero *Crassostrea* chegam a filtrar mais de 400 L.dia<sup>-1</sup> (ANDREWS, 1979, BORGES, 1989).

As partículas capturadas pelas ostras passam são conduzidas pelos cílios branquiais até os palpos labiais. Aqui passam por um processo de seleção em função de seu tamanho e características. As de interesse são levadas à boca digeridas no estômago e absorvidas no intestino e os resíduos expelido na forma de fezes, pelo ânus. As partículas rejeitadas são refluídas pela parte posterior direita das brânquias na forma de pseudofeze (COSTA, 1985; BORGES, 1989). Ostras *C. rhizophorae* podem ingerir partículas de vários tamanhos, desde muito pequenas (menores de 1 µm) até partículas com 98 µm (SPITTLER et al., 1989).

Dentre os fatores que influem no crescimento das ostras tem-se a temperatura, a salinidade (LUNETTA e GROTTA, 1982; MIRANDA e GUZENSKI, 1999), a disponibilidade de alimento (JMELIOVA e SANZ, 1969), o tempo de imersão (LITTLEWOOD, 1988) e a genética (ABSHER, 1989). De forma geral, as ostras apresentam um melhor crescimento em áreas em que existe uma alta quantidade de alimento disponível associado à baixa salinidade (NEWKIRK e FIELD, 1990).

O movimento das águas tem um papel importante, já que as correntes podem favorecer a dispersão das larvas em seus diferentes estágios, o processo de filtração, a disponibilidade e qualidade de alimento. Além disso, a temperatura e as condições fisiológicas do animal influenciam na variação da velocidade desta filtração e, conseqüentemente, no consumo e assimilação de partículas, sendo que o fitoplâncton é considerado a melhor fonte de carbono para a nutrição e crescimento destes organismos (DAME, 2011).

#### **5.5.4 Importância ecológica das ostras**

Os bancos de ostras contribuem para a melhoria da qualidade da água dos sistemas estuarinos (DAME,2011). Como filtradores removem microalgas, material orgânica em suspensão e possivelmente dissolvida da coluna d'água retendo-os em

suas brânquias para se alimentarem (PETERSON et al., 2003). Sob condições ideais de temperatura e salinidade, uma única ostra é capaz de filtrar 15 litros por hora. Por serem organismos sésseis e bioacumuladores, podem também ser utilizados como indicadores de contaminação.

Ainda, os bancos de ostras sequestram carbono na forma de  $\text{CaCO}_3$  (Carbonato de Cálcio) incorporando-o a matriz de suas conchas (HARGIS e HAVEN, 1999), contribuindo para o balanço global de Carbono. Igualmente, proveem refugio e alimento para invertebrados e vertebrados de diferentes níveis tróficos, contribuindo para o incremento da produtividade estuarina e a sobrevivência de muitas espécies de valor ecológico e comercial (MARTINEZ e RUSH, 2014; NRC, 2010; GRABOWSKIE e PETERSEN, 2007).

Esses organismos podem ser utilizados também como bioindicadores, revelando a concentração de alguns compostos bionocivos na água (CIENCIA VIVA, 2019). Estes autores enfatizam que o espessamento e a alteração morfológica da concha para uma forma fora do padrão (mais esférica), podem indicar a presença de TBT (Tributilestanho) no ambiente onde vivem esses moluscos.

## 6 MATERIAIS E MÉTODOS

Os procedimentos adotados para a concretização dos estudos propostos são sumarizados a seguir. Este tópico encontra-se compartmentado em sub-tópicos, que descrevem a área de estudo e as estações amostrais, a confecção de um mapa de distribuição, a caracterização da arquitetura das raízes escoras dos mangues a eles associados, a biometria das ostras, os procedimentos técnicos para caracterização do regime termohalino e de correntes bem como os experimentos de campo para caracterização da dispersão. Os trabalhos de coleta de dados foram conduzidos de modo a representarem os períodos de estiagem e chuvoso e diferentes estágios de ciclos de marés. Para a apresentação da dissertação seguiu-se as normas vigentes, estabelecidas pela Biblioteca Central da Universidade Federal de Pernambuco.

### 6.1 ÁREA DE ESTUDO

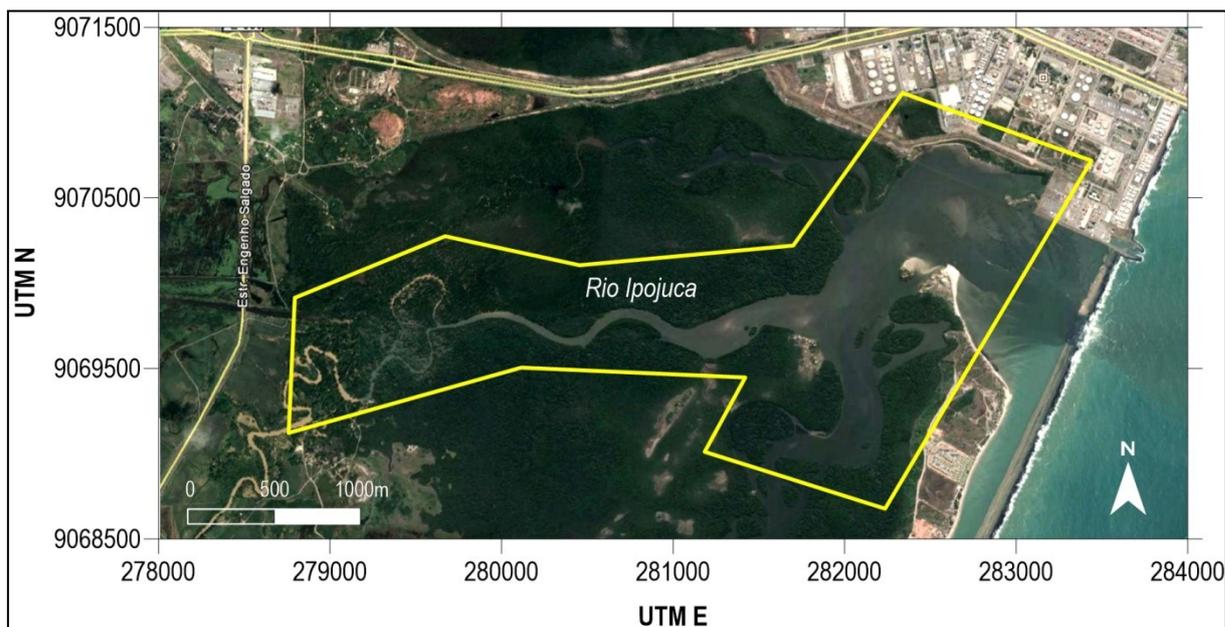
O rio Ipojuca nasce em Arco Verde (Serra Pau D'Arco) e apresenta um curso de cerca de 320 km, desembocando no Atlântico ao sul do Porto de Suape. Este rio sofreu, dentre os quatro que fluem em direção a bacia de Suape, o maior impacto com a construção do porto, graças ao a contenção de suas águas (represamento) e a grande área perdida através do corte do manguezal adjacente ao empreendimento (BRAGA et al., 1989).

Em seu trecho superior, apresenta regime fluvial intermitente, passando a perene nas proximidades da cidade de Caruaru. Seus principais afluentes são os riachos Liberal, Taquara e do Mel pela margem direita e os riachos do Coutinho, dos Mocós, do Muxoxo e Pata Choca, pela margem esquerda (CONDEPE/FIDEM, 2005). Sua bacia ocupa uma área de 3.500 km<sup>2</sup> distribuída por 25 municípios Pernambucanos. A bacia do rio Ipojuca é cortada pelo Lineamento Pernambuco e está em boa parte de sua extensão representada por rochas cristalinas e cristalofílicas do pré-Cambriano, com domínio da unidade lito-estratigráfica Complexo Migmatítico-Granitóide - pCmi, em que granitos e granodioritos

predominam sobre os migmatitos do tipo estromático, nebulítico e epibolítico (CONDEPE/FIDEM, 2005).

A área de estudo (Fig. 3) compreende um trecho de cerca de 4 km do estuário do rio Ipojuca onde ocorre a vegetação de mangue vermelho, *Rhizophora mangle*.

**Figura 3. Vista geral da área de estudo. Manguezais no baixo estuário do rio Ipojuca.**



Fonte: Imagem Google Earth (2019).

O estuário do rio Ipojuca experimenta clima tropical quente-úmido, segundo o esquema de classificação climática Köppen (ANDRADE e LINS, 2001). O regime pluviométrico na região varia de 1500 a 2.500 mm.ano<sup>-1</sup> com uma estação chuvosa de março a agosto e precipitação média mensal de 250 mm; e uma estação de estiagem de setembro a fevereiro, com precipitação média mensal de 70 mm.

Em seu curso oeste-leste em direção ao Oceano Atlântico, o Ipojuca corta importantes sedes municipais como Bezerros, Caruaru, Escada, Chã Grande, Gravatá, Ipojuca, Primavera, São Caetano e Tacaimbó. Boa parte desses Municípios não dispõe de redes para coleta e tratamento adequado de esgoto sanitário, resultando em seu lançamento no rio Ipojuca, *in natura* ou minimamente tratado. Além da carga orgânica, o Ipojuca recebe também agrotóxicos e fertilizantes carregados pelas chuvas das plantações de cana-de-açúcar e de outras lavouras, efluentes de indústrias açucareira e de curtumes e de indústrias instaladas no

Complexo Industrial Portuário de Suape (CIPS). A comunicação restrita com as águas marinhas, através de uma abertura no recife principal, agravam essa situação ao passo que a presença de manguezais, contribuem para amenizar a situação, devido a seu papel depurador (NEUMANN-LEITÃO, 1994).

Se em outras épocas, o rio Ipojuca era cartão-postal de Caruaru, referencia de lazer, turismo e pesca, conforme narrado pelo historiador natural daquela cidade Nelson Barbalho, hoje, com base nos Indicadores de Desenvolvimento Sustentável - IDS e dos Índice de Qualidade da Água - IQAs do IBGE, figura como o terceiro rio mais poluído no Brasil, perdendo apenas para o rio Tietê, SP e para o rio Iguaçu, PR (IBGE, 2015).

## 6.2 MAPA DE DISTRIBUIÇÃO DOS BANCOS DE OSTRAS NO MANGUEZAL

Uma base cartográfica (1:25.000) foi inicialmente elaborada, com base em fotos aéreas e imagens Quickbird recentes, mapas topográfico Santo Agostinho-SC.25-V-A-II-3-SE; Ipojuca-SC.25-V-A-II-4-SE e Ponta da Gamboa SC.25-V-A-III-3-SO (SUDENE,1974), carta náutica Nº 906 (DHN, 1988) para apoio aos levantamentos *in situ* e para a apresentação dos resultados gerados. Caminhamentos ao longo da linha de costa e margens do curso principal do Ipojuca foram por vezes empregados na complementação e detalhamento da mesma.

A área de estudo foi percorrida a bordo de uma embarcação visando identificar e mapear no máximo de pontos, a ocorrência de bancos naturais da ostra-de-mangue e das diferentes configurações arquitetônica das raízes de *R. mangle*. Durante o levantamento foram anotadas as características gerais de cada área e obtidos registros fotográficos. O posicionamento e a delimitação desses bancos foram realizados empregando-se um GPS Garmin 72H para obtenção de coordenadas de seus limites. Essas informações foram digitalizadas e agrupadas e organizadas em uma planilha para permitir obter um primeiro mapa de distribuição das ostras-de-mangue na área e principalmente, subsidiar a escolha das estações amostrais.

### 6.3 ESTAÇÕES AMOSTRAIS

Com o mapa de distribuição previamente estabelecido, foram selecionadas 4 áreas amostrais (A1 a A4). A área A1 está localizada no baixo estuário, sob maior influência das águas costeiras. Aqui as árvores de mangue apresentam raízes bem desenvolvidas, ramificadas e com muitas ostras. A área A2 está situada no médio estuário, à margem esquerda do rio Ipojuca e apresenta árvores de mangue com raízes medianamente desenvolvidas e ramificadas, com presença de ostras. A área A3 está também localizada no médio estuário, em uma ilha situada na confluência com o rio Merepe. Nesta área as árvores do mangue-vermelho apresentam raízes medianamente desenvolvidas e ramificadas, baixa densidade e com ostras a elas fixadas. Por fim, a área A4 está também localizada no médio estuário do Ipojuca, à sua margem direita e, mais para montante. As raízes do mangue vermelho aqui apresenta, são medianamente desenvolvidas e ramificadas, apresentando um menor número de ostras.

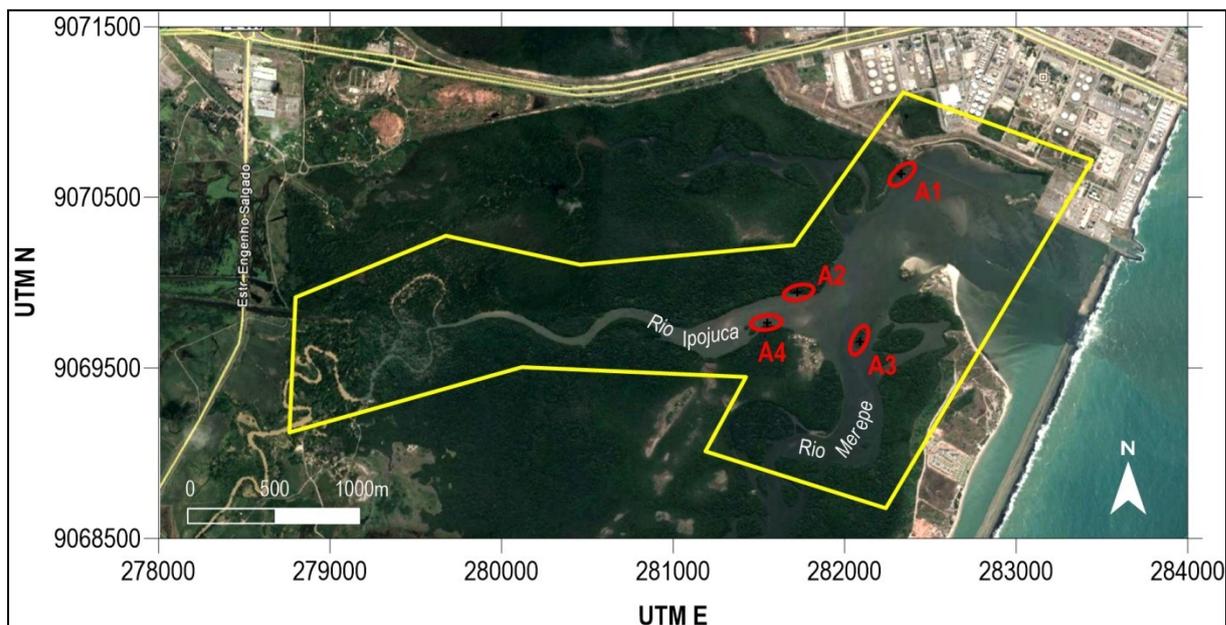
As coordenadas geográficas do centro dessas áreas são sumarizadas na Tabela 1 e sua localização indicada na figura 4.

**Tabela 1. Coordenadas UTM (25L) do centro das áreas experimentais.**

<b>ESTAÇÃO</b>	<b>UTM E</b>	<b>UTM N</b>
A1	282332	9070638
A2	281726	9069942
A3	282092	9069653
A4	281548	9069766

**Fonte: O autor, 2019**

Figura 4. Localização das áreas amostrais A1, A2, A3 e A4.



Fonte: Imagem Google Earth (2019).

#### 6.4 ARQUITETURA DAS RAÍZES ESCORAS DOS MANGUES

Em cada área amostral, foram marcadas 6 raízes (24 raízes no total) e as mesmas caracterizadas quanto à sua morfologia e grau de complexidade (número e níveis de ramificações). Na figura 5 são apresentadas imagens ilustrativas do processo de medição e de uma raiz marcada.

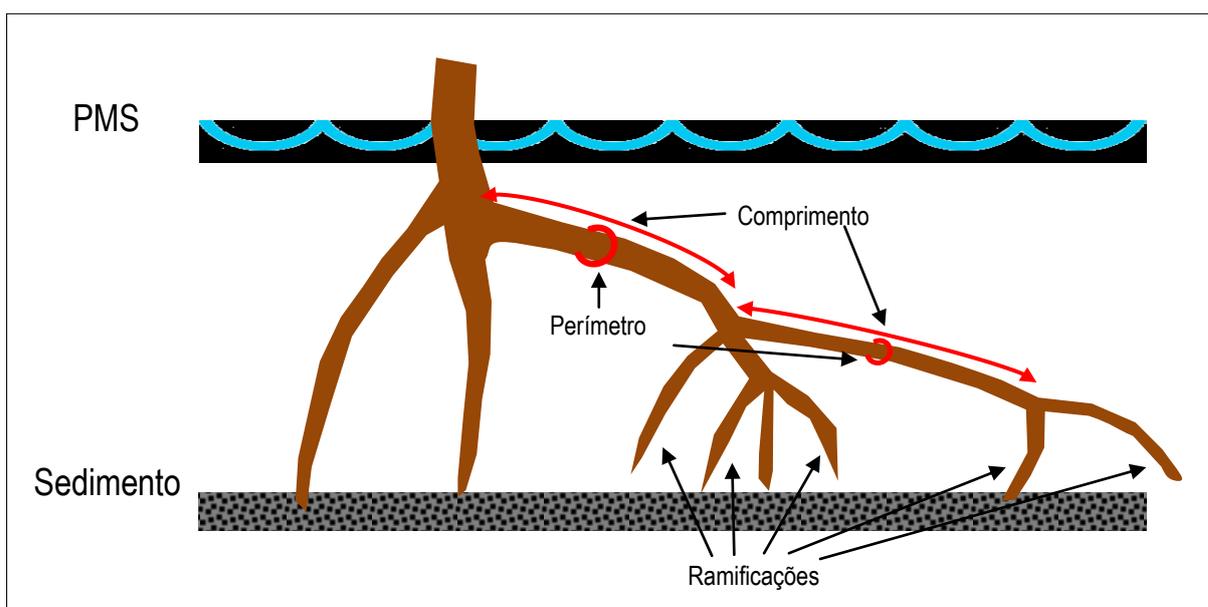
Figura 5. Marcação e medição das raízes das áreas amostrais A1, A2, A3 e A4.



Fonte: O autor, 2019

Um desenho esquemático das mesmas foi realizado para permitir registrar o comprimento e perímetro médio de cada segmento de raiz como também o posterior refinamento da análise de suas arquiteturas. O esquema de medição empregado na caracterização das raízes é apresentado na figura 6.

Figura 6. Esquema de medição das raízes escoras do mangue vermelho.



Fonte: O autor, 2019

O diâmetro médio (***dm***) das raízes foi computado como a média dos diâmetros (***d***) de todos os segmentos/ramificações da raiz considerada, com

$$d = \frac{p}{\pi} \quad (1)$$

onde, ***p*** é perímetro do segmento de raiz;

$$\pi = 3,141592$$

A superfície de raiz disponível (***SRD***) em centímetros quadrados, para fixação de ostras e sementes entre o sedimento de fundo e o nível de preamar de sizígia (PMS) foi computada como:

$$SRD = \sum_{i=1}^{i=n} c_i \times p_i \quad (2)$$

onde, ***c<sub>i</sub>*** é o comprimento em centímetros do *i*ésimo segmento de raiz;

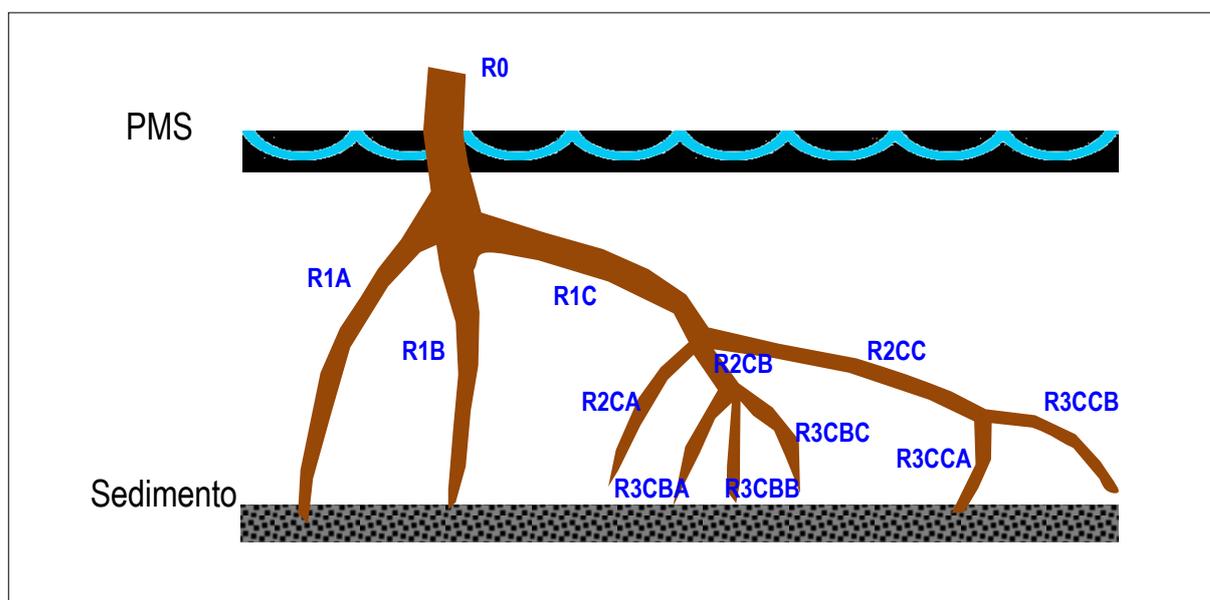
***p<sub>i</sub>*** é o perímetro em centímetros do *i*ésimo segmento de raiz

O nível de complexidade de cada raiz foi estabelecido em função dos níveis e do número de ramificação presente em cada raiz. Nas medições das raízes, considerou-se a porção disponível para a fixação das ostras, desde o sedimento até a marca de inundação em Preamar de Sizígia (PMS)

Quanto a densidade de raízes, os bosques de mangue nas áreas de bancos de ostras foram então classificados em 2 categorias: (1) baixa densidade de raízes, aqueles apresentando menos de 5 raízes por metro linear e (2) alta densidade de raízes, aqueles apresentando mais de 5 raízes por metro linear.

Quanto à complexidade da arquitetura das raízes, os bosques foram classificados como (1) Pouco ramificadas, quando se apresentavam sem raízes, ou com raízes com até 3 ramificações primárias e secundárias e (2) Muito ramificadas, quando apresentavam mais de 3 ramificações e ramificações de nível terciário em diante.

**Figura 7. Esquema de medição das raízes escoras do mangue vermelho. R0 sem ramificação; R0 raiz principal; R1, R2, R3 ramificações primária, secundária, terciária, etc. A, B, C distintas ramificações de um mesmo nível.**



Fonte: O autor, 2019

## 6.5 OCORRÊNCIA E CONDIÇÃO DAS OSTRAS-DE-MANGUE

Paralelamente aos levantamentos das raízes foram contabilizados os números de ostras vivas, mortas e a ocorrência de suas formas jovens (sementes) encontradas nas 24 raízes monitoradas. Esses sensores foram realizados em 3 momentos distintos: Jul/2018, Abr/2019 e em Out/2019.

Vinte exemplares foram coletados em cada das áreas amostrais (A1-A4) em Jan/2019, Abr/2019 e Out/2019. Coletas foram realizadas em raízes distintas das marcadas para não interferir no monitoramento do número de indivíduos vivos, mortos e de sementes. Os exemplares coletados foram acondicionados em sacos plásticos etiquetados e transportados para laboratório para determinação de suas características morfométrica e do seu estágio de maturação gonadal.

Em laboratório as ostras foram lavadas e escovadas em água corrente para remoção de sedimentos e algas. Cracas, galerias de poliquetas, sementes, etc. foram removidos, com uso de uma chave de fenda, de forma cuidadosa, para não danificar suas conchas. Em seguida as ostras limpas foram deixadas sobre papel

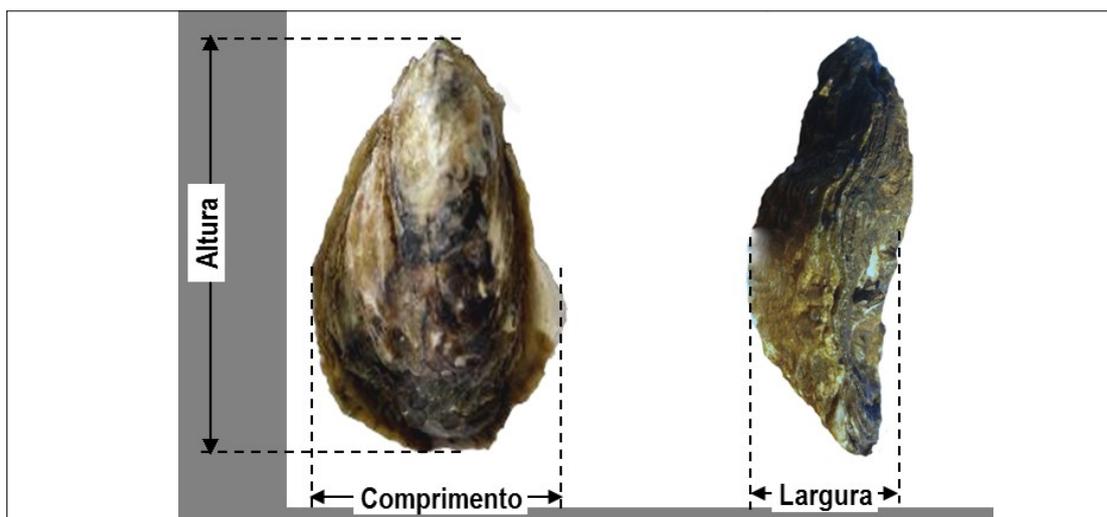
absorvente para se eliminar o excesso de água.

As seguintes medições foram efetuadas: altura da ostra e de suas valvas direita e esquerda; comprimento da ostra e de suas valvas direita e esquerda; Largura da ostra e de suas valvas direita e esquerda; peso e volume total da ostra; peso e volume de suas valvas direita e esquerda; peso e volume de sua carne.

As medidas das alturas (A), comprimentos (C) e larguras (L) foram realizadas com uso de um paquímetro com precisão de 0,01 mm, de acordo com Galtsoff (1964) (Fig. 8).

As determinações dos volumes foram obtidas por deslocamento dos níveis de um fluido, empregando-se uma proveta graduada. Na pesagem das ostras e de suas valvas utilizou-se uma balança digital com resolução de 0,01g.

Figura 8. Esquema de medição biométrica das ostras.



Fonte: Adaptado de Galtsoff (1964).

## 6.6 ÍNDICES DE MONITORAÇÃO

Os valores das dimensões, peso e volume das ostras e de suas valvas e de carne, obtidos a partir das medições biométricas foram utilizados para calcular os seguintes índices: (1) índice de espessamento da concha, Shell Thickness Index, STI1 (ALZIEU et al., 1982); (2) Taxa volume da volume da cavidade/largura (Cavity/Depth Ratio, (KEY et al, 1976); (3) Densidades das valvas direita e esquerda (Right Valve Density, RVD e Left Valve Density, LVD (HIS e ROBERT, 1987) e (4) o índice de qualidade de AFNOR (SOLETCHNIK et al., 2000). Desses, o STI1 é o mais amplamente utilizado por já ser conhecida a relação causa-efeito.

O Índice de Espessamento da Concha “Shell Thickness Index” – **STI1** foi proposto por Alzieu et al. (1982) para a monitorização do formato das ostras. O mesmo pode ser calculado pela seguinte expressão:

$$STI1 = \frac{avd}{lvd} \quad (3)$$

onde, **avd** é a altura da valva direita em milímetros;

**lvd** é a largura da valva direita em milímetros.

O STI1 varia na escala de 1 a 10 onde valores de 1 e 2 indicam contaminação muito elevada, de 2 a 4 contaminação elevada; de 5 a 7 contaminação média; de 8 e 9 contaminação baixa e 10 sem contaminação.

O índice de taxa volume da cavidade/largura (*Cavity/Depth Ratio - CDR*), (KEY et al, 1976) representa a relação entre a largura máxima da ostra e o volume da cavidade intervalvar, computado como a diferença entre o volume da ostra e o volume das valvas, após remoção de todo seu tecido, conforme expressão a seguir:

$$CDR = \frac{lmo}{vo - vv} \quad (4)$$

onde, *lmo* é a largura máxima da ostra em milímetros;

*vo* é o volume total da ostra em mililitros;

*vv* é o volume das valvas da ostra em mililitros.

Os índices de densidade das valvas direita (RVD) e esquerda (LVD) (HIS e ROBERT, 1987) são respectivamente calculados como:

$$RVD = \frac{pvd}{vvd} \quad (5)$$

$$LRV = \frac{pve}{vve} \quad (6)$$

onde, *pvd* é o peso da valva direita em gramas;

*vvd* é o volume da valva direita mililitros;

*pve* é o peso da valva esquerda em gramas;

*vve* é o volume da valva esquerda mililitros.

O índice de qualidade AFNOR (SOLETCHNIK et al., 2000) exprime em percentagem, a relação entre o peso de carne úmido e o peso total da ostra. Este índice foi desenvolvido segundo a norma francesa NF V45-056 (AFNOR, 1985) para

classificar a qualidade das ostras *C. gigas* produzidas naquele país, mas, posteriormente tem sido aplicado a outros bivalves, também para indicar sua qualidade. Ostras que apresentam um Índice de AFNOR acima de 9 são consideradas “especiais” por apresentarem um bom preenchimento da cavidade intervalvar; ostras apresentando índices de AFNOR entre 6,5 e 9,0 são consideradas “finas” e ostras com índice de AFNOR abaixo de 6,5, são consideradas “sem classificação”. Este índice é calculado como:

$$AFNOR = \frac{puc}{po} \times 100 \quad (7)$$

onde, *puc* é o peso da valva direita em gramas;

*po* é o peso total da ostra em gramas.

## 6.7 REGIMES TÉRMICO E SALINO E INTERAÇÃO HIDRODINÂMICA

Visando avaliar o efeito a presença das raízes de mangue na hidrologia (temperatura e salinidade) e na hidrodinâmica estuarina, medições de correntes, temperatura e condutividade elétrica foram obtidas simultaneamente para as áreas de raízes e adjacentes aos bancos, em cada uma das áreas amostrais A1 a A4.

As medições de correntes foram obtidas a partir do fundeio de 2 correntômetros InterOcean S4A, dotados de sensores de temperatura, condutividade elétrica e pressão. Um dos correntômetros foi fundeado fora das raízes de mangue e o outro por entre as raízes.

Os registros das intensidades e direções das correntes, da temperatura e da salinidade (calculada internamente a partir dos valores da temperatura e da condutividade elétrica) foram obtidos por períodos de 10 minutos, a intervalos de 2 segundos, durante os estágios de marés enchente, preamar e vazante. Durante o estágio de baixa-mar, os bancos ficavam emersos, não sendo possível a obtenção de registros.

Para a caracterização do regime de temperatura e salinidade na área de estudo, foram adicionalmente compiladas informações de estudos recentes sobre a propagação das marés salinas e dinâmicas e sobre as distribuições da temperatura e salinidade no estuário do rio Ipojuca (LINS e MEDEIROS, 2018; LINS, 2018).

Na figura 9 são apresentadas imagens ilustrativas da ancoragem dos equipamentos para as medições dentro e fora das raízes de mangue.

**Figura 9. Imagens da medição de correntes e da obtenção de registros de temperatura e salinidade. (A) correntômetro adjacente ao banco de ostra fora do sistema de raízes e (B) S4 entre as raízes de mangue.**



Fonte: O autor, 2019

## 7 RESULTADOS

Os resultados obtidos no presente estudo são apresentados nas sessões a seguir.

### 7.1 MAPA DE DISTRIBUIÇÃO DOS BANCOS DE OSTRAS

Durante o levantamento inicial conduzido ao longo do rio Ipojuca, foram demarcados 37 pontos os quais foram caracterizados quanto à densidade de raízes do mangue vermelho (*Rhizophora mangle*) aí presente, quanto ao número de ramificações de suas raízes e quanto à presença da ostra-de-mangue (*Crassostrea rhizophorae*) nas mesmas, bem como quanto ao trecho (baixo, médio e alto) pertencente do estuário. Um resumo dessas características é apresentado na Tabela 2.

A partir da análise desses 37 pontos averiguados, um mapa de distribuição dos bancos de ostra-de-mangue ao longo do estuário do rio Ipojuca foi elaborado e selecionados os mais propícios para o estudo detalhado. O mesmo é apresentado na figura 10.

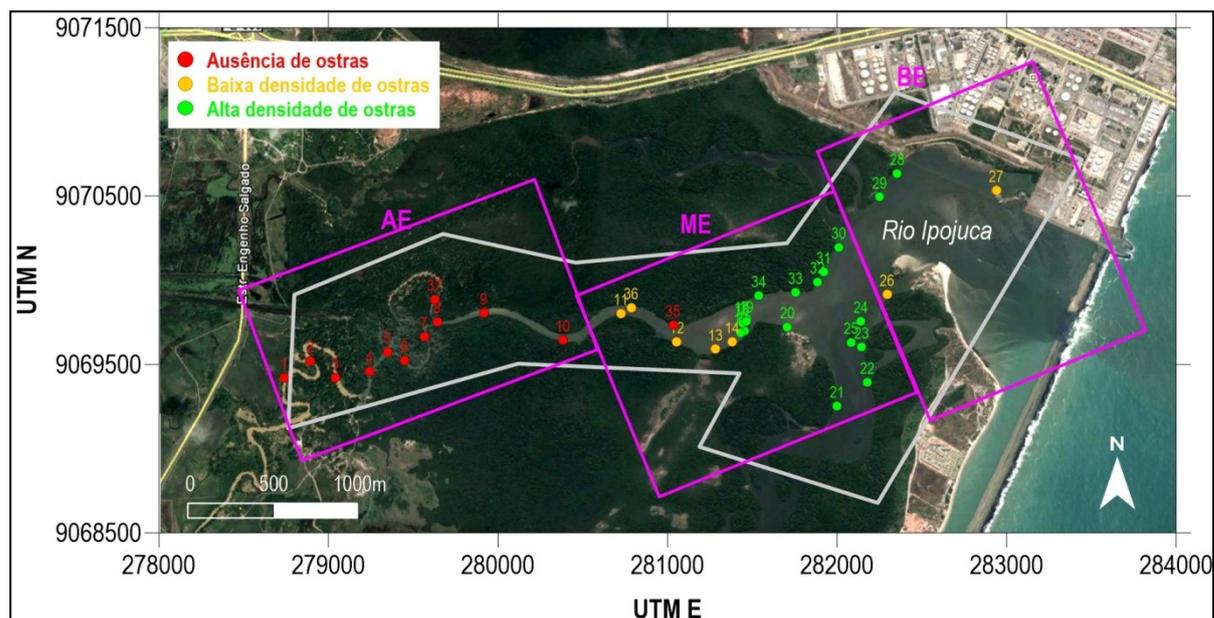
No trecho do alto estuário (Fig. 10) não foram encontrados bancos da ostra-de-mangue. A maior concentração dos bancos de ostras ocorreu no trecho inferior do médio estuário e trecho superior do baixo estuário (Fig. 10). No trecho superior do médio estuário as ostras ocorrem em baixa densidade, podendo estar ausente em algumas áreas. No trecho inferior do baixo estuário não ocorre a vegetação do mangue vermelho ao longo as margens do rio. A margem direita corresponde a uma praia arenosa e a margem esquerda a um enrocamento artificial para contenção do terreno onde hoje esta instalada a TermoPE. Ainda na margem esquerda, o trecho a montante da TermoPE foi revitalizado com plantio de *R. mangle*. Nesta área encontrou-se ostras-de-mangue em baixa densidade, indicando uma provável recuperação da área.

**Tabela 2. Densidade de raízes da *R. mangle*, complexidade de suas ramificações e densidade da ostra-de-mangue nas raízes, em 37 pontos do alto, médio e baixo estuário do rio Ipojuca.**

PONTO	DENSIDADE DE RAÍZES		RAMIFICAÇÕES		OSTRAS		TRECHO ESTUARINO			
	Baixa	Alta	Pouco	Muito	Ausente	Baixa	Alta	Baixo	Medio	Alto
1	X		X		X					X
2	X		X		X					X
3	X		X		X					X
4	X		X		X					X
5	X		X		X					X
6	X		X		X					X
7	X		X		X					X
8		X		X	X					X
9		X		X	X					X
10		X		X	X					X
11		X		X		X				
12		X		X		X			X	
13	X		X			X			X	
14		X		X		X			X	
15		X		X			X		X	
16		X		X			X		X	
17		X		X			X		X	
18		X		X			X		X	
19		X		X			X		X	
20		X		X			X		X	
21		X		X			X		X	
22		X		X			X		X	
23		X		X			X		X	
24		X		X			X		X	
25		X		X			X		X	
26		X		X		X		X		
27	X		X			X		X		
28		X		X			X	X		
29		X		X			X	X		
30		X		X			X		X	
31		X	X				X		X	
32		X		X			X		X	
33		X		X			X		X	
34		X		X			X		X	
35	X		X		X				X	
36		X		X		X			X	
37		X		X	X					X

Fonte: O autor, 2019

**Figura 10. Distribuição dos bancos de ostras-de-mangue ao longo do alto (AE), médio (ME) e baixo (BE) estuário do rio Ipojuca.**



Fonte: Imagem GOOGLE EARTH 2019.

## 7.2 ARQUITETURA DAS RAÍZES ESCORAS DOS MANGUES

Na tabela 3 são sumarizadas as informações sobre a extensão das superfícies de cada raiz disponível (**SRD**) para fixação de ostras e sementes e as características morfológicas e grau de complexidade (número e nível de ramificação) das raízes de mangue monitoradas nas áreas A1 a A4. Não enumeramos as raízes 10 e 20, por não dispormos na hora desses números.

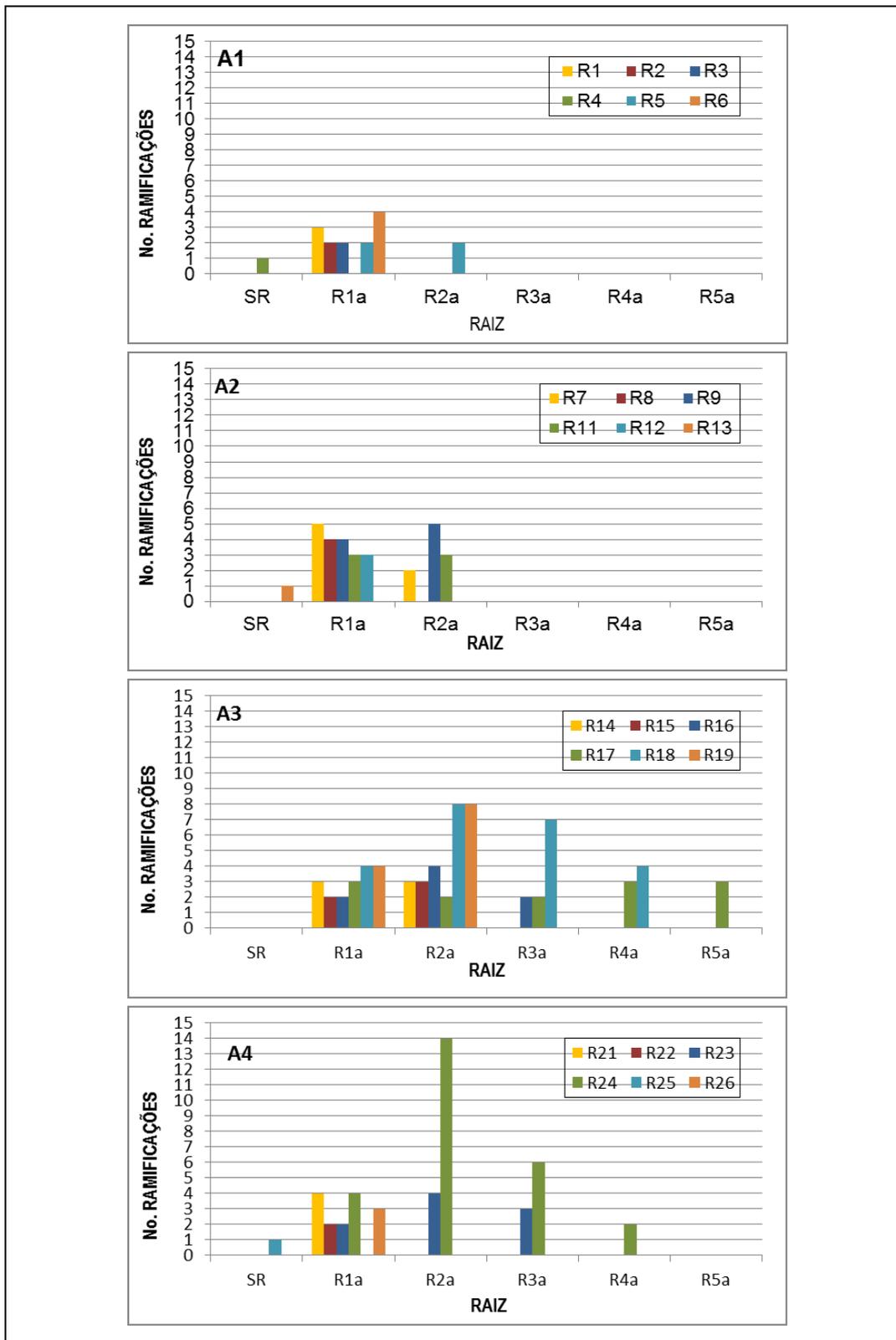
**Tabela 3. Superfície de raiz disponível para fixação de ostras – SRD (cm<sup>2</sup>); diâmetro médio da raiz – dm; número de raízes sem ramificações (SR) e o número de ramificações de primeira (R1a), segunda (R2a), terceira (R3a), quarta (R4a) e quinta (R5a) ordens das raízes da *R. mangle*, monitoradas nas áreas amostrais A1 a A4.**

ÁREA	RAIZ No.	SRD (cm <sup>2</sup> )	dm	SR	R1a	R2a	R3a	R4a	R5a
A1	R1	1594.0	3,06	0	3	0	0	0	0
A1	R2	477.0	3,98	0	2	0	0	0	0
A1	R3	1546.0	4,72	0	2	0	0	0	0
A1	R4	1039.5	4,30	1	0	0	0	0	0
A1	R5	1767.0	3,57	0	2	2	0	0	0
A1	R6	1689.8	2,67	0	4	0	0	0	0
A2	R7	3294.5	2,92	0	5	2	0	0	0
A2	R8	1148.0	2,67	0	4	0	0	0	0
A2	R9	1356.0	1,58	0	4	5	0	0	0
A2	R11	537.0	2,64	0	3	3	0	0	0
A2	R12	1842.0	3,66	0	3	0	0	0	0
A2	R13	6642.0	17,51	1	0	0	0	0	0
A3	R14	1329.0	3,00	0	3	3	0	0	0
A3	R15	956.0	2,86	0	2	3	0	0	0
A3	R16	1498.0	3,86	0	2	4	2	0	0
A3	R17	867.0	3,10	0	3	2	2	3	3
A3	R18	959.0	2,84	0	4	8	7	4	0
A3	R19	403.5	1,57	0	4	8	0	0	0
A4	R21	2556.5	2,86	0	4	0	0	0	0
A4	R22	2391.5	3,29	0	2	0	0	0	0
A4	R23	996.0	3,12	0	2	4	3	0	0
A4	R24	844.0	2,57	0	4	14	6	2	0
A4	R25	996.0	2,55	1	0	0	0	0	0
A4	R26	1671.0	2,86	0	3	0	0	0	0

Fonte: O autor, 2019

A figura 11 ilustra a distribuição da ausência, do número de ramificação e da presença de ramificações de primeira a sexta ordem nas raízes de *R. mangle* nas áreas A1 a A4.

Figura 11. Número e nível de ramificações das raízes monitoradas nas áreas A1 a A4.



Fonte: O autor, 2019

A área A1 apresentou árvores de maior porte (diâmetro médio de raiz de 3,55 cm) com um denso sistema de raízes. Nesta área a extensão média de superfície de raiz foi de 1352,2 cm<sup>2</sup>.

A área A2 apresentou o maior valor de área de raiz disponível para fixação as ostras, com um valor médio por raiz de 1635,5 cm<sup>2</sup> e com um diâmetro médio de raiz de 2,95 cm. Aqui os bosques são medianamente desenvolvidos e ramificados.

A área A3 apresenta um bosque de maior porte, com uma maior complexidade (até quinta ordem) em termos de ramificações das raízes. No entanto, as raízes são finas (diâmetro médio = 2,81 cm) resultando em uma disponibilidade média de superfície para fixação das ostras foi de 1121,8 cm<sup>2</sup>, a menor encontrada dentre as quatro áreas amostradas.

Na área A4, o bosque de mangue é de menor porte, com raízes com ramificações de até quarta ordem. O SRD foi de 1575,8 cm<sup>2</sup>, para um diâmetro médio de raiz de 2,78 cm.

### 7.3 OCORRÊNCIA E CONDIÇÃO DAS OSTRAS-DE-MANGUE

A ocorrência média de ostras vivas e mortas e de sua forma jovem (sementes) nas raízes do mangue vermelho nas áreas amostrais A1 a A4 é sumarizada na Tabela 4.

O numero de indivíduos em cada uma dessas categorias é apresentado por metro quadrado de superfície de raiz disponível para a fixação dos mesmos.

A área A1 apresentou a maior densidade de ostras vivas por unidade de superfície de raiz (1133 ostras.m<sup>-2</sup> no período de estiagem e 867 ostras.m<sup>-2</sup>) no período chuvoso. As áreas A2 e A3 apresentaram valores próximos de ostras vivas por unidade de superfície de raiz, respectivamente, 453 e 394 ostras.m<sup>-2</sup> no período de estiagem e 505 e 316 no período chuvoso. Na área A4, a densidade de indivíduos vivos foi de 34 indiv.m<sup>-2</sup> no período de estiagem e 49 indiv.m<sup>-2</sup> no chuvoso.

A densidade de ostras mortas foi mínima na área A4 (3-29 indiv.m<sup>-2</sup>) e mais elevada nas raízes de mangue das áreas A2 e A3. A densidade de ostras mortas foi mais elevada durante o período de Out/2019, principalmente nas áreas A2 e A3.

A densidade de sementes encontrada foi muito baixa, principalmente no mês de abril, com total ausência de sementes nas raízes de mangue da área A1. Em out/2019, período onde a desova é mais frequente, a fixação de sementes nas áreas A1 a A4 foi de respectivamente, 14,7; 9,9; 10,3 e 2,4 ostras.m<sup>-2</sup>, valores bastante superiores aos constatados em abril/2019.

**Tabela 4. Superfície de raiz disponível média (SDR) para a fixação de ostras e sementes e número médio de indivíduos vivos, mortos e de sementes por m<sup>2</sup> de SDR.**

	ÁREA	SDR cm <sup>2</sup>	OSTRAS VIVAS.m <sup>-2</sup>	OSTRAS MORTAS. m <sup>-2</sup>	SEMENTES. m <sup>-2</sup>
ABR2019	A1	1352.21	1132.97	49.86	0.00
	A2	1635.50	453.07	26.20	0.36
	A3	1121.80	504.72	71.25	5.60
	A4	1575.83	34.37	2.99	2.06
OUT2019	A1	1352.21	867.49	116.39	14.67
	A2	1635.50	394.35	148.30	9.92
	A3	1121.80	315.66	138.07	10.30
	A4	1575.83	49.10	28.91	2.36

Fonte: O autor, 2019

Nas Tabelas 5 e 6 e figura 12 são sumarizados, respectivamente, os valores da Altura, Comprimento e Largura e de peso, volume e peso de carne, das ostras amostradas nas 4 áreas e 2 períodos sazonais (Jan/2019 e Out/2019).

Em Jan/2019 (período de estiagem/pós-desova), as menores medidas de ostra registrada foi altura de 30 mm, largura de 9 mm, comprimento de 19 mm, peso de 3,16 g, volume de 4 ml e peso da carne de 0,3 g. As maiores, por sua vez foram: altura de 63 mm, largura de 29 mm, comprimento de 36 mm, peso de 18,78 g, volume de 27 ml e peso da carne de 1,75 g.

**Tabela 5. Valores mínimos, máximos e médios  $\pm$  DP da altura (mm), comprimento (mm) e largura (mm) das ostras-de-mangue no estuário do rio Ipojuca.**

DATA	ÁREA	ALTURA DA OSTRA			COMPRIMENTO DA OSTRA			LARGURA DA OSTRA		
		Mínimo	Máximo	Médio $\pm$ DP	Mínimo	Máximo	Médio $\pm$ DP	Mínimo	Máximo	Médio $\pm$ DP
JAN/2019	A1	30	45	38,40 $\pm$ 3,97	20	34	27,10 $\pm$ 4,54	12	29	18,45 $\pm$ 4,27
	A2	30	46	37,60 $\pm$ 4,81	22	36	28,45 $\pm$ 4,45	10	22	16,70 $\pm$ 3,63
	A3	34	46	40,75 $\pm$ 3,40	22	36	30,85 $\pm$ 4,42	12	23	18,80 $\pm$ 2,65
	A4	34	63	45,40 $\pm$ 6,67	19	32	25,95 $\pm$ 4,87	9	23	14,18 $\pm$ 3,59
OUT/2019	A1	36	49	41,65 $\pm$ 3,69	22	38	31,55 $\pm$ 5,31	13	29	18,65 $\pm$ 4,45
	A2	19	47	37,35 $\pm$ 7,02	14	39	26,70 $\pm$ 7,83	5	28	16,55 $\pm$ 6,12
	A3	24	48	37,20 $\pm$ 5,95	17	38	27,80 $\pm$ 6,53	7	26	16,25 $\pm$ 4,87
	A4	17	44	35,55 $\pm$ 6,04	10	38	26,15 $\pm$ 6,18	9	28	15,40 $\pm$ 5,13

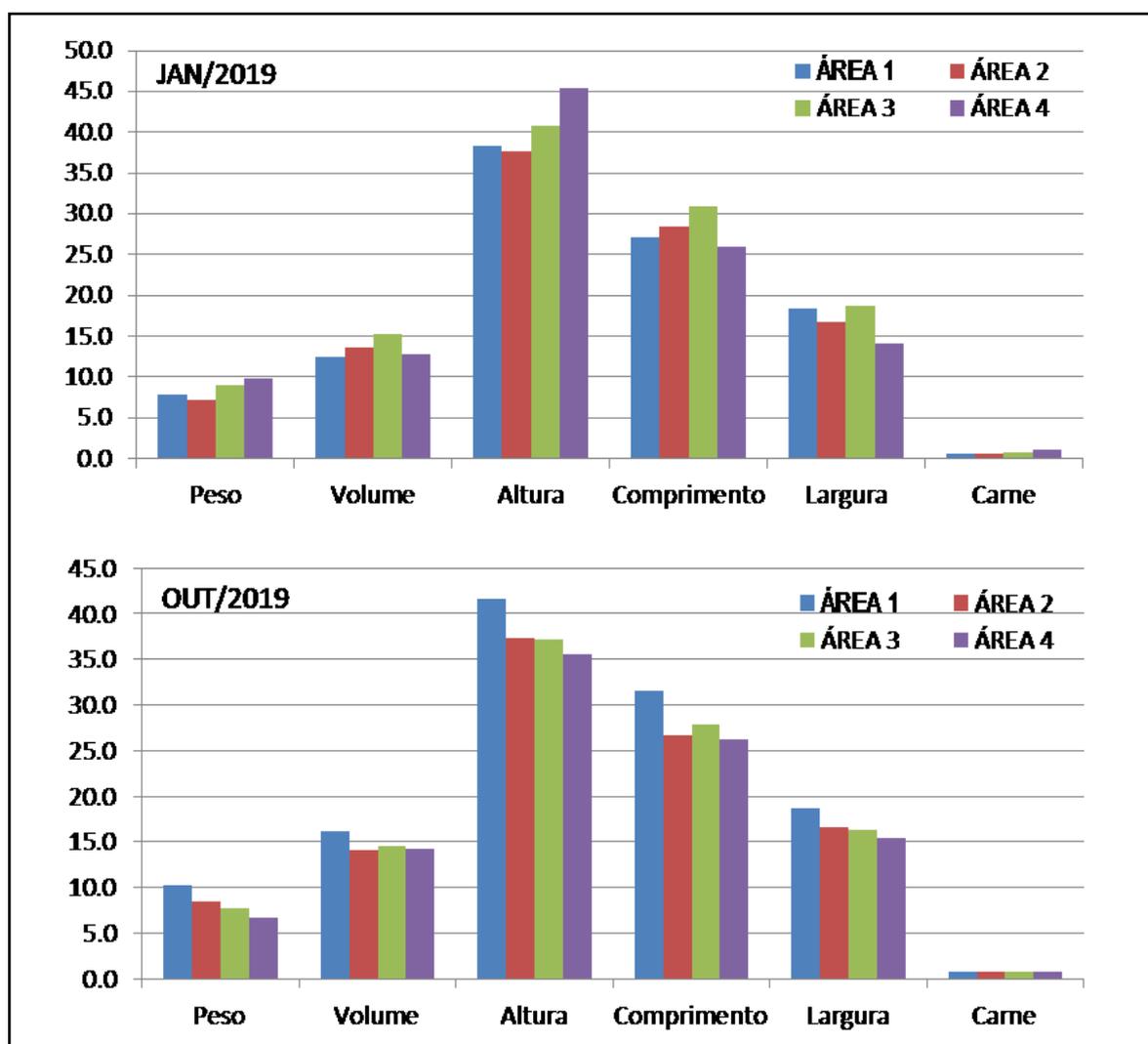
Fonte: O autor, 2019

**Tabela 6. Valores mínimos, máximos e médios $\pm$ DP do peso (g), volume (ml) e peso de carne (g) das ostras-de-mangue no estuário do rio Ipojuca.**

DATA	ÁREA	PESO OSTRA			VOLUME OSTRA			PESO CARNE		
		Mínimo	Máximo	Médio $\pm$ DP	Mínimo	Máximo	Médio $\pm$ DP	Mínimo	Máximo	Médio $\pm$ DP
JAN/2019	A1	3,96	12,80	7,82 $\pm$ 2,59	8	19	12,55 $\pm$ 3,63	0,30	1,00	0,69 $\pm$ 0,21
	A2	3,22	14,83	7,21 $\pm$ 2,93	7	27	13,80 $\pm$ 5,20	0,30	1,00	0,54 $\pm$ 0,18
	A3	4,55	12,54	8,97 $\pm$ 2,09	8	18	15,3 $\pm$ 2,62	0,40	1,10	0,72 $\pm$ 0,20
	A4	3,16	18,70	9,78 $\pm$ 4,64	4	22	12,83 $\pm$ 5,46	0,50	1,75	1,06 $\pm$ 0,41
OUT/2019	A1	6,04	18,02	10,17 $\pm$ 3,33	13	22	16,20 $\pm$ 2,53	0,32	2,29	0,82 $\pm$ 0,47
	A2	1,99	15,30	8,47 $\pm$ 3,79	4	20	14,15 $\pm$ 4,16	0,29	1,48	0,77 $\pm$ 0,37
	A3	3,45	14,80	7,69 $\pm$ 3,08	8	18	14,50 $\pm$ 2,95	0,34	1,30	0,77 $\pm$ 0,29
	A4	2,39	12,78	6,66 $\pm$ 3,35	10	18	14,25 $\pm$ 2,34	0,26	1,81	0,79 $\pm$ 0,33

Fonte: O autor, 2019

Figura 12. Peso (g), volume (ml), altura (mm), comprimento (mm), largura (mm) e peso de carne (g) médios nas áreas A1 a A4 durante as amostragens em Jan/2019 (período de estiagem) e em Out/2019 (período chuvoso).



Fonte: O autor, 2019

Em Out/2019 (período chuvoso/desova) as menores medidas das ostras foram: altura foi de 17 mm, largura de 5 mm, comprimento de 10 mm, peso de 1,99 g, volume 4 ml e peso da carne de 0,26 g. As maiores medidas, por sua vez, foram altura de 49 mm, largura de 29 mm, comprimento de 39 mm, peso de 18,02 g, volume de 22 ml e peso da carne de 2,29 g.

De maneira geral, houve um acréscimo das medidas das ostras quando comparamos o período seco com o período chuvoso.

Considerando as 4 áreas amostradas, as ostras do estuário do rio Ipojuca

apresentaram alturas variáveis entre 30 e 49 mm na área 1; entre 19 e 47 mm na área 2, entre 24 e 48 mm na área 3 e entre 17 e 63 mm na área 4. A maior variabilidade em altura dos indivíduos sendo registrada na área 4, mais interna e a menor na área 1 que recebe uma maior influência das águas marinhas.

No período de estiagem a maior e menor ostra coletada na área A1 apresentou, respectivamente altura de 36 e 49 mm. Para a área A2 tivemos o menor valor em altura de 30 mm e o maior em 46 mm. Já na área A3, o menor valor foi de 34 mm e o maior 46 mm. Na área A4 observamos os maiores valores, a menor altura foi a ostra com 17 mm e a maior foi a de 63 mm.

No período chuvoso encontramos na área A1 o menor valor de altura em 19mm e o maior em 49 mm. Para a área A2 tivemos o menor valor em altura de 24 mm e maior em 47 mm. Já na área A3 o menor valor foi de 24 mm e o maior 48 mm. Na área A4 observamos 19 mm para a ostra com menor altura e 48 mm para a maior.

Para a altura, notou-se um aumento da área A1, A3 e A4 do período seco para o chuvoso. Na área A2, as alterações na altura na ostra não foram significantes. Durante o período de estiagem os indivíduos de maior altura foram encontrados na área A4 e os de menores na área A1, com valores intermediários para as áreas A2 e A3. Durante o período chuvoso, essa relação se inverte, com indivíduos com maiores alturas na área A1 e com menores na área A4.

Durante os períodos amostrados, o comprimento e largura das ostras na área A1 variaram respectivamente entre 20 e 38 mm e entre 12 e 29 mm. Na área A2, essa variação foi de 14 a 39 mm em comprimento e de 5 a 28 mm em largura. Os valores de comprimento e largura para a área A3 variaram entre 17 e 38 mm e entre 7 e 26 mm, respectivamente. Na área A4, as ostras apresentaram comprimentos de concha de 10 a 38 mm e largura de concha variável entre 9 e 28 mm.

No período de estiagem (Jan/2019) na área A1 obtivemos para largura mínima 12 mm e máxima 29 mm; para comprimento mínimo, 20 mm e máximo 34 mm. Na área A2 a menor largura foi 10 mm e a maior 22 mm; para comprimento, o valor mínimo registrado foi de 22 mm e o máximo de 36 mm. A área A3 apresentou ostras com largura mínima de 12 mm e máxima 23 mm e comprimento mínimo de 22 mm e 36 mm de máximo. Já na área A4 as ostras amostradas apresentaram

largura mínima 9 mm e máxima 23 mm, comprimento mínimo e máximo de 19 mm e 32 mm, respectivamente.

No período chuvoso (Out/2019) a largura mínima registrada para ostras da área A1 foi de 13 mm e a máxima de 29 mm; o comprimento mínimo foi de 22 mm e o máximo de 38 mm. Na área A2 a menor largura de ostra foi 5 mm e a máxima 28 mm; o comprimento mínima foi de 14 mm e o máximo de 39 mm. As ostras da área A3 apresentaram largura mínima e máxima respectivamente de 7 mm e 26 mm e comprimento mínimo e máximo de 17 e 38 mm. Na área A4 a ostra menor largura de ostra foi de 9 mm e a maior de 28 mm, enquanto que o menor e maior comprimento e ostra registrado nesta estação foram, respectivamente, 10 mm e 38 mm.

As ostras da área A1 apresentaram a maior variabilidade em comprimento entre os períodos seco e chuvoso, crescendo neste último, seguidas pelas ostras da área A3. Já o comprimento das ostras das áreas A2 e A4 variaram pouco sazonalmente. Em termos da largura das ostras, aquelas das áreas A1 e A2 mantiveram suas medidas, enquanto aquelas das áreas A3 e A4 aumentaram sua largura entre as amostragens do período de estiagem (Jan/2019) e chuvoso (Out/2019).

O mesmo padrão foi encontrado para a variável peso da ostra. O mesmo variou entre 3,96 g e 18,02 g na área 1; entre 1,99 g e 15,30 g na área A2 e entre 3,45 g e 14,80 g na área A3. Na área A4 o peso das ostras variou de 2,39 g a 18,70 g.

No período de estiagem, o menor valor de peso para área A1 encontrado foi de 3,96g e o de maior valor foi 12,80g. Nessa área a média do peso foi de 7,82 g. Na área A2 o menor valor de peso para a área foi 3,22 g e o maior 14,83 g, obtendo 7,21 g de média. O menor valor para o peso das ostras da área A3 foi de 4,55 g e o maior valor de 12,54 g com média 8,97 g. Já na área A4 o menor peso foi de 3,16 g e o maior foi de 18,70 g e média de 9,78 g.

No período chuvoso, o menor valor de peso para ostras da área A1 encontrado foi de 6,04 g e o maior 18,02 g com média de 10,17 g. A área A2 o menor peso foi 1,99 g e 15,30 g no maior valor. A média para essa área foi de 8,47. Na área A3 obtivemos a ostra com menor peso no valor de 3,45 g e a maior com 14,80 g com média de 7,69 g. Na área A4 o menor valor foi de 2,39 g e o maior com

12,78 g e a média para o peso da ostra foi de 6,66 g.

No período de estiagem, as ostras apresentaram pesos distintos entre as áreas, de maneira que a área A4 apresentava maiores pesos, seguidas pela área A3, A1 e A2, respectivamente. Contudo, ao se analisar o período chuvoso, foi verificado que o peso das áreas A1 e A2 aumentaram, a de A3 se manteve e as ostras da área A4 apresentaram diminuição de peso. Tanto no período seco quanto no período chuvoso, as maiores diferenças de peso entre as áreas são da A1 e da A4, com diferenças que se invertem entre as estações.

O volume das ostras mostrou-se menos variável entre áreas e estações sazonais. Nas áreas A1 e A2 o volume das ostras variou respectivamente entre 8 e 22 ml e entre 4 e 27 ml, enquanto que nas áreas A3 e A4, apresentou valores de 8 a 18 ml e de 4 a 22 ml.

No período de estiagem os valores do volume da área A1 foram de 8 ml (mínimo) e 19 ml (máximo), na área A2 o volume foi de 7 ml (mínimo) e 27 ml (máximo). Na área A3 observou-se os volume de 8 ml (mínimo) e 18 ml (máximo) enquanto que na área A4 observou-se os volumes de 4 ml (mínimo) e de 22 ml (máximo).

No período chuvoso os volumes mínimo e máximo das ostras por áreas foram os seguintes: área A1 13 ml (mínimo) e 29 ml (máximo); área A2: 4 ml (mínimo) e 20 ml (máximo); área A3: 8 ml (mínimo) e 18 ml (máximo); área A4, 10 ml (mínimo) e 18 ml (máximo).

O volume, por sua vez, aumentou abruptamente entre os dois períodos na área A1. O aumento também ocorreu na área A2, mas não foi tão significativo. Já nas áreas A3 e na área A4 houve diminuição do volume.

O peso médio de carne das ostras foi de 0,69 g (min=0,30 g; max=1,00 g) no período de estiagem e de 0,82 g (min=0,32 g; max=2,29 g) no período chuvoso na área 1; de 0,54 g (min=0,30 g; max=1,00 g) no período de estiagem e de 0,77 g (min=0,29 g; max=1,48 g) no período chuvoso na área 2. Na área 3, o peso médio de carne das ostras foi de 0,72g (min=0,40 g; max=1,10 g) no período de estiagem e de 0,77 g (min=0,34 g; max=1,30 g) no período chuvoso. Na área 4, as ostra apresentaram um peso médio de carne de 1,06 g (min=0,50 g; max=1,75 g) no período de estiagem e de 0,79 g (min=0,26 g; max=1,81 g) no período chuvoso.

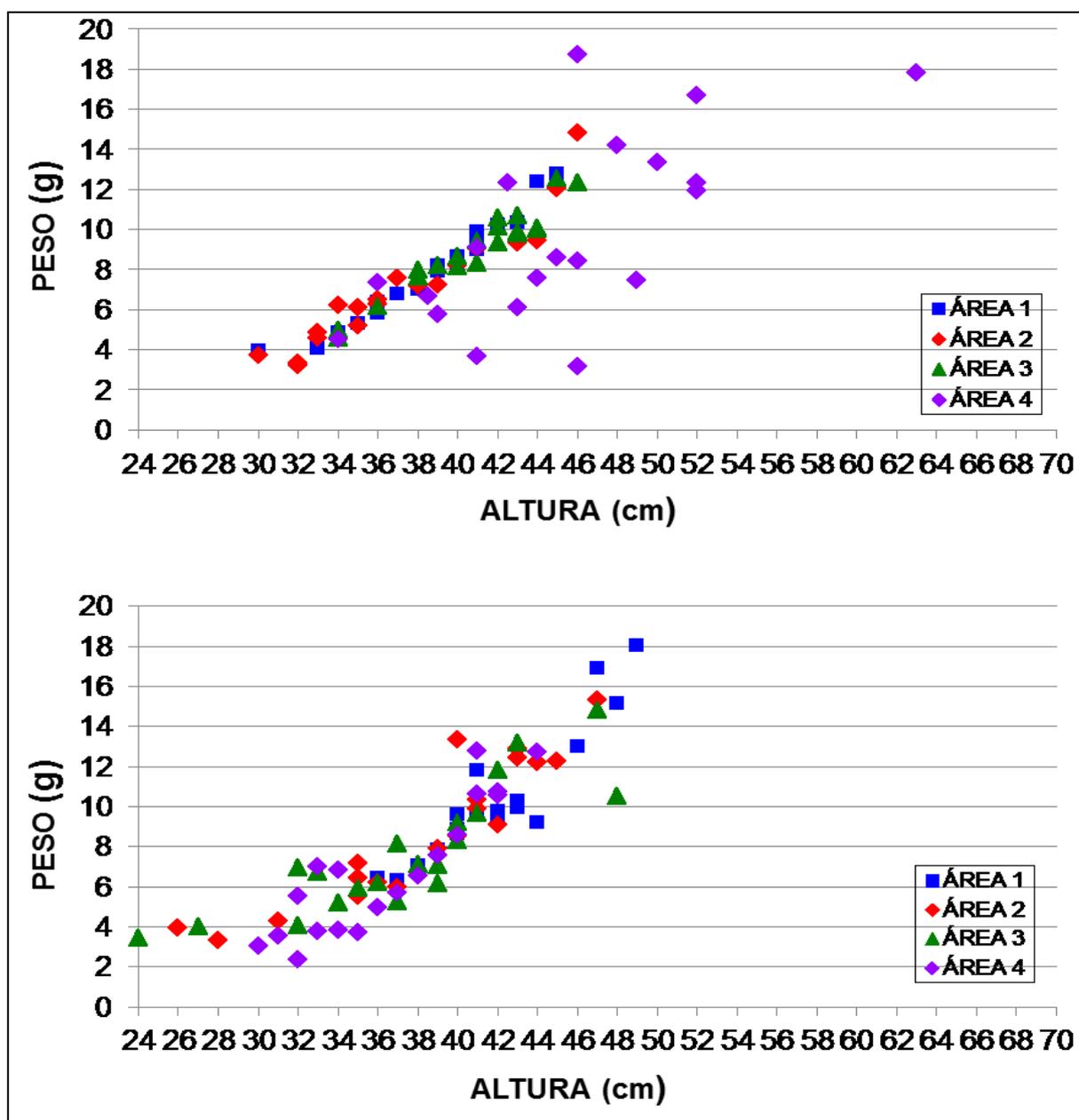
De maneira geral, houve crescimento nos valores biométricos obtidos entre as áreas. Mas, vale ressaltar que a área A2 se comportou de maneira distinta das outras áreas, com alterações insignificantes ou sem alterações.

Na figura 13, são apresentadas as relações altura x peso para as ostras das 4 áreas amostradas em Jan/2019 e Out/2019. Em Jan/2019 as correlações entre essas variáveis foram altamente significativas para as áreas A1 ( $r_1=0,96$ ); A2 ( $r_2=0,90$ ) e A3 ( $r_3=0,60$ ). Na área A4, os valores apresentaram uma maior dispersão, mas ainda uma correlação significativa ( $r_4=0,47$ ). A mesma tendência foi verificada em Out/2019, com correlações altamente significantes para as áreas A1, A2 e A3 ( $r_1=0,86$ ;  $r_2=0,82$  e  $r_3=0,72$ ) e significativa ( $r_4=0,64$ ) para a área A4.

Na área 1, observou-se que, como raramente as ostras ultrapassam um peso maior que 10g, esta correlação não se mostrou tão expressiva quanto na área 4, onde ocorre maiores variações nos tamanhos e no peso. Na área 4, para o período de estiagem, não foi observada correlação.

Em Jan/2019 essas relações são mais variáveis para os indivíduos menores que 36 mm, enquanto que em Out/2019 a maior dispersão foi verificada para indivíduos maiores que 40 mm (Fig. 13).

Figura 13. Correlação de altura (mm) x peso (g) nas áreas A1 a A4 em Jan2019 e Out2019.



Fonte: O autor, 2019

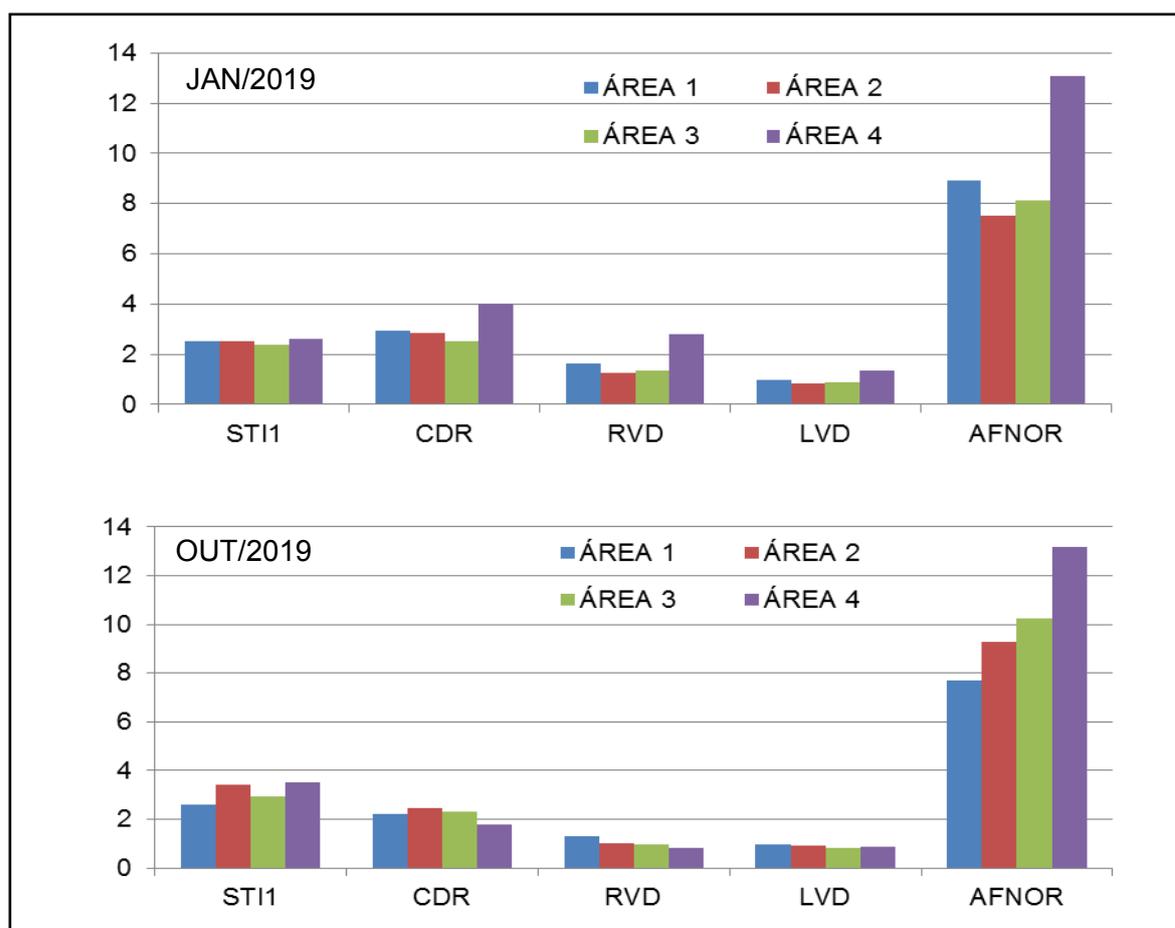
Na Tabela 7 e figura 14 são apresentados os valores dos índices de condicionamento da ostra-de-mangue do rio Ipojuca para os períodos de Jan/2019 e Out/2019.

Tabela 7. Valores dos índices STI1, CDR, RVD, LVD e AFNOR das ostras do estuário do rio Ipojuca (áreas A1 a A4) em Janeiro e Outubro de 2019.

		STI1	CDR	RVD	LVD	AFNOR
JAN2019	ÁREA 1	2,51	2,94	1,64	0,96	8,91
	ÁREA 2	2,50	2,84	1,28	0,83	7,53
	ÁREA 3	2,38	2,52	1,35	0,87	8,11
	ÁREA 4	2,62	4,03	2,78	1,35	13,09
OUT2019	ÁREA 1	2,58	2,23	1,32	0,96	7,71
	ÁREA 2	3,41	2,45	1,01	0,93	9,29
	ÁREA 3	2,96	2,31	0,99	0,82	10,22
	ÁREA 4	3,53	1,78	0,83	0,87	13,18

Fonte: O autor, 2019

Figura 14. Índices de Condição STI1 (1-10), CDR, RVD, LVD e AFNOR (0 - ∞) das ostras nas áreas A1 a A4 em Jan2019 e em Out2019.



Fonte: O autor, 2019

#### 7.4 REGIMES TÉRMICO, SALINO E INTERAÇÃO HIDRODINÂMICA

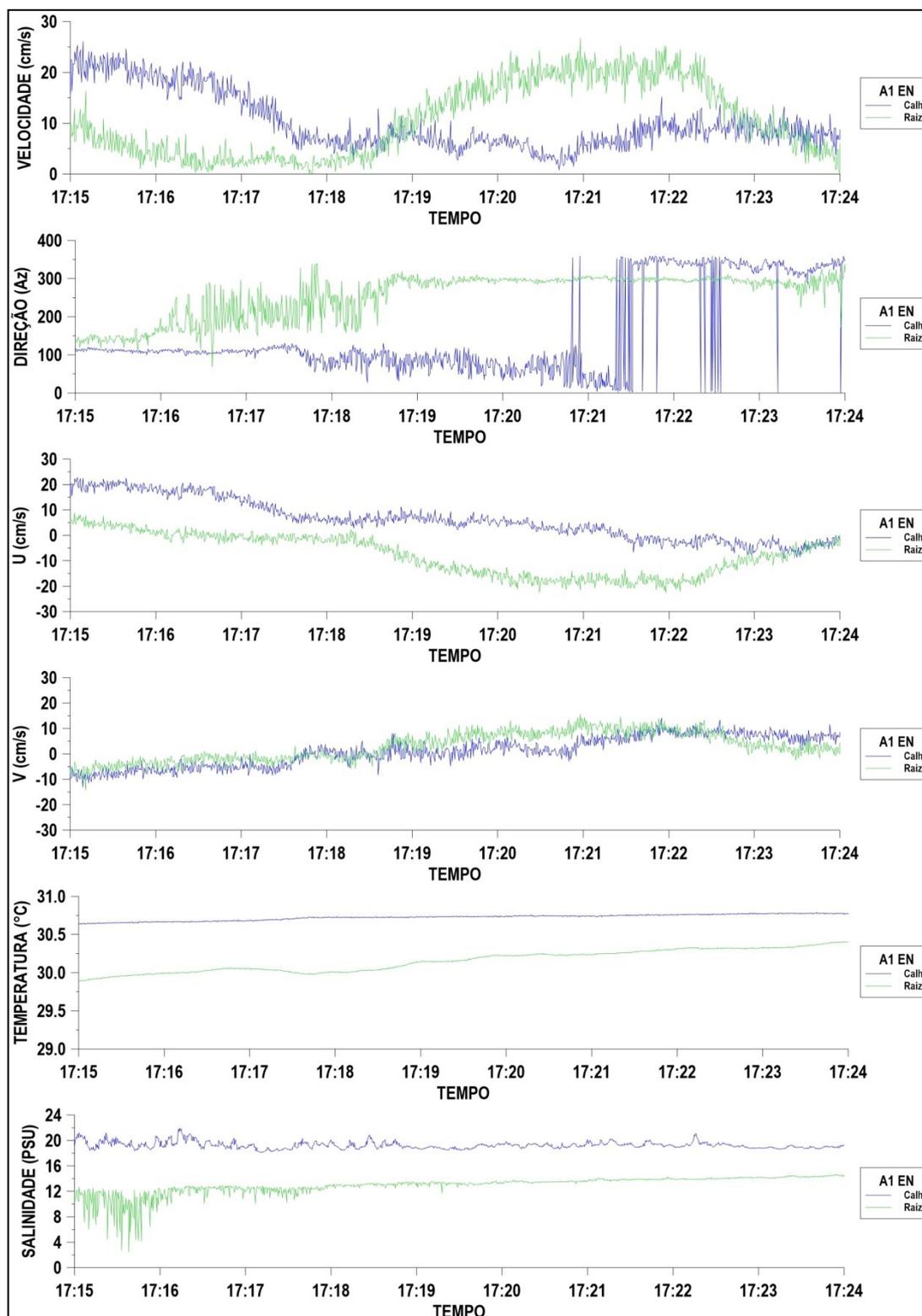
Nas figuras 15 a 25 são apresentados os resultados das medições das correntes (velocidade e direção) e de suas componentes decompostas segundo os eixos Leste-Oeste (U, positivo pra Leste) e Norte-Sul (V, positivo para o Norte), bem como da temperatura e da salinidade para as 4 áreas amostrais e estágios de maré enchente (EN), preamar (PM) e vazante (VZ) obtidos em Abril-Maio/2019.

Os registros foram obtidos simultaneamente para a área externa, adjacente ao banco de ostra (Calha) e para uma área interior, entre as raízes de mangue do banco-de-ostra (Raiz). Como esses bancos são rasos e ficam emersos durante a baixa-mar, não foi possível a obtenção de registros durante esse estágio de maré.

Os plotes de velocidade de corrente e de suas componentes U e V, indicam uma atenuação das mesmas dentro do sistema de raízes, relativo àqueles registros obtidos fora delas (Figs. 15-25).

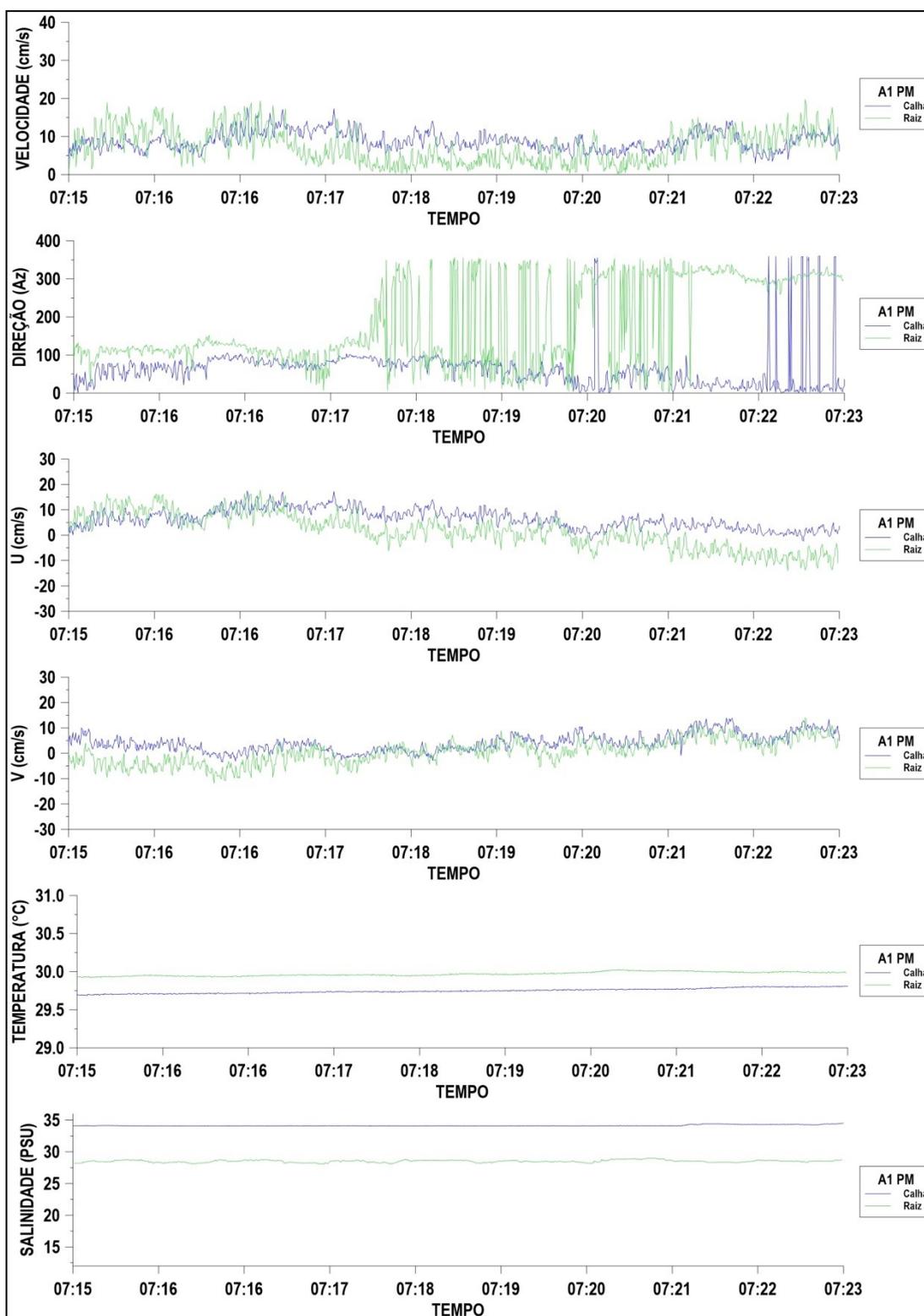
Na área A1, os registros das correntes obtidos dentro e fora do sistema de raízes durante o estágio de enchente e vazante, apresentam uma modulação com período de 3 a 4 minutos e uma diferença de fase de cerca de  $90^\circ$  (Fig. 15 e 16). As velocidades medidas, oscilando entre 0 e  $25 \text{ cm.s}^{-1}$  dentro e fora das raízes Fig. 15 e 16). Durante o estófo de preamar Fig.16), a velocidade das correntes é mais reduzida oscilando de 0 a cerca de  $18 \text{ cm.s}^{-1}$  e com valores ligeiramente reduzidos para o interior das raízes de mangue. Os registros para a área das raízes mostra oscilações de alta frequência (Fig. 17) durante a vazante. A direção das correntes é em geral para SSE a SO ( $148$  a  $256^\circ$ ). As variações de temperatura das águas nesses dois pontos foi pequena,  $<0,50^\circ\text{C}$ ). Os valores registrados oscilaram entre  $30$  e  $30,5^\circ\text{C}$ . Os registros de salinidade indicam uma diferença significativa dentre os valores obtidos dentro e fora das raízes de mangue, com as salinidades dentro do sistema de raízes cerca de 5-6 PSU inferiores àqueles para as águas adjacentes aos bancos de ostra (Figs. 16 a 18).

Figura 15. Velocidade e direção das correntes, de suas componentes U (+Este) e V (+Norte), da temperatura e da salinidade em pontos externo e internos das raízes de mangue nos bancos de ostra da área A1, durante o estágio de enchente (EN).



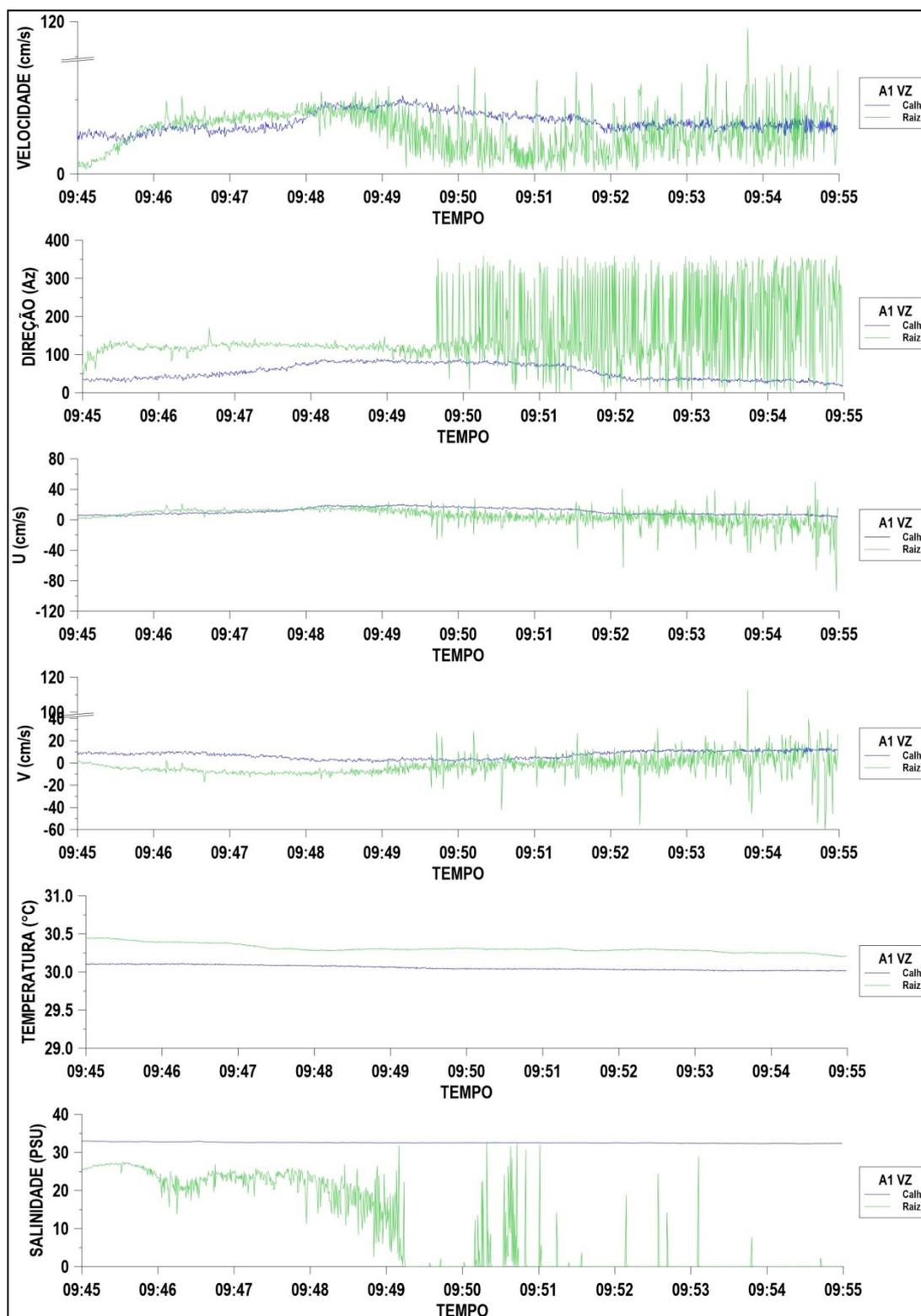
Fonte: O autor, 2019

Figura 16. Velocidade e direção das correntes, de suas componentes U (+Este) e V (+Norte), da temperatura e da salinidade em pontos externo e internos das raízes de mangue nos bancos de ostra da área A1, durante o estágio de preamar (PM).



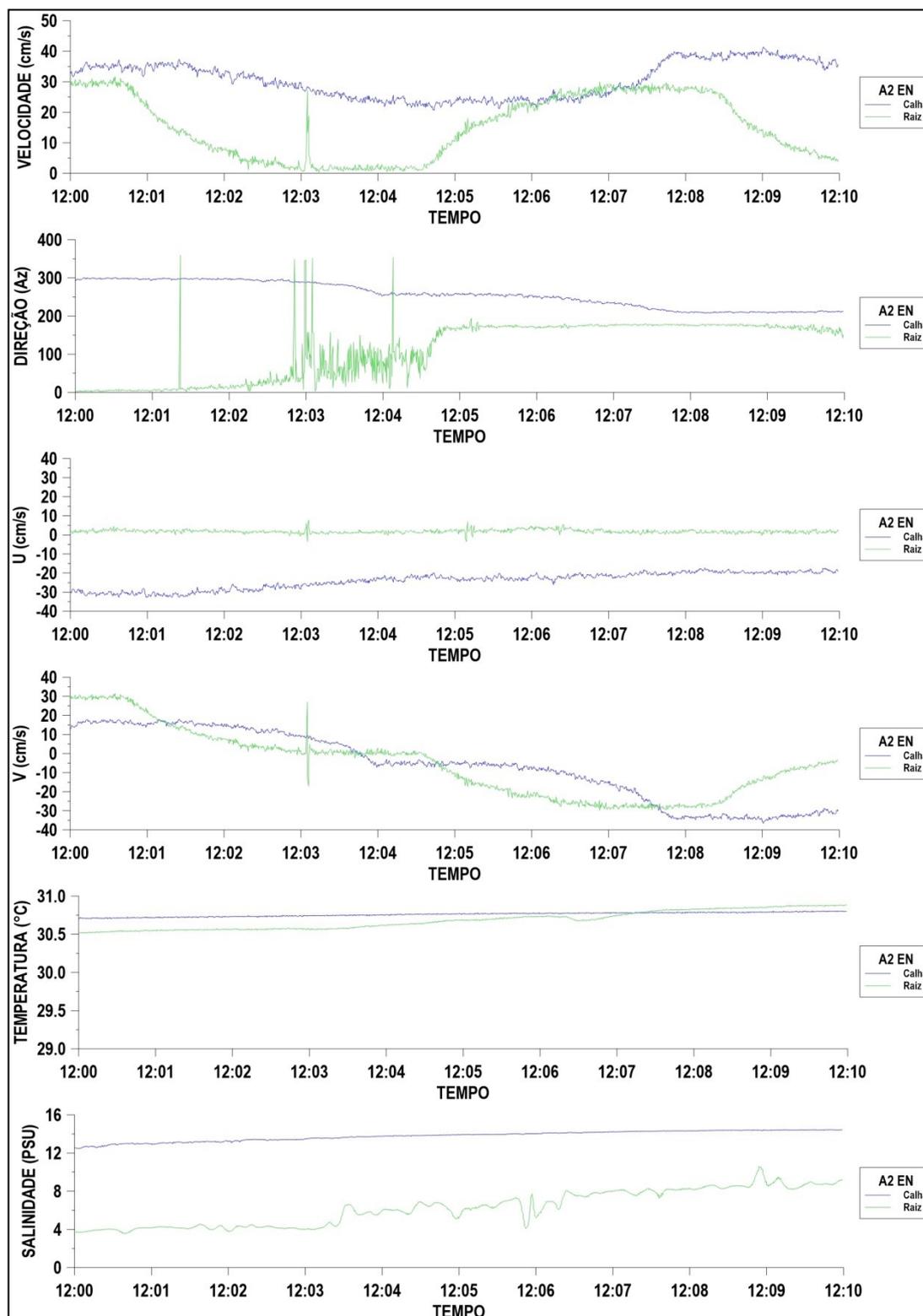
Fonte: O autor, 2019

Figura 17. Velocidade e direção das correntes, de suas componentes U (+Este) e V (+Norte), da temperatura e da salinidade em pontos externo e internos das raízes de mangue nos bancos de ostra da área A1, durante o estágio de vazante (VZ).



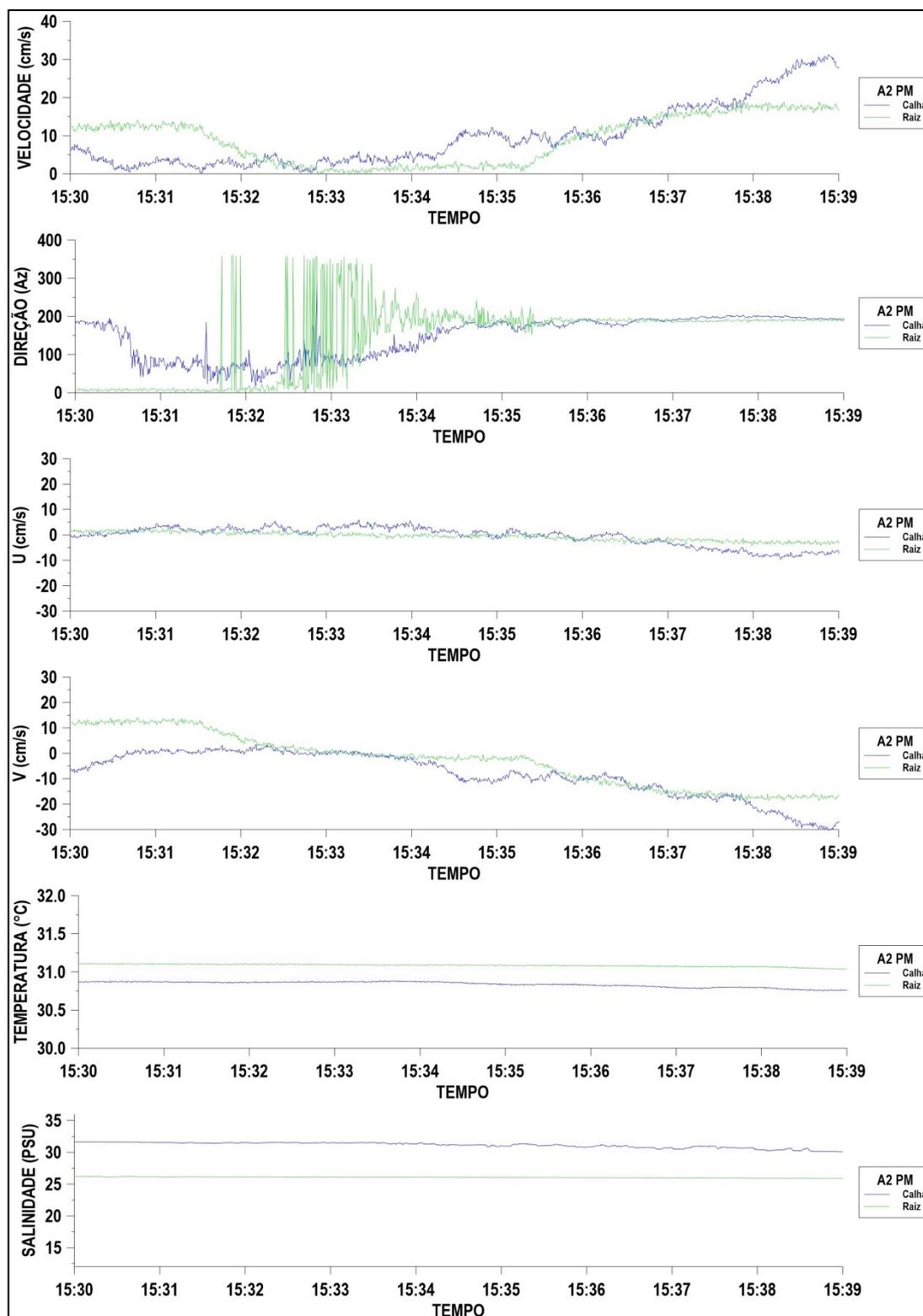
Fonte: O autor, 2019

Figura 18. Velocidade e direção das correntes, de suas componentes U (+Este) e V (+Norte), da temperatura e da salinidade em pontos externo e internos das raízes de mangue nos bancos de ostra da área A2, durante o estágio de enchente (EN).



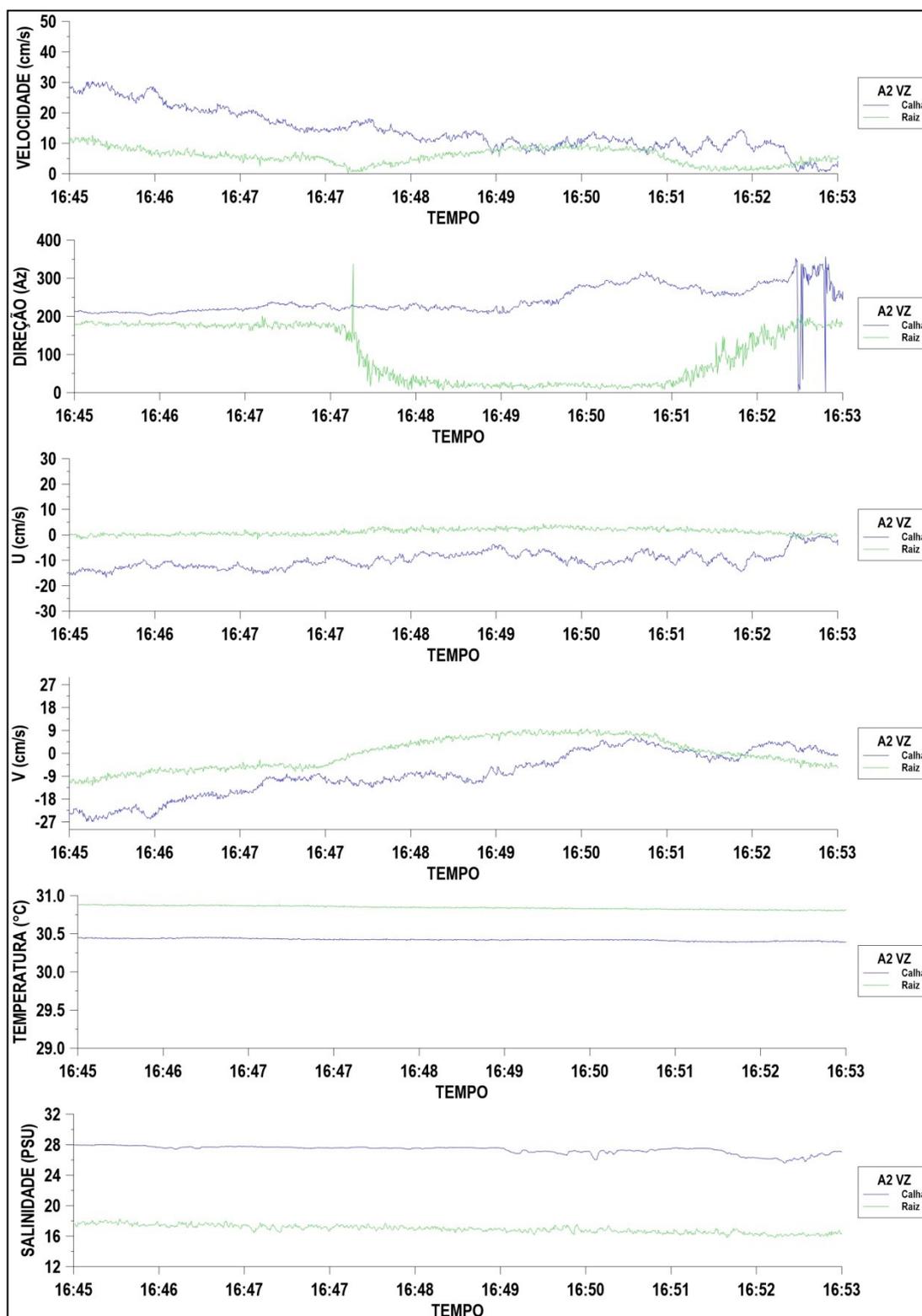
Fonte: O autor, 2019

**Figura 19. Velocidade e direção das correntes, de suas componentes U (+Este) e V (+Norte), da temperatura e da salinidade em pontos externo e internos das raízes de mangue nos bancos de ostra da área A2, durante o estágio de preamar (PM).**



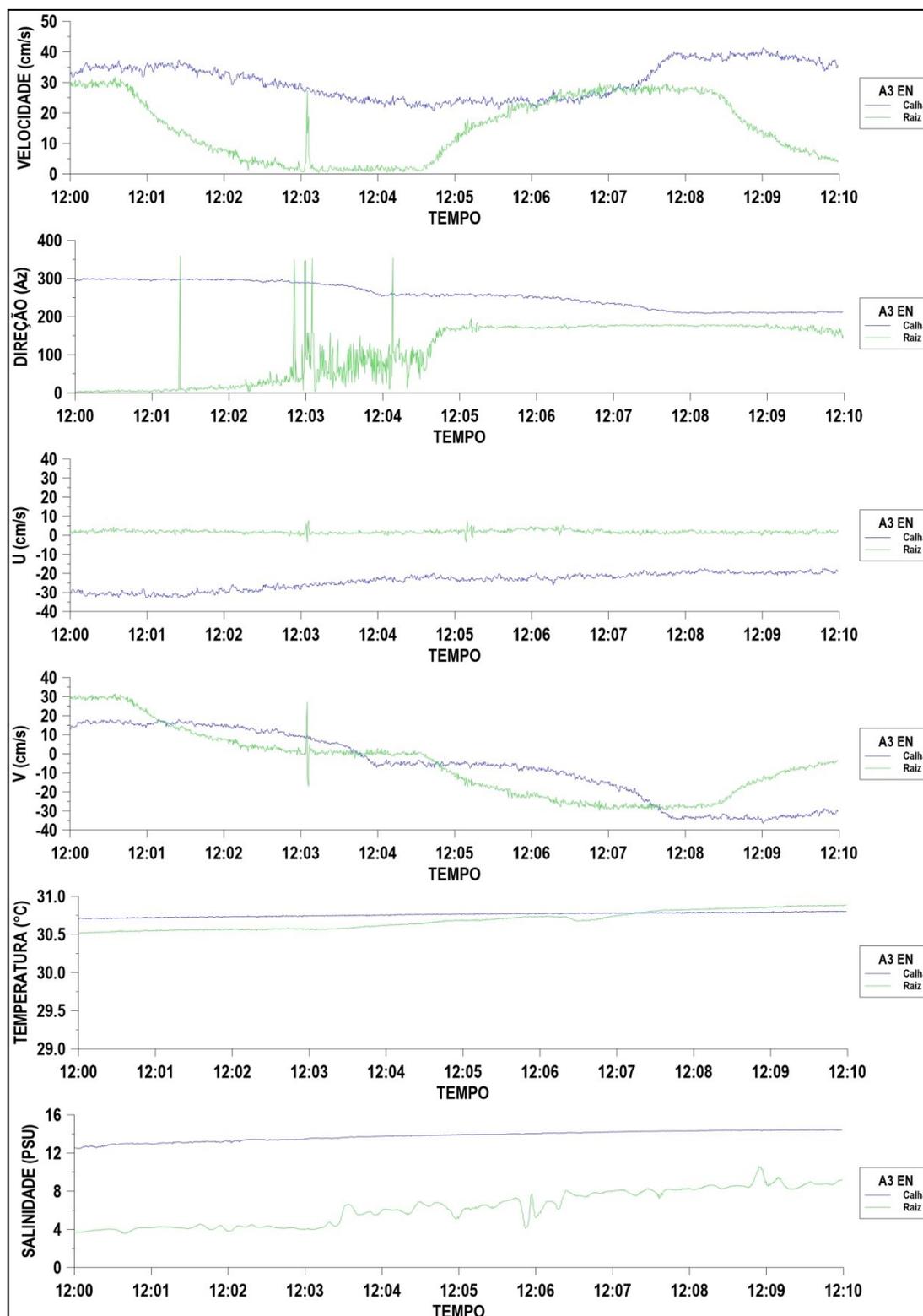
Fonte: O autor, 2019

Figura 20. Velocidade e direção das correntes, de suas componentes U (+Este) e V (+Norte), da temperatura e da salinidade em pontos externo e internos das raízes de mangue nos bancos de ostra da área A2, durante o estágio de vazante (VZ).



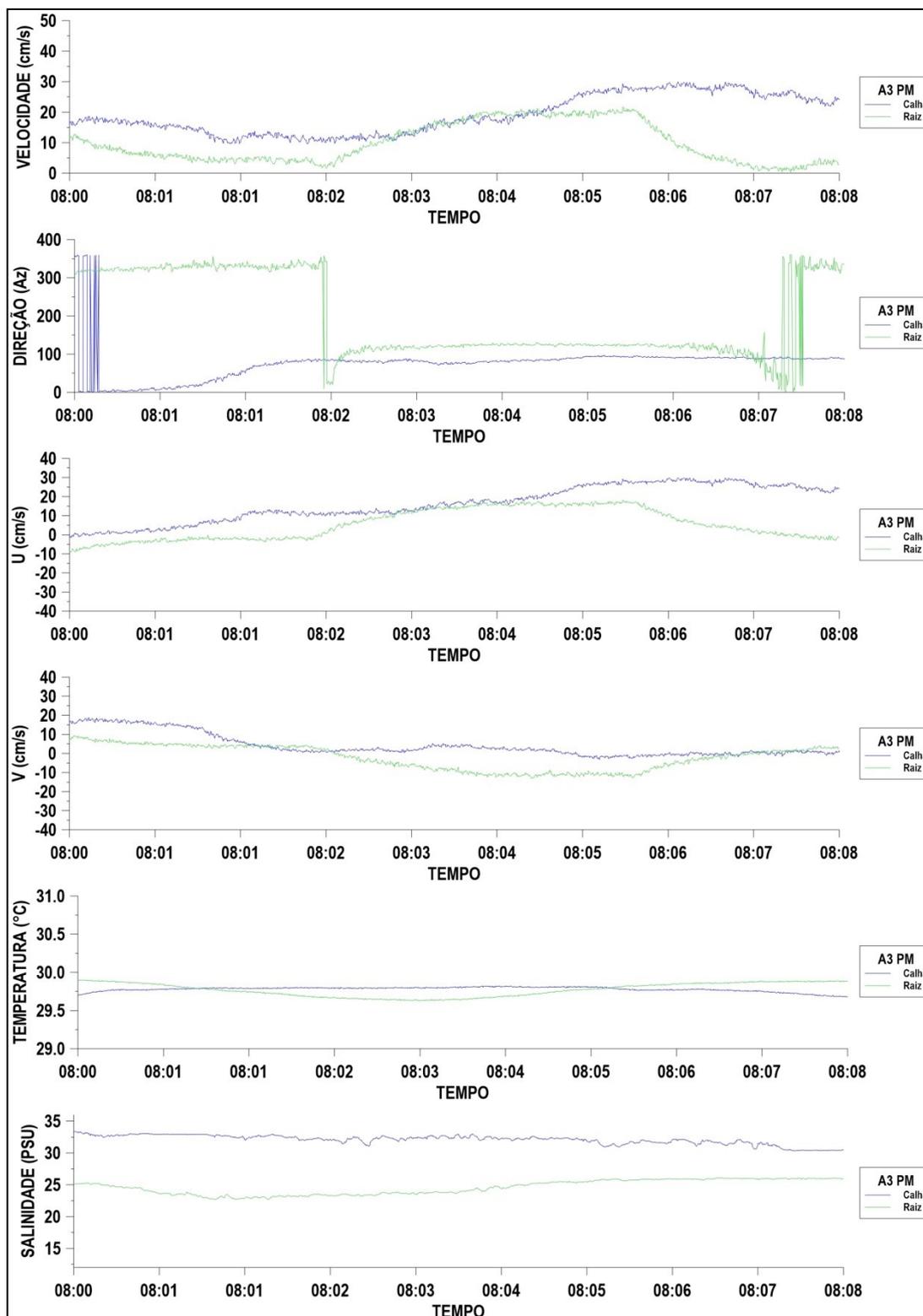
Fonte: O autor, 2019

Figura 21. Velocidade e direção das correntes, de suas componentes U (+Este) e V (+Norte), da temperatura e da salinidade em pontos externo e internos das raízes de mangue nos bancos de ostra da área A3, durante o estágio de preamar (PM).



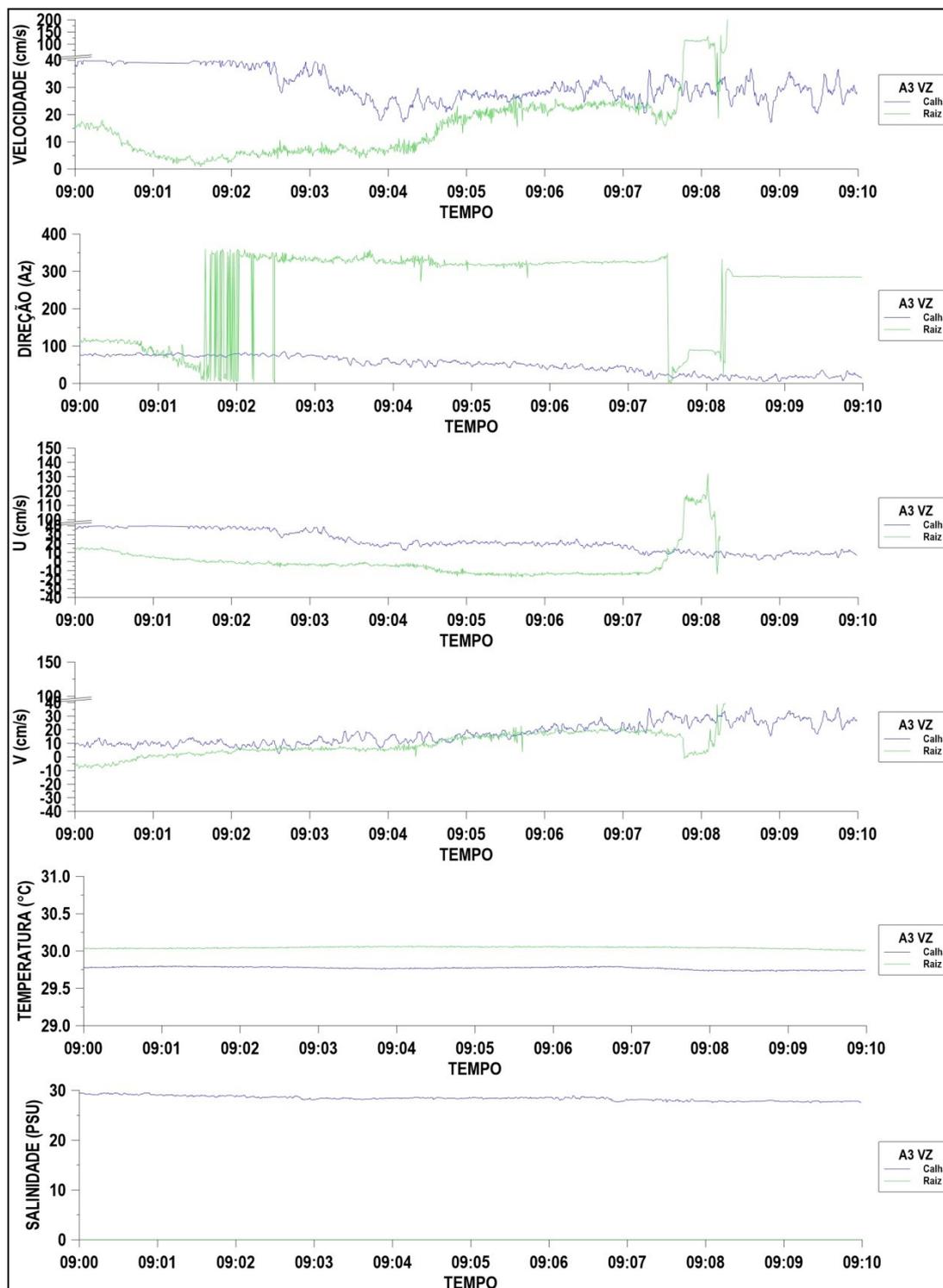
Fonte: O autor, 2019

Figura 22. Velocidade e direção das correntes, de suas componentes U (+Este) e V (+Norte), da temperatura e da salinidade em pontos externo e internos das raízes de mangue nos bancos de ostra da área A3, durante o estágio de enchente (EN).



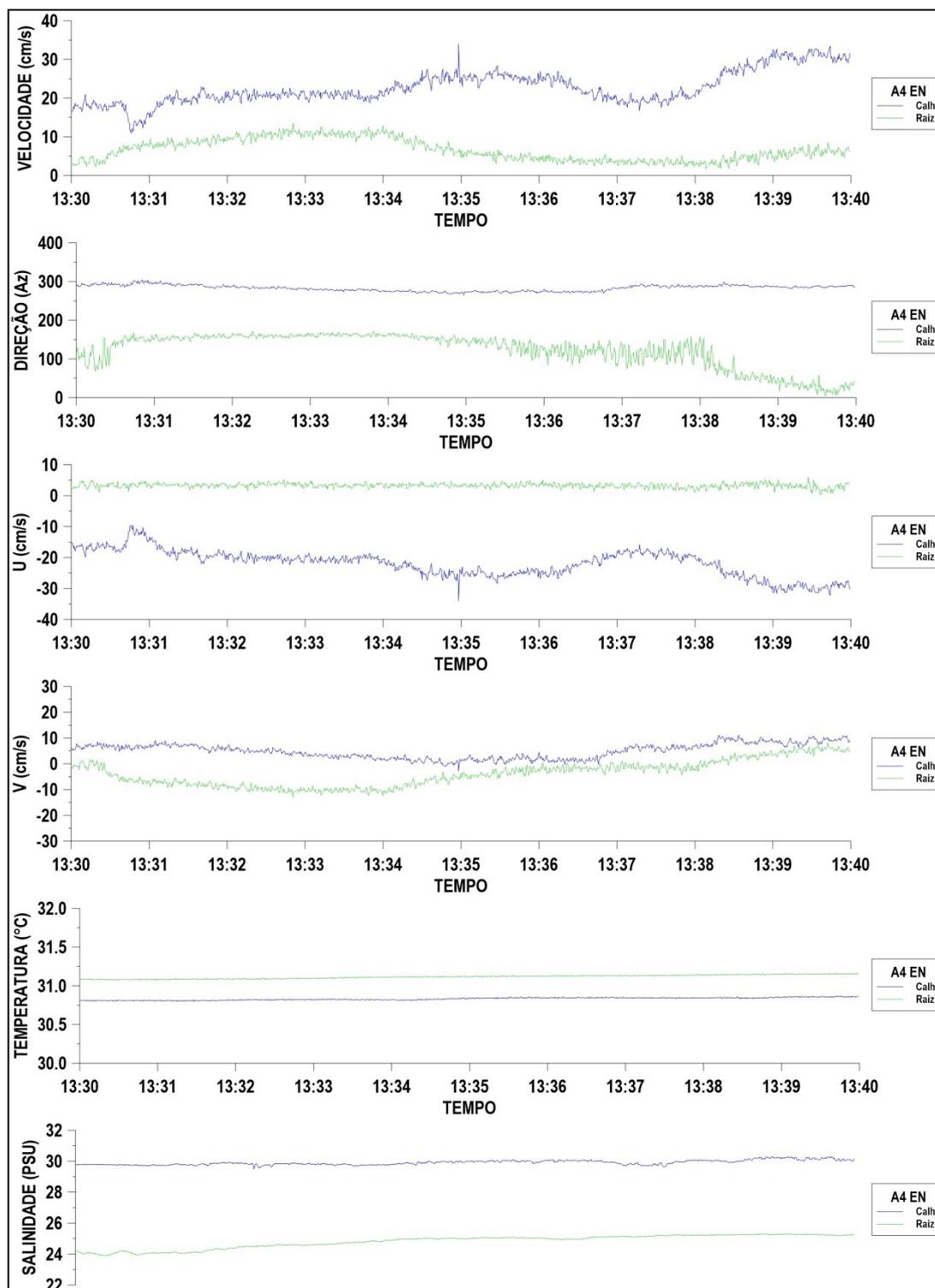
Fonte: O autor, 2019

Figura 23. Velocidade e direção das correntes, de suas componentes U (+Este) e V (+Norte), da temperatura e da salinidade em pontos externo e internos das raízes de mangue nos bancos de ostra da área A3, durante o estágio de vazante (VZ).



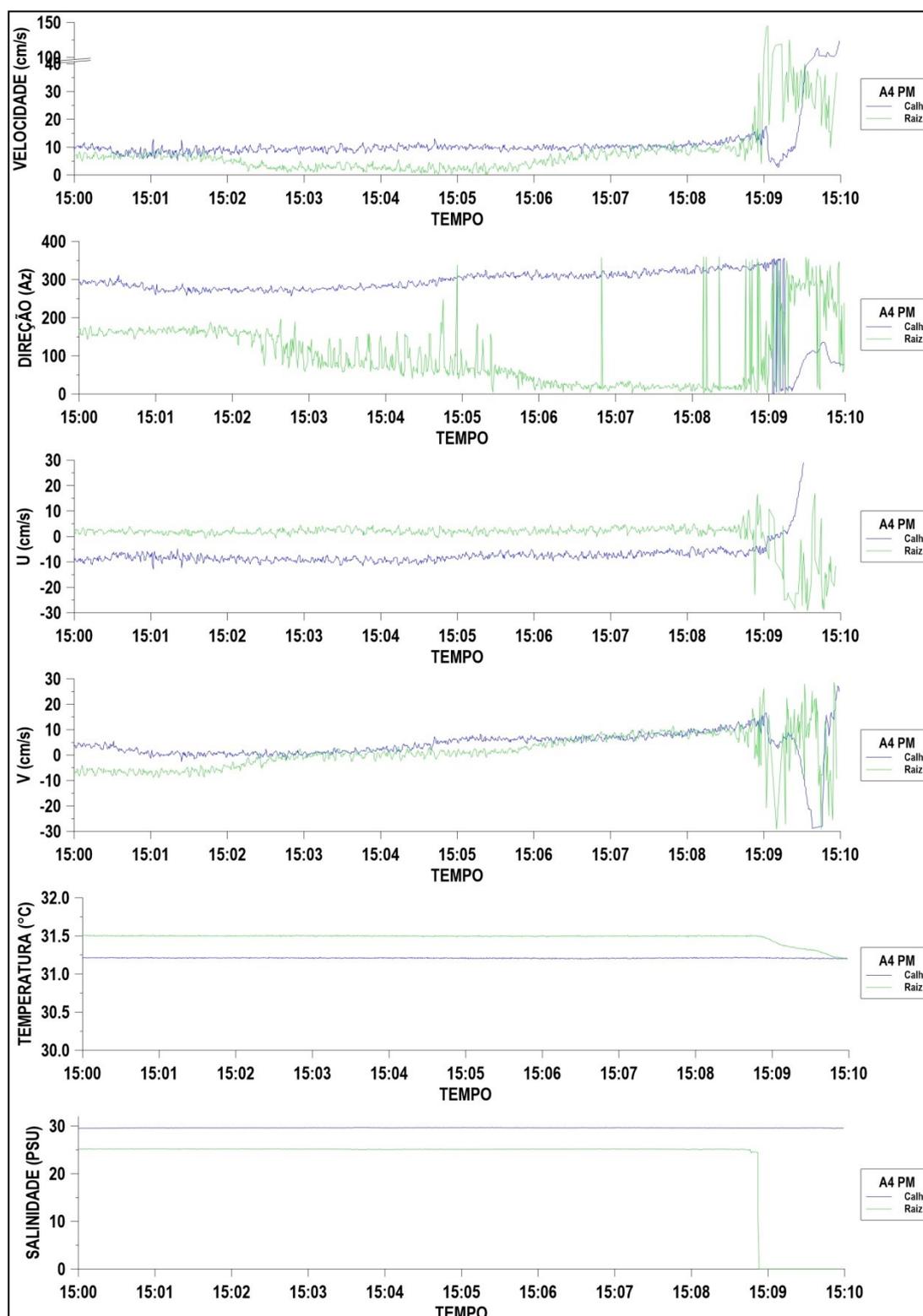
Fonte: O autor, 2019

**Figura 24. Velocidade e direção das correntes, de suas componentes U (+Este) e V (+Norte), da temperatura e da salinidade em pontos externo e internos das raízes de mangue nos bancos de ostra da área A4, durante o estágio de enchente (EN).**



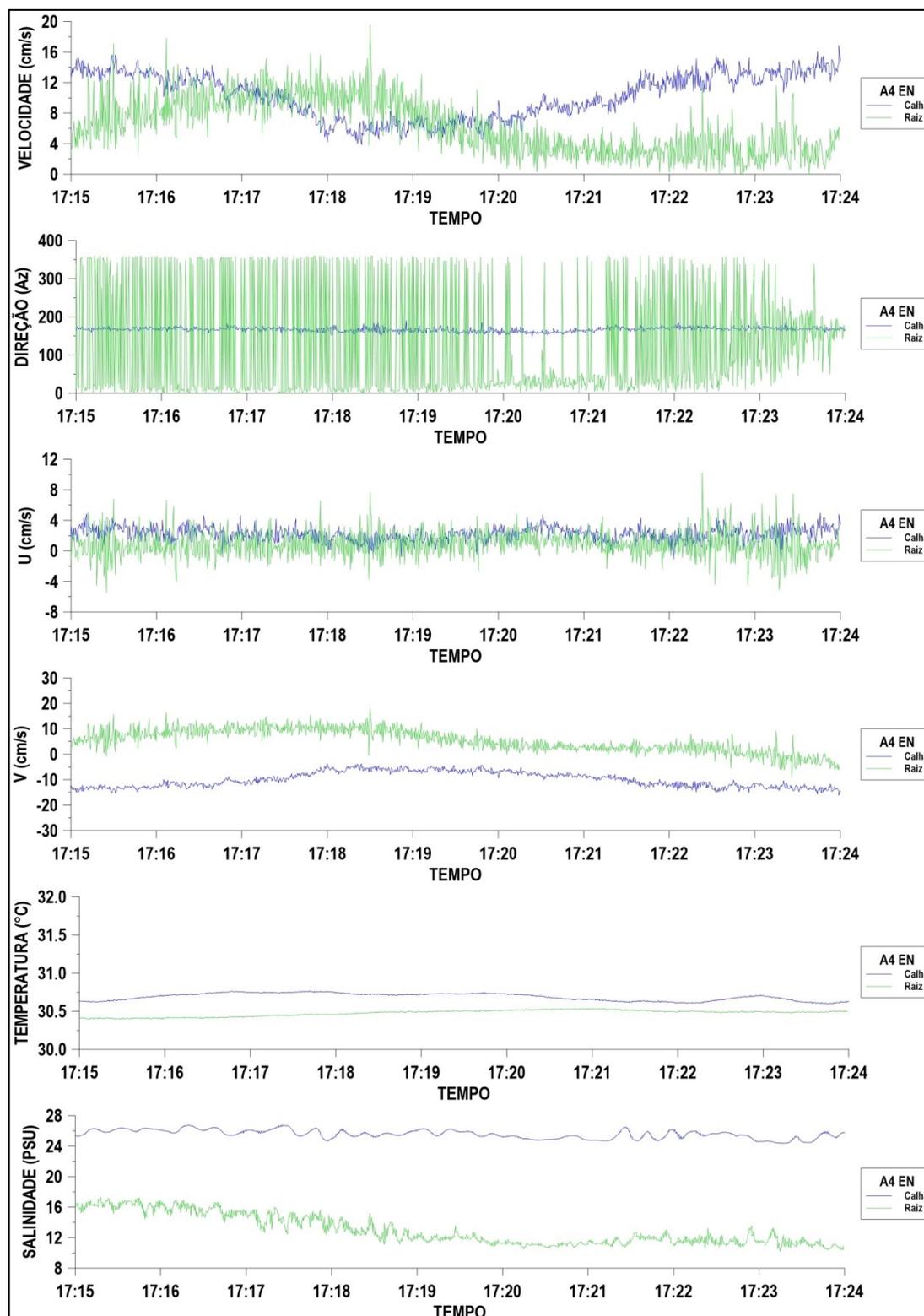
Fonte: O autor, 2019

**Figura 25. Velocidade e direção das correntes, de suas componentes U (+Este) e V (+Norte), da temperatura e da salinidade em pontos externo e internos das raízes de mangue nos bancos de ostra da área A4, durante o estágio de preamar (PM).**



Fonte: O autor, 2019

Figura 26. Velocidade e direção das correntes, de suas componentes U (+Este) e V (+Norte), da temperatura e da salinidade em pontos externo e internos das raízes de mangue nos bancos de ostra da área A4, durante o estágio de vazante (VZ).



Fonte: O autor, 2019

Na área A2, os registros de corrente dentro e fora do sistema de raízes, novamente apresentaram uma oscilação de 3-5 minutos, mas com uma menor variabilidade relativa à verificada na área A1. A velocidade média na enchente, preamar e vazante no interior das raízes de respectivamente  $15,3 \text{ cm.s}^{-1}$ ,  $9,3 \text{ cm.s}^{-1}$  e  $5,7 \text{ cm.s}^{-1}$  e direção preferencial das correntes oscilando entre  $110^\circ$  e  $143^\circ$ . Próximo aos bancos de ostra e fora das raízes, as correntes médias durante os estágios de enchente, preamar e vazante foram mais elevadas:  $30,6 \text{ cm.s}^{-1}$ ,  $11,4$  e  $5,7 \text{ cm.s}^{-1}$ . No interior dos bancos a direção média das correntes foi de  $256^\circ$  (EN);  $150^\circ$  (PM) e  $110^\circ$  (VZ). Os registros da temperatura indicam valores próximos para as águas entre as raízes de mangue e externa a elas, com diferenças inferiores a  $0,5 \text{ }^\circ\text{C}$ . Já os registros de salinidade indicam diferenças significativas para as águas entre raízes e fora das raízes. A salinidade das águas entre as raízes com valores 4 a 8 unidades inferiores aos registrados para o entorno do banco.

Registros obtidos para a área A3 onde os sistemas de raízes são mais ramificados, porém, menos desenvolvidos, resultaram em uma menor variabilidade dos registros nas áreas interiores às raízes. As intensidades das correntes mostraram uma redução em cerca de  $10 \text{ cm.s}^{-1}$  (Fig. 21), com valores de salinidade com variações entre 10 a 30 unidades inferiores quando comparada ao de seu entorno (Figs 21 e 22). As diferenças em temperatura não sendo significantes. ,

Registros das séries temporais para as áreas dentro e fora dos sistemas de raízes de *R. mangle* na área A4 indicam um amortecimento das correntes estuarina de cerca de  $20 \text{ cm.s}^{-1}$  durante o estágio de enchente, principalmente em sua componente U (leste-oeste). Aqui a salinidade dentro das raízes apresentou valor de 24 PSU, para uma salinidade de entorno de 30 PSU.

## 7.5 ÁREAS MAIS PROPÍCIAS PARA ESFORÇOS DE REVITALIZAÇÃO DOS BANCOS DE OSTRAS

Com base nos dados levantados, as características das áreas amostradas podem ser resumidas em:

Área A1 - baixo estuário sob maior influência das águas costeiras; raízes bem desenvolvidas, ramificadas e com muitas ostras; salinidade que varia entre 20-

34 °C na enchente e preamar, com temperaturas de aproximadamente 30 °C.

Área A2 - médio estuário, margem esquerda; raízes medianamente desenvolvidas e ramificadas, com ostras; salinidade que varia entre 4-33 na enchente e preamar, com temperaturas de aproximadamente 30,5 °C.

Área A3 - médio estuário, ilhota na confluência com o rio Merepe, raízes medianamente desenvolvidas e ramificadas, baixa densidade, com ostras. Salinidade que varia entre 20-34 PSU na enchente e preamar, com temperaturas de aproximadamente 30 °C.

Área A4 - médio estuário, margem direita (a mais para montante); raízes medianamente desenvolvidas e ramificadas, com ostras. Salinidade que varia entre 24-30 PSU na enchente e preamar, com temperaturas de aproximadamente 30,5 °C.

Considerando os dados de biometria, da densidade das raízes e dos parâmetros físicos que analisamos, juntamente com os dados do estudo promovido por Medeiros e Lins (2018) no mesmo estuário, pode-se inferir que a área com as melhores condições para implementação de novos indivíduos de ostras que iniciem a revitalização desse ambiente, são encontradas nas áreas A1 e A4, pois, apresentam tanto valores de salinidades e temperaturas que se aproximam da média ideal para o crescimento da espécie em diversos estágios de desenvolvimento, e em as ostras das populações naturais apresentaram medidas e índices que indicam seu melhor desenvolvimento e qualidade.

## 8 DISCUSSÃO

Diversos fatores de origem biológica, química e física, podem influenciar na distribuição de ostras em um manguezal. Quando se trata dessa distribuição, precisamos levar em consideração, tanto questões físicas pertencentes a esse ambiente (WOLANSKI, 2008; SOUZA et al. 2017), quanto fatores químicos e biológicos (POLI, 2004).

Em alguns mangues da região Nordeste, a salinidade mais propícia para o desenvolvimento das ostras-de-mangue é entre 8 e 34 (GUIMARÃES et al., 2008). Mesmo com uma faixa ampla de tolerância de salinidade, a ausência de ostras no alto estuário pode ser explicada pela baixa salinidade (aprox. 5) encontrada por Lins e Medeiros (2018) para esta região do estuário. Mesmo dentro da faixa ideal existe uma relação entre a salinidade e a reprodução destas ostras. Quanto maior a salinidade (até o seu limite de 34) maior é a reprodução desses indivíduos. (VILLA NOVA e CHAVES, 1998).

É possível também que esses moluscos consigam sobreviver até mesmo na ausência de salinidade, como é o caso de processos cotidianos de curta duração, como os ciclos de maré, ou até mesmo de eventos mais prolongados, como estações climáticas, visto que em um período chuvoso, por exemplo, a demanda de água doce sobre o estuário se intensifica bastante (VILLA NOVA e CHAVES, 1998). Contudo a baixa salinidade se dá de maneira constante no ato estuário.

Em certos casos, percebe-se que algumas variáveis que, a depender do ambiente, realmente não influenciaram significativamente na distribuição e sobrevivência desses bivalves - como é o caso do pH, turbidez e Clorofila a. isso ocorre graças as variações ao longo das áreas de ocorrência dessa espécie, que devem ser insignificantes, ou até mesmo pela alta resistência das ostras a essas variações em específico. (VILLA NOVA e CHAVES, 1998).

Os manguezais inseridos em um estuário são produto de interações desse estuário com o oceano e das condições físicas que atuam nesses ambientes (SNEDAKER, 1989) Essas árvores são extremamente sensíveis a variações físicas que ocorrem no ecossistema manguezal - como o fluxo das correntes - e como o relevo. A resultante dessa interação são raízes mais desenvolvidas e ramificadas,

para que possam sustentar o vegetal em um ambiente de grande dinâmica (WOODROFFE, 1992; MAZDA e KAMIYAMA, 2007), ou seja, as raízes dos manguezais são muito densas em áreas de solo mais lamacento (WOLANSKI, 2008).

Apesar da área A1 apresentar maior superfície de fixação quando comparada à área A3 (1352,2 cm<sup>2</sup> contra 1121,8 cm<sup>2</sup>, respectivamente), a maior complexidade e número de ramificações observadas na área A3 pode ser explicada pela presença de variáveis, como corrente e baixo grau de compactação do solo, que favorecem a emissão de novos ramos pelo vegetal, buscando maior estabilidade nesse ambiente de maior estresse. Ou seja, as ramificações e o diâmetro das raízes e caule são condicionados pelos fatores estressantes presentes nesse ambiente, como a maré e as correntes. Snekedder (1989) relata que os manguezais inseridos em um estuário são produto de interações desse estuário com o oceano e das condições físicas que atuam nesses ambientes.

O tipo de solo é um fator que pode influenciar na ramificação dessas raízes. As raízes dos mangues tendem a se desenvolverem mais e se ramificarem mais em solos pouco consolidado, como forma de garantir e promover a sustentação da planta (SNEDAKER, 1989; SATO (1978). O resultado disso é que as plantas emitam mais raízes, e com isso protejam ainda mais o interior dos bosques, formando uma barreira física de grande eficiência (MAZDA et al., 2007) Essas várias emissões tanto de cunho vertical ou mais horizontal, gera uma certa turbulência. Esse fenômeno facilita a formação de um solo lamacento e ajuda na manutenção de um ambiente biológico propício para os organismos. (WOLANSKI, 1995; WOLANSKI et al., 1996; FURUKAWA e WOLANSKI, 1996; FURUKAWA et al., 1997).

À medida que ela se ramifica e fica mais densa ao longo do seu crescimento (seja pelo maior número de ramificações ou pelo perímetro maior), esse fenômeno forma um ambiente biológico propício para os organismos. (WOLANSKI, 1995; WOLANSKI et al., 1996; FURUKAWA e WOLANSKI, 1996; FURUKAWA et al., 1997.

De fato, tudo parece indicar que existe uma ligação muito forte entre uma série de fatores que, ao interagirem entre si, tornam menos ou mais propícia as condições para o desenvolvimento das ostras. A importância dessa estrutura de proteção é tamanha, que em condições adversas, não somente as raízes protegem

o interior do bosque.

Por exemplo, em um caso no aumento da frequência e tamanho das ondas, ou no aumento do nível do mar em uma estação de inverno, até os galhos e folhas desse mangue, que normalmente estão localizados acima da altura da superfície da água - mesmo na alta maré alta contribuem significativamente para reduzir o efeito das correntes (WOLANSKI, 2008), ou seja, o papel da vegetação na proteção desse ambiente, não se dá apenas nas áreas submersas.

A densidade das raízes é um fator limitante até mesmo para o aporte de água em áreas de manguezais, já que também influenciam no aporte de água para essas áreas. Em locais onde a densidade é maior, espera-se que a força de arrasto e a viscosidade sejam alteradas (WOLANSKI et al., 1992a). As plantas de mangue também irão se desenvolver mais (e ramificar mais suas raízes) a depender da frequência, duração e altura da inundação. Mas, a relação entre esses fatores não é tão simples assim, pois, a quantidade de água que inunda os manguezais depende da densidade da vegetação e da resistência ao escoamento (WATSON, 1928).

Sendo assim, a densidade pode promover não somente alterações na entrada (enchente) da água no bosque, como também na saída (vazante), aprisionando essa água no interior do mangue (MAZDA et al. (1995); MAZDA et al. (2002); NIHEI et al. (2004); MAZDA et al., (1997); MAZDA e KAMIYAMA, 2007; WOLANSKI (2008), fazendo com que aquela região fique mais tempo alagada, o que também é um fator importante para a escolha da fixação, visto que o tempo de imersão está relacionado ao desenvolvimento dessas ostras (LITTLEWOOD, 1988).

O rio Ipojuca apresenta maiores índices pluviométricos que variam entre julho e novembro (MEDEIROS E LINS, 2018). É nessa época (chuvosa) que se inicia o período reprodutivo das ostras, o que naturalmente proporciona o aumento da massa desses animais (GALTSOFF, 1964). O aumento de peso total da ostra, de carne e do volume, por exemplo, na verdade evidencia gônadas maiores com gametas maduros, enquanto a redução nestes valores pode estar associada a gônadas vazias (NASCIMENTO e PEREIRA, 1980). Tais relações podem elucidar os resultados do presente trabalho, que indicaram um aumento de peso para as ostras das áreas A1 e A2 durante o período seco, refletindo na amostragem do período chuvoso.

Também é notável, nas áreas A1, A2 e A4, o aumento do volume no período chuvoso. De acordo com a morfobatimetria realizada por Medeiros e Lins (2018), neste estuário, a área 1 encontra-se voltada para o mar e sob influência de um canal presente no baixo estuário, enquanto as outras áreas estão mais internas e protegidas. Estes mesmos autores informam que o estuário do Rio Ipojuca apresenta maiores índices pluviométricos que variam entre julho e novembro (MEDEIROS e LINS, 2018), sendo constatado, nesse intervalo, o período chuvoso.

Como as ostras do gênero *Crassostrea* são hermafroditas sequenciais, a alternância ocorre de acordo com a idade e as condições ambientais vigentes, como a salinidade, (WAKAMATSU, 1973; ANDREWS, 1979). A diferença de peso entre as áreas estudadas pode refletir, também, uma falta de sincronicidade entre as populações do estuário, como relatado para a espécie *C. gigas* e *C. gasar* (PAIXÃO et al., 2013) e para a nossa espécie em questão, *C. rhizophorae* (LENZ e BOHERS, 2011). em diferentes áreas . Especificamente, as ostras da área A4 podem ter desovado antes das ostras das outras áreas, o que explicaria a perda de peso entre o período seco e a nossa amostragem, no período chuvoso, já que é conhecido que no período de inverno ou aumento de chuvas, com a diminuição da salinidade ocorrida em consequência das fortes chuvas, ocorra a estimulação e a eliminação dos gametas (GALTSOFF, 1964), o que afeta o peso/volume.

Em nosso estudo, houve inclusive, variações significativas entre os pontos, principalmente no que tange a áreas A1 e A4. Ressaltando que a área A1 está voltada diretamente para o ambiente marinho (mais externa) e a área A4 encontra-se mais interna. A existência de diferenças entre o período de estiagem e período chuvoso sugere haver uma variação no armazenamento de reservas nutritivas, retenção de água, desova, metabolismo etc.

Os valores biométricos reforçaram a ideia que o banco teve grande influência do rio e da chuva. Segundo Sandison (1966), níveis muito baixos de salinidade podem ocasionar a mortalidade e baixo desenvolvimento de ostras. Assim, sugerimos que as ostras investem em crescimento durante os períodos de maior salinidade, e no período chuvoso, quando amostradas, pode-se encontrar ostras com um tamanho, peso e volume maiores.

Uma região mais tempo alagada é um fator importante para a escolha da

fixação, visto que o tempo de imersão está relacionado ao desenvolvimento dessas ostras (LITTLEWOOD, 1988). Este tempo de alagamento e escoamento alteram as condições no bosque. Durante condições de baixo escoamento superficial e alta taxa de evaporação em uma estação seca, por exemplo, uma a salinidade pode aumentar bastante (WOLANSKI, 2008). Além de um ciclo diário de maré, é necessário levar em consideração a diferença entre a entrada e saída de água nos diferentes estágios da lua, já que a amplitude dessa maré se torna maior em lua nova e cheia, e menor em lua crescente e minguante. Até mesmo a pressão do vento sobre a superfície da água pode alterar o escoamento (MAZDA et al., 1995).

A área inundada difere entre a porção inferior e superior do manguezal. O solo destes pântanos nas partes mais internas pode ser exposto continuamente durante vários dias na maré baixa, e isto influencia não só o crescimento dos manguezais, mas também a vida dos bentos e de animais sésseis nessas áreas (WOLANSKI, 2008).

O tamanho e o desenvolvimento da ostra refletem na sua fisiologia. Por exemplo, ostras mais desenvolvidas apresentam maior taxa de filtração do que ostras menores, o que seria de extrema relevância para a implementação de um banco visando a revitalização de um ambiente (REBELO et al., 2005). Cada ambiente deve ser avaliado de maneira distinta, frente às condições e as variações específicas sofridas por cada região. Nossos dados implicam em um incremento do tamanho e peso geral, carne e volume, no período reprodutivo, que se dá no inverno, onde encontramos menor salinidade. No entanto, as ostras não aumentam de peso e volume apenas no período de inverno. Sandison (1966), em análise do crescimento de ostras de espécies do mesmo gênero (*C. gasar*, no estuário amazônico), encontrou maior incremento em tamanho (comprimento - mm) durante a estação seca do que na estação chuvosa (SANDISON, 1966). Tal resultado pode variar do ambiente, pois este pode modificar o aporte nutricional.

O resultado obtido através da análise de Correlação linear, entre altura e o peso, demonstra que no estuário do Rio Ipojuca, quanto maior a altura da concha, maior o peso total do animal. Este fato está relacionado ao aumento de espaço interno que proporciona o maior desenvolvimento da carne. De acordo com a literatura, o que se espera são as ostras jovens apresentarem maior espaço intervalvar

e, conseqüentemente, maior porcentagem de carne, o que, necessariamente não indica um maior peso total (PENÃ et al., 2001).

Assim acreditamos que o crescimento de ostras nas áreas estudadas é influenciado pelas mudanças ambientais a que estão expostos, destacando-se o período seco como o mais favorável para o crescimento e o período chuvoso onde elas encontram-se maiores. Destacamos também que em áreas onde ocorreu diminuição do peso/volume, pode refletir um momento pós-expulsão de gametas. Tais análises são relevantes para o conhecimento dos bivalves em um estuário.

A recuperação dos sistemas estuarinos inicia-se pela revitalização dos bancos de ostras nos mesmos (NAP, 2008; HARDING e MANN, 2001) uma vez que eles contribuem para a melhoria da qualidade da água dos sistemas estuarinos (DAME, 1996). Como filtradores as ostras removem microalgas, material orgânica em suspensão e possivelmente dissolvida da coluna d'água retendo-os em suas brânquias para se alimentarem (PETERSON et al., 2003) melhorando sua qualidade e favorecendo a recuperação de vários outros organismos aquáticos.

Para as obtenções dos índices de monitorização dos bivalves estudados foram utilizados os dados biométricos das valvas isoladas (peso, altura, largura e espessura), afim de analisarmos o (índice AFNOR e STI1). O índice de qualidade AFNOR, (SOLECHNIK et al., 2000), varia de acordo com a pressão sofrida pela ostra durante o seu crescimento. A área A4 sempre apresentou ostras "especiais" em ambas as estações. As áreas A2, A3 e A4 tiveram maiores índices no inverno, sendo que na área A1, observamos uma diminuição.

No verão ostras das áreas A1, A2 e A3 são classificadas como "finas". Porém as da área A3 podem ser classificadas como especiais em outubro. Nenhuma ostra apresentou índice menor que 6,5 (mínimo). Além de ser um índice de importante relevância comercial (MAGRO, 2016), tal proporção reflete a condição do ambiente, seja ele controlado ou não. O estuário do Ipojuca possui condições de aporte nutricional para o desenvolvimento da espécie em questão, visto os valores obtidos, mesmo tendo sido considerado um dos três rios mais polidos do país (IBGE, 2015).

Segundo Alzieu et al. (1989) as ostras podem apresentar mal formação e/ou um espessamento de suas conchas - através da acumulação excessiva de calico - quando em presença de TBTF (Tributil-de-Estanho). A alteração morfológica da

concha para uma forma mais esférica (*balling*) é um dos efeitos crônicos mais relevantes e facilmente identificáveis da exposição de moluscos a este composto (ALZIEU et al. 1989).

Os valores de SI1 obtidos revelam a necessidade de uma melhor investigação relacionada à poluição por TBT. O Tributilestanho é um produto utilizado na composição de pinturas para proteção dos cascos das embarcações contra bioincrustantes, embora sua utilização tenha sido restringida no Brasil desde 2010. Além de ser empregado em pinturas antiincrustantes, ele é também utilizado pela indústria de plásticos e na agricultura. Na indústria de plástico, como agente estabilizador da degradação do Polivinilo de Cloreto (PVC) pelo efeito da luz e/ou calor e como flexibilizante, para conferir uma maior flexibilidade aos plásticos. Na agricultura como pesticida, conservante de madeiras, e em menor escala, como desinfetantes e em tratamentos algicidas em materiais de construção (BORGES, 1997).

Em todas as áreas amostradas o índice STI foi inferior a 4, o que é preocupante, visto que corresponde a um nível de contaminação elevado. Esses valores tendem a aumentarem no inverno, o que provavelmente é maior resultado de um maior crescimento no verão do que uma maior diluição desses compostos no período de inverno. A área A1, voltada diretamente para o mar, foi a que apresentou menor índice (maior índice de contaminação) e a área A4, mais para montante, a que apresentou maiores valores, se igualando a área A2, no inverno. Novos estudos incluindo determinações de TBT nos sedimentos e em ostras são necessários para elucidar essas questões.

A diferença entre as áreas pode ser suportada pelas diferentes condições de salinidade entre os ambientes. Segundo Hernández et al., 1998; Pereira et al., 2001, as taxas de sobrevivência de ostras são diretamente influenciadas pelas diferentes condições a que os animais são submetidos, tais como tipo de cultivo, manejo empregado, qualidade e temperatura da água bem como pelas características biológicas das espécies utilizadas.

Um bosque estabelece condições de extrema relevância para a fixação e desenvolvimento dessas ostras, pois existem variações físicas dentro e fora desses bosques em uma mesma área de mangue (MAZDA e KAMIYAMA, 2007; HONG e

DAO, 2003; HONG, 2004; MASSEL et al. 1999; SATO, 2003 e MAZDA et al. 2006). Por esta razão, o estudo em questão buscou averiguar as condições dentro e fora do sistema de raízes.

De acordo com Lins e Medeiros (2018), nossas áreas são caracterizadas como isohalinas no período chuvoso e possui salinidade mais acentuada no período seco, além de estarem em áreas com intrusão salina constante, maiores no período seco que chuvoso. Costa (1975) considera *C. rhizophorae* uma espécie eurihalina, visto que a faixa mais comum de salinidade em seu habitat natural é entre 7 a 29 PSU. Ou seja, é provável que as ostras com maiores valores biométricos sejam frutos do aumento de biomassa durante o verão, já que no inverno esses moluscos podem gastar mais energia osmorregulando, por exemplo. A salinidade sempre é menor no interior do mangue (4 – 27), do que fora dele, na calha do rio (13 – 34).

Podemos inferir que à medida que adentramos no mangue, a salinidade diminui. Salinidades mais baixas (25-28) favorecem as larvas desses animais bem como sua fixação em substratos (MIRANDA e GUZENSKI, 1999). Graças a essa variação de salinidade, encontramos maior número de ostras na periferia do mangue. Miranda e Guzenski (1999) colocam que o principal fator para o crescimento em determinadas áreas seria a temperatura, já que existe uma tolerância maior a respeito da salinidade.

Essa relação é comum para outras espécies que pertencem a esse gênero, como *C. virginica*, onde, além desse padrão, facilmente se encontra alta correlação entre a salinidade (que varia de acordo com o período do ano) e os eventos reprodutivos de gametogênese e desova (ZAMORA et al., 2003). Conforme é relatado na literatura, o efeito da salinidade pode também refletir nas mudanças na qualidade nutricional e abundância de alimento (SANZ, 1969; ANGELL, 1986), uma vez que a disponibilidade de alimento pode alterar os fenômenos da reprodução e conseqüentemente o peso. Até mesmo a presença de parasitas pode promover tal alteração (BOWER et al., 1994; ZAMORA et al., 2003). Contudo, um dos principais fatores que alteram o crescimento e reprodução desses moluscos é, de fato, a salinidade, e esta, por sua vez, se altera pelo ciclo de marés e chuvas.

Quando uma árvore possui uma alta estatura e uma copa bem desenvolvida, o vento não consegue penetrar totalmente o interior desses bosques e em

decorrência da diminuição do fluxo de ar, essa estrutura cria zonas menos turbulentas. Esta mesma estratégia serve para a quantidade de sal que pode adentrar no manguezal, proveniente do *spray* marinho, bem como a incidência de raios solares e, conseqüentemente, o aumento da temperatura (WOLANSKI, 2007). Estas estratégias são importantíssimas, pois, caso haja muita entrada do *spray* marinho no mangue, a salinidade da água ali alocada pode se alterar naquele determinado período de maré. A própria incidência de luz pode agir alterando as condições daquele ambiente, tanto aumentando a temperatura, quanto aumentando a taxa de evaporação e também modificando sua salinidade. (WOLANSKI, 2008).

A temperatura é uma variável física de grande importância na produtividade biológica da água, sendo considerada um dos fatores ecológicos decisivos dentro do sistema estuarino (COSTA, 1975). O desenvolvimento ótimo das espécies de ostras ocorre em águas mornas, em torno de 25 °C (20 °C a 30 °C), com entradas de água doce dos sistemas estuarinos (POGODA et al., 2011), sendo, especificamente para a ostra-do-mangue, a temperatura ideal seria de 30 °C, já que o aumento da temperatura favorece o crescimento, até um limite de 30 °C (MIRANDA e GUZENSKI, 1999). Contudo, em nossas áreas, a temperatura não aparentou ser uma fator limitante para o crescimento e sobrevivência das ostras no Rio Ipojuca, visto que há pouca variação de temperatura (LINS e MEDEIROS, 2018) e que estas, em nosso período de estudo, oscilam entre 29,6 °C, na enchente, a 31,5 °C, na preamar.

A variação no interior das raízes e na calha do rio foi menor ainda, quando observadas no mesmo ponto, não ultrapassando 0,7 °C. Essas pequenas oscilações são comuns no Nordeste, onde a temperatura dos estuários é sempre elevada e as pequenas variações que ocorrem durante o ciclo sazonal, dependem do grau de insolação e de outras condições meteorológicas (HONORATO DA SILVA et al. 2004). Acreditamos que existe pouca influência da temperatura no crescimento das ostras em nossas áreas, mesmo que seja constatado que, em laboratório, para cada período de desenvolvimento exista uma faixa de temperatura ideal. A temperatura pode influenciar bastante na distribuição dessas ostras. Ocorre uma maior tendência ao crescimento acelerado em temperaturas mais baixas mais especificamente inferiores a 29 °C - 28 °C (VILLA NOVA e CHAVES, 1998).

Mesmo que a literatura seja repleta de análises de parâmetros bio-físico-químicos que possam influenciar a distribuição dessas ostras através da dispersão de suas larvas, ainda existe uma gama de lacunas que envolvem o comportamento e distribuição larval dentro de um ambiente estuarino (BOEHS, 1995). Porém, a literatura mostra-se consensual, quanto à interferência das correntes sob essa dispersão. Segundo este mesmo autor, as correntes possuem uma capacidade de espalhar e reter essas larvas influenciando muito na distribuição e abundância das ostras. Esta mesma correnteza que auxilia na dispersão, pode ou não pode, trazer um maior aporte nutricional, (como se espera) e potencializando o maior crescimento dos espécimes (SOUZA et al., 2017).

Os plotes de velocidade de corrente e de suas componentes U e V, indicam uma atenuação das mesmas dentro do sistema de raízes, relativo aos registros àqueles obtidos fora delas.

O principal fator físico que interage com essas raízes, são as marés. Contudo as ondas do mar, o fluxo de água superficial e de fundo do estuário e a topografia também determinam a estrutura do bosque. (WOODROFFE, 1992; MAZDA e KAMIYAMA, 2007). Este bosque estabelece condições de extrema relevância para a fixação e desenvolvimento dessas ostras, pois existem variações físicas dentro e fora desses bosques em uma mesma área de mangue (MAZDA e KAMIYAMA, 2007; HONG e DAO, 2003; HONG, 2004; MASSEL et al. 1999; SATO, 2003 e MAZDA et al., 2006). No presente estudo, foi verificada as diferenças de intensidade e direção das correntes, bem como da salinidade da água nos registros obtidos dentro e fora das raízes de mangue.

A maré se deforma de maneira significativa dentro de um bosque de manguezal, e isso se dá devido à alta densidade de árvores e raízes de mangue, fazendo com que exista uma diferença entre o fluxo fora e dentro deste bosque (MAZDA e KAMIYAMA, 2007) Inclusive, espera-se que a velocidade da corrente seja maior na maré baixa do que na maré cheia, devido a gravidade (WOLANSKI et al. (1980) e WOLANSKI (2006). O mesmo acontece com as ondas provenientes do mar. A vegetação diminui muito o impacto dessas ondas sobre o bosque, de maneira que vão perdendo sua energia a medida que adentram entre as raízes (HONG e DAO, 2003; HONG, 2004; SATO (1978); MAZDA et al. (2006).

É necessário compreender que existe um fluxo de água, que difere da superfície e do fundo. O fluxo superficial é, de fato, maior que o de fundo, uma vez que a topografia interrompe tal fluxo e desacelera-o (STIEGLITZ et al. 2000) e SUSILO (2004); MAZDA e IKEDA (2006). Isso demonstra que a composição e a topografia deste solo possui um papel relevante na densidade dessas raízes.

Não obstante, é necessário lembrar que durante seu desenvolvimento, as larvas também possuem atividade e realizam a natação. Ela não só nada enquanto se encontra nos primeiros estágios de larva, mas, quando Pedivéliger, rasteja, ainda possuindo movimento (CHRISTO, 2006). Sendo assim, podemos inferir que, sua distribuição seria decorrente da influência entre esses dois fatores. Ainda que essas larvas sofram uma influência direta das correntes, esta, por sua vez, é consequência de diversas outras variáveis, dentre elas, as próprias árvores de mangue inseridas nesse ambiente, já que a densidade e arquitetura dessas raízes interferem diretamente nas correntes (WOLANSKI, 2008; SNEDAKER, 1989)

A grande quantidade de ostras vivas na área 1 pode ser resultante da alta densidade de raízes e da localização mais próxima ao mar, possuindo condições ótimas para fixação e crescimento dos indivíduos em alguns momentos da maré. De acordo com Guimarães et al. (2008), salinidades abaixo de 9‰, seriam limite para a sobrevivência da espécie, e foram encontrados valores de salinidade menores que 9‰, mas apenas na enchente e na vazante, como é de se esperar. Esses mesmos autores indicam que a sobrevivência das sementes de *C. rhizophorae* nos tratamentos propostos sugere que valores de salinidade abaixo de 10‰ e superiores a 30‰ estão além dos limites de tolerância da espécie. Mas na preamar, quando os indivíduos encontram-se totalmente submersos, a salinidade encontra-se ideal (próximo a 30‰).

As quantidades reduzidas de ostras vivas e sementes nas áreas 2, 3 e 4, nos indicam que algumas condições não parecem favorecer o estabelecimento e sobrevivência dessas ostras, contudo, essas condições não dizem respeito a temperatura e salinidade apenas, pois as variações dessas duas condições não são muitas para as 4 áreas.

Visto que a área 4 apresentou uma das melhores condições (quando comparada as áreas 2 e 3 para o crescimento e desenvolvimento das ostras,

acreditamos que a baixa quantidade de ostras se deva a pouca densidade de raízes, já que isso implica em menor quantidade de substrato para fixação e maior influência das correntes. Segundo Boehs (1995), as correntes possuem uma capacidade de espalhar e reter essas larvas influenciando muito na distribuição e abundância das ostras. Com raízes menos densas, é provável que as larvas sofram maior influência das correntes, mesmo possuindo capacidade de natação e rastejamento (CHRISTO, 2006). Ressaltando que os valores da salinidade para esta área se mantiveram mais estáveis que na área 1, por exemplo, e que flutuaram no momento de enchente e preamar, entre 20 e 30, o que de acordo com análises, indica uma melhor faixa para uma maior eficiência em sua taxa de alimentação (ANTONIO et al., 2003).

## 9 CONCLUSÕES

- Os bancos de ostras ao longo do rio Ipojuca estão associados primordialmente à vegetação do mague vermelho (*R. mangle*) e ao regime salino. No trecho do alto estuário não foram encontrados bancos da ostra-de-mangue devido à baixa salinidade. A maior concentração dos bancos de ostras ocorreu no trecho inferior do médio estuário e no trecho superior do baixo estuário ou seja, entre 1,3 e 2,3 km para montante de sua foz. No baixo estuário onde a salinidade é mais elevada e a vegetação de mangue não está presente em vários trechos, *C. rizophorae* está restrita à faixa mais interior do baixo estuário e à faixa de replantio de mangue por trás do terreno da TermoPE, indicando uma provável recuperação dessa área. A margem direita corresponde a uma praia arenosa e a margem esquerda a um enrocamento artificial para contenção do terreno onde hoje esta instalada a TermoPE.
- No estuário do rio Ipojuca, a reprodução das ostras ocorre próximo ao mês de outubro, embora não de maneira sincronizada em todo o estuário. Ocorrendo nas áreas A3 e A4 e posteriormente nas áreas A1 e A2. isso se reflete pela maior quantidade de sementes em outubro, pelo ganho de peso das ostras das áreas A1 e A2 e perda nas áreas A3 e A4.
- Biometria das ostras de vários pontos do estuário e aplicação de índice de qualidade (AFNOR sempre superior a 6,5) revelaram por um lado a ocorrência de ostras que comercialmente seriam classificadas como “finas” e mesmo “especiais” em termos de seu desenvolvimento e preenchimento do espaço intervalvar das mesmas. Por outro lado baixo valores (inferiores a 4) do índice de monitoramento ST11, forte indicador de contaminação por TBT, alertam para a necessidade de futuras investigações para confirmar essas suspeitas e investigar a adequabilidade ou não das ostras do Ipojuca ao consumo humano.
- O sistema de raízes da vegetação de mangue atua criando um microcosmo onde os valores das correntes e da salinidade podem ser distintos daqueles das águas de seu entorno. Essas condições podem resultar em um ambiente favorável a fixação e desenvolvimento dos bancos de ostras, mas também

resultar na ampliação das oscilações de alta frequência, dificultando a fixação das sementes. A densidade das raízes parece ser mais favorável no estabelecimento do banco de ostras do que o número de ramificações

- As áreas A1 e A4 mostraram-se ser as áreas alvo mais favoráveis a esforços voltados à recuperação dos bancos de ostra-de-mangue no rio Ipojuca, tendo em vista as condições das ostras aí existentes e as condições hidrológicas hidrodinâmicas mais compatíveis com seus requerimentos nos diferentes estágios do ciclo de vida.

## 10 CONSIDERAÇÕES FINAIS

No que toca a recomendações para trabalhos futuros, propõe-se um monitoramento mensal dos bancos de ostras e a seleção de áreas mais próximas entre si, para melhor caracterização da influência das raízes sobre a dispersão de suas larvas. Também seria interessante a condução de amostras com redes para permitir confirmar qualitativamente e quantitativamente a presença de larvas de ostras nas respectivas áreas. Esta etapa muitas vezes requer a manutenção dos espécimes capturados em laboratório até atingirem um grau de desenvolvimento que permita sua identificação e inventário. Merece igualmente atenção, a investigação da qualidade dos sedimentos ao longo do estuário do rio Ipojuca para avaliar possível contaminação por TBT e outros contaminantes. A área de replantio por trás da TermoPE deveria ser acompanhada para obtenção de maiores informações sobre sua revitalização.

## REFERÊNCIAS

- ANTONIO, I. G.; GUIMARÃES, I. M.; DIAS, D.; LEITE, A. P.; OLIVEIRA, A. *Crassostrea rhizophorae* (Guilding, 1828) salinity tolerance and filtration rate in laboratory. *In: Book of abstract of world aquaculture*. v.1, Salvador: World Aquaculture Society, 2003.
- AFNOR. Norme française huîtres creuses. Dénomination et classification, **NF**, v. 45-56, 1985. 5 p.
- ALZIEU C.; HERAL, M.; THIBAUD, Y.; DARDIGNAC, M.J.; FEUILLET, M. Influence des peintures antissalissures à base d'organostanniques sur la calcification de la coquille de l'ûitre *Crassostrea gigas*, **Rev. Trav. Inst. Pêches Marit.** v.45, p.100-116. 1982.
- ABSHER, T. M. **Populações naturais de ostras do gênero *Crassostrea* do litoral do Paraná**: desenvolvimento larval, recrutamento e crescimento. 1989. 185 f. Tese (Doutorado em Oceanografia) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 1989.
- ALBER, M.A. Conceptual model of estuarine freshwater inflow management. **Estuaries**, v. 25, n. 68, p. 1246-1261, 2002.
- ALMEIDA, V.C.; COELHO Jr., C.; FEITOSA, F.; PASTOR, D.; MONTE, G. Caracterização estrutural do manguezal do rio tabatinga, Suape, Pernambuco, Brasil. **Tropical Oceanography**, Recife, V.42, n.1, p.33-47, 2004.
- ANDREWS, J.D. Pelecypoda: Ostreidae. *In: GIESE, A.C. e PIERSE, J.S. Reproducton of Marine Invertebrate*. New York, Academic Press. p. 293-341, 1979.
- ANDRADE, G.O.; LINS, R.C. O clima do Nordeste. **Revista de Geografia**. DCG/UFPE – NAPA, Recife: v. 17, n. 1, p. 3-32. 2001.
- BACON, P. R. Studies on the biology and cultivation of the mangrove oyster in Trinidad with notes on the other shellfish resource. **Tropical Science**, v. 12, n. 4, p. 265-278, 1971.
- BIRD, E.C.F. **Encyclopedia of the World's Coastal Landforms**. Springer Science & Business Media. 1494 p. 2010.
- BOEHS, G.; ABSHER, T.M. Distribuição de larvas de ostras do gênero *Crassostrea Sacco*, 1897 (Ostreida: Ostreidae) na Baía de Paranaguá, Paraná. **Braz. Arch. Biol. Technol**, v. 40, p. 39- 45.
- BOON, J.D.; BYRNE, R.J. On basin hypsometry and the morphodynamic response of coastal inlet systems. **Alarime Geology**, v. 40, n.1 p. 27 - 48, 1981.

BOWER, S.M.; MCGLADDERY, S.E.; PRICE, I.M. Synopsis of infectious diseases and parasites of commercially exploited Shellfish. **Annu. Rev. Fish. Dis.**, v.4, n. 1, p.1-199, 1994.

BRAGA, R.A.P.; MOURA, H.F.; DUARTE, M.T. **Impactos ambientais sobre as condições físico-químicas do Complexo estuarino de Suape (PE)**. 1989. 42 f. Tese (Doutorado em Ecologia). Universidade Federal de Pernambuco, Pernambuco, 1989.

CAMERON W.M.; PRITCHARD, D.W. 1963. Estuaries. In: HILL, M.N. (ed). **The Seas. Ideas and Observations on Progress in the Study of the Seas**. New York, Interscience, p. 306-324. 1963.

CAVALCANTI, D. R.; CARVALHO, E. V. T.; ZAGAGLIA, C. R.; BARRETO, R.; SANTOS, R. N. A. Detecção de viveiros de carcinicultura e de salinas com imagens CBERS-2 e Landsat, localizados na APA Delta do Parnaíba. *In*: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 13., 2007, Florianópolis. **Anais [...]**. São José dos Campos: INPE, p. 3813-3819, 2007.

CHRISTO, S.W. **Biologia reprodutiva e ecologia de ostras do gênero *Crassostrea* (Sacco, 1897) na Baía de Guaratuba (Paraná – Brasil): um subsídio ao cultivo**. 2006. 146 f. Tese (Doutorado em Zoologia) - Universidade Federal do Paraná, Paraná, 2006.

CIÊNCIA VIVA 2019. **Ostras e Poluição: que ligação?**. Agencia Nacional para a Cultura Científica e Tecnológica. Ministério da Ciência e Tecnologia de Portugal. Disponível em: <http://www.cienciaviva.pt/rede/oceanos/2desafio/ostrasprof.pdf>. 2019. Acesso em: 15 out. 2019.

CINTRÓN, G.; LUGO, A.E.; MARTINEZ, R. **Structural and functional properties of mangrove forests**. Symp. Signaling the Completion of the Flora of Panamá, p. 53-66, 1980.

CINTRÓN, G., SCHAEFFER-NOVELLI, Y. **Introducción a la ecología del manglar**. Montevideo, Uruguay: Oficina Regional de Ciencia y Tecnología de la Unesco para América Latina y el Caribe – ROSTLAC, p 191, 1983.

CIRM - Comissão Interministerial Para os Recursos do Mar. *In*: **III Plano Básico de desenvolvimento Científico e Tecnológico**. I Plano Setorial para os Recursos do Mar (1982-1985), 105 p., Brasília. 1981.

CLEDÓN, M.; BRICHTOVA, J.L.; GUTIÉRREZ, J.L.; PENCHASZADEH, P.E. Reproductive cycle of the stout razor clam, *Tagelus plebeius* (Lightfoot, 1786), in the mar Chiquita coastal lagoon, Argentina. **Journal of Shellfish Research**, v.23, n.2, p.443-446, 2004.

CÓDIGO FLORESTAL - Lei Nº 12.651 de 25 de maio de 2012. Dispõe sobre a

proteção da vegetação nativa e dá outras providencias. DOU de 28 de maio de 2012.

COLE, T.G.; EWEL, K.C.; DEVOE, N.N. Structure of mangrove trees and forests in Micronesia. **Forest Ecology and Management**, v. 117,n.1, p. 95-109, 1999.

CONDEPE/FIDEM AGÊNCIA ESTADUAL DE PLANEJAMENTO E PESQUISAS DE PERNAMBUCO. 2005. Série Bacias Hidrográficas de Pernambuco, v 1, rio Ipojuca. 64 p.

COSTA, P. F. **Biologia e tecnologia para o cultivo de ostras**. In: Brasil. Ministério da Marinha. Instituto Nacional de Estudos do Mar, Manual de Maricultura. Rio de Janeiro, cap. VIII, 36 p, 1975.

COSTA, P.F. **Biologia e tecnologia para o cultivo. Manual de Maricultura**. In: Marinha do Brasil. Instituto Nacional de Estudos do Mar. Rio de Janeiro, 500p, 1985.

DAME, R.F. **Ecology of Marine Bivalves: An Ecosystem Approach**. CRC Press, Boca Raton,FL. 284 p. 2011.

DEKSHENIEKS, M.M.; HOFMANN, E.E; KLINCK, J.M; POWELL, E.N. 1996. Modeling the vertical distribution of oyster larvae in response to environmental conditions. **Mar. Ecol. Prog. Ser.** 136:97-110.

DENNY, M.W. 1988. Biology and Mechanics of the Wave-Swept Environment. Princeton University Press, Princeton, NJ.329 p.

DUKE, N.C., BALL, M.C., ELLISON, J.C. Factors Influencing Biodiversity and Distributional Gradients in Mangroves. **Global Ecology and Biogeography Letters**, v.7, n.1, p.27-47, 1998.

DYER K. R. **Lateral circulation effects in estuaries**. In: Estuaries, geophysics and the environment. National Academic Press, Washington D.C. p. 22-29, 1977.

FURUKAWA, K.; WOLANSKI, E. Sedimentation in mangrove forests. *Mangroves and Salt Marshes*, 1, 3–10. 1996.

FURUKAWA, K.; WOLANSKI, E.; MUELLER, H. Currents and sediment transport in mangrove forests. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 44, p. 301–310. 1977.

GALTSOFF, P.S. The American oyster *Crassostrea virginica* (Gmelin). **Fishery Bulletin**, v.64, n. 1, p.11-28, 1964.

GALVÃO, M.S.N.; PEREIRA, O.M.; HILSDORF, A.W.S. Molecular identification and distribution of mangrove oysters (*Crassostrea*) in an estuarine ecosystem in Southeast Brazil: implications for aquaculture and fisheries management. **Aquaculture Research**, p. 1–13. 2012.

GALVÃO, M.S.N.; PEREIRA, O.M.; MACHADO, I.C.; HENRIQUE, M.B. Aspectos reprodutivos da ostra *Crassostrea brasiliiana* de manguezais do estuário de Cananéia, SP (25°S; 48°W). **B. Inst. Pesca**, v. 26, n. 2, p. 147-162. 2000.

GIRI C., OCHIENG E., TIESZEN L.L., ZHU Z., SINGH A., LOVELAND T., MASEK J., DUKE N. **Status and distribution of mangrove forests of the world using earth observation Satellite data**. *Global Ecology and Biogeography* v. 20 p. 154-159, 2010.

GODIN, G. 1999. The Propagation of Tides up Rivers with Special Considerations on the Upper Saint-Lawrence River. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 48, pp. 307-324.

GRABOWSKI, J.H.; PETERSEN, C.H. 2007. Restoring Oyster Reefs to Recover Ecosystem Services. *Theoretical Ecology Series*, (4):281-298.

GUIMARÃES, I.M.; ANTONIO, I.G.; PEIXOTO, S.; OLIVERA, A.. Influência da salinidade sobre a sobrevivência da ostra-do-mangue, *Crassostrea rhizophorae*. **Arquivos de Ciências do Mar**, Fortaleza, v.41, n.1, p.118-122, 2008.

GUTIERREZ, M.. **Geomorphology**. CRC Press. 1014 p. 2013

HARDING, J.M.; MANN, R. Oyster reefs as fish habitat: opportunistic use of restored reefs by transient fishes. **Journal of Shellfish Research**, v.20, p. 951-959. 2001.

HARGIS W.J.Jr.; HAVEN, D.S. **Chesapeake oyster reefs, their importance, destruction and guidelines for restoring them**. In: Luckenbach, M.W, Mann, R., Wesson, J. A 1999. (eds) Oyster reef habitat restoration: a synopsis of approaches. Virginia Inst Mar Sci Press, Gloucester Point, VA, p 329–358. 1999.

HERNÁNDEZ, O.D.; TROCCOLI, L.G.; MILLIÁN, Y.J.Q. Crescimento, engorde y sobrevivencia de la ostra de mangle *Crassostrea rhizophorae* Guilding, 1928 em la Islã de Cibagua, Venezuela, **Car J. Sci.**, v,34, n.3-4, p.243-249, 1998.

HIS E.; ROBERT, R.. Comparative effects of two antifouling paints on the oyster *Crassostrea gigas*, **Marine Pollution**, v.95, p.83-86, 1987.

HONG, P.N.; DAO, Q.T.Q. Mangrove reforestation in Vietnam—Achievements and challenges. In, Proceedings of National Scientific Workshop: Evaluation of Effects of Mangrove Reforestation on the Environment and Coastal Local Life **in JRC Funded Project Areas**, Agricultural Publishing House, Hanoi, v. 42, n.1 p. 13–27. 2003.

HONG, P.N.. Mangrove Ecosystem in the Red River Coastal Zone. Agricultural Publishing House, Hanoi, 509 p. 2004.

HONORATO DA SILVA, M. Distribuição espacial e sazonal da biomassa fitoplanctônica e dos parâmetros hidrológicos no estuário do rio Formoso (Rio Formoso, Pernambuco, Brazil). **Tropical Oceanography** (Online), Recife, v. 32, n. 1,

p. 89-106, 2004.

HOUAGANE, A.M.; HILL, A.E.; SIMPSON, J.H.; BOWERS, D.G. Diurnal and tidal variation of temperature and salinity in the Ponta Rasa mangrove swamp, Mozambique. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 49, p. 251-264.

IGNACIO, B.L.; ABSHER, T.M.; LAZOSKI, C.; SOLÉ-CAVA, A.M. Genetic evidence of the presence of two species of *Crassostrea* (Bivalvia: Ostreidae) on the coast of Brazil. **Marine Biology**, v.136, n.6, p.987-991, 2000.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. IBGE. 2015. **Indicadores de Desenvolvimento Sustentável - Brasil** 352 p. 2015.

IOC, SCOR e IAPSO. **The international thermodynamic equation of seawater – 2010: Calculation and use of thermodynamic properties**. Intergovernmental Oceanographic Commission, Manuals and Guides 56, UNESCO (English), 196 p. 2010

JACKSON, J.B.C., KIRBY, M.X.; BERGER, W. Historical overfishing and the recent collapse of coastal ecosystems. **Science** v.293, n. 2, p.629–638. 2001.

JMELIOVA, N.N.; SANZ, J. **Respiración y algunas particularidades de la alimentación del ostión *Crassostrea rhizophorae* (Guilding, 1828)**. Serie Oceanológica, La Havana, n. 3, 20p, 1969.

KÄSS, W. **Tracing technique in geohydrology**. Balkema, Rotterdam, 81 p. 1998.

KEY, D.; NUNNY, R.S.; DAVIDSON, P.E.; LEONARD, M.A. **Abnormal shell growth in the Pacific oyster (*Crassostrea gigas*): Some preliminary results from experiments undertaken in 1975**. ICES/CM. 1976/K, pp11. 1976.

KJERFVE, B. **Estuarine characteristics, circulation and physical processes**. In: Estuarine Ecology. J. W. Day Jr. Et al. John Wiley and Sons Inc., New York, NY. p. 47-78. 1989.

KJERFVE, B. **Manual for Investigation of Hydrological Processes in Mangrove Ecosystems**. New Dehli, UNESCO/UNDP, 79 p. 1990.

KJERFEVE, B., LACERDA, L.D., REZENDE, C.E., OVALLE, A.R.C. **Hydrological and hydrogeochemical variations in mangrove ecosystems**. In: YÁÑEZ-ARANCIBIA, A., LARA-DOMÍNGUEZ, A.L. Ecosistemas de manglar en América Tropical. Instituto de Ecología, A. C. Xalapa, México; UICN/ORMA Costa Rica; NOAA/NMFS Silver Spring MD USA. p.71-81. 435p, 1999.

LAZOSKI, C., **Sistemática molecular e genética populacional de ostras brasileiras (*Crassostrea* spp.)**. 2004. 145 f. Tese (Doutorado em Ciências Biológicas) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2004.

LENZ, T., BOEHS, G. Ciclo reprodutivo del ostión de manglar *Crassostrea rhizophorae* (Bivalvia: Ostreidae) en la Bahía de Camamu Bahia, Brasil. **Revista de Biología Tropical** v. 59, n. 1, p. 137–149 , 2011.

LE PENNEC, M. The larval and post-larval hinge of some families of bivalve molluscs. **J. Mar. Biol. Ass. UK**, v.60, p.601-617, 1980.

LIANG, X.; FANG, J.; TANG, Q.; JIANG, W.; PENG, S.; J.I.Y. Studies on prevention of the fouling oyster larvae from attaching to cultured bay scallop (*Argopecten irradians* Lamark) in Jincheng cultivation area of Laizhou Bay. **Mar. Fish. Res.**, v.21 , n.1, p. 27- 30, 2000.

LINS, P.A.M. **Hidrologia e hidrodinâmica do baixo estuário do Rio Ipojuca, PE.** 2002. 45 f. Dissertação (Mestrado em Oceanografia) - Universidade Federal de Pernambuco, Pernambuco, 2002.

LINS, S.R.R.M. **Propagação das marés salina e dinâmica no rio Ipojuca-PE, Brasil.** 2018. 67 f. Dissertação (Mestrado em Oceanografia) - Universidade Federal de Pernambuco, Pernambuco, 2018.

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.

LITTLEWOOD, D.T.J. Subtidal versus intertidal cultivation of *Crassostrea rhizophorae*. **Aquaculture**, v.72, p.59-71, 1988.

LOVELOCK, C.E., ELLISON, J. **Vulnerability of mangroves and tidal wetlands of the Great Barrier Reef to climate change.** In: Climate change and The Great Barrier Reef: A vulnerability assessment. Great Barrier Reef Marine Park Authority and ENCICLOPÉDIA BIOSFERA, Centro Científico Conhecer, Goiânia, v.8, n.15; p. 2012 1824 Australian Greenhouse Office, Australia. p. 237-269, 2007.

LOVELOCK, C.E., FELLER, I.C., MCKEE, K.L., THOMPSON, R. Variation in Mangrove Forest Structure and Sediment Characteristics in Bocas del Toro, Panama. **Caribbean Journal of Science**, v.41, n.3, p.456-464, 2005.

LUGO, A.E. ; SNEDAKER, S.C. The ecology of mangroves. **Ann. Rev. Ecol. Syst.**, v.5, p.39-64, 1974.

LUGO, A. E. **Mangrove ecosystems: successional or steady-state?** Biotropica, v.12, n.2, p.65-72, 1980.

LUNETTA, J.E.; GROTTA, M. Influência de fatores exógenos e endógenos sobre a reprodução de moluscos marinhos. **Boletim de Fisiologia Animal da Universidade de São Paulo**, v. 6, p. 191-204, 1982.

MAGRO, C.A.L. **Avaliação preliminar da Qualidade, Segurança e Perfil Nutricional da fração edível de *Crassostrea* spp. selvagem e de aquacultura no Sado**. 2016. 69 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologias de Produção e Transformação). Universidade Federal do Pará, Pará. 2016.

MANN, R. **Ecology of coastal waters: a System Approach**. University of California Press. Verkeley, CA. 322p. 1982.

MANN, F.D.; STEINKE, T.D. Photosynthetic and respiratory responses of the mangrove-associated red algae, *Bostrychia radicans* e *Caloglossa leprieurii*. **South African Journal of Botany**, v.54, p.203-207, 1988.

MARTINEZ, R.H.; RUSCH, E. Understanding the connection between coastal waters and ocean ecosystem series and human health. Workshop Summary 2014. Institute of Medicine of National Academy – versão eletrônica. National Academic. Disponível em [http://www.nap.edu/catalog.php?record\\_id=18552](http://www.nap.edu/catalog.php?record_id=18552). Acesso em: 15 out. 2019.

MATTOX, N.T. Studies on the biology of the edible oyster, *Ostrea rhizophorae* Guilding, in Puerto Rico. **Ecological Monographs**, v. 19, n. 4, p. 339-356, 1949.

MAZDA, Y.; PARISH, F.; DANIELSEN, F.; IMAMURA, F. Hydraulic functions of mangroves in relation to tsunamis. **Mangrove Science**, v. 4, (in press).2007.

MAZDA, Y.; KAMIYAMA, K. Tidal deformation and inundation characteristics within mangrove swamps. **Mangrove Science**, 4 (in press). 2007.

MAZDA, Y.; IKEDA, Y. Behavior of the groundwater in a riverine-type mangrove forest. **Wetlands Ecology and Management**, v. 14, p. 477–488. 2006.

MAZDA, Y., MAGI, M.; IKEDA, T.; KUROKAWA; ASANO, T. Wave reduction in a mangrove forest dominated by *Sonneratia* sp., **Wetlands Ecology and Management**, v.14, p.365–378. 2006.

MCKEE, K.L. Soil physicochemical patterns and mangrove species distribution - reciprocal effects? **J. Ecol.** v.81, p.477-487. 1993.

MEDEIROS, C.; KJERFVE, B. Hydrology of the estuarine system: Itamaracá, Brazil. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 36, p. 495-515. 1993.

MILLIMAN, J.D.; EMERY, K.O. Sea levels during the past 35,000 years. **Science**, v.162, p.1121-1123. 1968.

MIRANDA, L.B.; CASTRO, B.M.; KJERFVE, B. 2002. **Princípios de Oceanografia Física de Estuários**. Ed. da Universidade de São Paulo. 424p.

MIRANDA, M.B.B. GUZENSKI, J. Cultivo larval da ostra do mangue, *Crassostrea rhizophorae* (Guilding, 1828), em diferentes condições de temperatura, salinidade e densidade. **Arquivos de Ciências do Mar**, v.32, p.73-84, 1999.

MITSCH, W.J., GOSSELINK, J.G. **Wetlands**. 4ª ed. John Wiley e Sons: New Jersey. P 590, 2007.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE – MMA. **Panorama da Conservação dos Ecossistemas Costeiros e Marinhos no Brasil**. MMA/SBF/GBA. 148p. 2010.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL - NRC 2010. **Ecosystem Concepts for Sustainable Bivalve Mariculture**. Washington, DC: The National Academies Press. 190 p. 2010.

NASCIMENTO, I. A. **Reprodução da ostra do mangue, *Crassostrea rhizophorae* (Guilding, 1828)**: um subsídio ao cultivo. 200 f. Tese (Doutorado em Biociências), Universidade de São Paulo, São Paulo, 1978.

NASCIMENTO, I. A.; PEREIRA, S. A. Change in the condition index from mangrove oysters (*Crassostrea rhizophorae*) from Todos os Santos Bay, Salvador, Brazil. **Aquaculture**, v. 20, p. 9-15, 1980a.

NASCIMENTO, I. A.; PEREIRA, S. A. Efeito do caranguejo *Pinnotheres ostreum* em ostras *Crassostrea rhizophorae*. **Boletim do Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo**, v. 29, n. 2, p. 261-265, 1980b.

NASCIMENTO, I. A. Cultivo de ostras no Brasil: Problemas e perspectivas. **Ciência e Cultura**, v. 35, n. 7, p. 871-876, 1983.

NASCIMENTO, I. A.; LUNETTA, J. E. **Ciclo sexual da ostra de mangue e sua importância para o cultivo**. Boletim de Fisiologia Animal da Universidade de São Paulo, v. 2, p. 63-93, 1978.

NASCIMENTO, I.A.; PEREIRA, S.A. **Cultivo da ostra de mangue *Crassostrea rhizophorae* (Guilding 1828)**. In: Poli, C.R. et al. (Eds.). **Aquicultura**. Florianópolis, Multitarefa Editora. p.267-288, 2004.

NEUMANN-LEITÃO, S. 1994. 273 f. **Impactos antrópicos na comunidade zooplancônica estuarina. Porto de Suape – PE – Brasil**. Tese (Doutorado em Ciências da Engenharia Ambiental) Universidade de São Paulo, São Paulo, 1994.

NEWELL, R.I.E.; CORNWELL, J.C.; OWENS, M.S. Influence of simulated bivalve biodeposition and microphytobenthos on sediment nitrogen dynamics: A laboratory study. **Limnology and Oceanography** , v.47, n. 5, p. 1367-1379, 2002.

NEWKIRK, G.F.; FIELD, B.A. **Oyster culture in the Caribbean**. Halifax: International Development Research Center, 244 p, 1990.

NICHOLS, M.M.; BIGGS R.B., **Estuaries**. In: DAVIS, R.A., (ed.), Coastal sedimentary environments, Springer-Verlag, New York pp. 77–186, 1985.

NICKERSON, N.H.; THIBODEAU, F.R. Association between water sulfide concentrations and the distribution of mangroves. **Biogeochemistry** v.1, p.183-192, 1985.

NUCLEO DE ESTUDOS EM ECONOMIA DO MEIO AMBIENTE - NEEMA. 2008. Difusão de Tecnologias Sustentáveis. Inovações para o Desenvolvimento. Ostreicultura. Disponível em: <http://www.neema.ufc.br>. 2008. Acesso em: 15 de out. 2019.

OFFICER, C. B. **Longitudinal circulation and mixing relations in estuaries.** Estuaries, geophysics, and the environment. Washington, National Academy of Sciences, p. 13-21, 1977.

ORBAN, E.; LENA, G.; MASCI, M.; NEVIGATO, T.; CASINI, I.; CAPROLI, R.; GAMBELLI, L.; PELLIZATO, M.. Growth, nutritional quality and safety of oysters (*Crassostrea gigas*) cultured in the Lagoon of Vence (Italy). **J. Sci. Food. Agric.** v.84, n.14, p.1929-1938, 2004.

PAIXÃO, L; FERREIRA, M.A., NUNES, Z. FONSECA-SIZO, F., ROCHA, R. **Effects of salinity and rainfall on the reproductive biology of the mangrove oyster (*Crassostrea 42 gasar*): Implications for the collection of broodstock oysters.** **Aquaculture** v. 380–383: p. 6–12. 2013.

PASKOFF, R. **Les littoraux - impact des aménagements sur leur évolution,** Col. Géographie, Paris, Masson, 185 p. 1985.

PEÑA, J.H.C.; QUESADA, M.P.; HERNÁNDEZ, M.U.; VARGAS, S. O. Crecimiento y madurez sexual de una población de *Saccostrea palmula* (Mollusca: Bivalvia), Costa Rica. **Revista Biología Tropical**, v. 49, n. 3-4, p. 877-882, 2001.

PEREIRA O.M.; HENRIQUES, M.B.; MACHADO, I.C. Estimativa da curva de crescimento da ostra *Crassostrea brasiliana* em bosques de mangue e proposta para sua extração ordenada no estuário de Cananéia, SP, Brasil. **Boletim do Instituto de Pesca**, v.29, n.1, p.19-28, 2003.

PETERSON C.H.; GRABOWSKI, J.H.; POWERS, S.P. Estimated enhancement of fish production resulting from restoring oyster reef habitat: quantitative variation. **Marine Ecology Progress Series**, v.264, p.249-264, 2003.

POLI, C.R. Cultivo de ostras do pacífico (*Crassostrea gigas*, 1852). In: Poli, C.R.; Poli, A.T.; Andreatta, E. e Beltrame, E. Aquicultura: Experiências Brasileiras. UFSC – Multitarefa editora LTDA., p. 251 – 266, 2004.

MASSEL, S.R.; FURUKAWA, K.; BRINKMAN, R.M. Surface wave propagation in mangrove forests. *Fluid Dynamics Research*, 24, 219–249. 1999.

POGODA, B.; BUCK, B. H.; HAGEN, W. Growth performance and condition of

oysters *Crassostrea gigas* and *Ostrea edulis* farmed in an offshore environment (North Sea, Germany). **Aquaculture**, v. 319, n. 3-4, p. 484-492, 2011.

POWELL, E.N., BOCHENEK, E.A., KLINCK, J.M.; HOFMANN, E.E. **Influence of food quality and quantity on the growth and development of *Crassostrea gigas* larvae: a modelling approach.** **Aquaculture**, v.210, p. 89-117, 2002.

PRITCHARD, D.W. **Estuarine Hydrography. Advances in Geophysics.** New York, Academic Press, v.1, p 243-280.1952.

PRITCHARD, D.W. **What is an estuary: Physical viewpoint.** In: Estuaries. Lauf, G. H. (Ed). American Association for the Advancement, Washington, D.C., v. 83, p. 3-6. 1967.

REBELO, M. F.; AMARAL, M. C. R.; PFEIFFER, W, C. Oyster condition index in *Crassostrea rhizophorae* (Guilding, 1828) from a heavy-metal polluted coastal lagoon. **Brazilian Journal of Biology**, v. 65, n. 2, p. 345-351, 2005.

RIOS, E.C. **Seashells of Brazil.** Rio Grande, RS, Ed. FURG 368p. 1994.

RIOS, E.C. 2009. **Compendium of Brazilian Sea Shells.** Rio Grande: Evangraf. 668 p. 2009.

ROEGNER, G.; CURTIS, A.; MANN, R. **Settlement Patterns of *Crassostrea virginica* (Gmelin) Larvae in Relation to Tidal Zonation.** VIMS Articles. 1283. <https://scholarworks.wm.edu/vimsarticles/1283>, 1990.

SANDISON, E. E. The Effect of Salinity Fluctuations on the Life Cycle of *Gryphaea gasar* (Adanson) in Dautzenberg) in Lagos Harbour, Niger. **Journal of Animal Ecology**, v.35, n. 2, p. 79-389, 1966.

SATO, K. Studies on the protective functions of the mangrove forest against erosion and destruction. (1) The morphological characteristics of the root system of Yaeyamahirugi (*Rhizophora mucronata* LAMK.). **Sci. Bull. Coll. Agri. Univ. Ryukyus**, v. 25, p. 615–630. 1978.

SATO, K. Reality of sedimentation in mangrove forest by the tide and discharge— Investigation on trapped amount of deposit in a serial of high tides—. A summary on the Mangrove Study in Okinawa (FY2000-2002), **Research Institute for Subtropics.**

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

SCHAEFFER-NOVELLI, Y. **Manguezal: ecossistema que ultrapassa suas próprias fronteiras.** In: Congresso Nacional de Botânica, 53, 2002, Recife, p. 34-37. 2002.

SCHAEFFER-NOVELLI, Y; CINTRÓN, G. **Guia para estudo de áreas de mangue.** São Paulo, 150p. + 3 apêndices. 1986.

SCHAEFFER-NOVELLI, Y.; CINTRON-MOLERO, G.; SOARES, M.L.G. e DE-ROSA, M.T. Brazilian Mangroves. **Aquat. Ecosys. Health and Manag.** v.3, p.561-570, 2000.

SEBRAE - Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas. **Ostreicultura - manual de boas práticas: qualidade e segurança para bons negócios.** 55 p. 2005

SEWELL, G.H. **Administração e controle da qualidade ambiental.** São Paulo: Universidade de São Paulo, CETESB, 1978.

SILVA, M.A.B.; BERNINI, E.; CARMO, T.M.S. **Características Estruturais de Bosques de Mangue do Estuário do Rio São Mateus, ES, Brasil.** Acta Botânica Brasilica. 19(3): 465-471, 2005 .

SKLAR F.H., BROWDER, J.A. **Coastal Environmental Impacts Brought about by alterations to freshwater flow in the Gulf of Mexico.** **Environmental Management**, v.22, n.4, p.547-562, 1998.

SNEDAKER, S.C. Overview of ecology of mangroves and information needs for Florida Bay. **Bulletine of Marine Science**, v.44, p. 341–347. 1989.

SOARES, M.L.G. Estrutura vegetal e grau de perturbação dos manguezais da Lagoa da Tijuca, Rio de Janeiro, RJ, Brasil. **Rev. Bras. Biol., São Carlos**, v.59, n. 3, 1999.

SOLETSCHNIK, P.; Le MOINE, O.; GOULLETQUER, P.; GEAIRON, P.; RAZETA, D.; FAURY, N.; FOUCHÉ, D.; ROBERT, S. Optimisation of the traditional Pacific cupped oyster (*Crassostrea gigas* Thunberg) culture on the French Atlantic coastline: autumnal fattening in semi-closed ponds. **Aquaculture**, v.199, p.73-91. 2000.

SOUZA, T.R.; MOREIRA, L.P.; ANDRADE, L.; RAMIRES, M.; SADAUSKAS-HENRIQUE, H.; BARRELLA, W. Análise do tamanho das ostras de mangue (*Crassostrea rhizophorae*) em diferentes ambientes do manguezal (remanso e correnteza) na Reserva de Desenvolvimento Sustentável Barra Do Una, Peruíbe-SP. In: ENPG, 6.,2017, Santos. **Anais do Encontro Nacional de Pós-Graduação.** Santos, 2017.

SPITTLER, P.; CRUZ, A.; RODRIGUEZ, J. 1989. La selección del tamaño de las partículas por el ostión *Crassostrea rhizophorae*. **Revista de Investigaciones Marinas**, v. 10, n. 1, 1989. 63 p.

STIEGLITZ, T.; RIDD, P.V.; MULLER, P.. Passive irrigation and functional morphology of crustacean burrows in a tropical mangrove swamps. **Hydrobiologia**, v. 421, p. 69–76. 2000.

SUPERINTENDENCIA DO DESENVOLVIMENTO DO NORDESTE. SUDENE. Folhas SC.25-V-A-II-3-SE, SC.25-V-A-II-4-SE e SC.25-V-A-III-3-SO. Escala

1:25.000.. 1974.

SUSILO, A. Groundwater flow in arid tropical tidal wetlands and estuaries. Ph.D. Thesis in the School of Mathematical and Physical Sciences, James Cook University, 152 pp. 2004.

TWILLEY, R.R., CHEN, R. **A water budget and hydrology model of a basin mangrove forest in Rookery Bay, Florida.** Mar. Freshwater Res, v.49, p.309-323, 1998.

TWILLEY, R.R., DAY, J.W. **The productivity and nutrient cycling of mangrove ecosystem.** p.127-152. In: YÁÑEZ-ARANCIBIA, A., LARA-DOMÍNGUEZ, A. L. Ecosistemas de manglar en América Tropical. Instituto de Ecología, A.C. Xalapa, México; UICN/ORMA Costa Rica; NOAA/NMFS Silver Spring MD USA. 1999.

TWILLEY, R.R., RIVERA-MONROY, V.H. Developing performance measures of mangrove wetlands using simulation models of hydrology, nutrient biogeochemistry, and community dynamics. **Journal of Coastal Research**, v.40, p.79-93, 2005.

TWILLEY, R.R., SNEDAKER, S.C., YÁÑEZ-ARANCIBIA, A. ; MEDINA, E. **Mangrove systems.** In: Global biodiversity assessment. Biodiversity and ecosystem function: ecosystem analyses (V.H. Heywood, ed.). Cambridge University Press, Cambridge, p.387-393, 1995.

VARELA, E.S.; BEASLEY, C.R.; SCHNEIDER, H.; SAMPAIO, I.; MARQUES-SILVA, N.S.; TAGLIARO, C.H. Molecular phylogeny of mangrove oysters (*Crassostrea*) from Brazil. **Journal of Molluscan Studies Advance Access.** 6p, 2007.

VÉLEZ, A. Crecimiento, edad y madurez sexual del ostión *Crassostrea rhizophorae* de Bahía de Mochima. **Boletín Instituto Oceanográfico Universidad del Oriente, Venezuela**, v. 15, n. 1, p. 65-72, 1976.

VÉLEZ, A. Ciclo anual de reproducción del ostión *Crassostrea rhizophorae* (Guilding) de Bahía de Mochima. **Boletín Instituto Oceanográfico Universidad del Oriente, Venezuela**, v. 16, n. 1-2, p. 87-98, 1977.

VILANOVA, M.F.V.; CHAVES, E.M.B. Contribuição para o conhecimento da viabilidade do cultivo de ostra-do-mangue, *Crassostrea rhizophorae* (Guilding, 1828) (Mollusca: Bivalvia), no estuário do Rio Ceará, Ceará, Brasil. **Arquivos de Ciências do Mar**, v.27, p. 111-125. 1988.

WAKAMATSU, T. A ostra de Cananéia e seu cultivo. São Paulo, Superintendência do Desenvolvimento do Litoral Paulista/Instituto Oceanográfico, USP, 141p. 1973.

WOLANSKI, E. Hydrodynamics of mangrove swamps and their coastal waters. *Hydrobiologia*, v. 247, p. 141–161. 1992.

WOLANSKI, E.;HUAN, N.N.; DAO, L.T.,. NHAN A N.H ND N.N. THUY.Fine-sediment dynamics in the Mekong River Estuary, Vietnam, Estuarine, Coastal and Shelf

Science, 43, 565–582. 1996.

WOLANSKI, E.; JONES, M.; BUNT, J.S. Hydrodynamics of a tidal creek-mangrove swamp system. **Aust. J. Mar.Freshwater Res.**, v. 31, p. 431–450. 1980.

WOLANSKI, E. Transport of sediment in mangrove swamps. *Hydrobiologia*, v.295, p. 31–42. 1995.

WOLANSKI, E. The application of ecohydrology for sustainable development and management of mangrove-dominated estuaries. The ICEMAN 2006 Mangrove Conference in Kuala Lumpur. 2006.

WOLANSKI, E. Outline of the physical processes within mangrove systems, and its implications for biodiversity. London: CRC Press. 2008.

YE, Y., TAM, N.F. Y., WONG, Y.S., LU, C.Y. Growth and physiological responses of two mangrove species (*Bruguiera gymnorhiza* and *Kandelia candel*) to waterlogging. **Environmental and Experimental Botany**, v.49, p.209-221, 2003.

ZAMORA, A.; HERNÁNDEZ, M. L. S.; ARANDA, D. A. 2003. **Ciclo gonádico del ostión** americano *Crassostrea virginica* (Lamellibranchia: Ostreidae) en Mecocacán, Tabasco, México. **Revista Biología Tropical**, v. 51, n. 4, p. 109- 117, 2003.