



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE FEIRA DE SANTANA – UEFS**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM MODELAGEM EM**  
**CIÊNCIAS DA TERRA E DO AMBIENTE – PPGM**

**MODELAGEM DA SALINIDADE DO ESTUÁRIO DO SERINHAÉM,  
BAHIA - BRASIL**

**Rolando González Santana**



**PPGM**

**FEIRA DE SANTANA – BAHIA**

**ABRIL/2016**



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE FEIRA DE SANTANA – UEFS**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM MODELAGEM EM**  
**CIÊNCIAS DA TERRA E DO AMBIENTE – PPGM**



**Rolando González Santana**

**MODELAGEM DA SALINIDADE DO ESTUÁRIO DO SERINHAÉM,  
BAHIA - BRASIL**

**FEIRA DE SANTANA – BAHIA**

**ABRIL/2016**

**Rolando González Santana**

**MODELAGEM DA SALINIDADE DO ESTUÁRIO DO SERINHAÉM,  
BAHIA - BRASIL**

Dissertação apresentada para defesa de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Modelagem em Ciências da Terra e do Ambiente da Universidade Estadual de Feira de Santana, Bahia.

Orientadora: Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup>. Marjorie Cseko Nolasco

Co-Orientador: Prof. Dr Juan Alberto Leiva Cruz

**FEIRA DE SANTANA – BAHIA**

**ABRIL/2016**

## Ficha Catalográfica – Biblioteca Central Julieta Carteado

Santana, Rolando González  
S223m Modelagem da salinidade do estuário do Serinhaém, Bahia - Brasil /  
Rolando González Santana. – Feira de Santana, 2016.  
111 f. : il.

Orientadora: Marjorie Cseko Nolasco.  
Coorientador: Juan Alberto Leiva Cruz.

Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual de Feira de Santana,  
Programa de Pós-Graduação em Modelagem em Ciências da Terra e do  
Ambiente, 2016.

1. Estuário – Salinidade – Serinhaém, BA. I. Nolasco, Marjorie  
Cseko, orient. II. Cruz, Juan Alberto Leiva, coorient. III. Universidade  
Estadual de Feira de Santana. IV. Título.

CDU: 504.454(814.22)



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE FEIRA DE SANTANA – UEFS**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM MODELAGEM EM**  
**CIÊNCIAS DA TERRA E DO AMBIENTE – PPGM**



**MODELAGEM DA SALINIDADE DO ESTUÁRIO DO SERINHAÉM,**  
**BAHIA - BRASIL**

Elaborada por

**Rolando González Santana**

Como requisito para obtenção do grado de

**Mestre em Ciências Ambientais**

**COMISSÃO EXAMINADORA**

---

Prof. Dr. Geraldo Marcelo Pereira Lima (UFBA)

---

Prof. Dr. João Wagner Castro (UFRJ)

---

Prof. Dra. MarjorieCseko Nolasco (Presidente/ Orientadora)

---

Prof. Dr. Juan Alberto Leiva Cruz (Co-Orientador)

## RESUMO

O estuário de Serinhaém está situado no baixo sul do estado da Bahia, aproximadamente a 110Km de Salvador, dentro dos limites do município de Ituberá, entre os paralelos 13°30' e 14°00' de latitude Sul e meridianos 38°50' e 39°40' de longitude Oeste, desembocando na Baía de Camamu. Encontra-se na parte costeira da Área de Proteção Ambiental (APA) do Pratigi, dentro do Ecópolo III. Nesta zona existe um baixo nível de desenvolvimento das atividades antrópicas em comparação com outros estuários, do Brasil e do mundo. Ao mesmo tempo foi constatada a escassez de estudos ambientais, como salinidade e maré do estuário. Neste trabalho estudou-se o comportamento da salinidade no estuário de Serinhaém, a partir da compreensão do processo de intercâmbio salino entre o rio e o mar. O estudo foi abordado do ponto de vista sistêmico, considerando os diferentes componentes do meio físico-geográfico, hidrografia, clima, morfologia, oceanografia, etc., no contexto regional e local onde está inserido. Foi dividido em três etapas, primeiramente a revisão bibliográfica e levantamento de dados iniciais, posteriormente foi realizada coleta de dados de salinidade e maré, em cinco campanhas nos meses de abril, julho e dezembro de 2014, agosto e setembro de 2015. As amostras de salinidade foram coletadas em 137 estações ao longo do estuário, com um Refractômetro ótico e um aparelho multiparâmetro *Hanna*. As estações de maré foram colocadas nos Cais dos Portos de Ituberá e da Barra do Serinhaém, utilizando primeiramente dois réguas de maré e na segunda medição, 3 protótipos de mareógrafos digitais ultrassônicos automáticos autônomos, construídos e calibrados eletronicamente no laboratório. Por último os trabalhos de gabinete, onde foram processados os resultados das coletas de dados e espaciaados num ambiente SIG. Foi possível concluir que existe uma diferença no comportamento sazonal da salinidade do estuário, a presença de eventos extremos como “*El Niño*” e “*La Niña*” podem condicionar o comportamento da salinidade. Quatro elementos controlam a salinidade do estuário, a morfotectônica que controla o relevo de fundo; os rios afluentes; a maré e as precipitações. As marés foram classificadas como micromarés em dezembro de 2014 e agosto de 2015, e setembro de 2015 como mesomaré, pela influência das marés de sizígia equinociais de primavera. O estuário foi classificado segundo a salinidade como positivo; segundo a taxa de fluxo, como totalmente misturado e pelos padrões de circulação como bem misturado ou verticalmente homogêneo. Com esses resultados, espera-se contribuir para as futuras atualizações dos planos de manejo da APA-Pratigi.

**Palavras-Chave:** Estuário; Salinidade; Marés; Morfotectônica,

## ABSTRACT

The Serinhaém estuary is located in the south of Bahia state, about 110km from Salvador, within the limits of the Ituberá municipality, between parallels 13 ° 30 'and 14 ° 00' South latitude and meridians 38 ° 50 ' and 39 ° 40 ' West longitude, ending up in the Camamu Bay. It is located on the coastal part of the Environmental Protection Area (APA acronym in portuguese) of Pratigi inside the Ecopolo III. Exist in this area a low level of development of human activities, compared with other estuaries from Brazil and over the world. At the same time, it was found a lack of environmental studies, such as salinity and tidal estuary. In this work we studied the behavior of salinity in the estuary of Serinhaém, starting from the understanding of salt exchange process between the river and the sea. The study was approached from a systemic point of view, considering the different components of physical and geographical environment, hydrology, climate, morphology, oceanography, etc., in the regional and local context in which it is inserted. It was divided into three stages; first a literature review and survey of initial data, following later by collection of salinity and tidal data during five campaigns occurred in April, July and December 2014, August and September 2015. The salinity's samples were collected at 137 stations along the estuary, with an optical refractometer and a multiparameter device *Hanna*. The tide stations were placed on the docks of Ituberá and Barra Serinhaém ports, using first two rules of tide and in the second measurement, three prototypes of autonomous automatic ultrasonic digital tide gauges, constructed and electronically calibrated in the lab. Finally, we done the office works, where the results of data collected were processed and represented in a GIS environment. It was concluded that there is a difference in salinity's seasonal behavior of the estuary, and that the presence of extreme events such as "El Niño" and "La Niña" can influence the behavior of salinity. Four elements rules the salinity of the estuary, the morphotectonic that controls the relief of the bottom; the tributaries; the tide and rainfall. The tides were classified as microtidal in December 2014 and August 2015; and as mesotidal in September 2015, due to the influence of syzygy tides during the spring equinox. The estuary was classified according to the salinity as positive; according to the flow rate, as thoroughly mixed and by the movement patterns as well blended or vertically homogeneous. These results are expected to contribute to future updates of the management plans of APA-Pratigi.

**Keywords:** Estuary, Salinity, Tides, Morphotectonic

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Localização Ecopolo III, APA Pratigi, Bahía. Pag. - 19.

Figura 2. Marés de Sizígia e Marés de Quadratura. Pag. - 26.

Figura 3. Elementos da maré. Fonte: Miguens,1996. – 27.

Figura 4. Esquema geral da estrutura do estuário e suas relações com a parte fluvial segundo Perillo (1995), adaptado. -31.

Figura 5 – Localização do Estuário do Serinhaém. Pag. - 34.

Figura 6 – Mapa Estrutural simplificado da área apresentando seus lineamentos estruturais. Pag. - 35.

Figura 7 – Estações de Coleta de Salinidade e maré no Estuário do Serinhaém. Pag. - 41.

Figura 8 – Instalação dos MDU: A) no cais do porto da Barra do Serinhaém, B) no cais do porto de Ituberá e C) Embarcação utilizada para amostragem da salinidade. Pag. - 42.

Figura 9. Em (A) Garrafa de Van Dorm, e em (B) Procedimento de coleta da água no Estuário para medida da salinidade. Pag. - 42.

Figura 10- Em (A) imagem do Refractómetro – Salinómetro ótico, e em (B) Foto do procedimento de medida da Salinidade da Agua do estuário usando o dispositivo multiparámetro HANA. Pag. - 43.

Figura 11: Diagrama esquemático do circuitousado na montagem dos Mareógrafos Digitais Ultrassónicos em (A) e protótipo construído do MDU em (B). Pag. - 44.

Figura 12: Diagrama em blocos do sistema de medidas do MDU em (A), e foto do protótipo para uma das etapas de calibração dos módulos de MDU em (B).Pag. - 45.

Figura 13: Salinidade mínima, media e máxima na superfície (A) e no fundo (B) do estuário do Serinhaém nos meses de abril, julho, dezembro de 2014 e agosto de 2015. Pag. - 49.

Figura 14: Correlação dos registros pluviométricos entre as estações de Ituberá e Canavieiras (A) e Ituberá e Salvador (B), durante o período entre 1977 até 1999. Pag. - 49.

Figura 15. Perfil e Mapas de Salinidade da Superfície e Fundo do Estuário do Serinhaém- abril 2014. Pag. - 52.

Figura 16. Perfil e Mapas de Salinidade de Fundo do Estuário do Serinhaém- julho 2014. Pag. - 54.

Figura 17. Perfil e Mapas de Salinidade de Superfície e Fundo do Estuário do Serinhaém- dezembro 2014. Pag. - 56.

Figura 18. Perfil e Mapas de Salinidade de Superfície e Fundo do Estuário do Serinhaém- agosto 2015. Pag. - 58.

Figura 19. Perfil e Mapa de Gradiente de Salinidade do Estuário do Serinhaém- abril 2014. Pag. - 61.

Figura 20. Perfil e Mapa de Gradiente de Salinidade do Estuário do Serinhaém - julho 2014. Pag. - 62.

Figura 21. Perfil e Mapa de Gradiente de Salinidade do Estuário do Serinhaém – dezembro - 2014. Pag. - 63.

Figura 22. Perfil e Mapa de Gradiente de Salinidade do Estuário do Serinhaém - agosto-2015. Pag. - 64.

Figura 23. Mapa de classificação dos ambientes costeiros pela salinidade no mês de abril de 2014, segundo o critério de Bulger et al., 1998. Pag. - 67.

Figura 24. Mapa de classificação dos ambientes costeiros pela salinidade no mês de julho de 2014, segundo o critério de Bulger et al., 1998. Pag. - 68.

Figura 25. Mapa de classificação dos ambientes costeiros pela salinidade no mês de dezembro 2014, segundo o critério de Bulger et al 1998. Pag. - 69.

Figura 26. Mapa de classificação dos ambientes costeiros pela salinidade no mês de agosto 2015, segundo o critério de Bulger et al 1998. Pag. - 70.

Figura 27. Amplitudes da maré médias mensais nos portos de Ilhéus e Salvador nos anos 2005-2015. Pag. - 71.

Figura 28. Amplitudes máximas meias mensais nos portos de Ilhéus e Salvador nos anos 2005-2015. Pag. - 72.

Figura 29. Ocorrências das mesomarés nos portos de Ilhéus e Salvador nos anos 2005-2015. Pag. - 73.

Figura 30: Mareograma das Réguas de maré dos Cais dos portos da Barra do Serinhaém e o Cais do porto de Ituberá ,13-14 de dezembro de 2014. Pag. - 74.

Figura 31: Mareograma elaborado a partir dos dados gerados pelo MDU no Cais de Barra de Serinhaém, nos dias de 15 de agosto até 18 de agosto de 2015. Pag. - 75.

Figura 32: Mareograma elaborado a partir dos dados gerados pelo MDUs instalados nos Cais dos portos da Barra do Serinhaém e Ituberá, 12-17 de setembro de 2015. Pag. - 76.

**LISTA DE TABELAS**

Tabela 1. Tipos de Estuários- critério de salinidade. Pag. – 23.

Tabela 2. Tipos de Estuários- critério dos Padrões de Circulação. Pag. – 24.

Tabela 3. Tipos de Estuários- critério circulação - estratificação. Pag. – 25.

Tabela 4. Principais componentes harmônicas da mare segundo Pond&Pickard (1983). Pag. – 29.

Tabela 5 – Lista do material Cartográfico utilizado como subsidio para o estudo. Pag. – 40.

Tabela 6. – Campanhas de Campo para coleta de Dados de Salinidade y Maré. Pag. - 41

Tabela 7. Salinidade mínima, media e máxima na superfície e no fundo do estuário do Serinhaém nos meses de abril, julho, dezembro de 2014 e agosto de 2015. Pag. – 48.

Tabela 8. Precipitações medias mensais e evaporação das estações pluviométricas de Canavieiras e Salvador, estado de Bahia, dos anos 2005 - 2015. Pag. – 50.

**LISTA DE SIGLAS**

<b><i>Af</i></b>	<i>Clima tropical úmido ou superúmido</i>
<b><i>Am</i></b>	<i>Clima tropical úmido ou subúmido</i>
<b><i>AM</i></b>	<i>Amplitude de maré</i>
<b><i>ANA</i></b>	<i>Agência Nacional das Águas</i>
<b><i>APA</i></b>	<i>Área de Preservação Ambiental</i>
<b><i>APP</i></b>	<i>Área de Preservação Permanente</i>
<b><i>BA</i></b>	<i>Bahia</i>
<b><i>BM</i></b>	<i>Baixa Mar</i>
<b><i>CIRM</i></b>	<i>Comissão Interministerial para os Recursos do Mar</i>
<b><i>CEPLAC</i></b>	<i>Comissão Executiva do Plano da Lavoura Cacaueira</i>
<b><i>CNRH</i></b>	<i>Conselho Nacional de Recursos Hídricos</i>
<b><i>DFIS</i></b>	<i>Departamento de Física da UEFS</i>
<b><i>DHN</i></b>	<i>Diretório de Hidrografia e Navegação – Ministério da Marinha</i>
<b><i>FM</i></b>	<i>Frequência mareal</i>
<b><i>FSupM</i></b>	<i>Frequência supramareal</i>
<b><i>FSubM</i></b>	<i>Frequência submareal</i>
<b><i>IDE</i></b>	<i>Ambiente de Programação Integrado ou Arduino Software</i>
<b><i>INEMA</i></b>	<i>Instituto de Médio Ambiente e Recursos Hídricos</i>
<b><i>LAPIG</i></b>	<i>Laboratório de Geoprocessamento PPGM</i>
<b><i>LM35</i></b>	<i>Sensor de temperatura</i>
<b><i>LINFIS</i></b>	<i>Laboratório de Instrumentação em Física</i>
<b><i>MDUs</i></b>	<i>Mareógrafos Digitais Ultrassônicos</i>
<b><i>NM</i></b>	<i>Nível Médio do mar</i>
<b><i>NR</i></b>	<i>Nível de Redução</i>
<b><i>IBGE</i></b>	<i>Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística</i>
<b><i>OCT</i></b>	<i>Organização de Conservação da Terra</i>
<b><i>P</i></b>	<i>Prisma de maré</i>
<b><i>PPGM</i></b>	<i>Programa de Pós-Graduação em Modelagem em Ciências da Terra e do Ambiente</i>
<b><i>PNGC</i></b>	<i>Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro</i>
<b><i>PIB</i></b>	<i>Produto Interno Bruto</i>
<b><i>PM</i></b>	<i>Preamar</i>
<b><i>PSU</i></b>	<i>PracticalSalinityUnits</i>

**LISTA DE SIGLAS**

<b>SEI</b>	<i>Superintendência de Estudos Econômicos e Sociais da Bahia</i>
<b>SIG</b>	<i>Sistema de Informação Geográfica</i>
<b>SNUC</b>	<i>Sistema Nacional de Unidades de Conservação</i>
<b>Sup.</b>	<i>Superfície</i>
<b>RT</b>	<i>Vazão de água doce afluyente</i>
<b>UEFS</b>	<i>Universidade Estadual de Feira de Santana</i>

**LISTA DE ANEXOS**

Anexo 1. Tabela de Pontos y Coordenadas Planas Retangulares dos pontos de amostragem de Salinidade.

**LISTA DE APENDICES**

Apêndice 1. An embedded measurement system for liquid-level remote sensing: applications in studies of tide in the Serinhaém estuary, south coast of Bahia, Brazil.

Apêndice 2. Tabela de valores de Salinidade de superfície e fundo do estuário do Serinhaém, nos meses de abril, julho, dezembro de 2014 e agosto de 2015.

**RESUMO**

**ABSTRACT**

**LISTA DE FIGURAS**

**LISTA DE GRAFICOS**

**LISTA DE TABELAS**

**LISTA DE SIGLAS**

**ANEXOS**

**APENDICES**

**ÍNDICE**

<b>I- INTRODUÇÃO</b>	<b>16</b>
<b>1.1- OBJETIVOS</b>	<b>18</b>
<b>1.1.1 – Objetivo Geral</b>	<b>18</b>
<b>1.1.2 – Objetivos Específicos</b>	<b>18</b>
<b>CAPÍTULO II REFERENCIAL TEÓRICO</b>	<b>20</b>
<b>2.1– Estuários</b>	<b>20</b>
<b>2.2–Salinidade</b>	<b>23</b>
<b>2.3– Marés</b>	<b>25</b>
<b>CAPÍTULO III. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO</b>	<b>34</b>
<b>3.1-Localização</b>	<b>34</b>
<b>3.2- Geologia</b>	<b>34</b>
<b>3.2.1 Tectônica</b>	<b>35</b>
<b>3.3- Hidrografia</b>	<b>36</b>
<b>3.4- Clima</b>	<b>36</b>
<b>3.5 - Caracterização Espacial</b>	<b>37</b>
<b>3.6 Características Fluviométricas</b>	<b>37</b>
<b>3.7- Parâmetros físico-químicos</b>	<b>37</b>
<b>3.6- Maré</b>	<b>38</b>
<b>CAPÍTULO IV. METODOLÓGIA</b>	<b>39</b>
<b>4.1.- Levantamento de Dados Iniciais</b>	<b>40</b>
<b>4.2-Coleta de Dados em Campo</b>	<b>42</b>
<b>4.2.1 - Medições da Salinidade</b>	<b>43</b>
<b>4.2.2 - Medições da Maré</b>	<b>43</b>

<b>4.3 -Trabalho de Gabinete</b>	<b>46</b>
<b>CAPITULO V. RESULTADOS E DISCUSSÃO</b>	<b>48</b>
<b>5.1 Introdução</b>	<b>48</b>
<b>5.1. Salinidade</b>	<b>48</b>
<b>5.4- Classificação do estuário.</b>	<b>65</b>
<b>5.4.1- Classificação dos ambientes costeiros segundo (BULGER et al., 1998).</b>	<b>65</b>
<b>5.4.2- Classificação do estuário pela salinidade.</b>	<b>71</b>
<b>5.4.2.1- Caracterização da maré da região e área de estudo.</b>	<b>71</b>
<b>5.4.2.2- Classificação de PRITCHAR (1967).</b>	<b>76</b>
<b>5.4.2.3- Classificação da salinidade a partir do índice de fluxo segundo Simmons (1955).</b>	<b>77</b>
<b>5.4.2.2.3- Classificação da salinidade a partir dos padrões de circulação (HANSEN E RATRAY,1966 adaptado por BOWDEN, 1980).</b>	<b>77</b>
<b>CAPITULO VI. CONCLUSÕES</b>	<b>78</b>
<b>VI.REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>81</b>

## INTRODUÇÃO

O mundo tem experimentado nos últimos anos, um crescimento demográfico vertiginoso sobretudo nas zonas costeiras, e o Brasil não é uma exceção. Em muitos lugares e sobretudo nas áreas de interesse ambiental, este fenômeno não foi acompanhado de políticas públicas que ordenassem, de maneira suficiente, a ocupação e uso do solo, afetando diretamente o funcionamento dos ecossistemas e a conservação da biodiversidade. De acordo com (WATSON *et al*; 2015), mais de 40% da população mundial reside nas zonas costeiras e em uma faixa de 150Km a partir do mar. No Brasil, ela possui mais de 8000Km de extensão, concentrando aproximadamente 50,6 milhões de pessoas, em 463 municípios, com perspectivas de aumento da densidade populacional nestas zonas (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística-IBGE,2010).

Devido a este processo de ocupação, as zonas costeiras vêm sofrendo uma silenciosa, porém perceptível, degradação em função de atividades nelas instaladas, as quais são responsáveis por cerca de 70% do produto interno bruto (PIB) nacional, principalmente devido à existência de portos, onde é realizada grande parte da atividade econômica exportadora brasileira (MOURA, 2009).

Por outro lado, outro fator que têm que ser considerado para o desenvolvimento antrópico ou não nestas regiões, é a tendência atual do crescimento do nível do mar, que segundo Watson *et al*; (2015) cresce a uma taxa de 2.6mm/ano, como resultado das mudanças climáticas, atribuído a ação do homem e outros fatores complexos.

Os estuários, por suas características naturais permitem o desenvolvimento de várias atividades humanas, das quais podemos destacar as atividades de pesca, agricultura, turismo, navegação e portuárias (ASMUS, 1996). Os estuários atuam como barreiras naturais, impedindo que os impactos dos fenômenos, tais como as tormentas, formados nos oceanos se transmitam até o interior dos continentes. Neles acontece uma grande produção biológica, com espécies e formas de vida, tais como peixes, aves, plantas, crustáceos, moluscos, microrganismos, dentre outras que, estão adaptadas às grandes mudanças de salinidade vertical e horizontal.

É importante destacar que, como os estuários são zonas de interação entre as águas dos rios e do mar, é prioritário conhecer os processos físicos-químicos-ambientais, tais como as marés, salinidade, correntes, velocidade do vento, chuvas, dentre outros que podem afetar o funcionamento do mesmo como um ecossistema costeiro.

Os índices de salinidade vêm aumentando em muitos estuários ao redor do globo, devido principalmente, às ações antrópicas. Dessa forma, é extremamente relevante o constante monitoramento das condições de salinidade nos estuários (RIDD & STIEGLITZ, 2002).

Conhecer as mudanças nos níveis de maré nos estuários é de vital importância para a preservação da vida aquática e o desenvolvimento humano. Dois parâmetros físico-químicos essenciais para a dinâmica dos estuários são a salinidade e a condutividade da água. Nestes corpos aquáticos, o zoneamento da salinidade é evidente, sendo que os níveis de salinidade podem variar drasticamente das águas dos rios, as oceânicas, existe uma relação entre a maré e a salinidade, ou seja, mudanças na maré podem produzir mudanças na salinidade (E.G., *Understanding Salinity*, 2016). A salinidade, oscila de acordo com o ciclo das marés.

A geração desta informação atualizada e sistematizada sob os ambientes costeiros, principalmente estuários e lagoas, é de vital importância no presente e no futuro, para enfrentar os desafios impostos por fatores antropogênicos, a variação natural e os efeitos da mudança climática. Assim como, para valorar corretamente suas consequências no solo para estes ambientes e os serviços ambientais que oferecem, mas também os riscos potenciais para as populações humanas que o habitam. (MARCOVECCHIO *et al.*, 2013).

Ocupando o setor fluvio-marinho da Área de Proteção Ambiental (APA) do Pratigi, encontra-se o estuário de Serinhaém, localizado nos territórios dos municípios de Ituberá e Igrapiúna, com forma de canal, que se alarga em direção a costa, (Figura 1). É importante destacar que existe um baixo nível de desenvolvimento das atividades antrópicas neste estuário em comparação com outros estuários, do Brasil e do mundo. Consequentemente, é importante conhecer o comportamento da salinidade do mesmo, para ser utilizado nas atualizações dos Planos de Manejo da APA do Pratigi. Já que neles não constam estudos primários sobre a salinidade.

Nesse contexto, esta pesquisa busca responder a seguinte questão, qual é o comportamento da salinidade no estuário de Serinhaém? Para responder essa pergunta, é necessário compreender como ocorre o processo de intercâmbio salino entre o rio e mar no estuário, a dinâmica da maré e suas principais características.

## **1.1-OBJETIVOS**

### **1.1.1-Objetivo Geral**

1. Compreender o comportamento da salinidade no estuário do Serinhaém na APA do Pratigi-BA.

### **1.1.2-Objetivos Específicos**

2. Estruturar um banco de dados da salinidade no Estuário do Serinhaém;
3. Modelar o comportamento espaço-temporal da salinidade;
4. Estabelecer modelos de zoneamento do estuário segundo a salinidade;
5. Classificar o estuário de acordo ao comportamento da salinidade;
6. Classificar a maré do estuário de acordo a seu comportamento.

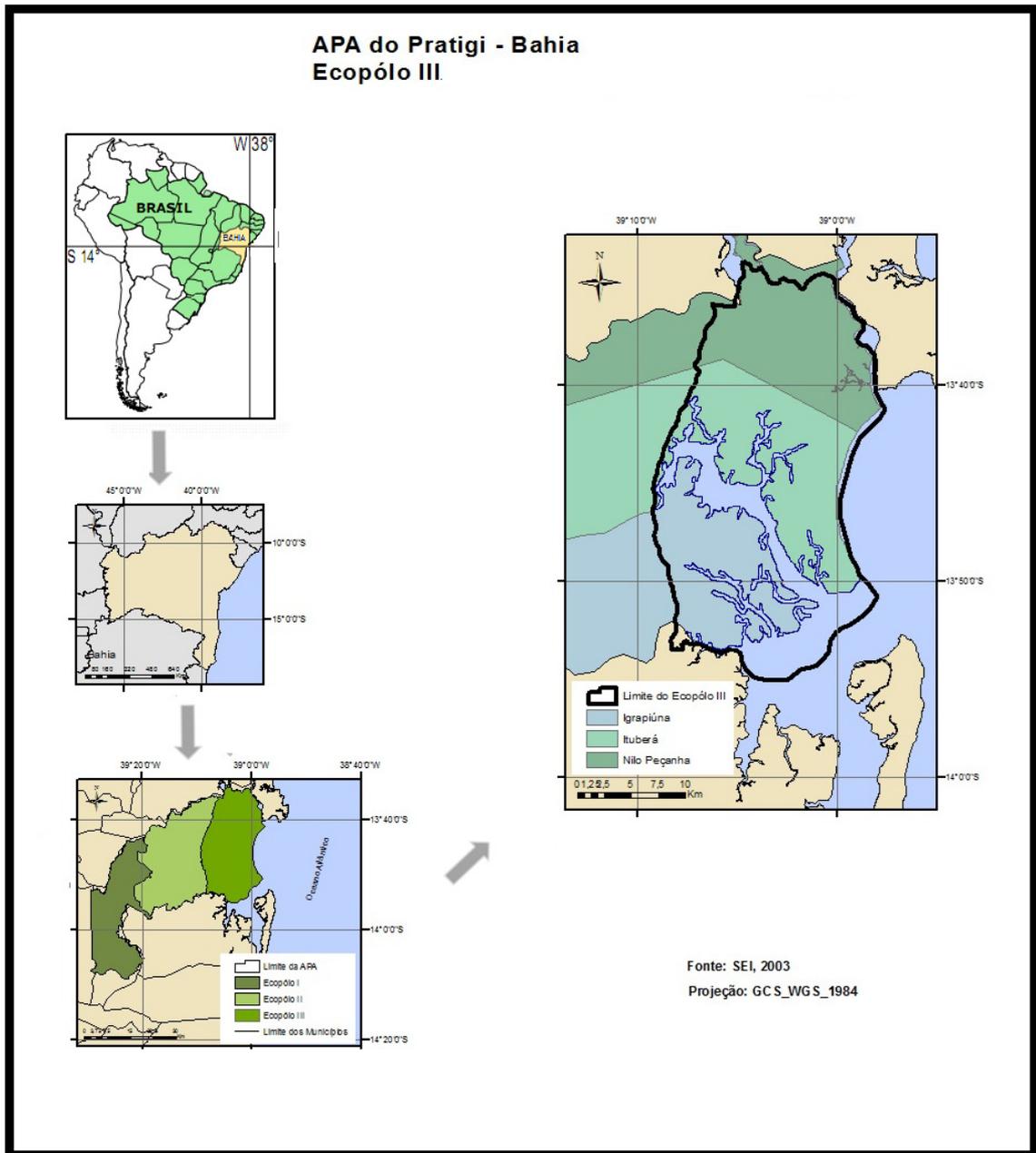


Figura 1. Localização Ecopolo III, APA Pratigi, Bahia. Fonte: SEI,2003.

## CAPÍTULO II. REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 -Estuário

Na atualidade existem vários conceitos de estuário, mas o mais conhecido é o de Cameron e Pritchard (1963): “Estuários são corpos de água costeiros semifechados que têm uma ligação livre com o mar e no qual a água do mar se dilui, de forma mensurável, com a água doce proveniente da drenagem terrestre”. O uso desse conceito por diversos autores, justifica-se na quantidade de trabalhos de abordagem oceanográfica, entretanto outras definições, de abordagem geológico-geomorfológicas, estão presentes em diversos trabalhos sobre caracterização de ambientes estuarinos.

Um exemplo é o proposto por Paskoff (1985), onde, estuário implica uma ampla abertura sobre o mar. Esta abertura só se mantém, caso haja equilíbrio entre os sedimentos transportados pelo rio e a respectiva capacidade de escoamento. Deste modo, entende-se estuário como “Um ambiente aquático de transição entre o rio e o mar, que está sujeito a influência das marés e apresenta fortes gradientes ambientais, desde águas doces próximos da sua cabeceira, águas salobras, e águas marinhas próximo da sua desembocadura (PRITCHARD,1967).

Carvalho (1988) define o estuário como um setor terminal dos rios, até onde o canal fluvial é percorrido pelas correntes de maré. Muitas vezes os estuários correspondem a setores alargados dos cursos de água, o que faz sentido se pensarmos que grande parte dos litorais contemporâneos, são litorais de submersão, como resultado da invasão marinha de vales fluviais que, durante as glaciações, sofreram um escavamento importante, em função da regressão marinha entre 120 e 140m.

Também outros autores como Suguio (1999); Guerra & Cunha (2005); Genz (2006); e Kjerfve (1989) definem o estuário como um ambiente costeiro de transição entre o continente e o oceano, por suas características físicas, químicas e biológicas, relacionadas ao Quaternário Recente, atribuindo as elevações do nível do mar ao último estágio interglacial que interferiram nas feições costeiras no mundo inteiro, a formação estuarina.

Seguindo os critérios de Pritchard (1963), autores como Duarte & Vieira (1997); Silva (2000); Frazão (2003); Valle-Levinson (2010), reformularam o conceito de estuário. Para Duarte &Vieira (1997),os estuários são as zonas de confluência de águas fluviais e marinhas, onde a sua hidrodinâmica é favorável à retenção de nutrientes que aí afluem, sustentando, por isso, uma atividade biológica intensa, capaz de transformar em autênticos viveiros de peixes e crustáceos, de importância vital na economia de muitas comunidades ribeirinhas.

No Brasil, um conceito também aceito é o de Marins (2010), no qual ele define como estuário um corpo de água costeiro semifechado com ligação livre com o oceano aberto, estendendo-se até o limite efetivo da influência da maré. Em seu interior, a água do mar é mensuravelmente diluída pela água doce oriunda da drenagem continental, que como se pode perceber é uma variação de Paskoff (1985).

O conceito de estuário com caráter mais integrador foi enunciado por Perillo (1995), abrangendo todas as disciplinas que estudam estes ambientes, afirmando o seguinte:

*“Um estuário é um corpo de água costeiro semifechado que se estende até o limite efetivo da influência da maré, dentro do qual a água salgada que ingressa por uma ou mais conexões livres com o mar aberto, ou qualquer outro corpo de água salino, é diluída significativamente com água doce derivada da drenagem terrestre e pode sustentar espécies biológicas euhalinas, seja por uma parte ou a totalidade de seu ciclo de vida”.*

Tendo em conta esses conceitos, os estuários podem ser estudados através de diferentes classificações, como por exemplo, a sua geometria, a sua geomorfologia, a sua hidrodinâmica, sua salinidade e a maré, mas para este estudo, trabalharemos com as três últimas, definindo a interação entre elas.

Foram consultados outros autores como (GARCES-VARGAS *et al.*, 2013; GALVÁN, 2014; SILVA J. *et al.*, 2011; SILVA, 2000; OLVERA, 2014), que desenvolveram diversos artigos e publicações relacionados com estuários, mas baseando-se nos conceitos de estuário já conhecidos na literatura.

## **2.2 - Salinidade**

Em 1889, o Conselho Internacional para a Exploração do Mar, criou uma comissão, define a salinidade como a "quantidade total de materiais sólidos em gramas dissolvidos em um quilograma de água do mar, quando todo o carbonato foi convertido para o óxido, o bromo e iodo substituído por cloro e toda a matéria orgânica completamente oxidada". A definição foi publicada em 1902. Isto foi útil, mas difícil de usar rotineiramente (LEMUS, 1997).

A definição de salinidade sofreu diversas modificações no decorrer do século XX, tendo sido estabelecida em 1978 pela UNESCO (junto com de outros “standards” oceanográficos), uma nova definição de salinidade, acompanhada de uma nova escala denominada *Practical Salinity Scale* (PSU). A escala é válida para temperaturas entre  $-2^{\circ}\text{C}$  e  $35^{\circ}\text{C}$  e

salinidades entre 2 e 42PSU, desde então, a salinidade deve ser expressa sem unidades ou com a sigla PSU, coincidindo no valor  $S = 35\text{PSU}$  com o valor  $S = 35 \text{‰}$ , usado até 1978 (LEWIS, 1980).

Para Millero(2006), a salinidade é uma medida da quantidade de sais existentes em massas de água naturais, seja um oceano, um lago, um estuário ou um aquífero. Nas águas oceânicas o valor médio da salinidade é de 35PSU, mas mudanças na salinidade da água ocorrem pela adição ou remoção de água doce, através de evaporação e precipitação, congelamento da água ou derretimento de gelo (HORNE 1969). Nos oceanos nas águas superficiais, a salinidade varia de 33 a 37PSU, podendo alcançar, dependendo das condições locais, a concentração de 28 a 40 PSU ou mais. As influências das flutuações superficiais nos valores de salinidade deixam de existir abaixo dos 1.000m de profundidade, mantendo-se estável entre 34,5 e 35PSU em todas as latitudes (BROWN *et al.*, 1989).

As águas menos salinas do planeta encontram-se no Golfo da Finlândia e Mar Báltico, e mais salinas no Mar Morto, Oriente Médio (SALAMANCA, M.; SCHNEIDER, W, 2004).

Os ambientes costeiros possuem características diferentes dos oceanos. Em relação a salinidade podem ser classificados em limnéticos (salinidade entre 0 e 0,5), oligohalinos (salinidade entre 0,5 e 5), mesohalinos (salinidade entre 5 e 18), polihalinos (salinidade entre 18 e 30), euhalinos (salinidade entre 30 e 40) e hiperhalinos (salinidade superior a 40) (BULGER *et al.*, 1998).

Em um estuário a mistura da água apresenta por um lado a descarga de água doce continental, e do outro a ação de ondas e marés com água salgada. Esta dinâmica gera um gradiente de salinidade, do continente em direção ao oceano. Se a descarga continental diminui, a ação marinha se acentua, aumentando a área estuarina ou a concentração de sais na região interior do estuário. Caso a descarga continental aumente, a mistura se desloca em direção ao oceano (LOITZENBAUER, 2010).

A salinidade é o indicador natural do balanço hidrológico de estuários, pois reflete o balanço entre a quantidade de água que entra através do aporte fluvial e das precipitações, e a quantidade que sai através da evaporação (KJERFVE *et al.*, 1996).

Porém, é importante ressaltar que os estuários possuem uma característica primordial, já que existindo variações importantes nos aportes de água doce, este não tem tendência para acumular-se. Um aumento no vazão de água doce, dá origem a uma translação transiente para jusante das isolinhas de salinidade à superfície e alguma diminuição de salinidade a todas as profundidades (SILVA, 2000). Este autor também ressalta que ao mesmo tempo ocorre uma reação que resulta num fluxo acrescido de água salgada nas camadas mais fundas, que pode

originar estratificação vertical. A água é predominantemente salgada na zona marítima, embora possa ter variações associadas a diferentes caudais fluviais, já que é ainda uma zona de mistura, que se pode estender em pluma para a zona costeira adjacente. No estuário médio, dá-se a transição entre a água de características oceânicas até água de salinidade  $< 0.5\%$ . Na zona fluvio-marítima a composição química da água é condicionada pelas aflúncias de montante. Os limites entre estes setores são variáveis em função das variações de vazão e do tipo de maré.

A relação destes conceitos com às pequenas variações resultantes das especificidades locais, é utilizada em diversos artigos no Brasil e no mundo, como MEDEIROS, KNOPPERS e SANTOS (2007), NORIEGA *et al.*, (2009), LOITZENBAUER e BULHÕES (2011), SCHETTINI, BEZERRA e TRUCCOLO (2014), dentre outros.

Tendo em conta os conceitos de estuário e critérios expostos anteriormente, observa-se algumas destas classificações, ver (Tabela 1, 2).

Tabela 1. Tipos de Estuários- critério de salinidade.

<b>Critério</b>	<b>Tipo</b>	<b>Características distintivas</b>
Salinidade Pritchard(1967)	Positivo	Onde a descarga de água fluvial e a precipitação excedem a evaporação no estuário, sendo a salinidade menor que da água de mar.
	Negativos ou inversos	Onde a descarga de água fluvial é inferior à evaporação no estuário, produzindo condições hipersalinas (salinidade $> 40$ ).
	Neutro	Onde a descarga de água fluvial é igual à evaporação no estuário.

Tabela 2. Tipos de Estuários- critério dos Padrões de Circulação.

Critério	Tipo	Características distintivas
Padrões de Circulação (HANSEN E RATRAY,1966, adaptado por BOWDEN 1980).	Estratificados com cunha salina	Quando há haloclina separando a camada superficial de água doce da profunda de água salgada; ocorre quando a razão entre o vazão de água doce afluente e o prisma de maré é grande e a razão entre a largura e a profundidade é pequena $RT /P > 1$ .
	Semi-estratificado	Quando se observa um gradiente crescente de salinidade na vertical e para jusante. A distribuição de salinidade é governada cinematicamente pela advecção horizontal e vertical e pelo fluxo vertical não advectivo $RT /P \cong 0.2$ .
	Bem misturado ou verticalmente homogêneo	Quando o gradiente de salinidade é apenas longitudinal; ocorre quando há maré muito intensa $RT /P < 0.1$ .

Simmons (1955), determinou de forma quantitativa o comportamento dos estuários baseando-se na classificação da salinidade de Pritchard(1955), introduzindo o conceito de índice de fluxo (TF) que pode ser dado pela equação 1, isto é,

$$TF = \frac{Q \times T}{P_r} \quad (1)$$

Sendo Q o fluxo do rio, T período da maré e  $P_r$  o prisma da maré (que é a diferença devolume do estuário entre a preamar e a baixa mar).

Para valores do índice maiores de 1.0, o estuário é altamente estratificado, para valores menores ou iguais a 0.10, o estuário é totalmente misturado e com valores ao redor de 0.25, o estuário é parcialmente misturado.

Outros autores como BOWDEN (1980); IBAÑEZ *et al.*(1997); e DYER (1977 e 1997) adaptaram a classificação de HANSEN & RATRAY(1966) e ainda sugerem outra classificação segundo a Circulação e a Estratificação (Tabela 3).

Tabela 3. Tipos de Estuários- critério circulação - estratificação.

<b>Critério</b>	<b>Tipo</b>	<b>Características distintas</b>
Circulação - estratificação (HANSEN E RATRAY, 1966 adaptado por DYER, 1977, BOWDEN, 1980; IBÁÑEZ ET AL., 1997; e DYER, 1997)	<b>Tipo 1</b> – estuário bem misturado	Quando ocorre fluxo para jusante e transporte de sal para montante apenas por difusão. É lateralmente homogêneo com ligeira estratificação vertical, isto é, $FB > 1$ .
	<b>Tipo 2</b> – estuário parcialmente misturado	Quando há inversão de corrente em profundidade. A advecção e a difusão contribuem para o fluxo salino para montante $FB \cong 1$ .
	<b>Tipo 3</b>	Quando há fluxo em duas camadas e a transferência de sal para montante é principalmente advectiva.
	<b>Tipo 4</b> – estuário de cunha salina:	Quando há uma haloclina e o fluxo de água doce se dá sobre uma superfície quase estacionária, com ocorrência de cunha salina, isto é, $FB \cong 0$

### 2.3- Marés

A maré vem sendo estudada desde a antiguidade pelo filósofo Plínio no ano 23, passando por Isaac Newton no século XVII, Laplace, RémiChazallone e Lord Kelvin a finais do século XIX, até a modernidade (LEMUS, 1995).

Segundo a Revista Gestão Costeira Integrada, 2014, pode-se definir maré como: “Subida e descida periódicas dos níveis do mar e de outros corpos de água ligados ao oceano (estuários, lagunas, etc.), causadas principalmente pela interferência da Lua e do Sol sobre o campo gravitacional da Terra”.

Miguens (1996), conceituou que a maré é a oscilação vertical da superfície do mar ou outra grande massa d’água sobre a Terra, causada primariamente pelas diferenças na atração gravitacional da Lua e, em menor extensão, do Sol, sobre os diversos pontos da Terra.

Outro conceito foi enunciado por Marins (2010), que maré é o movimento periódico de subida e descida do nível do mar e de outros corpos de água ligados aos oceanos, causados principalmente pela força de atração gravitacional da Terra e da Lua, pela força centrífuga originária do movimento de rotação do Sistema Terra-Lua, e pela rotação da Terra.

Portanto, as marés que ocorrem durante o período de cada mês lunar, em que o Sol, a Lua e a Terra encontram-se alinhados, tem uma diferença maior de nível entre as marés mais altas da preamar e a marca mínima da baixa mar, devido aos efeitos que a gravidade do Sol e

da Lua, somadas, exercem mais fortemente. Essas marés denominam-se marés vivas de primavera ou equinociais.

O efeito oposto ocorre quando o Sol e a Lua são colocados em um ângulo reto em relação à Terra, que anula parcialmente a ação da gravidade, resultando em marés mais fracas, com pouca diferença entre os maiores e menores níveis. Estas são chamadas, marés mortas ou de quadratura.

Cada mês lunar conta de duas séries de marés equinociais, que alteram com duas séries de marés mortas, e entre elas, existem alguns dias de transição que apresentam marés intermediárias (Figura 3), entretanto, um dia lunar tem uma duração de 24 horas e 50 minutos.

O cientista Pierre-Simon Laplace (1749-1827) e outros, estudaram a dinâmica das marés, classificando elas segundo a ocorrência dos preás e as baixas marés Lemus (1995), em:

- a) Maré semidiurna, é a maré cujo período é de aproximadamente 12 horas. Neste caso há duas marés altas e duas marés baixas em 24 horas. A altura de uma preamar é praticamente igual à de outra, o mesmo acontecendo com a baixa-mar.
- b) Maré diurna, é característica das latitudes baixas, tem um período de 24 horas aproximadamente. Neste caso, há apenas uma maré alta e uma maré baixa em 24 horas.
- c) Maré mista, principalmente semidiurna, maré com grandes diferenças de altura entre suas preamares e baixa-mares, na maioria das vezes, podendo ser diurna em algumas épocas do ano, elas se caracterizam por apresentar durante um dia lunar duas preamares e uma baixa mar ou duas baixa-mare uma preamar.

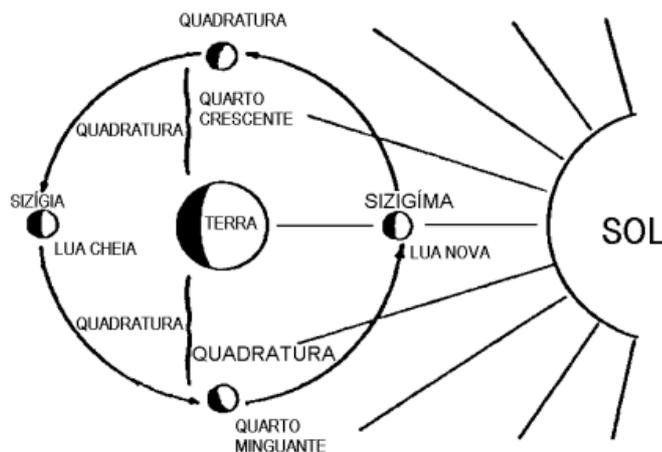


Figura 2. Marés de Sizígia e Marés de Quadratura. Fonte: Miguens, 1996.

Miguens, 1996, afirmou que é importante conhecer os elementos da maré, observando a oscilação rítmica do nível das águas, durante um certo tempo, ver Figura 3.

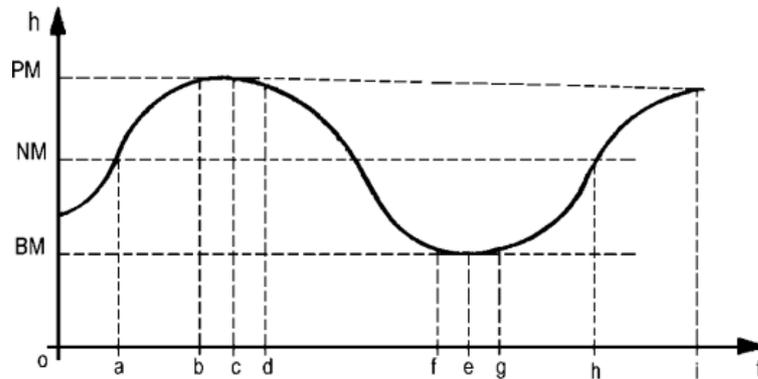


Figura 3. Elementos da maré. Fonte: Miguens,1996.

Na Figura 3, podemos observar o comportamento da altura da maré ( $h$ ) em função do tempo ( $t$ ), nela podemos destacar os diferentes elementos da maré, estes são:

- a. O nível sobe durante algum tempo, período denominado de “enchente”;
- b. Atinge um nível máximo denominada “preamar”;
- c. Fica um certo tempo estacionado, período denominado de “estofo de enchente”;
- d. Baixa durante um certo tempo, período da “vazante”;
- e. Alcança o nível mínimo, chamado “baixa-mar”;
- f. Fica estacionado algum tempo, novamente chamado de estofo, só que agora denominado “estofo de vazante”;
- g. Recomeça a subir, iniciando a repetição do movimento de “enchente”;
- h. Altura da maré;
- i. Tempo de duração da maré.

Onde:

**Preamar (PM):** Maior altura que alcançam as águas em uma oscilação;  $h_{PM}$  e acontece nos instantes  $t_c$  e  $t_i$ .

**Baixa-mar (BM):** Menor altura que alcançam as águas em uma oscilação; igual a  $h_{BM}$  e ocorre no instante  $t_e$ .

**Amplitude da maré:** Distância vertical entre uma PM e uma BM consecutivas, iguala  $h_{PM} - h_{BM}$ .

**Nível médio(NM):** Valor médio em torno do qual a maré oscila. Para uma determinada oscilação é  $h_{NM} = (h_{PM} + h_{BM}) / 2$ ; para um período longo, equivale ao nível em que permaneceria o mar se não existissem as marés.

**Ciclo da maré:** Período de tempo entre uma PM e a BM que lhe segue.

**Altura da maré:** Distância vertical entre o nível do mar em um determinado instante e o nível de redução (plano de referência que constitui a origem de contagem das profundidades e das alturas da maré).

Atendendo as características do comportamento da amplitude da maré, elas podem ser classificadas segundo Davies (1964) como:

Micromarés < 2m

Mesomarés < 4m, > 2m

Macromarés < 6m, > m

Hipermarés > 6m

Ao verificar o comportamento da maré no Brasil, pode-se dizer que se distribuem da seguinte forma: a região Norte encontra-se sob o domínio de macromarés (amplitude >4m), as regiões Nordeste e Leste (até o Banco do Abrolhos) estão sob o domínio das mesomarés (amplitude >2m e < 4m) e a região Leste (setor Sul), Sudeste Sul são influenciadas pelas micromarés (amplitude <2m). Estas marés são essencialmente semidiurnas (KNOPERS, 2009).

A maré caracteriza-se pela presença das componentes harmônicas que são as ondas sinusoidais, com frequência determinada pelo efeito exclusivo da ação de forças astronômicas e que compõem a onda de maré. A cada componente estão associadas as suas constantes harmônicas,  $h$  (amplitude da componente no local) e  $g$  (diferença de fase da componente real em relação a componente teórica) (POND & PICKARD, 1983).

As componentes da maré podem ser obtidas matematicamente pela análise harmônica. Doodson (1922) e Mclellan (1965), definem 390 componentes das marés, das quais cerca de 100 são de longo período, 160 diurnas, 115 semidiurnas e 15 terçidiurnas, sendo que cada componente possui um período e uma amplitude. A amplitude é usualmente expressa em relação à amplitude do componente principal lunar semidiurno ( $M_2$ ). As componentes mais amplamente usadas são: 4 componentes semi-diurnas ( $M_2$ ,  $S_2$ ,  $N_2$ ,  $K_2$ ) e 3 componentes diurnas ( $K_1$ ,  $O_1$ ,  $P_1$ ).

Entretanto, Pond & Pickard (1983), apresentam como os principais componentes harmônicos da maré os mostrados na Tabela 4.

Tabela 4. Principais componentes harmônicas da mare segundo Pond&amp;Pickard (1983).

<b>Componentes</b>	<b>Símbolo</b>	<b>Período(h)</b>	<b>Amplitude</b>	<b>Descrição</b>
Semi-diurnos	M <sub>2</sub>	12,42	100	Principal lunar
	S <sub>2</sub>	12	46,6	Principal solar
	N <sub>2</sub>	12,66	19,1	Lunar elíptica maior
	K <sub>2</sub>	11,97	12,7	Luni-solar declinacional
Diurnos	K <sub>1</sub>	23,93	58,4	Luni-solar declinacional
	O <sub>1</sub>	25,82	41,5	Lunar principal
	P <sub>1</sub>	24,09	19,3	Solar principal
14 noites	M	330	17,2	Lunar quinzenal
Mensal	Mm	661	9,1	Lunar mensal
Solar semi-anual	Ssa	4,385	8	Solar semestral
Solar anual	Sa	8,759	1,3	Solar anual
Nodal	-	163,024	-	Regressão dos nodos
	-	(18,6 anos)	-	

Os movimentos verticais que ocorrem em períodos de marés astronômicas são denominados de mareais ou frequência mareal (FM), da ordem de horas a dezenas de horas. Os movimentos que ocorrem em períodos menores, são chamados de oscilações de frequência supramareal (FSupM), da ordem de dezenas de minutos como oscilações de Seiches e Tsunamis.

Os movimentos com períodos maiores que o da maré astronômica são denominados de frequência submareal (FSubM), tal como a descarga fluvial, inclinação da superfície da água ao longo do estuário, ondas de marés meteorológicas e de plataforma (MIRANDA *et al.*, 2002; TRUCCOLO, 2005). Os processos em FM, FSubM e FSupM atuam de forma diferenciada, alterando o padrão de movimento da água e todo o material que está sendo transportado pelas correntes ao longo do estuário.

As marés oceânicas podem sofrer distorções em suas amplitudes e modificação na fase, durante sua progressão no sentido de águas rasas e ambientes restritos como baías e estuários. Estas alterações são devido ao atrito com o fundo; à compressão das margens do canal; à configuração da costa que direciona o fluxo de marés, e à profundidade do canal estuarino.

Além das alterações acima citadas, perturbações hidrológicas e meteorológicas também são responsáveis por distorções no padrão da onda de co-oscilação da maré astronômica (GEORGE, 1995; DYER, 1997; PUGH, 2004). A distorção é causada pela interação não linear dos principais constituintes harmônicos de maré em águas rasas, gerando novos harmônicos de maré com frequências maiores além de assimetrias de fase e na forma da maré (SPEER & AUBREY, 1985; PARKER, 1991; GEORGE, 1995; TRUCCOLO, 2006).

O tempo de assimetria desenvolvida entre a subida e a descida da onda de maré, pode ser representado pelo crescimento não-linear dos principais constituintes harmônicos da maré astronômica, podendo ser observado empiricamente através de registros de nível da água ao longo de estuários (TRUCCOLO & SCHETTINI, 1999; MAO *et al.*, 2004).

As marés astronômicas apresentam processos de distorção nas zonas costeiras ao entrarem em sistemas restritos, devido aos efeitos friccionais e constritivos, podendo haver diminuição (hiposíncrono), manutenção (síncrono) ou amplificação (hipersíncrono) da altura de marés (Nichols & Biggs, 1985), influenciando em sua altura, podendo resultar tanto na ampliação do sinal das marés por ressonância e reflexão, como na sua redução (LINS, 2002).

A dinâmica dos estuários é particularmente complexa, devido, principalmente, às influências dos processos físicos, tais como as marés, a circulação dentro do estuário e as frentes estuarinas. Um processo físico de extrema importância para o ecossistema estuarino é o fenômeno de marés, sendo mais evidente na costa, onde o nível do mar sobe e desce regularmente duas vezes ao dia. Como a Terra demora aproximadamente 24 horas para completar uma evolução, um ponto geográfico qualquer, ficará de face ou oposto para a lua a cada 12 horas, apresentando, então, duas preamares (enchentes) e duas baixa-mares (vazantes), este fenômeno é conhecido como maré semidiurnas, tipo característico do litoral brasileiro (SOARES-GOMES; FIGUEIREDO, 2002).

Contudo, estuários apresentam variações na sua hidrodinâmica induzidas por processos marinhos e fluviais. Na porção marinha, a circulação da plataforma adjacente influencia a dinâmica estuarina através de forças como as ondas de marés astronômicas, marés meteorológicas, de plataforma e ondas de gravidade. Enquanto que na porção fluvial há o predomínio da descarga de água doce (PARKER, 1991; PUGH, 2004).

Além dos termos friccionais e de águas rasas, as interações entre os constituintes astronômicos de maré, entre estes, a descarga fluvial e também a interação com as flutuações em FSubM de origem meteorológica, são responsáveis pela variação da altura da co-oscilação da maré astronômica (PARKER, 1991). Há uma relação intrínseca entre a fricção, descarga fluvial e co-oscilação da maré, pois a fricção é sentida somente onde existem correntes.

A descarga fluvial determinará a sucessão de correntes que prevalecerão num ciclo de maré, portanto, a distorção gerada na co-oscilação da maré, se dará em função da variabilidade do fluxo fluvial (TRUCCOLO, 2005). As marés mais amplas do mundo ocorrem nos estuários do Noroeste da França e, especialmente, na costa Leste do Canadá, na Baía de Fundy com aproximadamente 16m.

As marés são principal mecanismo para a introdução do sal, sedimentos, nutrientes e outras substâncias do mar adjacente aos estuários. As marés apresentam um papel importante na distribuição destes componentes dentro dos estuários e a exportação definitiva dos materiais continentais e estuarinos ao mar. Nas costas dominadas pela maré, como as úmidascosteiras, as marés influenciam na definição das características geomorfológicas, em particular, na formação e evolução dos cursos das marés(Perillo,2009).

A interação da descarga do rio com a maré, define o padrão da circulação básica do estuário e o grau da estratificação vertical e longitudinal. De fato, as marés marcam a mais profunda influência marinha no continente ao longo do vale do rio, o que pode detectar até centenas de quilômetros terra adentro.

Uma estrutura geral de estuário (Figura4), Dionne (1963), estabelece as influências fundamentais da maré ao longo dos diferentes setores do rio que tenham sido afetados pela mesma. Ele propôs uma divisão do estuário baseada na interação entre o rio e a maré, que o divide em três zonas: a) uma zona marinha, dominada pelas maré e água salgada, b) estuário médio, onde o domínio é dado pela mistura de água doce e água salgada em diferentes proporções e c) estuário superior ou fluvial, onde tem apenas água doce afetada pelas marés.

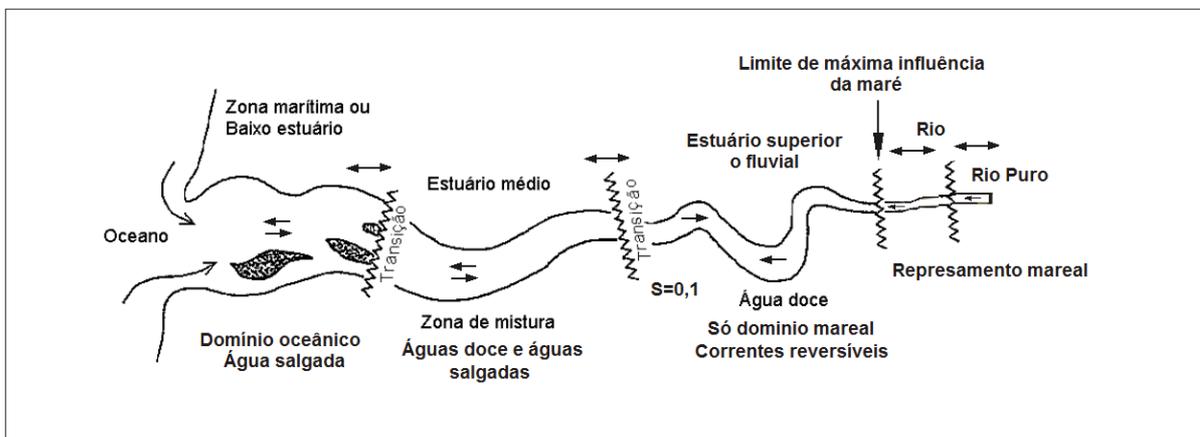


Figura4. Esquema geral da estrutura do estuário e suas relações com a parte fluvial segundo Perillo (1995), adaptado.

Os limites entre as três zonas, deslocam-se pelo vale em função das faces das marés (sizígia ou quadratura) e a descarga do rio. O limite interior do trecho médio é estabelecido pela isohalina de 0,1, que marca o máximo estimado da intrusão salina no vale do rio. A influência das marés e a dinâmica do estuário se propagam até que exista uma ação efetiva das marés. O conceito do “limite efetivo da influência das marés” foi introduzido por Perillo (1995), em comparação com o “limite de ação das marés”, sugerido por Dionne (1963),

devido à localização do trecho fluvial, onde as marés têm uma marcada influência na dinâmica dos processos que se produzem nele.

Existe um trecho muito comprimido entre o limite efetivo da ação da maré e o limite fluvial puro, denominado “represamento mareal”, Perillo(2000) e Perillo e Kjerfve(2003) (Figura 4), onde não existem correntes reversíveis, a descarga do rio estaciona por um curto período de tempo e nas águas acima, observa-se a mudança do nível com a periodicidade das marés, continuando o fluxo do rio. A variabilidade no nível do rio é uma prova direta do represamento causado pelas marés e no da propagação das marés.

Perillo (1996) desenvolveu uma classificação geomorfológica dos estuários, a partir da estreita relação entre os ambientes costeiros de sedimentação clássica e a influência das ondas e marés na costa, sendo possível distinguir entre costas dominadas por ondas e costas dominadas pela maré, que são resumidas em modelos de faces teóricas, sendo que as características mais importantes são:

### **Estuários dominados pelas ondas**

1. Possuem uma alta energia proveniente das ondas, comparada com a energia proveniente das correntes de maré, concentrada na foz.
2. Perto da foz, a energia total é alta devido à soma das energias provenientes das ondas e das marés.
3. No interior do estuário, a energia é alta devido à alta energia fluvial. A energia do rio decresce até o estuário, devido à redução do gradiente hidráulico nessa direção.
4. No setor médio do estuário, a energia total é baixa, devido as ondas não poderem penetrar no estuário e a energia das correntes de maré se dissipam nos deltas de fluxo e refluxo.

### **Estuários dominados pelas marés**

1. A foz destes estuários apresenta uma alta energia como consequência da alta energia das marés, frente às ondas.
2. Perto da foz, a energia total (ondas+ correntes) é alta porque a energia das marés é grande, a das ondas é moderada e a máxima dentro deste ambiente.
3. Até o interior do estuário, a energia total diminui, porque enquanto a energia da maré mantém-se constante, a energia das ondas decresce rapidamente sob os largos bancos de areia.

4. Perto da cabeceira do estuário, a energia total aumenta até o máximo, onde se concentram dois efeitos. Por um lado, a forma de funil da entrada produz uma amplificação da maré, e por outro lado, os efeitos da dissipação dos bancos de areia são máximos.
5. Na cabeceira do estuário, a energia total decresce até alcançar o mínimo, porque a fricção originada pelos bancos de areia é maior que a amplificação da maré.
6. A energia total aumenta na zona de domínio do rio por restrição na cabeceira.

## CAPITULO III. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

### 3.1-Localização

Na Figura 5, mostra-seo mapa da localização do estuário do Serinhaém, situado no baixo sul do estado da Bahia, aproximadamente a 110 Km de Salvador, dentro dos limites domunicípio de Ituberá, entre os paralelos 13°30' e 14°00' de latitude Sul e meridianos 38°50' e 39°40' de longitude Oeste, desembocando na Baía de Camamu. Encontra-se na parte costeira da APA Pratigi, dentro do Ecópolo III segundo a divisão da Organização para a Conservação da Terra (OCT).

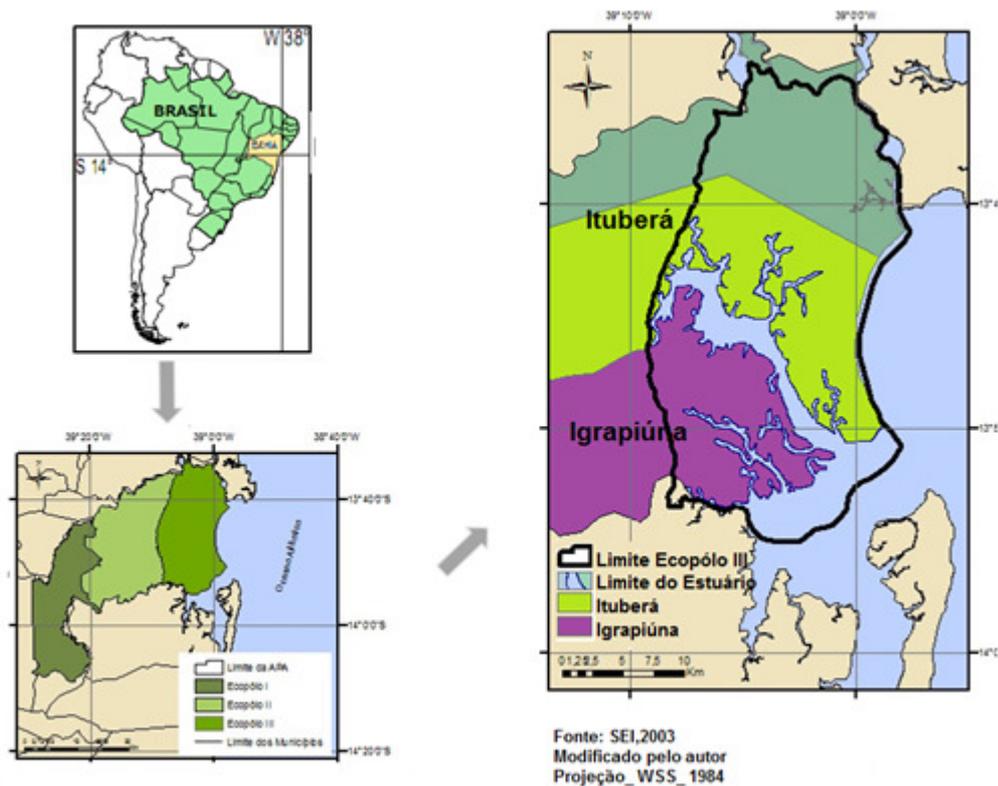


Figura 5. Localização do Estuário do Serinhaém. Fonte: SEI, 2003.

### 3.2- Geologia

O estuário do Serinhaém, encontra-se inserido nos compartimentos denominados Planaltos Cristalinos Rebaixados e Planície Costeira. Segundo Nunes, Ramos e Dillinger (1981), os Planaltos Cristalinos Rebaixados são constituídos por dois grupos ou unidades geomorfológicas: Tabuleiros pré-litorâneos e Serras e maciços pré-litorâneos. No caso do estuário, ele encontra-se na unidade dos Tabuleiros pré-litorâneos, com quase nula variação altimétrica.

Ocupando uma posição transitória entre a planície costeira e o planalto cristalino, os Tabuleiros, são constituídos por sedimentos terciários, areno-argilosos, na zona adjacente ao estuário e podem ser entendidos como área sensível à erosão, de relevos dessecados, e “limitados em trechos extensos por escarpas que acompanham a falha de Maragogipe, separando-se dos relevos da baixada litorânea e das planícies fluvio-marinhas” (NUNES, RAMOS e DILLINGER, 1981, p.222).

### 3.2.1 - Tectônica

Ocupando a borda ocidental da Bacia de Camamu, encontra-se a falha de Maragogipe, marcando um desnível topográfico entre as regiões de vales e a planícies costeiras, estabelecendo uma ligação entre rochas sedimentares e o Embasamento Cristalino, ao longo da APA (DOMINGUEZ, 2010; BORN *et al.*, 2011).

Entretanto Corrêa-Gomes *et al.* (2005) e Silva (2009), apresentam uma série de falhas e fraturas e seus tensores, além desta estrutura maior, com predomínio no sentido NNE-SSW (Figura6) que compõe o contexto geológico estrutural, como resultante do afastamento continental, formando o sistema de falhas de Maragogipe e a bacia de Camamu, tendo, entre eles, o estuário do Serinhaém.

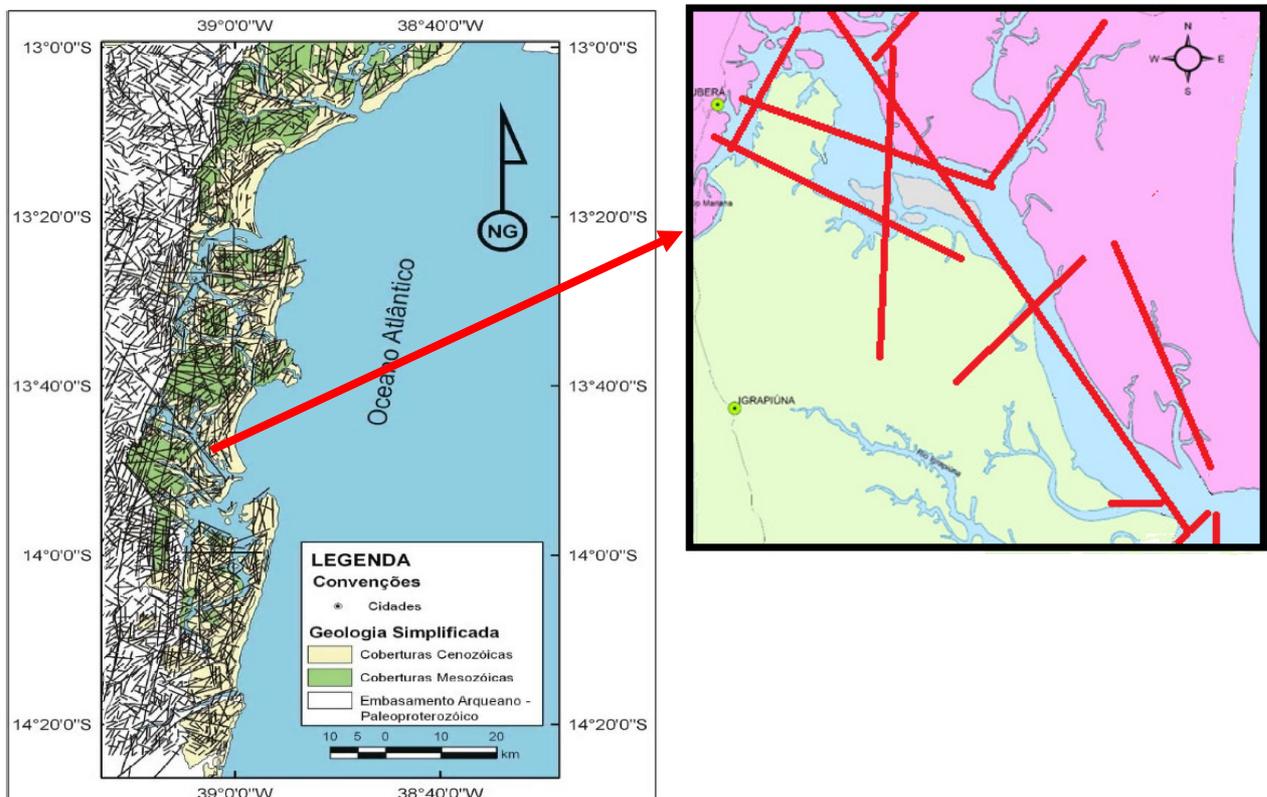


Figura 6. – Mapa Estrutural simplificado da área apresentando seus lineamentos estruturais.  
Fonte: Silva, 2009.

Segundo SantosI. (2015), essa armadilha de falhas, reflete na morfologia de fundo do estuário, classificando o estuário do Serinhaém como “estuário formado por processos tectônicos, baseado nos estudos de Corrêa-Gomes *et al.* (2005, 2011), Silva (2009) e Dominguez, (2010), os quais apontam relações entre o controle tectônico-estrutural e a formação morfológica do estuário.

### **3.3- Hidrografia**

Segundo a Resolução 32/2003 do Conselho Nacional de Recursos Hídricos – CNRH, que dividiu o território brasileiro em doze Regiões Hidrográficas, a APA do Pratigi encontra-se no contexto regional da Região Hidrográfica do Atlântico Leste (CNRH/ANA, 2014). Ela apresenta em toda sua extensão, um potencial hídrico muito rico, com uma quantidade de canais fluviais significativos. Sendo assim, a APA do Pratigi está inserida na Bacia do Recôncavo Sul, do Estado da Bahia.

A sub-bacia do Rio Juliana é a maior bacia dentro dos limites da APA, e recebe como afluentes, a maioria dos rios que desaguam no estuário do Serinhaém, são eles, os rios: Juliana, Cachoeira Grande, Santarém, Rio das Piabas e Rio Serinhaém (LESSA, 2007). Em escala local, a sub-bacia do Rio Juliana, tem sua nascente na Serra do Papuã e na Serra de Santa Rita, apresentando drenagem do tipo treliça, possivelmente pelo controle estrutural condicionador do relevo da região.

### **3.4- Clima**

Segundo a classificação de Köppen e Geiger, o clima na APA do Pratigi é classificado como clima Tropical, com os sub-climas Tropical chuvoso de floresta (Af), sem estação seca e Tropical de monção (Am). O litoral encontra-se sobre ação do clima Af, que apresenta características de clima quente e úmido com temperaturas elevadas o ano inteiro, sem muitas oscilações.

Nesta zona, as precipitações médias anuais podem encontrar-se ligeiramente acima dos 2.000mm/ano, no litoral e com valores mínimos de 1.500 mm no interior da APA do Pratigi. Os valores médios de temperatura são superiores aos 26°C. Esses índices, relacionados à precipitação e temperatura, consideram que os valores obtidos estão sobre a influência da proximidade com o mar (EL PASO, 2005; LESSA, 2007).

### 3.5- Caracterização Espacial

Os autores Amorin (2005) e Santos D. (2016), reportaram uma profundidade média do estuário de 7.3m, uma máxima de 25.2m e uma área de 106km<sup>2</sup>. Utilizando os dados de profundidade, largura e comprimento dos perfis longitudinais e transversais, reportados por Santos I.(2015), obteve-se resultados diferentes das dimensões do estuário, quando comparados com os reportados pelos autores mencionados anteriormente. De acordo com esta análise a profundidade máxima foi de 25m, a profundidade e largura média foi de 4,46m e 920m respectivamente. Nesta última, considera-se como limites a borda vegetada dos mangues ou áreas construídas, mesmo que inundáveis. A área total calculada foi de 36,28Km<sup>2</sup> e um comprimento aproximado de 29,23Km a partir da cabeceira até a foz, pelo eixo central. Estas novas dimensões do estuário foram comprovadas com o auxílio de um aparelho de Posicionamento Global por Satélite (GPS) e corroborados no ArcGIS 10.3, sobre as Imagens Rapid Edge, 2010 e as Bases Cartográficas do SIG da Bahia, IBGE, 2003.

### 3.6 - Características Fluviométricas

Amorim(2005) determinou as descargas e vazões médias do rio Serinhaém, partindo dos dados fornecidos pelo posto fluviométrico de Ituberá (51940000) desde o ano 1969 até 2002, as vazões dos mananciais, as vazões específicas para áreas de solo tipo argissolo, e as curvas de vazão específica para solo tipo latossolo, sendo estas 16,52 m<sup>3</sup>S<sup>-1</sup> para a estação com menos chuvas (agosto-fevereiro) e 18,08 m<sup>3</sup>S<sup>-1</sup>, na estação mais chuvosa (março-julho).

### 3.7-Parâmetros físico-químicos

De acordo com Amorim (2005), o estuário do Serinhaém se caracteriza pelas variações da temperatura bastante homogêneas na vertical, entre 26,3°C no fundo e 26,8°C na superfície, com uma pequena variabilidade horária. Já a variação média da salinidade é de 2,2(31,8-34) que é a diferença entre a superfície e fundo, para quadratura é de 4,2(29,9-34,1) para sizígia, em ambos casos, sempre os menores valores da salinidade foram observados na superfície e os maiores no fundo.

Entretanto, Santos D. (2016) observou também pouca variação na temperatura 26,63 a 29,48°C e 26,13 a 27,60°C nas estações chuvosa e seca, respectivamente. Os valores de pH variaram desde neutros a ligeiramente alcalinos (7,80 a 8,39) e (7,56 a 8,44) nas estações chuvosa e seca, respectivamente, sendo que os valores de pH tendem a se tornar menores em direção à montante. Os valores do oxigênio dissolvido, foram de (3,63 a 4,72)mg/l O<sub>2</sub> na

estação chuvosa e de (3,32 a 5,54) mg/l O<sub>2</sub> no período seco, observando-se um ponto (ponto 10) acima do limite mínimo (5 mg/l O<sub>2</sub>) (BRASIL, 2005).

Ambos autores explicam que a relativa estabilidade dos valores dos parâmetros físico-químicos ao longo dos pontos amostrais, é produto de uma forte influência das correntes de maré, com circulação eficiente e boa capacidade de mistura das águas que adentram o estuário do Rio Serinhaém (SANTOS F.M, 2009).

### **3.8 - Maré**

Na literatura, não existem registros das variações da maré no estuário do Serinhaém, no entanto, na Baía de Camamu, sistema onde encontra-se inserido o estuário, as variações do nível do mar, tende a um sistema forçado por micromaré em situação de quadratura ( $H_{\max}=189$  cm) e por mesomaré em situação de sizígia ( $H_{\max}=266$  cm) (Lessa e Miranda et al., 2002), no interior dela ocorre uma amplificação da altura da maré.

## **CAPITULO IV. METODOLOGIA**

Estapesquisa se insere no Projeto “APA PRATIGI modelando o tempo e o ambiente: modificações ambientais e conflitos como suporte para gestão ambiental”. Especificamente, dentre do Subprojeto 8 “Modelagem do Estuário no Serinhaém no Ecopolo III da APA do Pratigi – BA”, realizados pela Pós-graduação em Ciências da Terra e do Ambiente (PPGM), da Universidade Estadual de Feira de Santana (UEFS), Bahia, Brasil; em convênio com a Organização de Conservação da Terra (OCT), desde o ano 2011 até a atualidade, estudando as variáveis salinidade e maré.

O estudo foi abordado desde ponto de vista sistêmico, considerando os diferentes componentes do meio físico-geográfico, hidrografia, clima, morfologia, oceanografia, etc., no contexto regional e local onde insere-se o estuário do Serinhaém. Este estudo foi dividido em três etapas: (1) Levantamento de dados iniciais; (2) Coleta de dados em campo; e (3) Trabalhos de gabinete.

### **4.1- Levantamento de Dados Iniciais**

Dentro do levantamento dos dados iniciais primeiramente foi necessária uma revisão bibliográfica, a fim de compreender os processos de formação e dinâmica de funcionamento dos estuários, principais conceitos associados e classificações, e para isso, foram consultados clássicos como: CAMERON & PRITCHARD, 1963; PRITCHARD, 1967; FAIRBRIDGE, 1980; KJEFERVE, 1989; PERILLO, 1996; LESSA, 1998, MIRANDA, 2002. Além deles foram analisados estudos realizados por outros pesquisadores sobre a área em questão, especificamente o conhecimento da história ambiental e sedimentologia. Também foram avaliadas técnicas de amostragem, metodologias e processamento de análise de dados, a legislação ambiental para proteger esses ambientes, normas técnicas e as Tábuas de Maré dos portos de Ilhéus e Salvador, da Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN) da Marinha de Brasil (MM).

Outras fontes consultadas foram os artigos, monografias, dissertações e teses publicadas em repositórios e periódicos virtuais, e os trabalhos desenvolvidos no Projeto “APA do Pratigi”, no qual a UEFS tem participação. Do material cartográfico disponível nos sites das instituições governamentais, foram extraídas informações acerca da geologia, hidrografia, clima, e imagens de satélite utilizadas. Todas as informações cartográficas e as imagens usadas neste trabalho foram adquiridas pelo Laboratório de Geoprocessamento

(LAPIG) da UEFS e processadas com auxílio dos Softwares ENVI 4.8,e ArcGIS 10.3(Tabela.5), dos quais o LAPIG possui licenças.

Tabela 5 – Lista do material Cartográfico utilizado como subsidio para o estudo.

Instituto	Material	Ano	Uso
Companhia Baiana de Pesquisa Mineral (CBPM)	Mapa Geológico do Estado da Bahia, 1:1.000.000	1996	Consulta
Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM)	Base Cartográfica	2008	Consulta
Diretoria de Hidrografia e Navegação (DNH)	Carta Batimétrica 1110; 1131	1962; 1960	Consulta
Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA)	Imagens SRTM em escala 1:250.000	2005	Consulta
Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE)	Imagens Landsat 7	2000	Localização dos pontos de amostragem
Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE)	ImagensRapid Edge	2010	Produção de Mapa
Superintendência de Estudos Sociais e Econômicos da Bahia (SEI)	Base Cartográfica	2003	Produção de Mapa
Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste (SUDENE)	Ituberá - Folha SD-24-V-D-VI	1977	Consulta
PPGM - UEFS	Mapa de profundidades do estuário de Serinhaém	2015	Base dos mapas gerados

As informações coletadas permitiram elaborar os mapas para o levantamento de campo e na demarcação dos pontos de amostragem da salinidade e colocação das réguas de maré e Mareógrafos Digitais Ultrassônicos (MDUs)(Apêndice 1).

#### 4.2-Coleta de Dados em Campo

A coleta dos dados em campo constituiu a segunda etapa no projeto de pesquisa e teve como objetivo a medições da salinidade da água na superfície e fundo do canal do estuário, de acordo com a rede de estações de amostragem desenhada e utilizada por Santos I. (2015).Para amostrar os sedimentos, agregou-se duas estações da maré(Figura 7). É importante destacar que as 4 coletas de salinidade foram feitas sob fortes chuvas, especialmente nos meses de dezembro de 2014 e agosto de 2015.

O espaçamento utilizado foi de 1,0Km entre as seções de montante a jusante, e à cada 500 metros dentro de cada perfil, ou seja, de uma margem a outra, garantindo, independentemente da largura do canal, 3 coletas por seção e totalizando ao final 137 pontos de coleta, ou 32perfis. Nas áreas mais estreitas, optou-se por coletar sempre nas margens e no centro, mas onde havia o alargamento, iniciou-se a coleta do ponto no centro do canal, em direção as margens, respeitando a distância média de 500entre um ponto e outro. É importante ressaltar que as coletas apenas foram feitas no canal central, sem adentrar os braços do estuário.

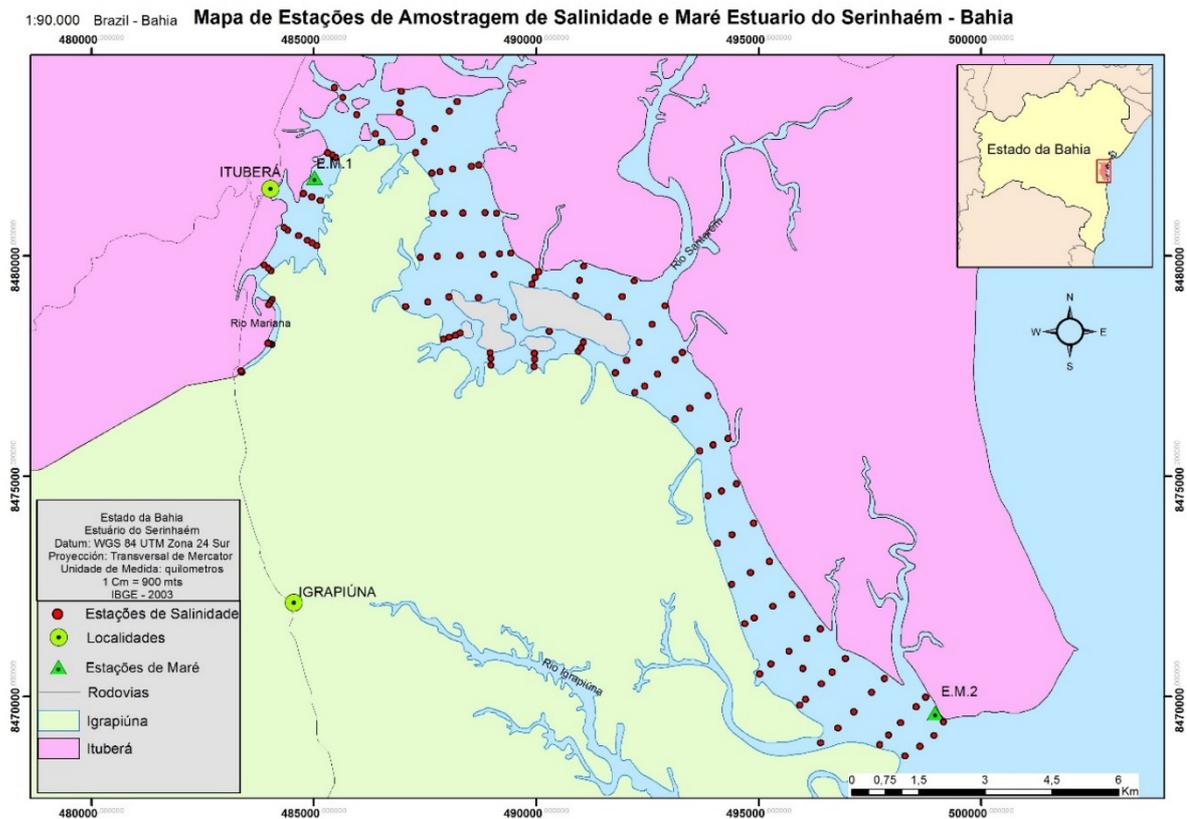


Figura 7 – Estações de Coleta de Salinidade e maré no Estuário do Serinhaém.

Os trabalhos de campo foram realizados com apoio de uma embarcação (Figura 8 C), distribuídas em 5 campanhas, na Tabela 6 pode-se observar detalhes das mesmas.

Tabela 6. – Campanhas de campo para coleta de dados de Salinidade e Maré.

Período da Coleta	Condição da Maré	Objetivo
04 a 08 de abril de 2014	Quadratura	Coleta de dados de Salinidade
10 a 13 de julho de 2014	Sizígia	Coleta de dados de Salinidade
13 a 16 de dezembro de 2014	Quadratura	Coleta de dados de Salinidade e maré
14 a 18 de agosto de 2015	Sizígia	Coleta de dados de Salinidade e maré
12 setembro a 17 de setembro 2015	Sizígia - Quadratura	Coleta de dados de maré

Na Figura 8 observa-se os pontos onde foram instalados os MDUs para coleta de dados de maré, nos cais dos portos da barra do Serinhaém (Fig. 8A) e de Ituberá (Fig. 8B)



Figura 8 – Instalação dos MDU: A) no cais do porto da Barra do Serinhaém, B) no cais do porto de Ituberá e C) Embarcação utilizada para amostragem da salinidade.

#### 4.2.1 - Medições da Salinidade

O trabalho amostral foi realizado iniciando-se na área montante do canal e terminando na foz do estuário, amostrando sempre após localização com auxílio do GPS, e com a embarcação fixada a uma âncora ao fundo do estuário. As amostras foram coletadas entre 10 e 20cm na superfície e no fundo do estuário, seguindo referências metodológicas da Guia Nacional de Coleta e Preservação de Amostras, Água, Sedimento, Comunidades Aquáticas e Efluentes Líquidos (ANA, 2011).

Na coleta de água para a análises de salinidade, foi utilizada uma garrafa de Van Dorm com capacidade de 5L (ver Figura 9A).



Figura 9. Em (A) Garrafa de Van Dorm, e em (B) Procedimento de coleta da água no Estuário para medida da salinidade.

Na Figura 9B, há uma foto do mestrando em procedimento de coleta da água no Estuário para medida da salinidade. As medições da salinidade no estuário foram feitas com um salinômetro refractômetro ótico com uma acurácia de  $\pm 1$ , nas campanhas de abril, julho

de 2014 e agosto de 2015. Nas medidas realizadas em dezembro de 2014 foi utilizado um dispositivo multiparâmetro digital marca HANNA com uma acurácia  $\pm 0,1$ , ambos equipamentos estavam devidamente calibrados e aptos para uso. Durante esta etapa, foram realizados registros fotográficos, (Figura 10A e 10B). Os dados obtidos foram representados e espacializados no Sistema de Informação Geográfico (SIG).

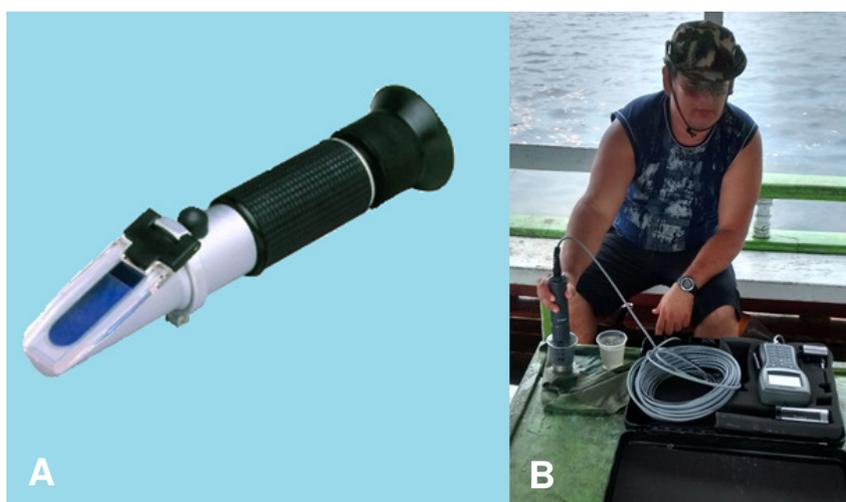


Figura 10- Em (A) imagem do Refractômetro – Salinômetro ótico, e em (B) Foto do procedimento de medida da Salinidade da Água do estuário usando o dispositivo multiparâmetro HANNA.

#### 4.2.2 - Medições da Maré

Inicialmente analisou-se uma série contínua de jan-dez 2005-15 de tábuas de maré da Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN), da Marinha do Brasil, portos de Ilhéus e Salvador, para determinar as características da maré da costa da Bahia (tipo, tempo de duração, alturas máximas e mínimas da maré, e as médias destes parâmetros).

Em seguida foram feitas três medições “in situ”. A primeira medição da maré foi feita entre 13 e 14 de dezembro de 2014, em um ciclo de 24 horas. Foram colocadas duas régua de maré em barras de aço com 4,42m, divididos por centímetro e fixadas às pilastras dos cais dos portos de Ituberá e da Barra do Serinhaém. Esta locação obedece às especificações técnicas da Norma 25/DHN, brasileira, em seu anexo J, epígrafe 3 “Procedimentos Técnicos e Mareografia”, que diz respeito a ficar todo tempo na água e em fundo estável.

Para fazer novas medições no estuário, de forma a expandir as comparações com as Tábuas de Marés da marina, foram construídos dois módulos de monitoramento do nível da maré.

Na Figura 11A, observa-se o diagrama esquemático detalhado do circuito mostrando a placa de desenvolvimento Arduino UNO e suas conexões elétricas com os diferentes circuitos

periféricos analógico ou digitais usados na montagem dos Mareógrafos Digitais Ultrassônicos. Nessa mesma figura é fácil reconhecer que o setup experimental é composto basicamente pelo microprocessador Arduino UNO, um sensor de temperatura tipo LM35, uma bateria DC de 12V/9A, um sensor ultrassônico modelo HC-SR04, um módulo de memória com suporte para cartão microSD, neste caso foi usado um cartão de 8GB para armazenamento dos dados medidos, um módulo de relógio em tempo real tipo RTCDS1307. O detector LM35 mede a temperatura do ambiente próximo ao sensor ultrassônico, este último mede a distância entre o sensor e a superfície da água no interior do tanque usado na calibração ou do estuário. O Arduino controla todas as medições assim como o tempo e a data na qual são realizadas, além do armazenamento de todos os dados medidos, pelo módulo experimental. Na Figura 9B, ilustra-se uma foto de um dos protótipos construído dos MDUs no Laboratório de Instrumentação em Física (LINFIS) do Departamento de Física (DFIS) da UEFS.

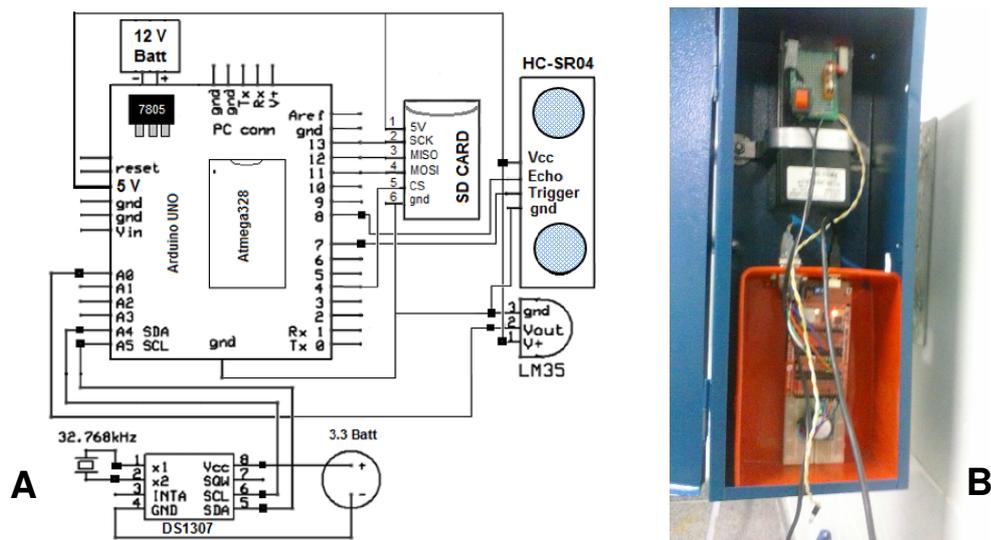


Figura 11: Diagrama esquemático do circuito usado na montagem dos Mareógrafos Digitais Ultrassônicos em (A) e protótipo construído do MDU em (B).

O Diagrama em blocos do sistema de medidas do MDU, é composto pelo bloco representando o Arduino UNO de 10 bits, que é conectado aos blocos dos transdutores ultrassônico, de temperatura, a um cartão de memória microSD de 8GB, um relógio de tempo real (RTC) e a um computador via o interruptor SW, pode observar-se na Figura 12A. A foto de um dos protótipos no primeiro cenário da calibração é mostrado na Figura 12B, o nível da água foi mudado na faixa dinâmica de 20-140cm, a cada 5min. Nessa mesma figura também podemos ver o tanque de armazenamento de água com um sistema de alimentação e deságue

mecânico, uma régua graduada para medida do nível da água no interior do tanque e uma estrutura mecânica de suporte que dá toda a estabilidade e proteção do circuito e equipamentos eletrônicos utilizados.

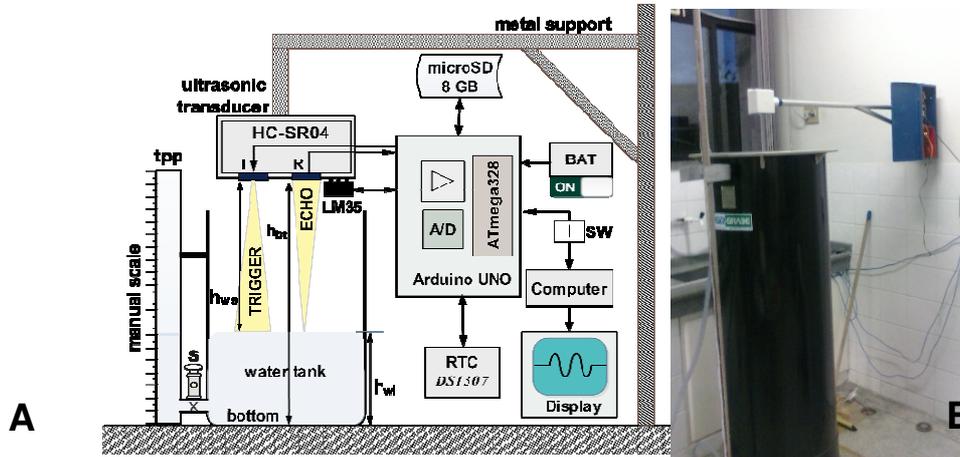


Figura 12: Diagrama em blocos do sistema de medidas do MDU em (A), e foto do protótipo para uma das etapas de calibração dos módulos de MDUs em (B).

Para dar funcionalidade ao Arduino foi necessário transferir um código computacional ao seu cérebro ou Microcontrolador. O código fonte foi escrito usando o Ambiente de Programação Integrado (IDE) ou Arduino Software. Este IDE permitiu programar um código fonte numa linguagem computacional similar a C++, que após compilado foi carregado ao Microcontrolador pelo próprio software. Depois disto é ligado o Arduino com uma bateria externa, e o programa ou firmware no Microcontrolador começa a ser executado e o primeiro que faz é checar se o cartão de dados está presente e formatado, se é positivo, logo é lido a data e o tempo no Relógio de Tempo Real e começa a medida de temperatura. Posteriormente, se mede a distância entre o nível da água e a superfície inferior do sensor ultrassônico ( $h_{ws}$ ) e é corrigida usando o valor médio da temperatura em cada instante de tempo, as medidas são repetidas a cada segundo, o valor médio da distância é determinada e estes valores são armazenados de forma síncrona com o tempo. Mas o período de medição pode ser escolhido via software, assim como o número de leituras a serem realizadas.

O cálculo da altura de maré é determinado pela seguinte fórmula,

$$h_{wl} = h_{bt} - h_{ws} \quad (2)$$

onde  $h_{bt}$  e  $h_{ws}$  são as distâncias entre a superfície inferior dos sensores ultrassônicos e o fundo do tanque e a superfície da água, respectivamente.

O primeiro MDU, foi colocado no Cais da Barra do Serinhaém, em 14-17 do mês de agosto de 2015 a uma distância de 3,0m acima do fundo do estuário, realizando uma leitura a cada 1s, durante 4 dias, até ser danificado por uma tormenta. A altura do posicionamento do instrumento foi escolhida de acordo com o comportamento histórico do maior valor da altura da maré na fase sizígia da Lua, que foi de 2,76m, registradas nas Tábuas de Maré do estado da Bahia, ou seja, 0,24m acima.

No mês de setembro do mesmo ano foram colocados dois novos aparelhos, sendo um no porto de Ituberá e outro na Barra do Serinhaém (revisitar Figura 6A-B), sendo que o primeiro foi posicionado a 4,85m e o segundo a 4,35m do fundo do estuário. As alturas do posicionamento dos instrumentos foram escolhidas de acordo com a experiência anterior, não obstante, os módulos instalados também sofreram danos irreversíveis causados pelas marés equinociais de sizígias ocorridas. Estescoletaram dados a cada 30s, por 5 dias entre o 12 e 17 de setembro de 2015. Para maiores detalhes sobre a construção, montagem, calibração dos módulos de MDUs visitar o Apêndice1 (Artigo submetido periódico *Remote Sensing of Environment*, R. González-Santana *et al.*, 2016. An embedded measurement system for liquid-level remote sensing: applications in studies of tide in the Serinhaém estuary, south coast of Bahia, Brazil no prelo).

#### **4.3 -Trabalho de Gabinete**

Nesta etapa da pesquisa,foirealizado de forma contínua o processamento e análises dos dados das coletas de salinidade obtidos nas etapas de campo. Primeiramente foram tratados pelo módulo estatístico de Microsoft Excel 2010, determinando os mínimos, máximos e médias da salinidade de cada mês, em seguida foram feitos os mapas com o software ARCGIS 10.3 utilizando o método de interpolação Krigagem linear, gerando modelos espaço-temporais e o perfil central do estuário, para cada campanha. Os dados de maré foram processados em duas etapas, uma correspondente ao processamento e análises estatísticas das alturas máximas e mínimas de maré diárias a cada ciclo desde janeiro de 2005 até dezembro de 2015, das Tábuas de Maré dos portos de Ilhéus e Salvador. Foram calculadas as amplitudes de maré a cada período, determinadas as diferenças horárias, altura e amplitude da maré, entre a ocorrência num porto e outro. A partir das análises destes resultados foram gerados gráficos mensal-médio das ocorrências das mesomarés e do comportamento da amplitude média e máxima das marés.

Na segunda etapa, foram processados e analisados os dados das coletas das alturas de maré, medidos pelas réguas de maré pelos MDUs nas etapas de campo. Primeiramente se determinou a amplitude de maré para cada período, gerando o mareograma medidos pela régua de maré. Os dados obtidos pelos MDUs, foram tratados estatisticamente em Excel 2010, determinando a média das leituras a cada 15min, assegurando a elevada resolução temporal dos dados, gerando mareogramas correspondentes. Finalmente foram realizadas análises comparativas, entre os dados obtidos nas coletas de campo e as tábuas de maré dos portos de Ilhéus e Salvador.

## CAPITULO V. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 - Introdução

Neste capítulo apresentam-se os dados obtidos em tabelas resumo, mapas de classificação dos ambientes costeiros segundo a salinidade, perfis longitudinais do eixo do estuário e mapas da variação espaço-temporal horizontal da salinidade e do gradiente ao longo do estuário. Também serão expostos os resultados calculados da maré e os mareogramas dos dados coletados no campo ao longo das 3 campanhas de coletas.

### 5.2 - Salinidade

Os resultados das coletas de salinidade (Apêndice 2), nos meses de abril, julho, dezembro de 2014 e agosto de 2015, obtidos a partir dos procedimentos metodológicos conforme descrito no capítulo IV, foram tabulados, processados estatisticamente e integrados em ambiente SIG.

Na Tabela 7, ilustra-se os valores mínimos, médios e máximos da salinidade na superfície e no fundo do estuário nos meses mencionados anteriormente.

Tabela 7. Salinidade mínima, média e máxima na superfície e no fundo do estuário do Serinhaém nos meses de abril, julho, dezembro de 2014 e agosto de 2015.

SALINIDADE	abril/14		julho/14		dezembro/14		agosto/15	
	Sup.	Fundo	Sup.	Fundo	Sup.	Fundo	Sup.	Fundo
<b>Mínima</b>	0,00	0,00	1,00	2,00	1,05	1,27	1,00	3,00
<b>Média</b>	13,99	17,28	22,20	23,87	21,54	24,45	19,71	21,24
<b>Máxima</b>	24,00	30,00	30,00	30,00	30,14	36,40	31,00	31,00

A partir do Apêndice 2 e a tabela 7, foram gerados os gráficos de comportamento da salinidade mínima, média e máxima na superfície e no fundo do estuário do Serinhaém nos períodos descritos. Pode-se perceber mais claramente que os valores mínimos de salinidade ocorreram no mês de abril e os máximos no mês de dezembro como ilustra-se na Figura 13.

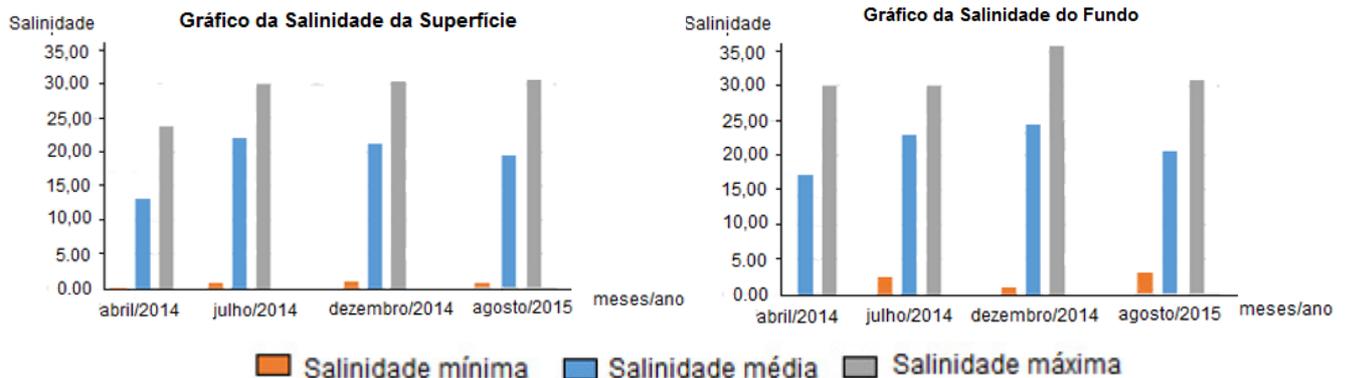


Figura 13: Salinidade mínima, média e máxima na superfície (A) e no fundo (B) do estuário do Serinhaém nos meses de abril, julho, dezembro de 2014 e agosto de 2015.

A estação pluviométrica de Ituberá do Instituto de Meio Ambiente e Recursos Hídricos (INEMA) (<http://monitoramento.inema.gov.br/planilhas/plus/>) esteve fornecendo dados desde setembro de 1965 até abril de 1999, mostrando carência de dados pluviométricos mensais na área de estudo durante o período de 2000-2015. Por este motivo, e buscando um comportamento de pluviosidade o mais representativo de Ituberá, foi realizada uma correlação usando os dados anteriores entre as estações pluviométricas de Salvador e Canavieiras do Instituto de Meteorologia do Brasil disponível no site ([www.inmet.gov.br](http://www.inmet.gov.br)); (Figura 14).

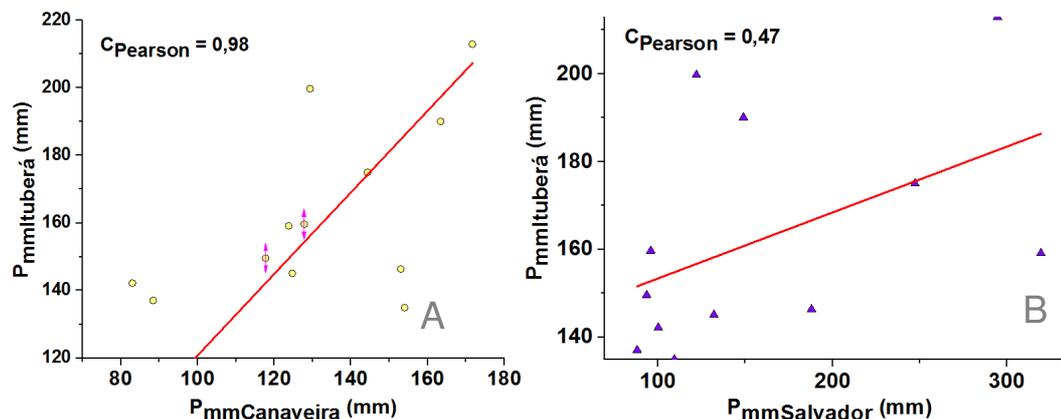


Figura 14: Correlação dos registros pluviométricos entre as estações de Ituberá e Canavieiras (A) e Ituberá e Salvador (B), durante o período entre 1977 até 1999.

Da análise da correlação dos dados pluviométricos entre as estações de Ituberá e Canavieiras e Ituberá e Salvador, durante o período entre 1977 até 1999 (Figura 12), pôde-se ver que existe uma maior correlação de acordo com o coeficiente de Pearson de 0,98, entre os registros pluviométricos entre as estações de Ituberá e Canavieiras, quando comparados com

os registros no mesmo período entre as estações de Ituberá e Salvador. Consequentemente, todas as análises de pluviosidade foram realizadas a partir dos registros medidos pela estação costeira de Canavieiras (No. 83398) no Estado da Bahia.

A análise dos registros pluviométricos, permitiu determinar que os meses de maiores precipitações são março, abril, maio, junho e dezembro, com médias acima dos 140mm, no entanto, os meses com menos precipitações são setembro com média de 87,01mm, depois segue agosto com média de 99,99mm, janeiro com média de 119,12mm e fevereiro com média de 133,2mm, observa-se entretanto, que durante os meses com maiores chuvas a evaporação diminuiu e aumentou nos meses com menores precipitações, apenas a evaporação no mês de setembro está acima das precipitações, alcançando valores de 105mm d<sup>-1</sup>.

Observa-se também que os registros pluviométricos mensais dos anos 2014 e 2015, não se comportaram segundo a média histórica, ocorrendo muita chuva quase totalidade nos meses de 2014, com agosto e setembro muito secos, inclusive abaixo da média histórica, os demais meses tem comportamentos anômalos acima ou abaixo dos padrões registrados em anos anteriores, no entanto, 2015 foi um ano bastante seco, com a exceção dos meses de fevereiro, maio, junho e agosto, onde as precipitações foram muito fortes, o resto dos meses se comportou muito abaixo das médias históricas, estas fortes variações podem ser explicadas pela influência dos fenômenos “*El Niño*” e “*La Niña*”, que encontram-se no período mais crítico sob a região. (Tabela 8).

Tabela 8. Precipitações médias mensais e evaporação da estação pluviométrica de Canavieiras do estado de Bahia dos anos 1977 - 2015. Fonte: INMET, Brasil, 2015.

Meses	Prec. médias mensais(mm)	Evaporação média mensais (mm d <sup>-1</sup> )	Prec. médias mensais(mm) 2014	Prec. médias mensais(mm) 2015
janeiro	119,12	118,4	191,30	64,60
fevereiro	133,20	102,7	164,10	220,30
março	174,97	98,9	287,80	66,90
abril	174,29	80,38	100,60	62,30
maio	150,85	72,47	126,60	373,30
junho	174,17	62,81	218,50	415,40
julho	150,65	73,07	248,50	98,70
agosto	99,99	93,04	24,90	184,20
setembro	87,01	105,94	43,30	4,20
outubro	137,61	110,37	170,60	55,60
novembro	141,80	106,08	172,00	8,90
dezembro	142,63	109,91	159,90	7,40

A partir dos dados de salinidade coletados, foram gerados perfis longitudinais do eixo central, mapas de distribuição da salinidade e do gradiente da salinidade do estuário do Serinhaém.

A salinidade na superfície no mês de abril varia de 0 a 24 e no fundo, de 0 a 30, aumentando desde montante para jusante, com médias de 13,99 para a superfície e 17,28 para o fundo, como observado na (Figura 15).

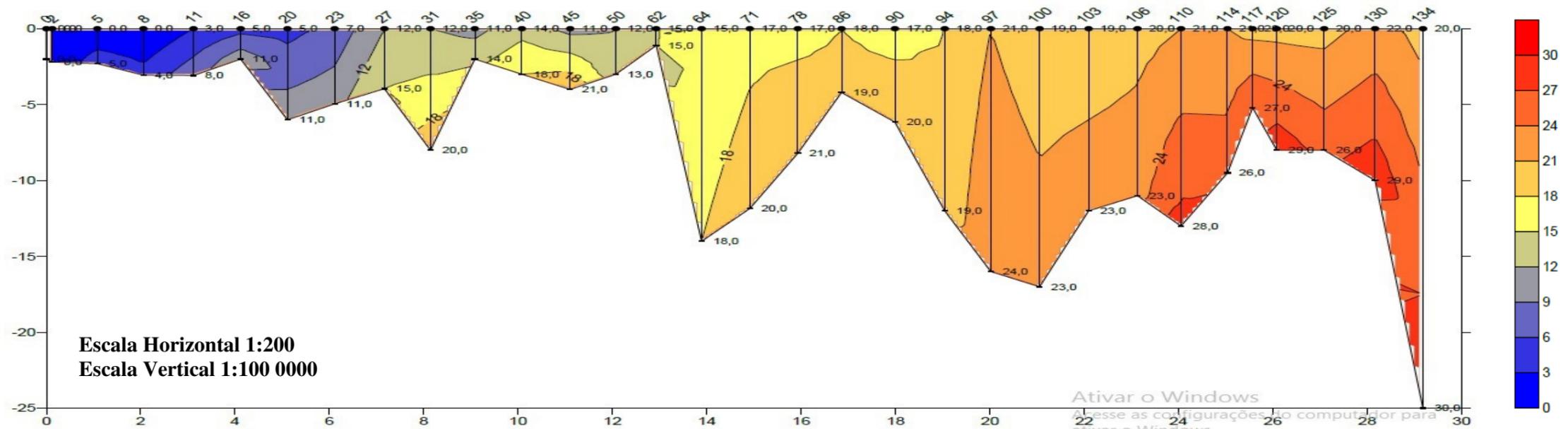
Analisando o perfil longitudinal, os mapas de distribuição espacial da salinidade de superfície e fundo do estuário, pôde-se apreciar o controle morfo-estrutural do relevo emerso e submerso, que a sua vez incide diretamente sob o comportamento da salinidade, evidenciado na queda da profundidade entre os pontos 0 e 16, onde não é superior a 3,0m. Neste setor, a salinidade da superfície vai de 0-5, na superfície e de 0-11 no fundo. A partir deste ponto a salinidade continua aumentando em valores discretos até o ponto 27, onde o grupo de ilhas funcionam como barreiras, fazendo um represamento das águas menos salgadas unido a presença dos tributários do estuário (cachoeiras de Pancada Grande e Castro Alves e rio Cágada).

A partir do ponto 27 até o 64, onde também tem a influência dos rios do Barro, Marimbu, Cabatá, e Cacimba, as salinidades na superfície e no fundo aumentam, mas se mantêm em uma faixa entre 12-15 e 14-20 respectivamente, produzido pelo efeito dos rios, e da configuração do estuário neste trecho, onde a maior largura média é de 1600m e a profundidade média de 2,93m, novamente o efeito barreira é causado pelas Ilhas do Papagaio. A partir do ponto 64 até ponto 94, existe uma ligeira tendência ao aumento da salinidade, com valores de superfície e fundo muito próximos, causado pela influência das ilhas e o aporte da água doce do maior afluente, o Rio do Campo. Do ponto 94 até a foz do estuário, a salinidade aumenta tanto na superfície como no fundo com valores entre 18-22 e 19 e 30; é importante destacar que este setor é o mais profundo, com declives que vão de 12-25m, e existe predomínio do mar, no entanto, existem ligeiras diminuições da salinidade nos trechos onde deságuam afluentes.

Neste setor, há eventos tectônicos presentes como indicado por Gomes *et al.* (2005 e 2011), que influenciam o comportamento da salinidade, tanto em sua distribuição horizontal como vertical. Ao observar o perfil (Figura 15), nota-se o confinamento das águas mais salgadas nos setores mais profundos.

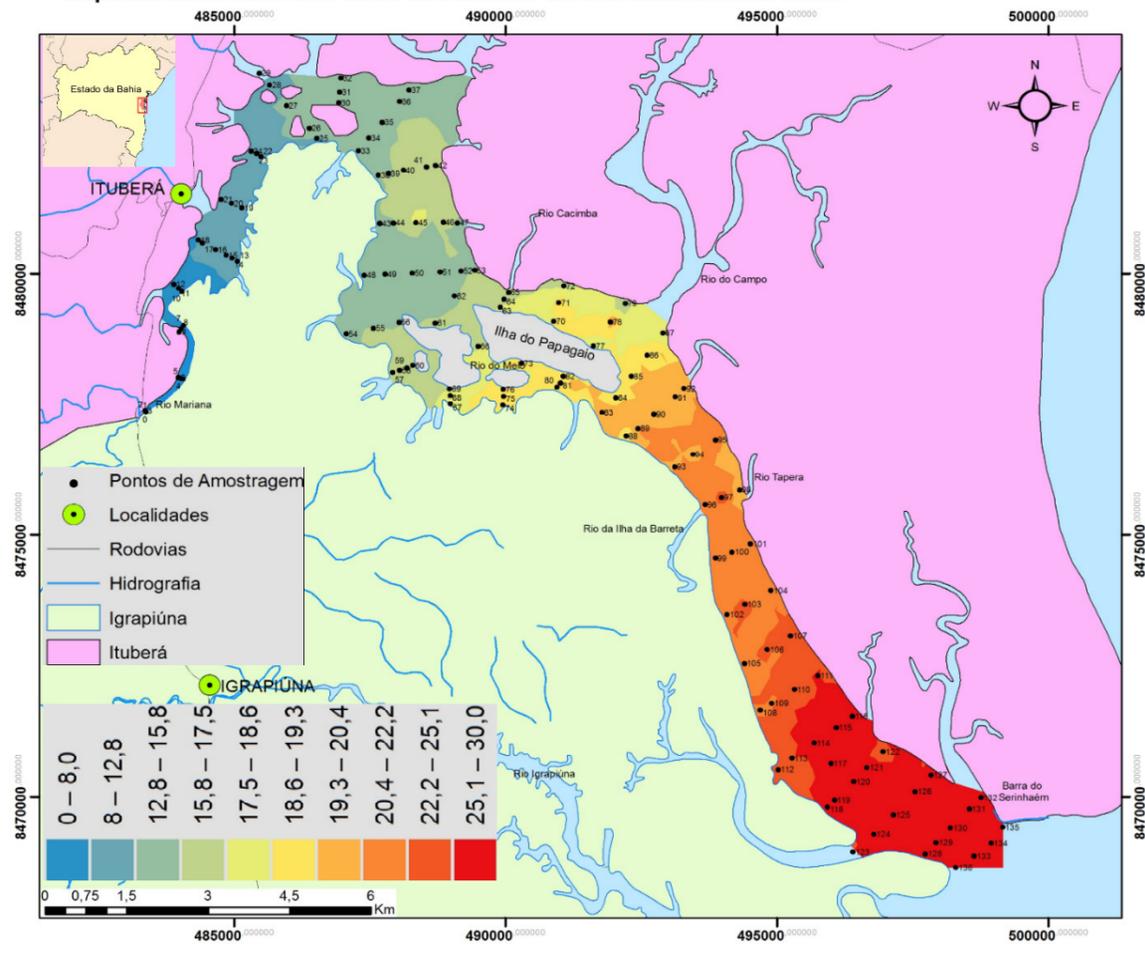
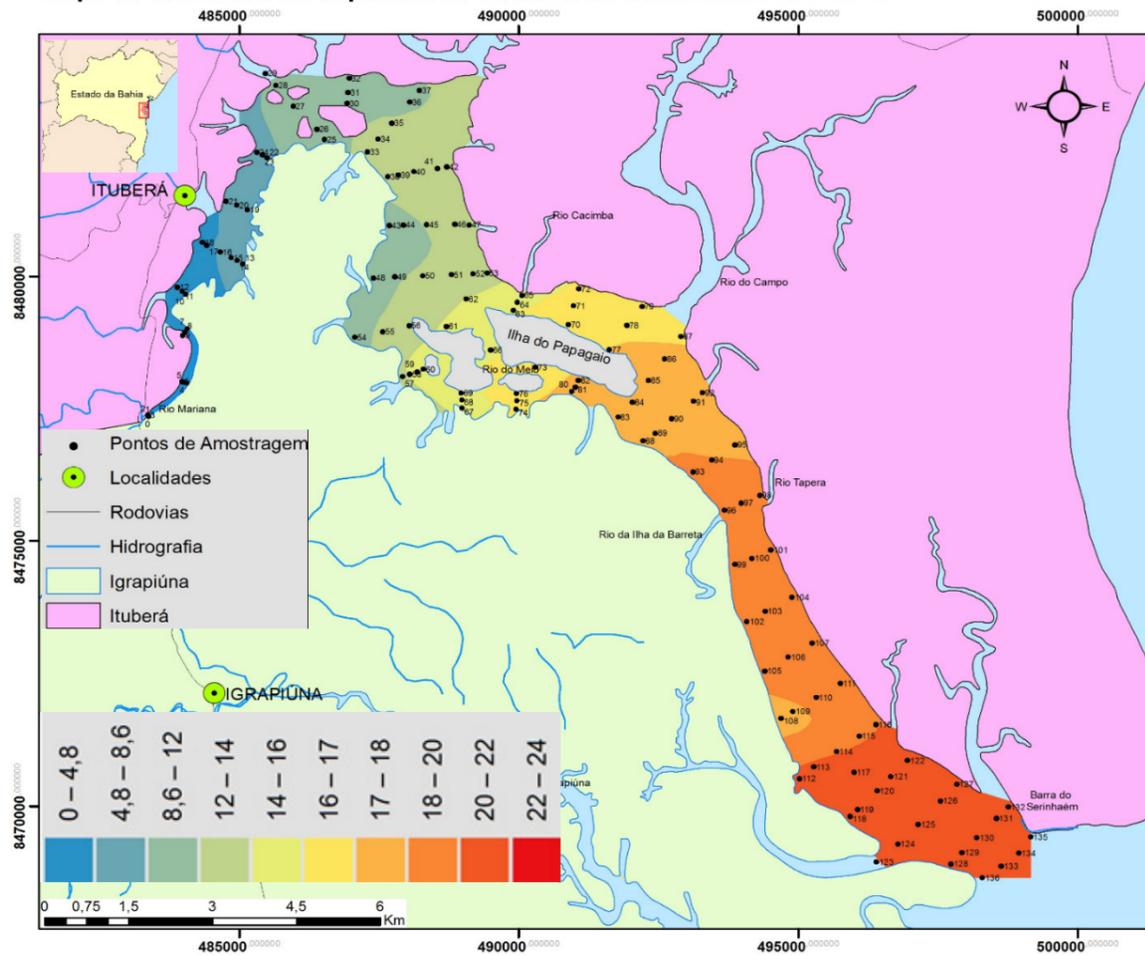
Finalmente é necessário destacar que as coletas foram efetuadas nos primeiros dias do mês de abril, e a bacia hidrográfica ainda estava drenando as precipitações do mês de março,

287,80mm ea maré encontrava-se na fase de quadratura, fenômenos que ao combinar-se provocam a diminuição da salinidade no estuário.



Mapa de Salinidade de Superfície do Estuário do Serinhaém. Abril 2014

Mapa de Salinidade de Fundo do Estuário do Serinhaém. Abril 2014.

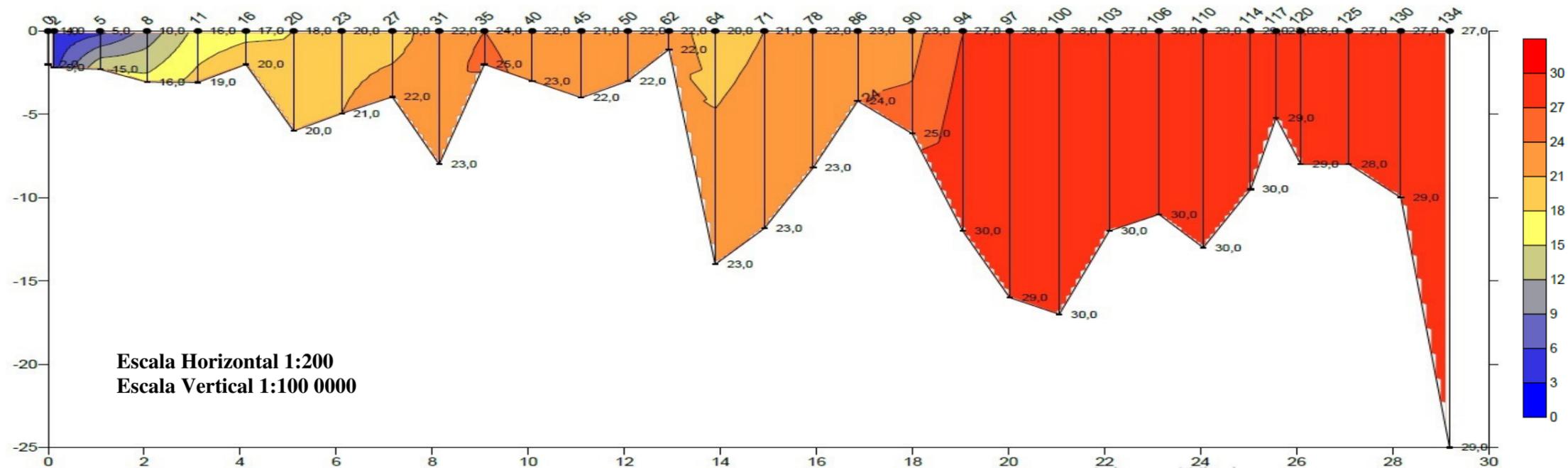


1:90 000 Brasil - Bahia

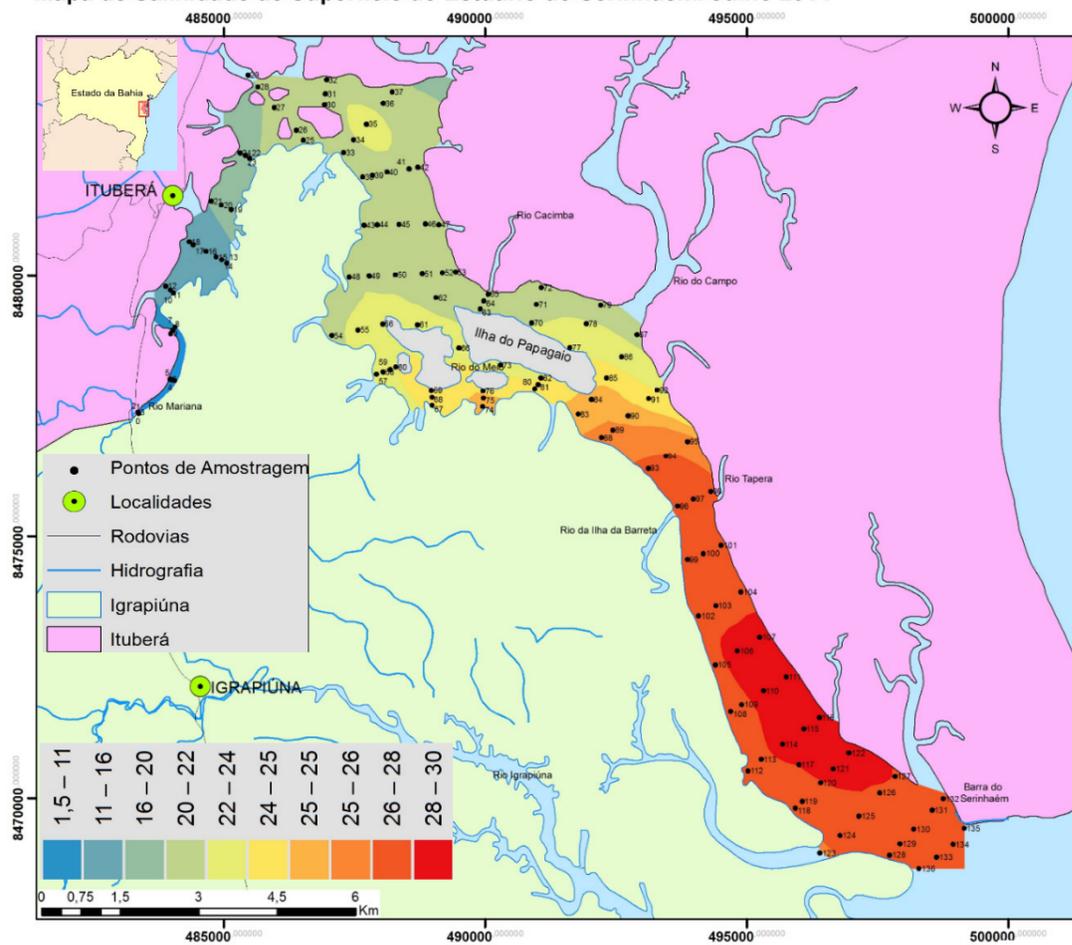
Figura 15. Perfil e Mapas de Salinidade da Superfície e Fundo do Estuário do Serinhaém- abril 2014.

No mês de julho, os comportamentos da salinidade ao longo do perfil do estuário, mantém o padrão do mês de abril, com uma tendência do aumento da salinidade de montante a jusante, com valores entre 1-30 na superfície e 2-30 no fundo, com médias de 22,20 e 23,87 respectivamente.

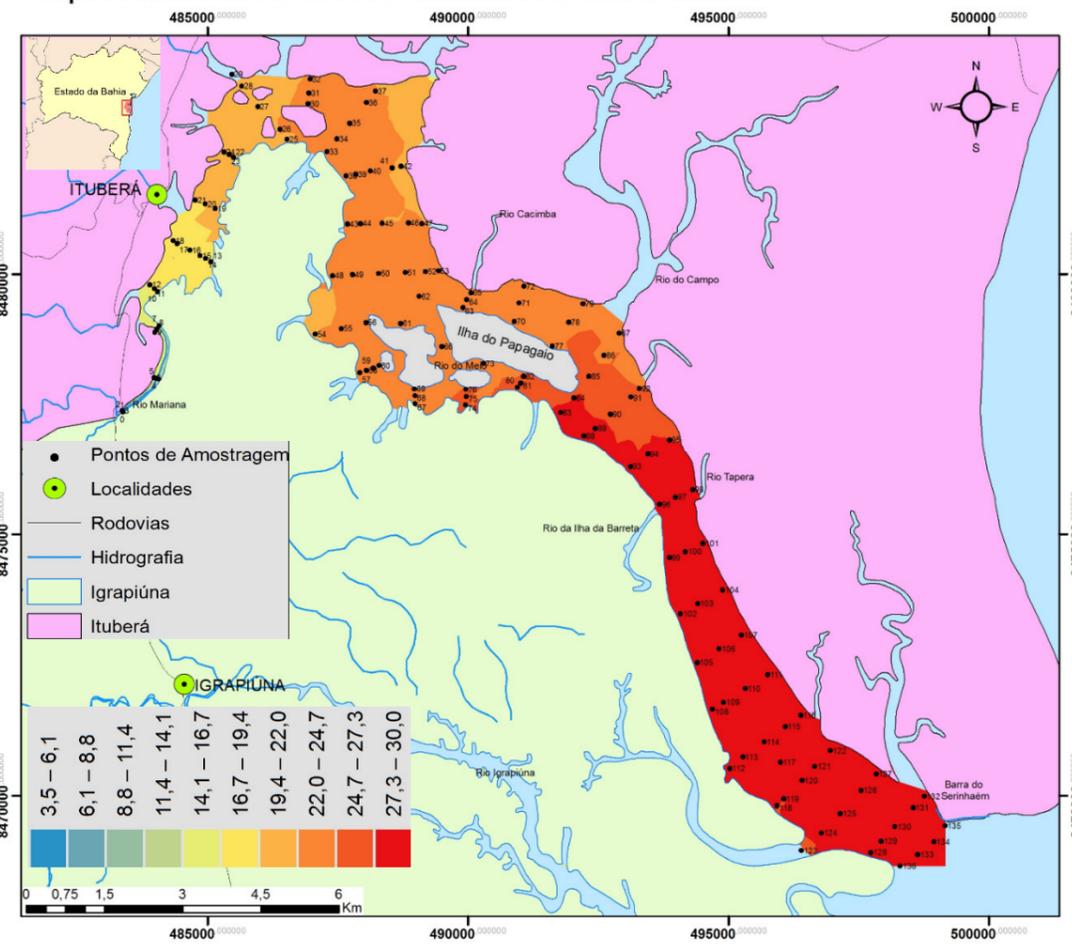
Neste mês, a salinidade é detectável desde o primeiro ponto coletado (ponto 0), próximo a Cachoeira da Pancada Grande, e cresce rapidamente, saindo de 1 para 4 em 125m e duplicando no primeiro quilômetro. Daí duplica para o quilômetro seguinte (ponto 2) e segue ampliando rapidamente até o ponto 27, quando sai de 5 a 20 na superfície e de 15 a 22 no fundo. Observando-se o mesmo comportamento que o mês anterior, porém com maiores valores de salinidade, assim ocorre também nos próximos setores compreendidos entre os pontos 27 e 64, 64 e 94 e 94 até a foz do estuário, onde predominam os valores entre 27-30 na superfície e 28 e 30 no fundo, (Figura 16). As precipitações também se comportaram acima da média histórica, com valores de 248,50mm. Não sendo, entretanto, suficientes para que a salinidade tivesse valores menores que o mês de abril, devido a influência da maré de sizígia durante a coleta.



Mapa de Salinidade de Superfície do Estuário do Serinhaém. Julho 2014



Mapa de Salinidade de Fundo do Estuário do Serinhaém. Julho 2014.

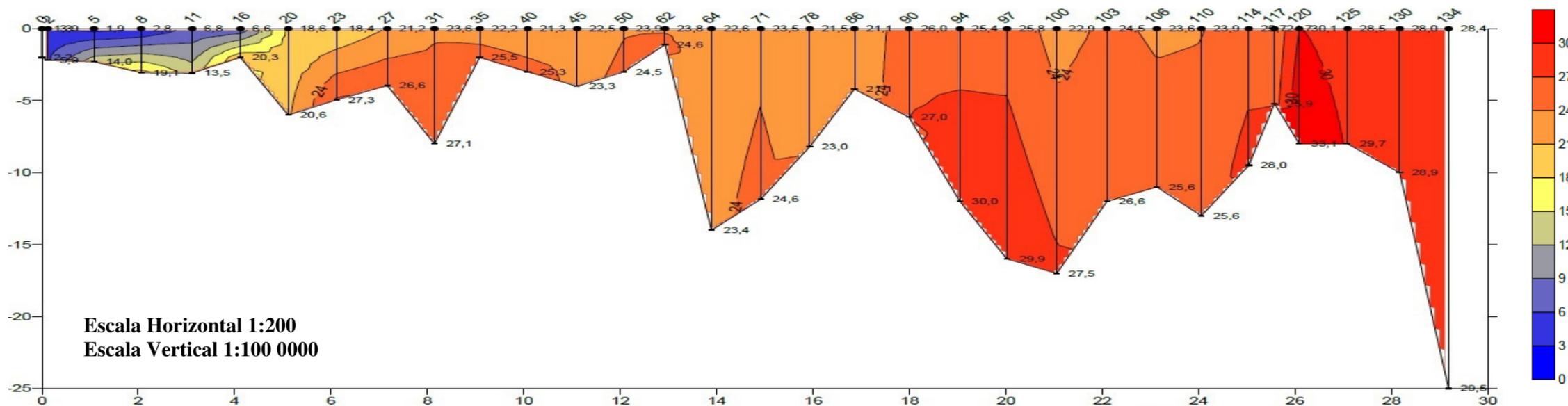


1:90 000 Brasil - Bahia

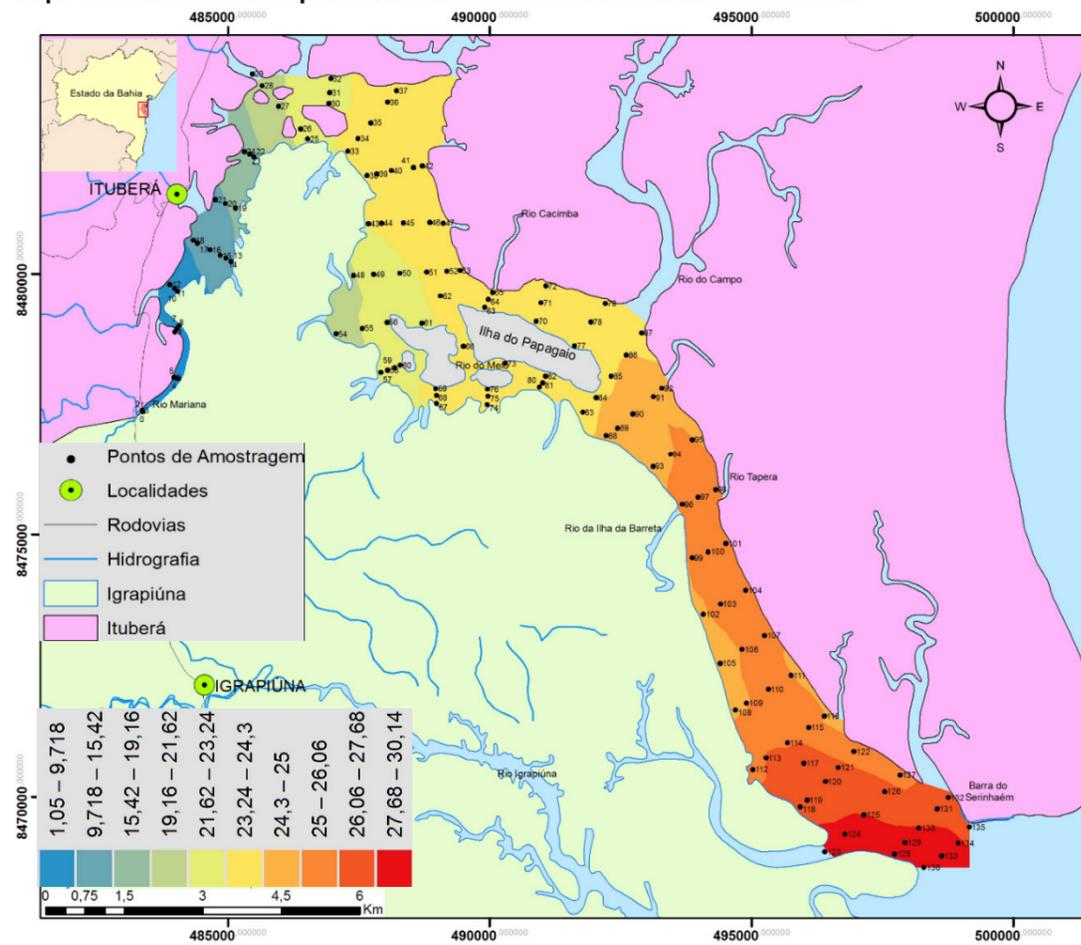
Figura 16. Perfil e Mapas de Salinidade de Fundo do Estuário do Serinhaém- julho 2014.

No mês de dezembro a coleta realizou-se em maré de quadratura, sob precipitações acima da média histórica, o que provocou uma diminuição da salinidade, considerando o clima segundo a média histórica das precipitações. Mantendo o comportamento da salinidade do estuário nos meses anteriores, com nova tendência do aumento da salinidade de montante a jusante, com valores entre 1,25-30,14 na superfície e 2,16-36,4 no fundo, com médias de 21,54 e 24,45 respectivamente.

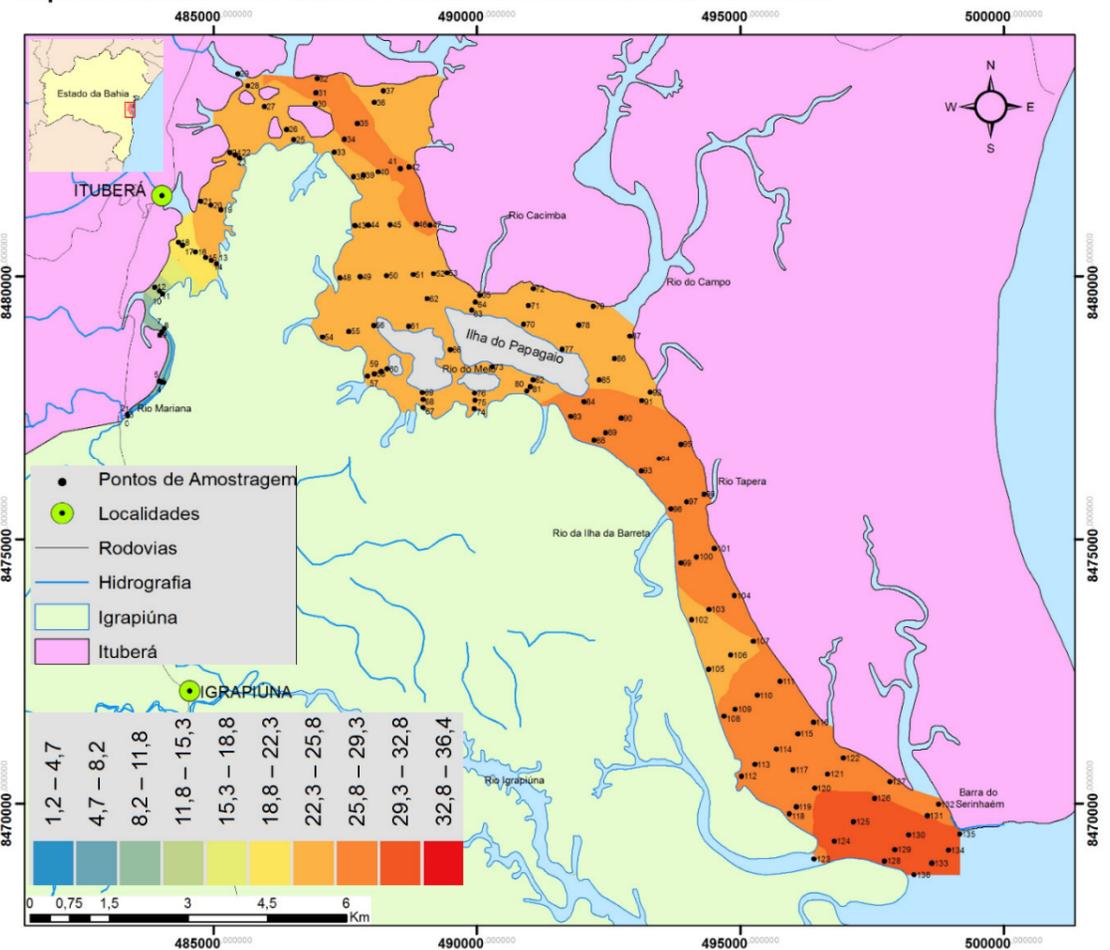
Neste mês a salinidade também está presente desde o ponto 0, com valores ligeiramente superiores aos registrados no mês de julho. A diferença é que são menores entre o ponto 5 e 16 na superfície, e de forma similar no fundo. A partir deste ponto a salinidade continua aumentando discretamente até o ponto 86, com valores entre 21,16-23,85 na superfície e 20,59-26,65 no fundo, também se observa neste trecho, o efeito das ilhas e dos rios. Do ponto 90 em diante, a salinidade aumenta de 26 a 30,14 na superfície e 25,65 a 33,10 no fundo, no eixo central do estuário, observando-se também o encapsulamento das águas mais salgadas pela presença de armadilhas morfotectônicas e o empuxe das águas doces provenientes dos rios tributários (Figura 17).



Mapa de Salinidade de Superfície do Estuário do Serinhaém. Dezembro 2014



Mapa de Salinidade de Fundo do Estuário do Serinhaém. Dezembro 2014.



1:90 000 Brasil - Bahia

Figura 17. Perfil e Mapas de Salinidade de Superfície e Fundo do Estuário do Serinhaém- dezembro 2014.

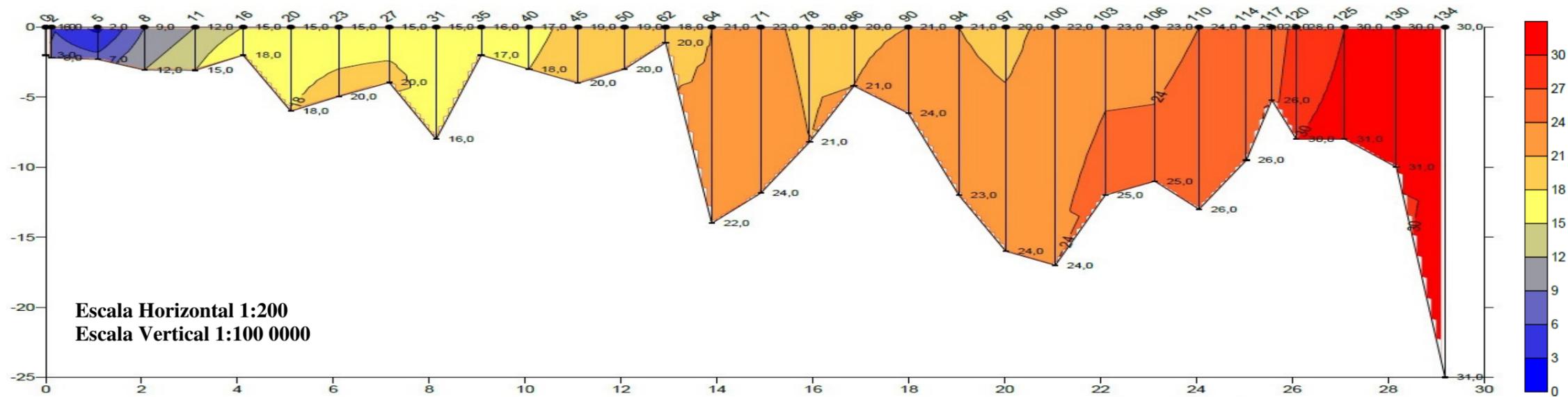
Por último, o mês de agosto de 2015, que não se diferencia dos meses anteriores, apresentando a mesma tendência de aumento da salinidade de montante a jusante, com valores entre 1-31 na superfície e 3-31 no fundo, com médias de 19,71 e 21,24 respectivamente.

Neste mês, os valores de salinidade são ligeiramente superiores aos registrados no mês de julho até o ponto 8, com valores de salinidade de 1-9 na superfície e 3-12 no fundo. A partir deste ponto o aumento da salinidade é contínuo, porém apresenta-se em 5 unidades menor que em julho de 2014, até o ponto 40. Quando volta a seguir o mesmo padrão dos meses anteriores, com a influência das ilhas, as fozes dos rios e as armadilhas morfotectônicas que causam o encapsulamento das águas mais salgadas. (Figura 18). Também neste mês, a maré encontrava-se na fase de sizígia, provocando valores altos de salinidade, que foram diminuídos pelas precipitações muito acima da média histórica.

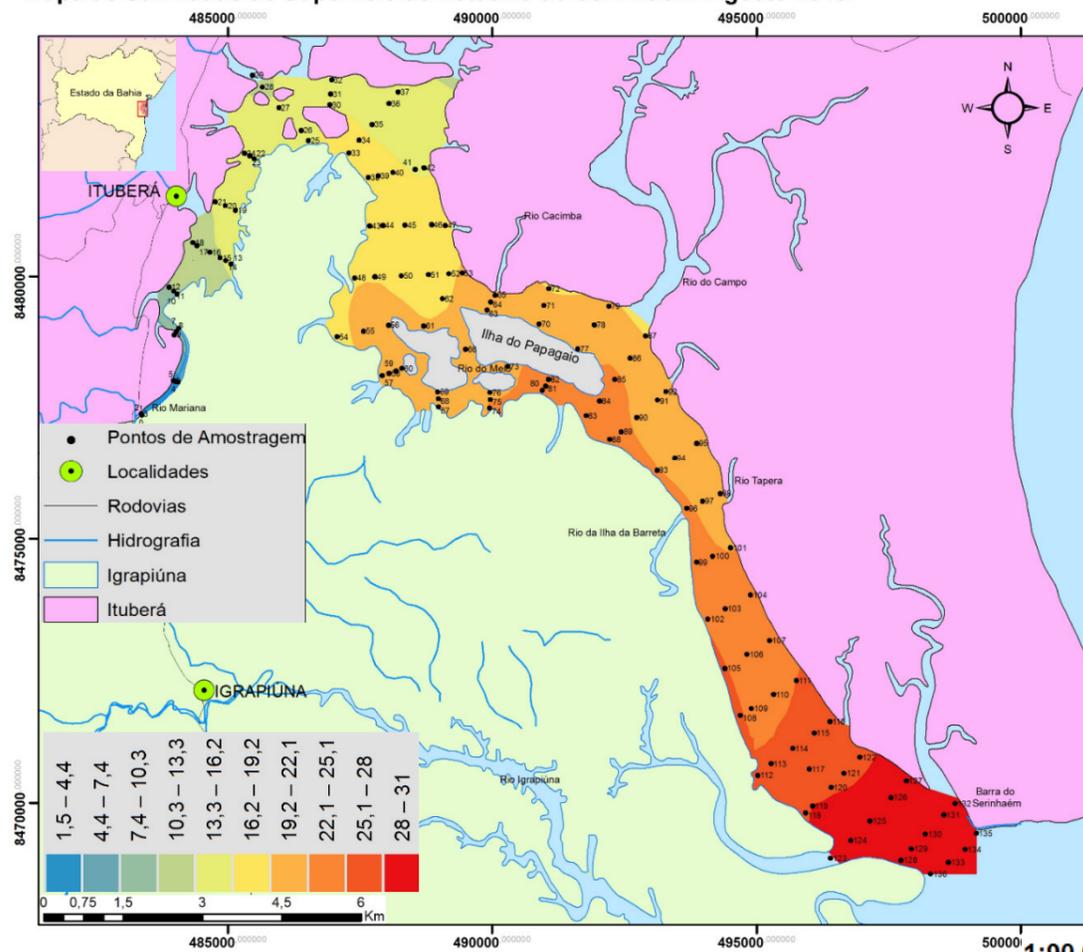
Comparando os resultados obtidos neste trabalho, a outros estudos realizados no Brasil e no mundo, observou-se que o estuário do Serinhaém funciona como os demais, entretanto, a sua dinâmica incorpora um elemento de controle morfotectônico, que implica em modificações no zoneamento espacial horizontal e vertical da salinidade.

O estuário do Serinhaém segue o padrão de zoneamento geral de estuário e suas relações com a parte fluvial como proposto por Perillo (1995), com os deslocamentos sazonais dos limites das zonas que o compõem, com uma diferença bem marcada da zona de represamento da maré, que no caso deste estuário, parece tectônica.

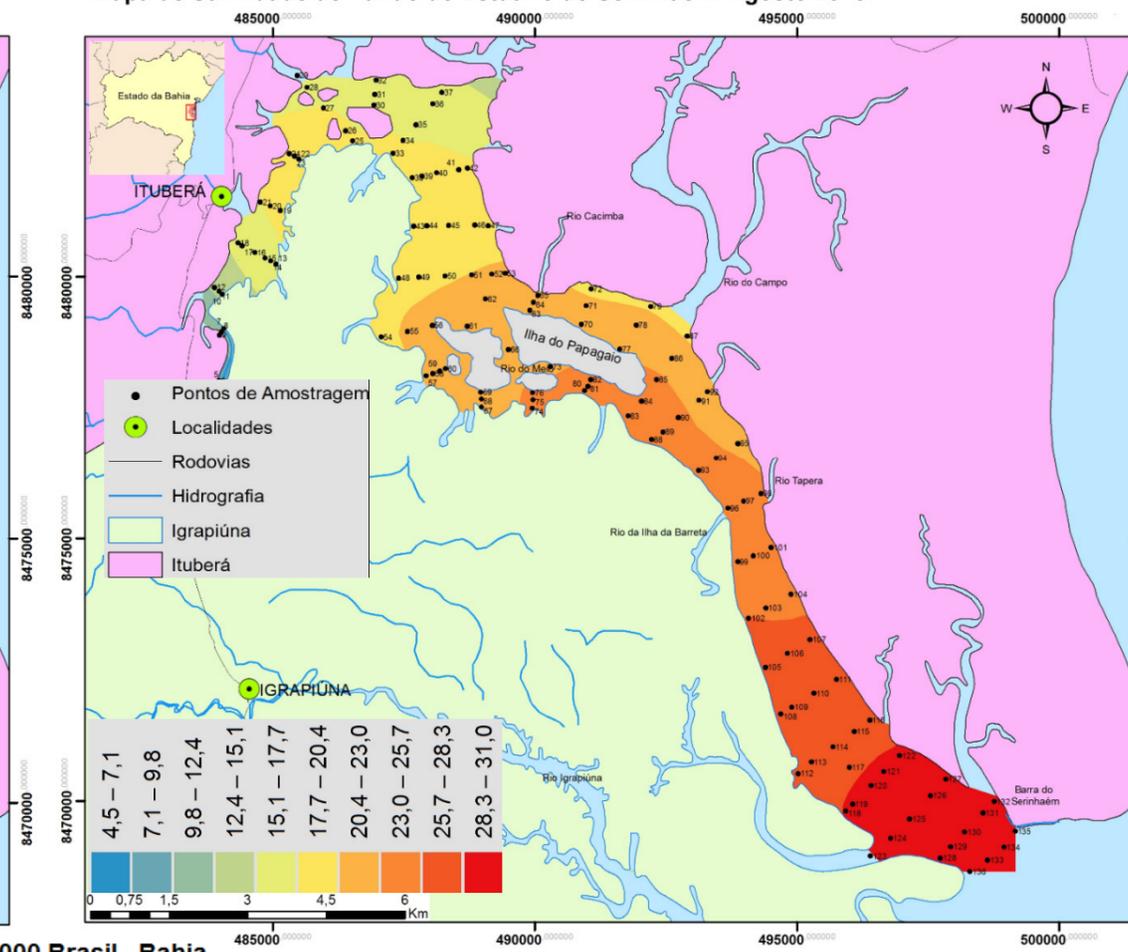
Analisando os resultados obtidos com Amorim (2005) e Silva D. (2015) comprovou-se que existem semelhanças nos valores de salinidade coletados, entretanto ambos autores explicam que a relativa estabilidade da salinidade e outros parâmetros pela forte influência das correntes de maré, com circulação eficiente e boa capacidade de mistura das águas que adentram o estuário do Rio Serinhaém, do que discordamos. Esta discrepância é possivelmente causada pelo detalhamento desta pesquisa, que possui malha e tempo de amostragem maior, permitindo observar que a salinidade tem um comportamento sazonal, muito influenciada pela presença de estruturas morfotectônicas que condicionam seu comportamento horizontal e vertical, assim como, a influência de eventos atmosféricos extremos como “*La Niña*” e “*El Niño*”, que se encontram no período mais crítico afetando a região de estudo.



Mapa de Salinidade de Superfície do Estuário do Serinhaém. Agosto 2015.



Mapa de Salinidade de Fundo do Estuário do Serinhaém. Agosto 2015.



1:90 000 Brasil - Bahia

Figura 18. Perfil e Mapas de Salinidade de Superfície e Fundo do Estuário do Serinhaém- agosto 2015.

No mês de abril, maiores variações do gradiente de salinidade encontram-se entre os pontos 2-50, provocado pelo efeito barreira das ilhas e influência da maioria dos tributários do estuário, com valores que vão de 1-10, sendo máximos nos pontos 3 e 45, alcançando 8 e 10, respectivamente. Estes pontos são os mais profundos deste setor e correspondem, tanto a estruturas morfotectônicas, quanto a saída de afluentes laterais com água doce, situação que associada, promove o trapeamento ou armadilhamento de águas mais salgadas em profundidade com águas de salinidade mais reduzida, pela chegada lateral dos rios, na superfície.

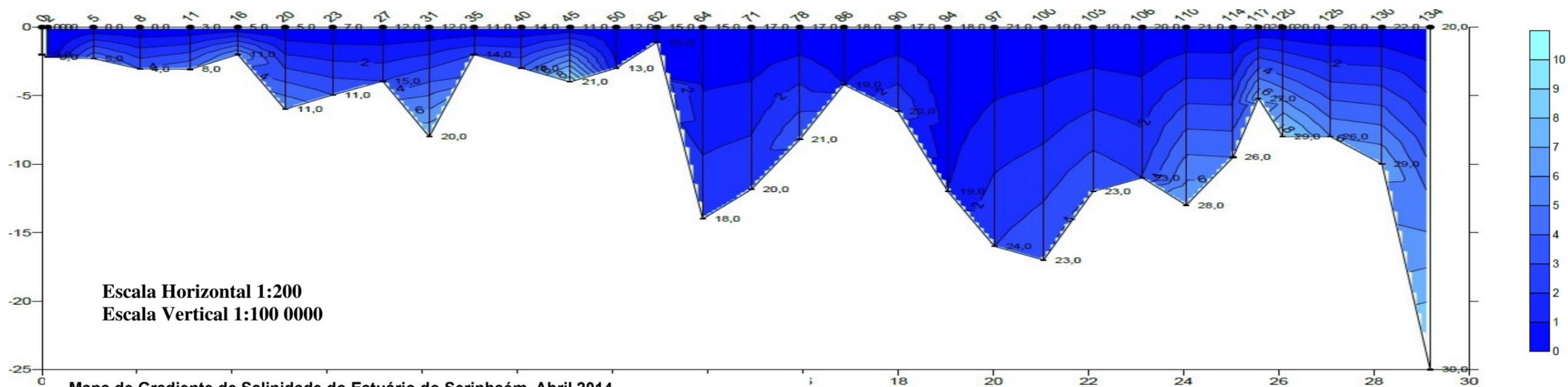
Deste ponto em diante, o gradiente diminui a valores entre 1-4 até o ponto 106, onde volta a aumentar junto com as profundidades, e a trapear águas mais salgadas, é importante destacar que onde existem as fozes do rio ao longo do perfil, o processo dissolutivo é forte, diminuindo as diferenças entre a salinidade da superfície e fundo, e com ela o gradiente (Figura 19).

Em julho, o gradiente alcança os maiores valores entre os pontos 5 e 8, sendo 10 e 6 respectivamente, estes encontram-se nas maiores profundidades da cabeceira do estuário e associadas a estruturas morfotectônicas, que com a força da vazão da Cachoeira de Pancada Grande, fazem com que as águas mais salgadas fiquem na profundidade. A partir deste ponto a salinidade é quase constante, com valores entre 1 e 3, o que pode ser devido a coleta na maré de sizígia, que apesar do gradiente ter reduzido sua distribuição, segue a mesma tendência do mês anterior. (Figura 20).

Dezembro se caracteriza por ter os maiores valores de gradientes entre os pontos 5 e 16, com valores que vão de 13,54 a 20,29, também explicado pelo o controle morfotectônico neste setor, já destacado nos meses anteriores, logo, diminuindo entre 0 e 3,60 até a foz do estuário, com exceção dos pontos 11, 23, 27, 94, 97 e 100, pontos que tem as maiores profundidades e em suas laterais os tributários que provocam que as águas mais salgadas fiquem atrapalhadas nas armadilhas morfotectônicas. As precipitações neste mês estiveram ligeiramente acima da média histórica, ainda assim, não foram suficientes para diminuir a salinidade em relação aos meses anteriores. (Figura 21).

Por último o mês de agosto de 2015, onde verificou-se que existe uma homogeneidade no padrão do gradiente da salinidade, com valores entre 2 e 5 ao longo do estuário. As ilhas, tributários do Serinhaém e as armadilhas morfotectônicas, seguem tendo um papel preponderante no comportamento do gradiente, as primeiras por seu efeito barreira, os tributários pelo poder dissolutivo das águas provenientes deles e as armadilhas que provocam trapeamento das águas mais salgadas no fundo. As precipitações se comportaram acima das

médias históricas com 159mm, porém inferiores as registradas nos meses de julho e fevereiro, o que fez com que domine a influência da maré de sizígia. A distribuição do gradiente tem semelhança ao de julho de 2014, indicando o controle da maré de sizígia. (Figura 22).



Mapa de Gradiente de Salinidade do Estuário do Serinhaém. Abril 2014

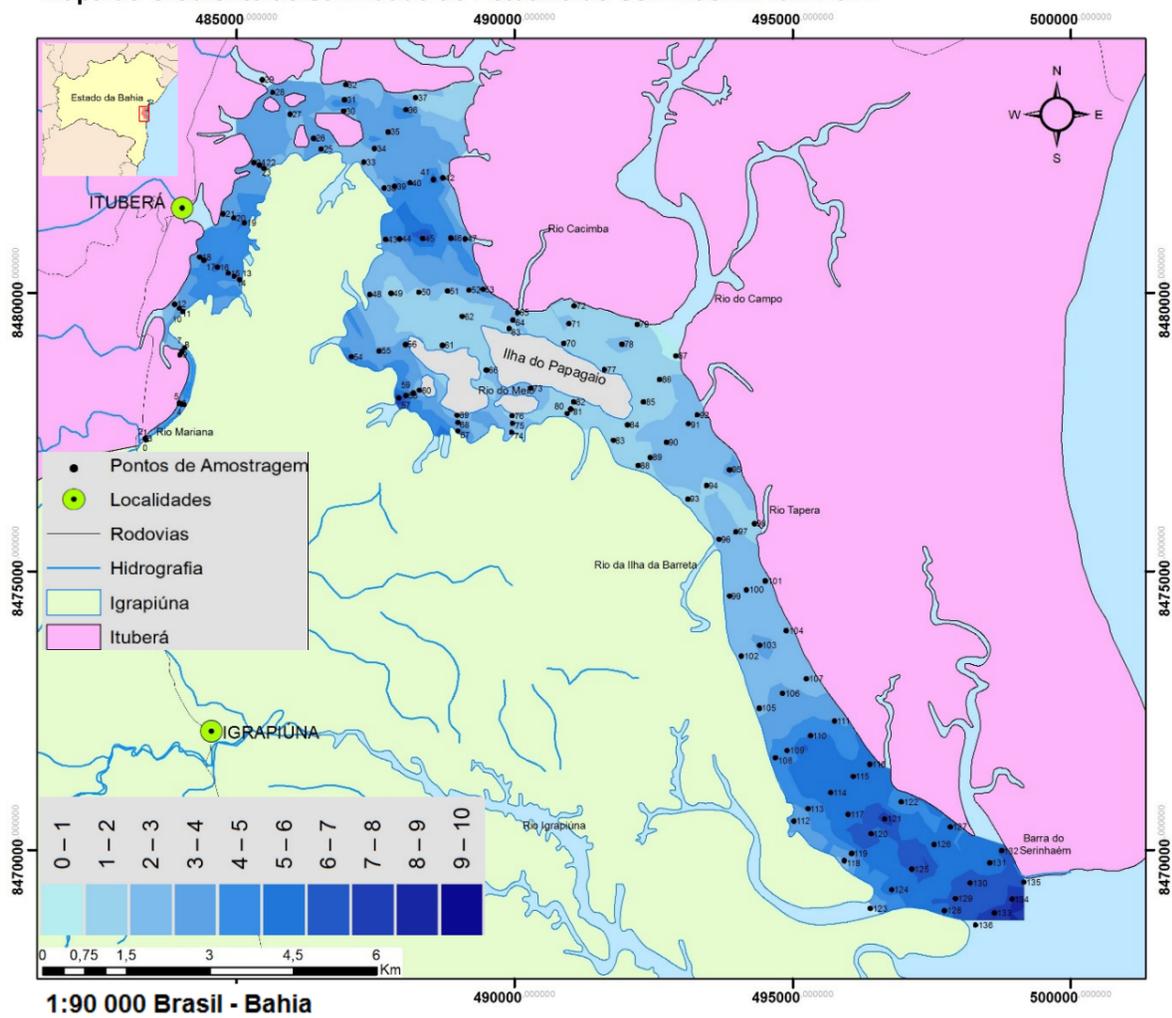
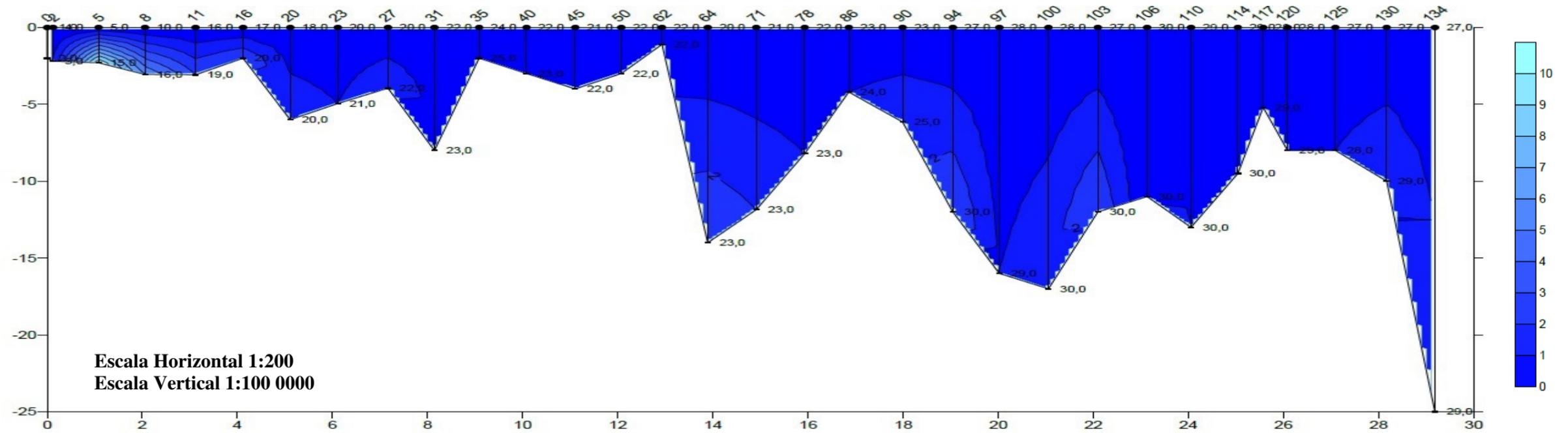


Figura 19. Perfil e Mapa de Gradiente de Salinidade do Estuário do Serinhaém- abril 2014.



Mapa de Gradiente de Salinidade do Estuário do Serinhaém. Julho 2014

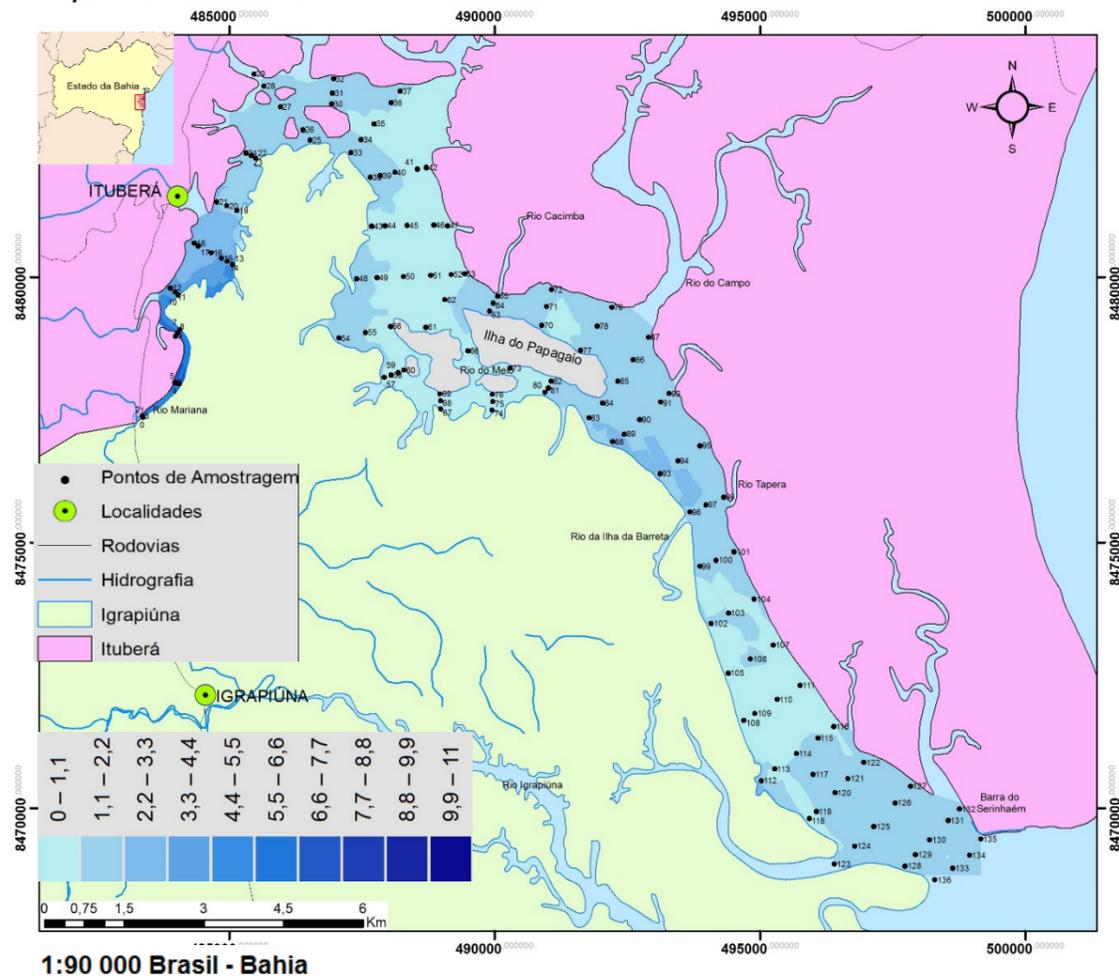
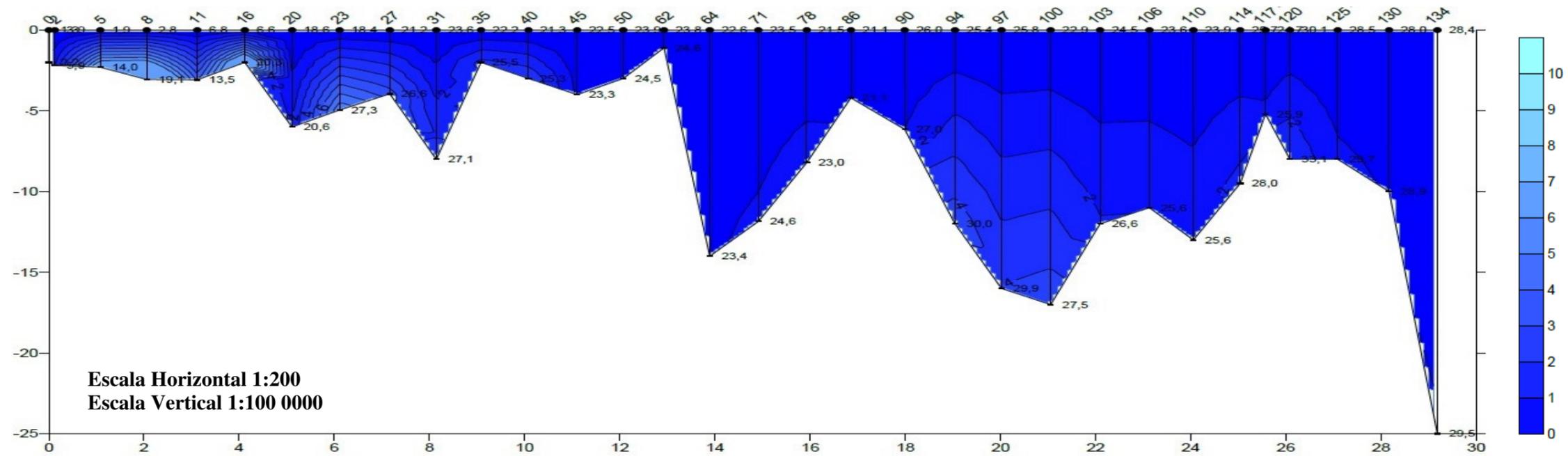


Figura 20. Perfil e Mapa de Gradiente de Salinidade do Estuário do Serinhaém - julho 2014.



Mapa de Gradiente de Salinidade do Estuário do Serinhaém. Dezembro 2014

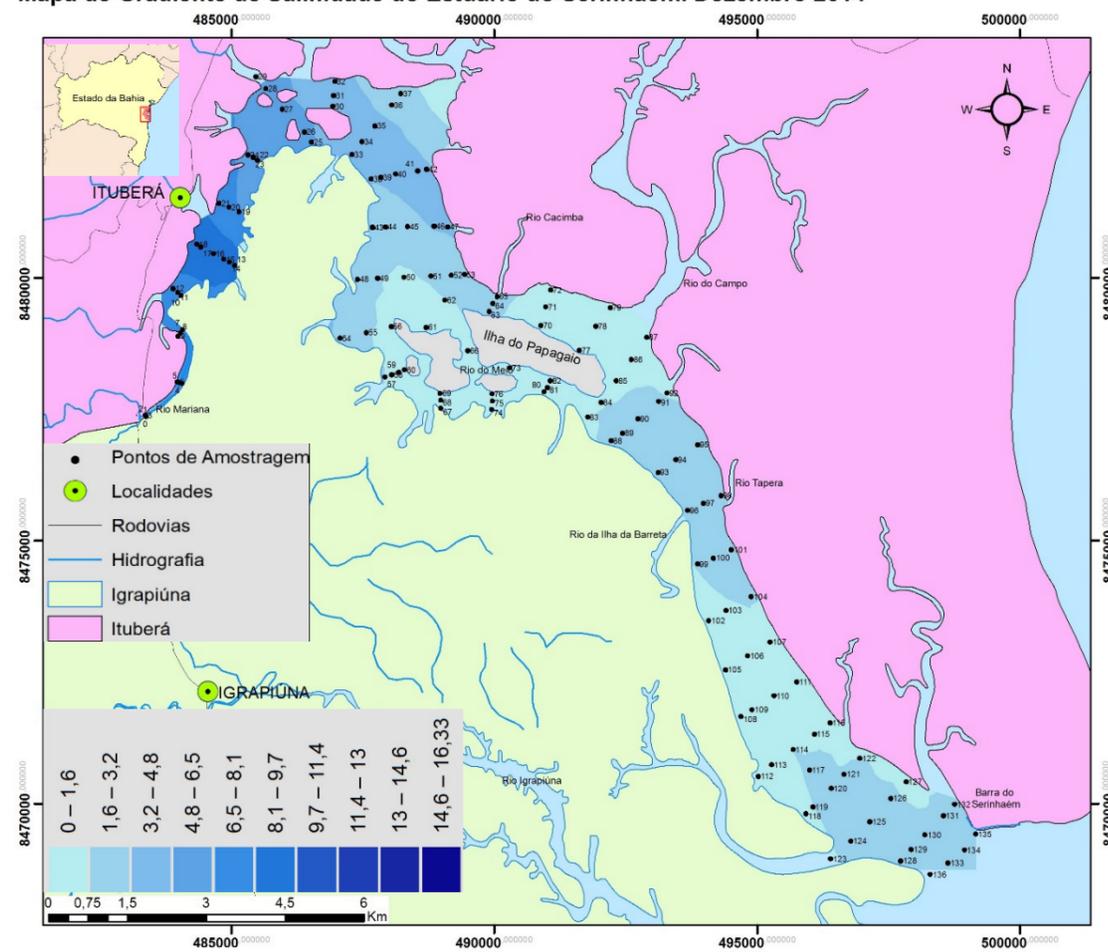


Figura 21. Perfil e Mapa de Gradiente de Salinidade do Estuário do Serinhaém –dezembro -2014.

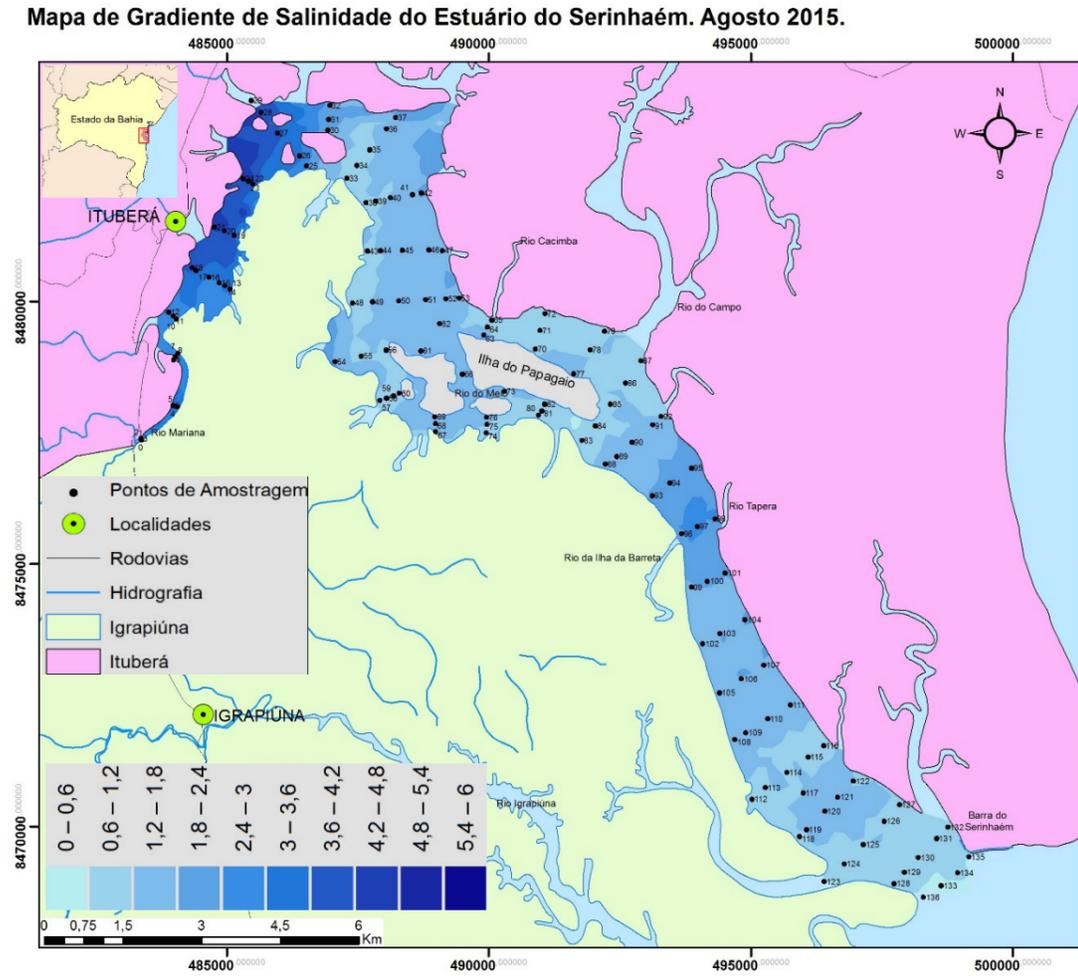
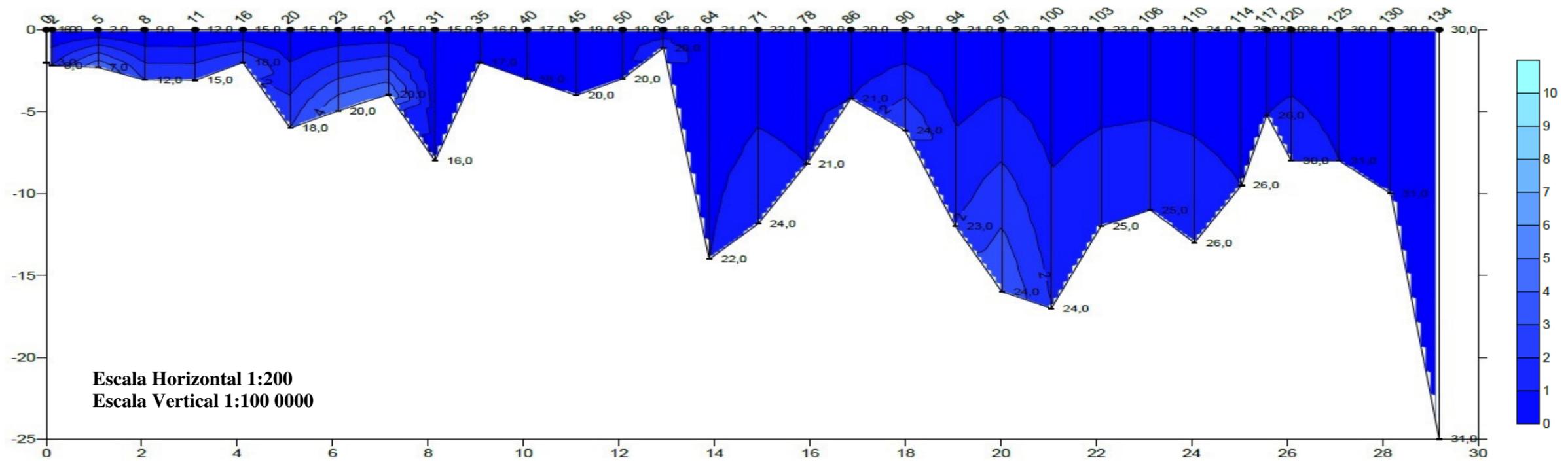


Figura 22. Perfil e Mapa de Gradiente de Salinidade do Estuário do Serinhaém - agosto-2015.

## 5.4- Classificação do estuário.

### 5.4.1- Classificação dos ambientes costeiros segundo (BULGER *et al.*, 1998).

A partir dos perfis e mapas mostrados anteriormente, foram classificados os diferentes ambientes costeiros de acordo os valores de sua salinidade em limínéticos (salinidade entre 0 e 0,5), oligohalinos (salinidade entre 0,5 e 5), mesohalinos (salinidade entre 5 e 18) e polihalinos (salinidade entre 18 e 30).

No mês de abril os ambientes limínéticos, encontram-se localizados entre os pontos 0 e 2 de coleta, com uma grande influência do rio, perto da cachoeira de Pancada Grande, produto devido as precipitações e maré em fase de quadratura (Figura 23). Já a partir do ponto 5 até o ponto 11, existe uma mudança na salinidade, classificando os ambientes como oligohalinos, provavelmente provocado pela diminuição da influência do rio. Posteriormente, entre os pontos 11 e 64, onde aparecem o maior grupo de ilhas, o ambiente, torna-se mesohalino. Esta característica é provavelmente causada por ser este o setor do estuário com maior largura e menores profundidades, predominando águas com maior salinidade, devido a evaporação. Neste trecho, existem fozes de rios que aportam água doce, que favorecem o processo de mistura, não suficientes para diminuir totalmente a salinidade. Finalmente, a partir do ponto 64 até a foz do estuário, os ambientes são classificados como polihalinos.

No mês de julho, apesar das precipitações estar acima da média histórica, os limites dos ambientes se deslocam, e não são encontrados ambientes limínéticos. Nestas condições a classificação dos ambientes do ponto 0 até 2, foi oligohalinos, do 5 até 11 mesohalinos e do 11 até 134 de polihalinos, que predominam no estuário. Este comportamento obedece, provavelmente, a forte influência da maré de sizígia atuante durante a coleta (Figura 24).

No mês de dezembro os limites dos ambientes são deslocados novamente, classificando-se como segue: do ponto 0 até 2 oligohalinos, do 5 até 16 mesohalinos e do 20 até 134 polihalinos. Observou-se que a área ocupada pelos ambientes mesohalinos é muito maior, mas continua o domínio dos ambientes polihalinos. Isto pode ser explicado ao fato de que a coleta ocorreu sob fortes precipitações, conjugado com a maré de quadratura, onde a amplitude e a corrente da maré foram reduzidas. (Figura 25).

Por último o mês de agosto de 2015 onde também a distribuição espacial dos ambientes muda, começando no ponto 0 até o ponto 5 como oligohalinos, apresentando uma zona de transição entre 5 e 40, o ambiente que pode ser classificado como mesohalino,

transformando-se a polihalinoaté o ponto 134,observe-se que sendo agosto o mês de baixos registros de precipitações históricas, estas se comportaram acima da média histórica, com fortes chuvas durante a coleta dos dados de salinidade, provocando um aumento da área ocupada pelos ambientes mesohalinos e uma diminuição da área ocupada pelos polihalinos (Figura 26).

O fluxo de água doce é suficiente para permitir a mistura das águas e rebaixar a salinidade inclusive na foz do estuário, onde dominam as marés, da mesma forma que a maré tem capacidade para salinizar até a base da Cachoeira que fecha o estuário.

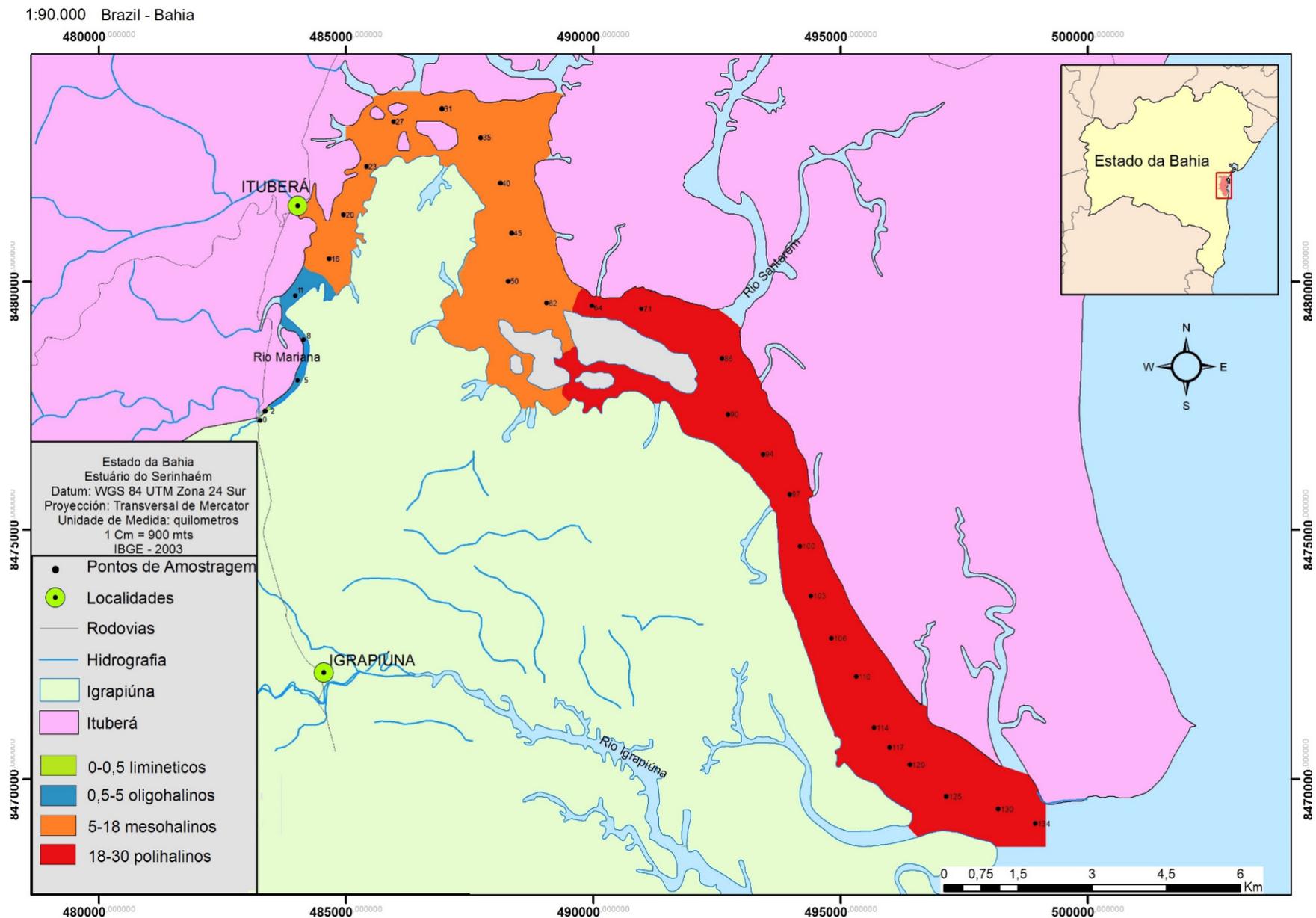


Figura 23. Mapa de classificação dos ambientes costeiros pela salinidade no mês de abril de 2014, segundo o critério de Bulger et al., 1998.

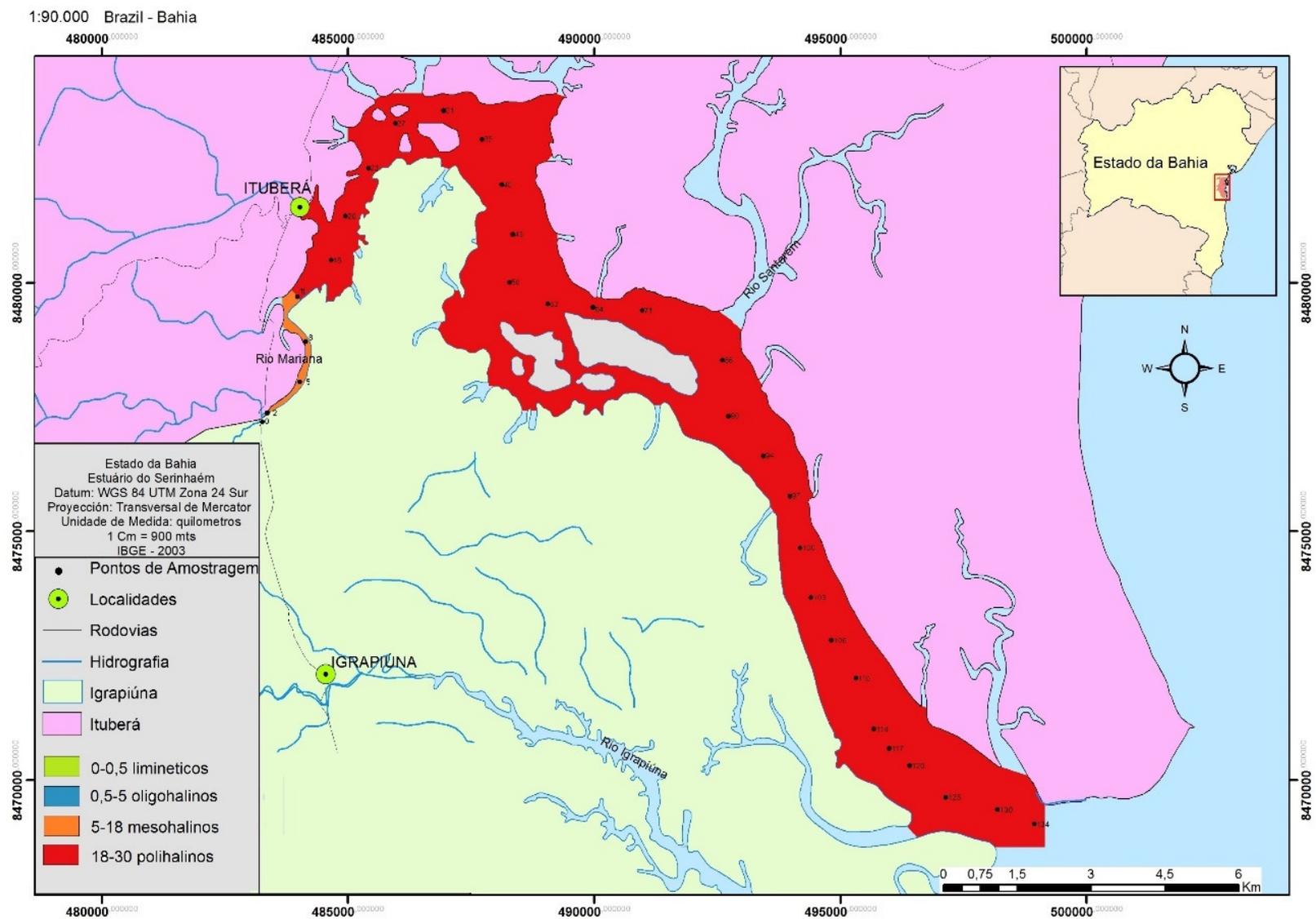


Figura 24. Mapa de classificação dos ambientes costeiros pela salinidade no mês de julho de 2014, segundo o critério de Bulger et al., 1998.

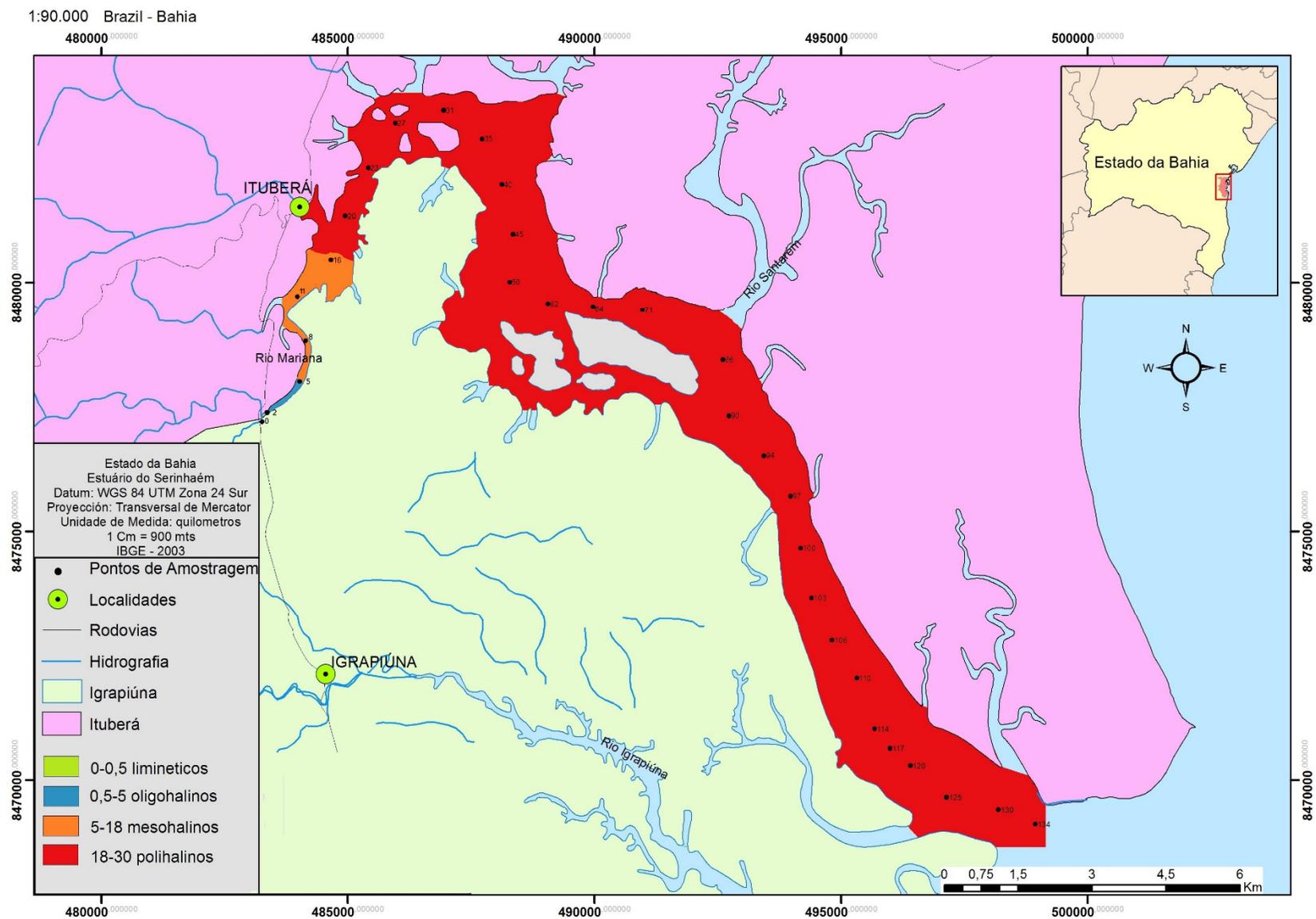


Figura 25. Mapa de classificação dos ambientes costeiros pela salinidade no mês de dezembro de 2014, segundo o critério de Bulger et al 1998.

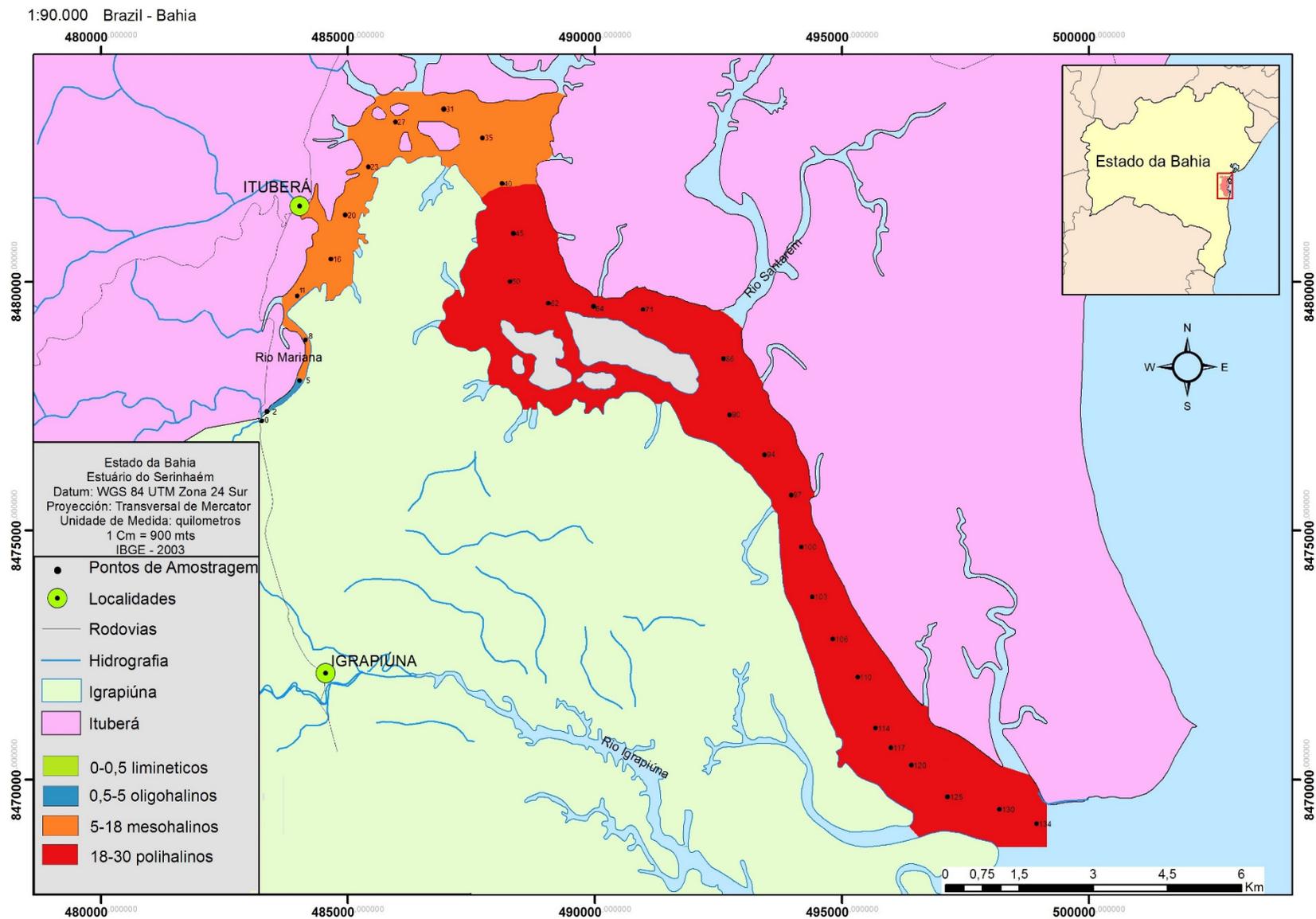


Figura 26. Mapa de classificação dos ambientes costeiros pela salinidade no mês de agosto de 2015, segundo o critério de Bulger et al 1998.

## 5.4.2- Classificação do estuário pela salinidade.

### 5.4.2.1- Caracterização da maré da região e área de estudo.

As principais classificações dos estuários pela salinidade precisam dos dados de maré para calcular o prisma de maré, pelo qual foi necessário primeiramente o processamento das séries temporais de dados (2005-2015) das tábuas de maré dos portos de Ilhéus e Salvador, devido não existir dados específicos da área de estudo. Este análise permitiu conhecer o comportamento das marés na costa do estado da Bahia, servindo de base comparativa para as análises dos dados sobre a maré obtidos no estuário do Serinhaém pelos MDUs.

Resultando que as marés da costa do estado da Bahia podem ser consideradas como semidiurnas, com duas baixas marés e duas preamares, e um período médio de duração para um ciclo de maré de 12h e 15min. As médias das amplitudes de maré, alcançam seus maiores valores nos meses de março 1,46m e setembro 1,45m no porto de Ilhéus, o que igual que no porto de Salvador, onde os valores são de 1,72m e 1,71m (Figura 27). Também se observa o incremento da amplitude, resultado de o primeiro estar na costa oceânica e o segundo no interior de uma baía, independentemente das influências das marés equinociais de outono e primavera no hemisfério sul.

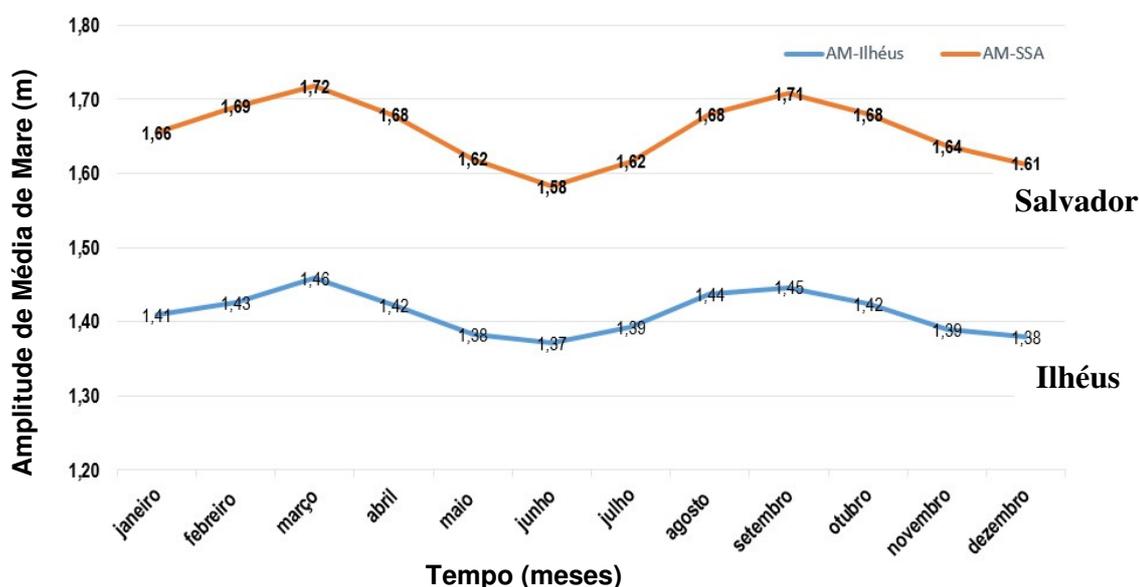


Figura 27. Amplitudes da maré médias mensais nos portos de Ilhéus e Salvador nos anos 2005-2015.

Na mesma Figura 27 pôde-se acompanhar que neste padrão as menores amplitudes médias registram-se no mês de junho e dezembro, nos solstícios de inverno e verão onde a lua e a terra encontram-se mais afastadas do sol, com valores de 1,37m em junho e 1,38m em dezembro na costa de Ilhéus e 1,62m e 1,61m em Salvador, respectivamente, conseqüentemente este comportamento também ocorre com as medias das maiores amplitudes, que para Ilhéus tem valores de 2,33m e 2,37m pra os meses anteriormente mencionados, no caso de Salvador existe uma diferença, enquanto ao primeiro mês é fevereiro com 2,73m, logo continua março com 2,71m e finalmente setembro com 2,76m com as maiores amplitudes de maré (Figura 28).

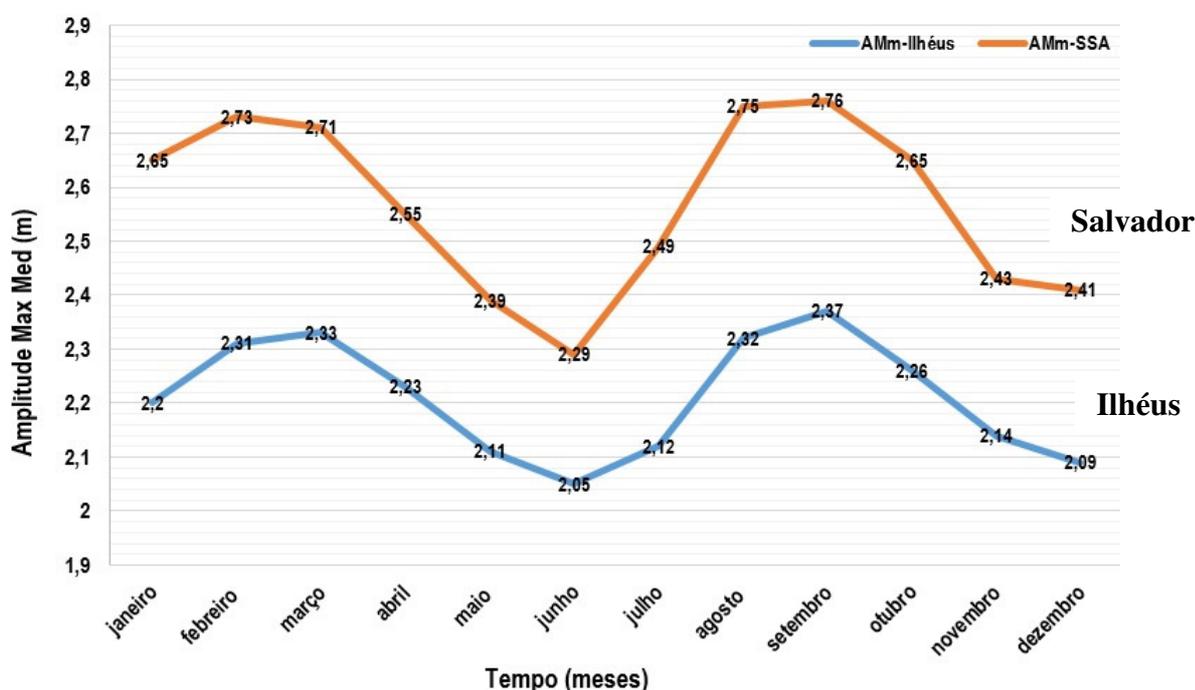


Figura 28. Amplitudes máximas meias mensais nos portos de Ilhéus e Salvador nos anos 2005-2015.

Por outra parte a maré foi classificada de acordo com Davies (1964) em micromarés por ter uma amplitude de maré (AM) < 2m, com uma ocorrência de 83,6% ao ano no porto de Ilhéus e um 69,5% para o porto de Salvador, resultando então predominante. As mesomarés (2 m < AM < 4m) estão presentes em 16,4% em Ilhéus e 29,5% no Salvador (Figura 29). Estas últimas ocorrem nos períodos de sizígia fundamentalmente, e nos últimos dias das fases de quadratura em transição a sizígia. Também podemos observar que as maiores % de ocorrência, das maiores amplitudes das marés, estão associadas aos equinócios de outono e primavera nos meses de março e setembro. Já as menores ocorrências acontecem nos meses de junho e dezembro com a influência dos solstícios de verão e inverno, respectivamente.

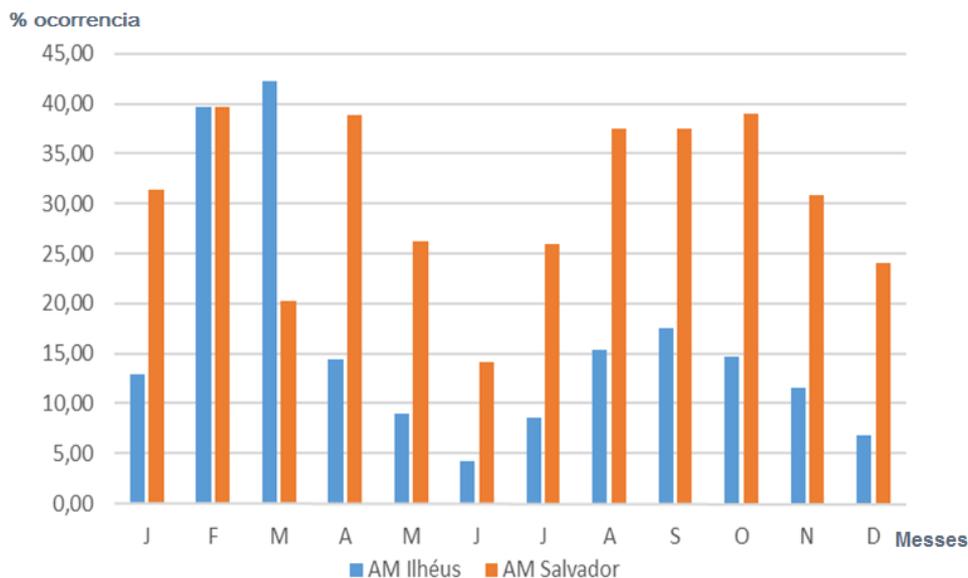


Figura 29. Ocorrências das mesomars nos portos de Ilhéus e Salvador nos anos 2005-2015.

Finalmente foram processados os dados obtidos das três campanhas de maré no estuário do Serinhaém correspondentes aos meses de dezembro de 2014, agosto e setembro de 2015.

No mês de dezembro as medições foram realizadas entre os dias 13 e 14 na fase de quadratura da lua, em um ciclo de 24 horas com réguas de maré instaladas nos cais dos portos de Ituberá e da Barra do Serinhaém. Das análises dos resultados encontrou-se presença de duas baixas marés e duas preamares, classificando a maré como semidiurna, por sua amplitude classifica como micromaré, com valores médios inferiores a 2m e período médio de duração de 12 h para as preamares e 11h e 30min nas baixa-mares.

Quando se comparou hora de ocorrência, à altura e amplitude da maré na Barra do Serinhaém, em relação ao porto de Ilhéus, observa-se que existe um retardo médio de 13,5min na hora de ocorrência dos máximos e mínimos da maré, as alturas médias encontram-se 0,4m acima a amplitude e 0,1m já no porto de Ituberá as marés máximas e mínimas ocorreram como média 42min depois, e altura média é superior em 0,58m e a amplitude 0,18m em relação a Ilhéus.

Comparando-se com o porto de Salvador observa-se que na barra do Serinhaém os máximos e mínimos das marés acontecem com média de 13min antes, e em Ituberá ocorrem com uma média de 30min depois. Já em relação a Ilhéus, a altura da maré de Ituberá é 0,16m superior, e a amplitude 0,12m menor. No porto de Ituberá a maré tem um retardo médio em comparação a Salvador de 16min, uma diferença de altura média da maré de 0,34m e uma diferença de amplitude média de maré de 0,4m menos.

Comparando as medições dos portos da Barra do Serinhaém e Ituberá, existe uma diferença de 30min entre a ocorrência dos mínimos e máximos de maré de Ituberá com respeito a Barra. Ao mesmo tempo, a altura das marés tem uma diferença média de 0,18m, e a amplitude média da maré de 0,08m acima em Ituberá (Figura 30).

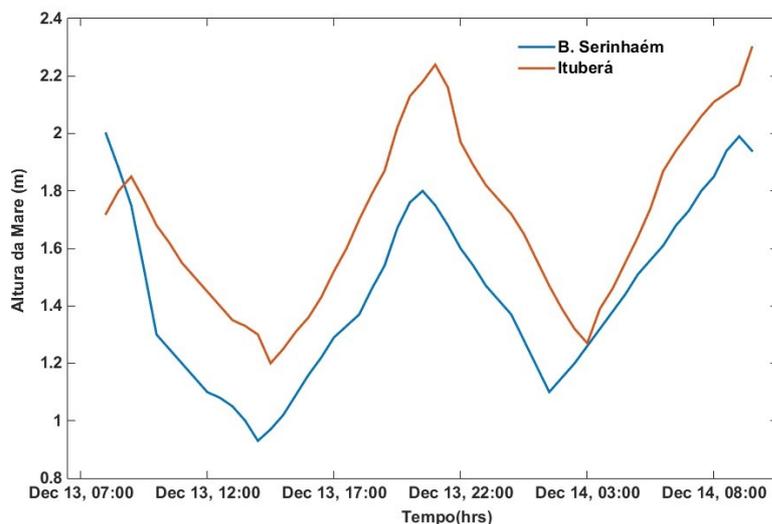


Figura 30: Mareograma das Réguas de maré dos Cais dos portos da Barra do Serinhaém e o Cais do porto de Ituberá ,13-14 de dezembro de 2014.

Continuando com as análises dos dados coletados pelo MDU nos dias 15 até 18 de agosto(Figura), na fase de Lua Nova também pode-se observar a presença da maré semidiurna, com duas baixas marés e duas preamares, um período médio de 11h e 52min nas baixa mares e 12h e 1min nas preamares, com amplitude de mare média de 1,83m, classificando então como micromaré.

Ao comparar esse comportamento com os portos de Ilhéus e Salvador se aprecia que, na Barra do Serinhaém, os máximos e mínimos de alturas das marés acontecem com uma média de 6min depois, com valores médios de 1,68m, 0,55m mais que no Ilhéus, a amplitude media com valores de 1,83m, 0,18m maior. Em quanto no porto de Salvador obtive-se que os máximos e mínimos de maré ocorrem cerca de 7min antes, alcançando valores médios da altura de 1,68m, 0,38m acima, já no caso da amplitude esta apresenta-se com 0,17m menos, com valores de 1,83m (Figura 31).

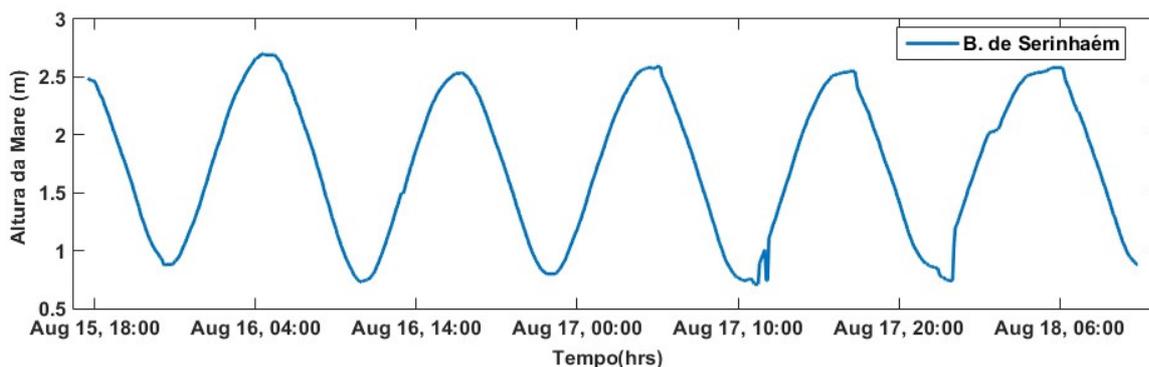


Figura 31: Mareograma elaborado a partir dos dados gerados pelo MDU no Cais de Barra de Serinhaém, nos dias de 15 de agosto até 18 de agosto de 2015.

Os últimos registros realizados pelos MDUs foram de 12-17 de setembro, nos Cais dos Portos da Barra de Serinhaém e de Ituberá em condições de lua equinocial de sizígia. Das análises dos resultados obtidos e apresentados na Figura 32, verifica-se a presença de duas preamares, e duas baixa-mares diárias, classificando a mare como semidiurna em ambos sítios. As amplitudes de maré, em ambas estações ficaram acima dos 2,0m, para a preamar e a baixa mar, pelo que a mare foi classificada como mesomaré, com valores de 2,47m na Barra e 2,53m em Ituberá na preamar, e na baixa 2,40m e 2,42m respectivamente. O período das marés foi de 11h e 55min na Barra e 11h e 45min em Ituberá durante a preamar, e 11h e 57min na Barra e 12h 3min no Ituberá na baixa mar, com altura média dos máximos de 3,56m na Barra e 4,08m em Ituberá e mínimos de 1,08 m e 1,56 m respectivamente.

Comparando este comportamento com os dados das Tabuas de Maré dos portos de Ilhéus e Salvador, observou-se que nas baixas marés o período foi de 11h e 57min, e em Ituberá ocorre com 2min antes, e a preamar o período aumenta em 8min na Barra com respeito a Ilhéus e 10min com respeito a Salvador, enquanto em Ituberá diminuem 10min, relação a Ilhéus e 12min á Salvador. As alturas das marés na baixa mar são 0,79m superiores na Barra com respeito a Ilhéus e 0,78m considerando a Salvador, a o tempo em que a altura da maré em Ituberá é 1,27m maior que em Ilhéus e 1,26m maior que em Salvador, na preamar a altura na Barra é 1,57m superior a Ilhéus e 1,26m maior que em Salvador, com altura de 2,09m superior na Barra que em Ilhéus e 1,78m superior que em Salvador.

Por último a amplitude de maré na baixa mar na Barra com relação a Ilhéus e Salvador e 0,68m e 0,38m superior, respectivamente, e em Ituberá a diferença com relação a Ilhéus e relação a Salvador é de 0,70m e 0,40m, enquanto na preamar as amplitudes são

maiores em 0,77m na Barra em relação a Ilhéus e 0,47m em Ituberá. Variando na preamar para 0,77m acima, na Barra comparada a Ilhéus e 0,47m acima comparada com Salvador, por enquanto em Ituberá a amplitude é 83cm superior a Ilhéus e 0,53m maior que em Salvador (Figura 32).

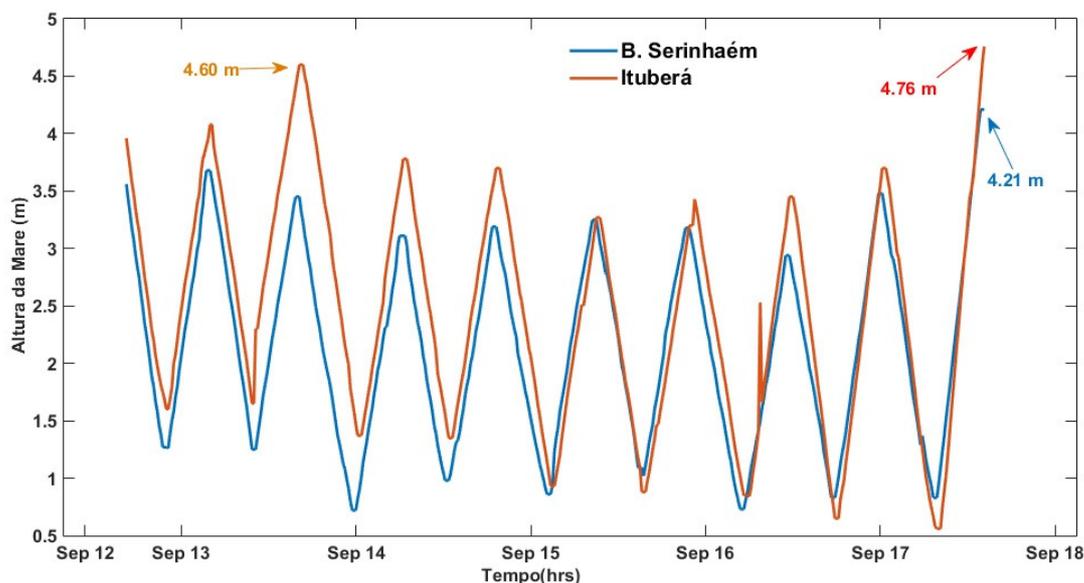


Figura 32: Mareograma elaborado a partir dos dados gerados pelo MDUs instalados nos Cais dos portos da Barra do Serinhaém e Ituberá, 12-17 de setembro de 2015.

Observando os resultados destas medições confirmou-se que as marés no estuário do Serinhaém durante os períodos amostrados comportam-se como marés semidiurnas com duas baixas marés e duas preamares bem definidas, existe um domínio das marés inferiores a 2,0m, o seja, micro marés, as mesomarés sou acontecem durante as fases de luas de sizígia, alcançando valores máximos nos equinócios, e existe uma tendência da maré do estuário de ficar mais perto do comportamento de Salvador que de Ilhéus na Barra do Serinhaém, entre tanto no Ituberá a altura e amplitude da maré aumentam com respeito a estes.

Logo da determinação das amplitudes de maré procede-se a realizar as classificações do estuário a partir da salinidade.

#### 5.4.2.2 -Classificação de PRITCHAR(1967).

Evaporação média período húmido (E):  $77,53 \text{ mm d}^{-1} = 8,9710^{-4} \text{ ms}^{-1}$

Descarga media período húmido (Q):  $18,08 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$

$E < Q$

Salinidade média da superfície período húmido:  $18,10 < 36,00$

Salinidade média do fundo período húmido: 20,58 < 36,00

Evaporação período menos húmido (E):  $106 \text{ mm d}^{-1} = 1,23 \cdot 10^{-6} \text{ ms}^{-1}$

Descarga media período menos húmido (Q):  $16,5 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$

$E < Q$

Salinidade média da superfície período menos húmido: 20,63 < 36,00

Salinidade média do fundo período menos húmido: 22,85 < 36,00

Tendo em conta o comportamento destes parâmetros, pôde-se classificar o estuário como **positivo**, onde a descarga de água fluvial e a precipitação excedem a evaporação, sendo a salinidade menor que da água de mar.

#### 5.4.2.3 - Classificação da salinidade a partir do índice de fluxo segundo Simmons (1955).

Amplitude de maré da baixa mar :  $AM_b = 1,48$

Amplitude de maré da preamar :  $AM_p = 1,82$

Descarga media período menos húmido (Q):  $16,5 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$

Período médio da maré: 5h59min = 20124 s

Área do estuário:  $A = 36277208 \text{ m}^2$

Prisma de maré:  $P_r = ((AM_p * A) - (AM_b * A))$

$P_r = 12334251 \text{ m}^3$

Taxa de fluxo: TF

$$TF = \frac{Q \times T}{P_r} = 16,5 \times 20124 / 12334251 = 0,027 \leq 0,10$$

Classificando o estuário segundo a taxa o índice de fluxo como **totalmente misturado**.

#### 5.4.2.4- Classificação da salinidade a partir dos padrões de circulação (HANSEN E RATRAY, 1966 adaptado por BOWDEN, 1980)

Descarga media período menos húmido:  $Q = 16,5 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$

Prisma de maré:  $P_r = 12334251 \text{ m}^3$

$RT/P = 16,5 / 12334251 = 1,34 \cdot 10^{-6} < 0,1$

Cumprindo com essa razão classifica-se como **bem misturado ou verticalmente homogêneo**.

## CAPITULO VI. CONCLUSÕES

Esta pesquisa permitiu recalcular as dimensões espaciais do estuário, sendo estas: profundidade máxima 25m, profundidade média 4,46m e largura média 920m. Nesta última, foram considerados como limites a borda vegetada dos mangues ou áreas construídas, mesmo que inundáveis. A área total calculada foi de 36,28Km<sup>2</sup> e um comprimento aproximado de 29,23Km, a partir da cabeceira até a foz, pelo eixo central.

Existe uma diferença no comportamento sazonal da salinidade do estuário, registrando os menores valores de salinidade no mês de abril de 2014, com médias de 13,99 na superfície e 17,28 no fundo, sendo o mês onde ocorreu o maior volume de vazão do rio, produto das intensas precipitações do mês de março, o maior valor de salinidade ocorre no mês de dezembro de 2014, com médias de 21,54 na superfície e 24,45 no fundo.

O aumento da vazão de água doce, origina uma translação transiente para jusante das isolinhas de salinidade à superfície e alguma diminuição de salinidade a todas as profundidades.

A presença de eventos extremos pode condicionar o comportamento da salinidade, já que muda o regime hidrológico da bacia hidrográfica da qual faz parte o estuário, provocando estiagens intensas a fortes chuvas, modificando os regimes hidrodinâmicos que trazem consigo diminuições ou aumentos drásticos da salinidade, caso dos fenômenos “*El Niño*” e “*La Niña*”, que se encontram afetando a região no período estudado.

Existem quatro elementos controladores de salinidade do estuário do Serinhaém e que provavelmente agem nos demais estuários da baía de Camamu, são eles:

- A morfotectônica que controla o relevo de fundo;
- Os rios afluentes ou tributários;
- A maré;
- As precipitações anuais;

A maré constitui um dos fatores determinantes no comportamento da salinidade, já que os avanços da pluma de salinidade no estuário estão ligados a fase da maré predominante durante amostragem, dessa maneira, quando as marés são de sizígia a pluma marinha penetra até a cabeceira do estuário, aumentando os níveis de salinidade, e quando está na fase de quadratura a pluma se retrai, mesmo que não o suficiente para proporcionar um trecho de vazão não salino, exceto em abril.

O relevo emerso e submerso do estuário constitui um fator determinante no comportamento vertical e horizontal da salinidade, as ilhas emersas e a configuração do relevo submerso, setorizam a distribuição espacial da salinidade, tanto na vertical como na horizontal, possivelmente provocado pela complexa estrutura tectônica do estuário, com a presença de uma armadilha de falhas que controlam o relevo e o fluxo.

Os ambientes costeiros limnéticos estão presentes no mês de abril nos primeiros pontos, 0 até 11 do eixo principal, sendo abril o mês onde se registram as maiores vazões produto das intensas chuvas do mês de março, nos restantes meses os ambientes foram classificados como oligohalinos, em menor quantidade, mesohalinos e os polihalinos como a classe mais representativa, no entanto seus limites foram deslocados de um mês de coleta a outro, de acordo com os volumes de precipitações e a fase da maré.

Na região do estudo predominam as micromarés, com amplitudes menores a 2,0m, com percentual de incidência, de Sul a Norte 83,6% e 69,5% respectivamente, entretanto as mesomarés ( $2,0m < AM < 4,0m$ ) estão presentes em 16,4% em Ilhéus e 30% em Salvador. Estas últimas ocorrem nos períodos de sizígia fundamentalmente, e nos últimos dias das fases de quadratura em transição a sizígia. Os maiores percentuais de ocorrência das maiores amplitudes das marés, estão associadas aos equinócios de outono e primavera, nos meses de março e setembro. Já as menores ocorrências, acontecem nos meses de junho e dezembro com a influência dos solstícios de verão e inverno, respectivamente.

As marés no estuário nos meses amostrados se classificaram como micromarés, em dezembro de 2014 e agosto de 2015, com valores médios da amplitude de maré inferiores a 2,0 m, tanto na Barra do Serinhaém como em Ituberá, mesmo em agosto quando encontrava-se sob efeito da lua em fase de sizígia, entretanto no mês de setembro de 2015 alcançou amplitudes médias de maré de 2,43m na Barra do Serinhaém e 2,47m em Ituberá, sendo as marés equinociais de primavera, classificadas como mesomarés.

Os máximos e mínimos da maré em Ituberá, ocorrem aproximadamente 30 minutos depois que na Barra do Serinhaém.

Existe uma tendência de que as alturas das marés sejam superiores no interior do estuário em comparação a foz, apresentando um aumento em condições normais de aproximadamente 0,40m, em decorrência da morfologia do estuário.

De acordo com a classificação da salinidade de Pritchard (1967) o estuário do Serinhaém classifica-se como **positivo**, visto que sua descarga de água fluvial excede a evaporação, e apresenta um gradiente crescente da salinidade a partir de sua cabeceira.

A partir do proposto por Simmons (1955), pôde-se classificar o estuário segundo a Taxa de fluxo, como **totalmente misturado**.

Na classificação da salinidade pelos padrões de circulação (HANSEN E RATRAY, 1966 adaptado por BOWDEN, 1980) o estuário é bem misturado ou verticalmente homogêneo, apresentando a razão descarga /prisma de maré, menor que 0,1.

## VI- REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

- AMORIM, F. N. Caracterização Oceanográfica da Baía de Camamu e Adjacências e Mapeamento das Áreas de Risco a Derrames de Óleo. Dissertação de Mestrado. Curso de Pós-Graduação em Geologia, Universidade Federal da Bahia, 2005.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. Guia Nacional de Coleta e Preservação de Amostras, Água, Sedimento, Comunidades Aquáticas e Efluentes Líquidos, 2011.
- ASMUS, M. L. Análise e Usos do Sistema Estuário da Lagoa dos Patos. In: Reunião Especial da SBPC: Ecossistemas Costeiros, do Conhecimento à Gestão, 3, 1996, Florianópolis. Anais... Florianópolis, 1996, p.105-108.
- BAHIA, DECRETO Nº 7.272, cria a Área de Proteção Ambiental do Pratigi, nos municípios de Ituberá e Nilo Peçanha. 1998. <http://www.meioambiente.ba.gov.br/DecretosUnidadesdeConservacao>. Acesso 29 de abril de 2014.
- BAHIA, DECRETO Nº 8.036, altera a poligonal da Área de Proteção Ambiental – APA do Pratigi, na forma que indica, e dá outras providências, 2001. <http://governo-ba.jusbrasil.com.br/legislacao/78241/decreto-8036-01>. Acesso 28 de abril de 2014.
- BORN, C. C.; SCHERER., C. M. S.; ADEGAS, F.; FILHO, M. L.; KUCHLE, J. 2011. Estratigrafia e Tectônica da Seção rifte no Gráben de Camamu, porção emersa da Bacia de Camamu, Bahia. **Rer. Bras. Geociências**. 41 (2): 334-354. Disponível em: <http://www.ppegeo.igc.usp.br/pdf/rbg/v41n2/v41n2a13.pdf>, acesso em 15 de agosto de 2015.
- BOWDEN, K. F. (1980). Physical Factors: Salinity, Temperature, Circulation and Mixing Processes. In: Chemistry and Geochemistry of Estuaries, E. Olausson & I. Cato (Eds.) 1980.
- BRASIL. Ministério Do Meio Ambiente. Conselho Nacional De Recursos Hídricos - CNRH. Resolução Nº 32/2003, Brasília.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente; Agência Nacional de Águas (ANA).
- Instituto do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis C122 Caderno da região hidrográfica Atlântico Leste / Ministério do Meio Ambiente, Secretaria de Recursos Hídricos. – Brasília: MMA, 2006. 156 p.

- BROWN, J., A. Colling, D. Park, J. Phillips, D. Rothery, J. Wright. 1989. Ocean Chemistry and Deep-Sea Sediments. The Open University, Pergamon Press. Exeter (U.K.), p.134.
- BULGER, AJ, BP HAYDEN, ME MONACO, DM NELSON & MG MCCORMICK-RAY. 1998. Biologically-Based Estuarine salinity zones derived from a Multivariate analysis. *Estuaries*. 16: 311-322.
- CAMERON, W. M. & PRITCHARD, D. W. (1963). Estuaries. In: The sea - Ideas and Observations on Progress in the Study of the Seas, M. N. Hill (Ed.) v.2 - The Composition of Sea Water. Interscience Publishers, John Wiley and Sons, New York. p. 306-324, 1963.
- CARVALHO, A., R. M., (1988) – Localização do paleovale do rio Douro, Anais do Instituto Hidrográfico, nº 9, p. 77 – 82.
- CORREA-GOMES L.C.; DOMINGUEZ J. M. L; BARBOSA, J. S. F.; SILVA, I.C. da. (2005<sup>a</sup>). Padrões de orientações dos campos de tensão, estruturas, herança do embasamento e evolução tectônica das Bacias de Camamu e porção Sul do Recôncavo, Costa do Dendê, Bahia, Brasil. *Revista Brasileira de Geociências*, 25(4):34-45.
- DAVIES, J.L. (1964) - A Morphogenic approach to world shore-lines. *Zeitschrift für Geomorphologie*, NF,8:127-142.
- DIONNE J.C. 1963. Towards a more adequate definition of the St. Lawrence estuary. *Z. Geomorphologie* 7: 36-44.
- DOMINGUEZ, J. M. L. Ilmenita do Rio do Campo: APA do Pratigi. Série Arquivos Abertos; 34. Salvador: CBPM, 2010. 72p.:il.; 1 mapa color. ISBN 978-85-85680-38-1.
- DOODSON A.T. 1922. Harmonic development of the tide-generating potential. *Proceedings of the Royal Society of London A* 100: 305–329.
- DUARTE, A. A. S., & VIEIRA, J. M. P. Caracterização dos Ambientes Estuarinos. Mistura em Estuários. Universidade do Minho, Portugal, 1997, p. 41-55.
- DYER, K.R. (1977). Estuaries. A Physical Introduction. Wiley-Interscience Publication. John Wiley and Sons, New York.
- DYER KR. 1997. Estuaries: A Physical Introduction. 2 ed. New Jersey: John Wiley & Sons. 195 p.

- E.G., Understanding Salinity. In SCORE Water-Quality Tutorial. Retrieved from, [http://score.dnr.sc.gov/ktmlpro10/files/uploads/elearning/Understanding\\_Salinity.pdf](http://score.dnr.sc.gov/ktmlpro10/files/uploads/elearning/Understanding_Salinity.pdf). (Accessed 10 January, 2016).
- EL PASO (2005) Relatório de Controle Ambiental - RCA. Bloco BMCAL4. Volume II – Meio Físico, 270pp, <http://www.bmcal4.com.br>
- FRAZÃO, E.P. Caracterização hidrodinâmica e morfo-sedimentar do estuário Potengi e áreas adjacentes: subsídios para controle e recuperação ambiental no caso de hidrocarboneto. (Dissertação de Mestrado), PPGG, UFRN, 144pp. 2003.
- GALVÁN, C. Clasificación de Estuarios a Diferentes Escalas Espaciales Mediante la Integración de Modelos Físicos y Biológicos, Tesis Doctoral, Universidad de Cantabria, España, 2014.
- GARCÉS-VARGAS, J.; RUIZM; PARDO L.M.; NUÑEZ, S.; PÉREZ-SANTOS, I. Caracterización Hidrográfica del Estuario del Río Valdivia, Centro-sur de Chile. Latin American Journal of Aquatic Research. Res., 41(1): 113-125, 2013, DOI: 103856/vol41-issue1-fulltext-9.
- GENZ, F. Avaliação dos efeitos da Barragem Pedra do Cavalo sobre a circulação estuarina do Rio Paraguaçu e Baía do Iguape. (Tese de Doutorado) Instituto de Geociências. UFBA 2006. 245 p.
- GEORGE KL. 1995. Tides for marine studies. University of Plymouth. Institute of Marine Science (2 ed.). 180 p.
- GUERRA, A. J. T. & CUNHA, S. B. da (org). Geomorfologia Fluvial - Uma atualização de bases e conceitos. 6ª ed. Rio de Janeiro: Ed. Bertrand Brasil. 2005.
- HANSEN, D. V. & RATRAY, M. (1966). New Dimensions in Estuary Classification, Limnol and Oceanog., jul., v.11 no. 3.
- HORNE, R.A., 1969, Marine Chemistry, Wiley-Interscience, Nueva York. Horne, R. A. 1969. Marine Chemistry: the structure of water and the chemistry of the hydrosphere. New York; Wiley-Interscience. Cap. 13.
- IBAÑEZ, C.; PONT, D. & PRAT, N. (1997). Characterization of the Ebro and Rhone Estuaries. Limnol and Oceanograph., 42 (1) 89-101.
- IBGE, Censo Demográfico 2010; Diretoria de Geociências, Coordenação de Geografia.
- IBGE, Bases Cartográficas SIG do Estado da Bahia, 2003.

- KNOPERS, BA; Souza,WFL; Ekau,W; Figueiredo,AG& Soares-Gomes, A. 2009. Interface Terra-Mar.In:Pereira,RC& Soares –Gomes, A.(Orgs.).Biologia Marinha.EditoraInterciência.Rio de Janeiro,2ª edição,529-553.
- KJERFVE, B. Estuarine geomorphology and physical oceanography. In, Estuarine Ecology, edited by J. Day, C. Hall, M. Kemp and A. Yanezz-Arancibia, Wiley, New York, p. 47-78, 1989.
- KJERFVE, B.; SCHETINI, C.A.F.; KNOPPERS, B., LESSA, G. and FERRETRA, H.O., 1996. Hydrology and salt balance in a large hypersaline coastal lagoon: Lagoa de Araruama, Brazil. EstuarineCoastalandShelf Science, 42: 701-725.
- LEMUS, J. L. C.; TORRES-GARCIA, P.; FRIAS, M. El Océano y susRecursos III. Las Ciencias del Mar: OceanografíaFísica, Matemáticas e Ingeniería 1995, Fondo de CulturaEconómica.CarreteraPicacho-Ajusco 227; 14200 México, D.F.
- LEMUS, J. L. C.; TORRES-GARCIA, P.; FRIAS, M. El Océano y sus Recursos II. Oceanografía Geológica y Oceanografía Química. Segunda Edición,1997, Fondo de Cultura Económica. Carretera Picacho-Ajusco 227; 14200 México, D.F.
- LESSA, C. M. Identificação de áreas prioritárias para a conservação da sociobiodiversidade na zona estuarina da Costa do Dendê, Bahia. (Dissertação de Mestrado) Instituto de Ciências Humanas, Departamento de Geografia. UNB, 2007. 125p.
- LEWIS, E.L. 1980. Escala práctica de salinidad 1978 y sus antecedentes. IEEE J. Ocean. Eng., OE-5(1): 3-8.
- LINS, P. A. M. 2002. Hidrologia e hidrodinâmica do baixo estuário do Rio Ipojuca, Pernambuco. Dissertação (Mestrado em Oceanografia), Universidade Federal de Pernambuco, Recife.
- LOITZENBAUER, E. Interfaces da GestãoIntegrada de RecursosHídricos e da Zona Costeira: Uma AplicaçãonaBaciaHidrográfica do Rio Tramandaí. (Dissertação de Mestrado) Programa de Pós-GraduaçãomRecursosHídricos e SaneamentoAmbiental,Universidade Federal do Rio Grande do Sul.2010.145p.
- LOITZENBAUER, E.A BULHÕES C.A. Dinâmica da salinidade como uma ferramenta para a gestão integrada de recursos hídricos na zona costeira: uma aplicação à realidade brasileira. Revista da Gestão Costeira Integrada 11(2):233-245 (2011) JournalofIntegratedCoastal Zone Management 11(2):233-245 (2011).

- MARCOVECCHIO J; FREIJE R.H. *Procesos Químicos en Estuarios*, Editorial de la Universidad Tecnológica Nacional – edUTecNe, Argentina, 2013. ISBN: 978-987-1896-16-5.
- MARINHA DO BRASIL, DIRETORIA DE HIDROGRAFIA E NAVEGAÇÃO, Norma 25 DHN, Estabelece normas e procedimentos para autorização e controle dos Levantamentos Hidrográficos (LH) realizados em Águas Jurisdicionais Brasileiras (AJB) por órgão ou entidade não pertencente à MB, 2014.
- MARINS, ROZANE VALENTE (Org.). *Glossário de Oceanografia Abiótica*. Fortaleza: LABOMAR, 2010. 136 p. (Coleção habitat; 4) ISBN 9788575634424
- MAO Q, SHIA P, YIN K, GAN J & QI Y. 2004. Tides and tidal currents in the Pearl River Estuary. *Continental Shelf Research*, 24: 1797-1808.
- MCLELLAN, H.J. 1965. *Elements of Physical Oceanography*.
- MILLERO, F.J. 2006, *Chemical Oceanography*. Taylor e Francis 3<sup>a</sup> edition.
- MEDEIROS, P.R.P; KNOPPERS, B.A.; SANTOS JUNIOR, R.C. Abordagem Preliminar da Estrutura Salina no Estuário do Rio São Francisco (AL/SE), Brasil XII Congresso Latino-Americano de Ciências do Mar - XII COLACMAR Florianópolis, 15 a 19 de abril de 2007 A OCEANO – Associação Brasileira de Oceanografia.
- MOURA, D. V. Análise da Proteção. Âmbito Jurídico (Revista Eletrônica), 2009). Acesso em 28 de julho de 2014.
- MIRANDA, L. B. et al. *Princípios de Oceanografia Física de Estuários*. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 411p., 2002.
- MIGUENS A. *Navegação: a ciência e a arte*. Volume I – Navegação Costeira, Estimada em Águas restritas DHN, 1996.
- NORIEGA. C.E, MUNIZ. K, FLORES-MONTES M.J. MACÊDO S.J., ARAUJO M., FEITOSA F.A. S. LACERDA R. Series temporales de variables hidrobiológicas em un estuário tropical (Brasil), *Revista de Biología Marina y Oceanografía* 44(1): 93-108, abril de 2009.
- NICHOLS, M.M. & R.B. Biggs. 1985. *Estuaries*, p. 77-186. In: R.A. Davis [Ed.], *Coastal sedimentary environments*. New York, Springer Verlag.
- NUNES, B. T. de A.; RAMOS, V. L. de S.; DILLINGER, A. M. S. *Geomorfologia*. Projeto RADAMBRASIL. Folha SD. 24 Salvador: Geologia, Geomorfologia, Pedologia, Vegetação e Uso potencial da terra. (Acompanha material cartográfico em escala 1: 1.000.000). RJ: Ministério das Minas e Energia, 1981. pp. 183-276.

- OLVERA. E.R. Respuesta Hidrodinámica de las Lagunas y Ríos del Estuario del Papaloapan a Forzamiento Meteorológico. Tesis para Obtener el Grado de: Maestro en Ciencias de la Tierra (Física de la Atmósfera) Programa de Posgrado en Ciencias de la Tierra, Centro de Ciencias de la Atmósfera, Universidad Nacional Autónoma de México, México.2014.
- PARKER BB. 1991. The relative importance of the various nonlinear mechanisms in a wide range of tidal interactions (Review). In: PARKER BB (Ed.). Tidal Hydrodynamics. N.Y. John Wiley & Sons. pp. 125-152.
- PASKOFF R., Les Littoraux. Impact des aménagements sur leur évolution. Ed Masson., 1985.
- PAWLOWICZ, R., BEARDSLEY, B. AND S. LENTZ, "Classical tidal harmonic analysis including error estimates in MATLAB using T\_TIDE", Computers and Geosciences 28 (2002), 929-937.
- PERILLO G.M.E. 1995. Definitions and geomorphologic classifications of estuaries. En: Geomorphology and Sedimentology of Estuaries. Perillo (Ed.), Dev. in Sedimentol.. Elsevier, Amsterdam, pp. 17
- PERILLO G.M.E., KJERFVE B. 2003. Mechanisms of sediment retention in estuaries: New SCOR-LOICZ-IAPSO Working Group 122 launched. LOICZ Newsletter 29: 5-6.
- PERILLO G.M.E. 2000. Sediment budgets and fluxes in estuarine and coastal areas. IGBP-LOICZ Water Workshop, Boulder, Co. (oral presentation)
- PERILLO G.M.E. 2009. Tidal courses: classification, origin and functionality. En: Coastal wetlands: an integrated ecosystem approach. Perillo, Wolanski, Cahoon, Brinson (Eds.). Elsevier, Amsterdam. 185-21 pp.
- POND, S.; PICKARD, G. L., 1978, Introductory Dynamical Oceanography. 2 ed. New York, Peragamon Press.
- PRITCHARD, D. W. (1967). What is an Estuary: Physical Viewpoint. In: Estuaries. G. H. Lauff (Ed.) American Association for the Advancement of Science, n° 83, Washington D. C.
- PUGH, D. 2004. Changing sea levels, effects of tides, weather and climate. Cambridge University Press, 265 pp.
- Revista de Gestão Costeira Integrada, Glossário das Zonas Costeiras, ISSN 1646-8872, Portugal, 2014.

- [http://moodle.up.pt/pluginfile.php/18174/mod\\_resource/content/1/Glossario\\_RGCI\\_M\\_Mare\\_.pdf](http://moodle.up.pt/pluginfile.php/18174/mod_resource/content/1/Glossario_RGCI_M_Mare_.pdf).- Acesso em 29 setembro 2014.
- RIDD, P.V. & STIEGLITZ, T. 2002. Dry season salinity changes in arid estuaries fringed by mangroves and saltflats. *Est. Coast. Shelf Sci.* 54: 1039–1049.
- SALAMANCA, M.; SCHNEIDER, W. La Salinidad en los Océanos. In: WERLINGER, C. et al. *Biología marina y oceanografía: conceptos y procesos*, Volume 1. Gobierno de Chile, Consejo Nacional del Libro y la Lectura, 2004, pp.149-160.
- SANTOS, F.M. 2009. Estudo comparativo das características geomorfológicas de preenchimento sedimentar de seis grandes estuários brasileiros. Salvador, 55p. Monografia de Conclusão de Curso, Curso de Oceanografia, Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia.
- SANTOS, I. Modelagem do Fundo do Estuário do Serinhaém – Ba: Geomorfologia e Sedimentos (Dissertação de Mestrado), PPGM, UEFS, 123pp. 2014.
- SANTOS, D. Interpretação de Processos Sedimentares na Baía de Camamu através do Estudo de Bioclastos Recentes (Dissertação de Mestrado), IGEO, UFBA, 129pp. 2016.
- SUPERINTENDÊNCIA DE ESTUDOS SOCIAIS E ECONÔMICOS da Bahia (SEI), 2003, Base cartográfica Digital, [www.sei.ba.gov.br](http://www.sei.ba.gov.br).
- SCHETTINI, C.A.F.; BEZERRA, L.J.C.; TRUCCOLO, E.C. Distribuição Longitudinal da Salinidade em Estuários de Baixo Influxo no Ceará, XII Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste, 2014.
- SILVA, M. C. Estuários: critérios para uma classificação ambiental. *RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos*. (Porto Alegre) Vol. 5, nº 1 Jan/Mar. P. 25-35. (2000), Rio Grande do Sul.
- SILVA, J. B.; GALVÍNCIO, J. D.; CORRÊA A. C. B.; SILVA D. G.; MACHADO C. C. C. Classificação Geomorfológica dos Estuários do Estado de Pernambuco (Brasil) com Base em Imagens do LANDSAT 5/TM *Revista Brasileira de Geografia Física* 01 (2011) 118-133. ISSN:1984-2295.
- SILVA, I.C. 2009. Evolução Dinâmica da Bacia de Camamu, Bahia, Brasil. (Dissertação de Mestrado). Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 108 p.
- SPEER P.E & AUBREY D.G. 1985. A study of non-linear tidal propagation in shallow inlet/estuarine systems. Part II: Theory. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 21: 207-224.

- SOARES-GOMES, A.; FIGUEIREDO, A. G. O ambiente marinho. In: PEREIRA, R. C.; SOARES-GOMES, A (Orgs.). *Biologia marinha*. Rio de Janeiro: Interciência, 2002. cap. 1, p. 1-33.
- STEWART, R.H. *Introduction to Physical Oceanography*. Chapter 17. Coastal Processes and Tides. 2008.
- SUGUIO, K. *Geologia do Quaternário e Mudanças Ambientais (Passado + Presente = Futuro?)*. 1.ed. São Paulo: Paulo's Editora, 1999. 366 p.
- SZLAFSZTEIN, C. F. Aspectos Técnicos e Legais que Fundamentam o Estabelecimento das APP nas Zonas Costeiras – Restingas, Dunas e Manguezais. In: *Revista De Gestão Costeira Integrada*, ISSN: 1677-4841 ed: v.9 fasc.2 p.36-59 ,2009.
- TRUCCOLO, E. C, SHETTINI, C. A. F., 1999. Marés Astronômicas na Baía da Babitonga, SC. *Notas técnicas da FACIMAR*, 3, 57-66.
- TRUCCOLO, E.C.FRANCO, D.; SCHETTINI, C.A.F. 2006. The low frequency sea level oscillations in the northern coast of Santa Catarina. *Brazilian Journal of Coastal Research*. 39(SI):547-552.
- VALLE-LEVINSON, A.2010. *Contemporary Issues in Estuarine Physics*. Cambridge University Press, 315pp.
- WATSON, C.S.; WHITE, N.J.; CHURCH, JOHN A.; KING, MATT A.; BURGETTE, REED J.; LEGRESY, BENOIT., (2015). Unabated global mean sea-level rise over the satellite altimeter era. *Nature Climate Change*. 5, 565–568. <http://dx.doi.org/10.1038/nclimate2635>.
- [66.www.inmet.gov.br](http://www.inmet.gov.br), acesso em 25 de novembro 2015.

**ANEXO 1. Tabela de  
Coordenadas  
Retangulares  
amostragem**

<b>Ponto</b>	<b>X</b>	<b>Y</b>
0	483376,0820	8477359,6700
1	483376,0820	8477359,6700
2	483364,1760	8477371,5760
3	483358,8840	8477388,7740
4	484056,3547	8477993,2772
5	484011,9064	8478005,8452
6	483970,1602	8478018,7221
7	484067,1404	8479014,1210
8	484020,6332	8478953,5735
9	483981,0331	8478892,4156
10	484117,2124	8479631,0159
11	483976,0193	8479720,6328
12	483837,8343	8479800,4202
13	485141,1958	8480187,9647
14	485038,1569	8480250,8824
15	484932,1203	8480303,6602
16	484652,1481	8480458,3273
17	484445,1716	8480572,4840
18	484366,4632	8480620,3606
19	485282,9295	8481266,0199
20	485092,1842	8481348,2419
21	484907,4481	8481423,4004
22	485687,8475	8482183,8593
23	485489,2884	8482266,0800
24	485308,4521	8482339,7074
25	486583,8809	8482435,6268
26	486445,0310	8482627,2493
27	485960,8893	8483210,6778
28	485651,3312	8483599,4276
29	485463,4921	8483828,1894
30	486911,1637	8483178,3007
31	486923,0733	8483385,6681

**Pontos  
y  
Pontos  
Salinidade.**

**y  
Planas  
de**

32	486944,8652	8483651,1016
33	487005,0450	8480051,0170
<b>Ponto</b>	<b>X</b>	<b>Y</b>
34	487398,3345	8482495,9371
40	488116,3517	8481973,4157
35	487721,5998	8482891,1531
41	488621,1556	8482051,3628
36	488042,7726	8483286,3640
42	488788,4219	8482080,3122
37	488220,4717	8483506,7085
43	487554,6316	8480969,2163
38	487439,1796	8481870,1858
44	487839,3230	8480971,5010
39	487622,0604	8481898,5358
45	488348,3435	8480976,9558
46	488848,0536	8480984,5472
47	489178,6928	8480985,9153
48	487301,9558	8479974,9866
49	487776,7170	8479993,0313
50	488280,0064	8480012,6163
51	488789,9028	8480032,5016
52	489291,0916	8480051,7589
53	489508,2035	8480060,1417
54	486934,0790	8478803,1326
55	487562,4969	8478961,6499
56	488094,2411	8479095,5317
57	487860,1821	8478097,9353
58	488079,3440	8478183,4391
59	488341,1401	8478283,7059
60	488338,1373	8478283,7045
61	488677,4453	8478987,0419
62	489054,6563	8479577,0326
63	489865,2579	8479287,6684
64	489955,5698	8479482,1626
65	490071,3909	8479721,8251
66	489489,5671	8478616,2813
67	488957,6620	8477452,9903
68	488978,0048	8477630,8696
69	488997,7463	8477811,5134
70	490873,7217	8479020,1605
71	490977,1738	8479443,2146
72	491084,2338	8479863,1973

73	490292,6415	8478287,5788
74	489959,6555	8477453,3963
75	489966,4844	8477653,6953
76	489974,2150	8477852,1515
77	491618,2574	8478624,7337
78	491929,5078	8479080,1064
79	492227,8543	8479543,1513

<b>Ponto</b>	<b>X</b>	<b>Y</b>
80	490941,7465	8477696,7544
81	491004,4266	8477917,9622
82	491065,3064	8478138,2477
83	491744,2201	8477221,4711
84	492029,9462	8477633,2122
85	492319,8852	8478044,9513
86	492605,9323	8478447,4697
87	492897,6880	8478871,1834
88	492087,2528	8476793,6439
89	492337,0089	8476998,0087
90	492731,7633	8477322,2212
91	493125,6267	8477646,1201
92	493352,2830	8477831,7295
93	493027,2096	8476260,3011
94	493448,6940	8476545,4952
95	493863,8828	8476827,9161
96	493531,5240	8475503,4827
97	493916,0947	8475687,8975
98	494310,2810	8475862,1711
99	493708,6081	8474513,7167
100	494105,1806	8474672,3268
101	494503,2593	8474830,0094
102	493913,3250	8473413,9764
103	494400,8272	8473675,5166
104	494887,7387	8473937,3546
105	494393,2649	8472548,9985
106	494817,7102	8472812,6678
107	495241,2639	8473074,4866
108	494585,9193	8471499,3232
109	494797,5322	8471634,2291
110	495219,5652	8471896,6627
111	495648,2104	8472164,6202
112	494965,8660	8470493,3058
113	495272,9127	8470737,2839
114	495683,2238	8471027,0492
115	496087,8396	8471322,0295
116	496386,5048	8471539,2662
117	495818,4084	8470422,1861
118	495757,5972	8469650,1714
119	495948,7796	8469844,3552
120	496297,8372	8470201,0719

<b>Ponto</b>	<b>X</b>	<b>Y</b>
121	496652,9081	8470558,3989
122	496948,2574	8470858,2668
123	496396,1714	8468950,4561
124	496778,5448	8469286,8956
125	497140,8127	8469655,5836
126	497541,2065	8470103,2217
127	497829,9559	8470413,8311
128	497641,5864	8468797,6117
129	497852,2843	8469032,6416
130	498192,3507	8469405,9212
131	498537,8306	8469771,8236
132	498750,6470	8469982,8842
133	499002,8468	8468741,4815
134	499079,9773	8469088,0112
135	499155,9095	8469421,6380
136	499002,8500	8468741,4800

**Apêndice 1:** Artigo submetido para Publicação no Periódico: *Remote Sensing of Environment*.

**Title:** An embedded measurement system for liquid-level remote sensing: applications in studies of tide in the Serinhaém estuary, south coast of Bahia, Brazil.

**Authors:** R. González-Santana<sup>1,2</sup> (Rolando González Santana)

M. Csekö-Nolasco<sup>1</sup> (Marjorie Csekö Nolasco)

J. A. Oliveira-Catapano<sup>3</sup> (João Alirio de Oliveira Catapano)

M. E. Cano-Gonzalez<sup>4</sup> (Mario Eduardo Cano González)

E. S. Ferreira<sup>5</sup> (Ernando Silva Ferreira)

J. A. Leyva-Cruz<sup>5,\*</sup> (Juan Alberto Leyva Cruz)

**Abstract**

Nowadays the modern measurement systems for the sensing of liquid-levels as e. g, the height of tide levels in estuaries and sea are sophisticated and expensive. This work presents the development and characterization of an electronic embedded measurement system for remote sensing of liquid-levels. We designed and build two electronic prototypes with an Arduino Uno microcontroller board based on the ATmega328, as the main component in order to provide some programmable output-input ports to generate and measure voltages signals, controlled with a personal computer using a USB port. In the experimental setup, also were used, the ultrasonic sensor HC-SR04 to remote measure of liquid-level, a LM35 temperature detector, a memory card circuit for data-storage and a real time clock, using DS1307 chip. Calibration tests showed that measurements performed with the automated systems were very close to those carried out manually, with correlation  $R^2 > 0.99$ . For the first time we report, the heights of tide as semidiurnal and microtidal, measured using the proposal Arduino-based module during two days on Pier of the Barra do Serinhaém located in Serinhaém estuary, South Coast of Bahia, Brazil. The experimental results show that the system is an alternative for the remote sensing of liquid-levels. Besides, important features expected of these prototypes are: high resolution, dynamic temperature compensation system, autonomy, low cost, flexibility, store a big amount of data and portability.

**Keywords:** remote sensing, liquid-level, estuary, Arduino, tide gauge

## Introduction

Actually, development of technologies for monitoring the liquid-levels is very important for humans. It is vital in the agriculture to know the water levels of natural or artificial reservoirs for the irrigation of crops for food production. These same reservoirs of waters are used for basic activities of human beings and factory farming of animals. In all sectors of the industries, including petroleum, oil, food, among others, the measurement procedures of liquid level in storage and processing tanks or vessels and wells are commonly needed. Not have such technologies for the detection of liquid-levels in many cases can cause serious economic damage, which can reach the order of thousands of dollars.

The periodic motion of the waters of the sea and estuaries caused by the changes in the attractive gravitational forces between the Moon and Sun upon the Earth, known as tide, also has called the attention to scientific and governmental community.

On the other hand, more than 40 % of the world's population (and 26 % Brazilian population is concentrated in the country's coastline) or live near (< 150 Km) of the coast and the current trend is to increase the population density in these areas. The actual global sea level rise is 2.6 mm/year ( e.g., [Watson et al., 2015](#)) as a result of global warming and other complex factors, having a great impact on the coastal regions.

Knowing the changes in tide levels in estuaries is vital for the preservation of aquatic life and human development in these coastal regions. Two important parameters in the dynamics of estuaries are salinity and conductivity of water. In estuaries the saline zonation is evident, where the salinity levels can vary from freshwater to seawater over a short distance. Fish and other aquatic life that live in estuaries depend of the level of salinity and conductivity of the water, for their proper growth. There is a relation between tide-levels and salinity or conductivity of the estuary water. Changes of tide-levels and evaporation will cause salinity and conductivity levels to change (e.g., [Understanding Salinity, 2016](#)).

Different types of sensors are used for monitoring the level of liquids using various physical principles and methods. Currently there are several methods for measuring liquid levels, and thus can be used to measure levels or height of the tide in estuaries or sea. Some utilize the direct method, e.g., using rule or graduated scale, the use of capacitive sensors, hydrostatic pressure using buoys, and others (e.g., [Ferran et al. 2007](#); [Gabor Vass, 2000](#)). However, other processes using the indirect or remote method, such as reflection of ultrasonic waves, magnetic and optical methods, satellite altimetry using radar and global positioning system (GPS), amongst others (e.g., [Joonhwan et al., 2013](#); [Yen-Pin et al., 2014](#); [Pepper et al., 2014](#); [Roussel et al., 2015](#); [Turki et al., 2015](#)).

[Sabuj Das Gupta et al., \(2012\)](#) have recently shown a simple technique to determine water depth and object detection using ultrasonic sensors with angular precision technology. But for establishing this technique as a methodology to identify the water depth and object detection, it is necessary make several improvements such as, temperature corrections, calibrations, field tests, etc. A low-cost ultrasonic system, for monitoring water levels in evaporation pans, has been reported (e.g., [Daniel et al., 2013](#)). The experimental setup is composed of an ultrasonic sensor, a microcontroller-based data logger and a temperature sensor for dynamic temperature compensation. The system was tested in the field, and water levels in the pans between 25 and 147 mm were measured manually and using the ultrasonic systems. In according with the authors, the measurements made by ultrasonic sensors systems show a correlation bigger than 98%, when compared with the manual measurements.

[Okeke et al., 2015](#) have recently shown the design and implementation of a remote diesel-level monitoring system using wireless ultrasonic sensor network. The diesel level was sensed and transmitted wirelessly to a remote base station. In the work was demonstrated the efficient monitoring of diesel generators of different sizes at remote locations using wireless ultrasonic sensor network.

Other wireless liquid monitoring system using ultrasonic sensors was developed (e.g., Samarth et al., 2015). The system was divided into Ultrasonic sensor, Microcontroller, GSM Module and Server subsystems. The ultrasonic sensor was connected to the microcontroller which is used to determine the depth of the liquid in a tank by measuring the time of flight. The microcontroller was an ARM based 32-bit controller, the STM32F100R8T6B is used to control the overall operation of the system, including the GSM Module. The GSM (Global System for Mobile Communication) module sends and receives packet of data wirelessly, and connects to the server which collects these values and represents them on the webpage graphically. The data is tabulated and the variation of liquid is shown on a graph. The system was tested and found to be running as expected. The evolution of these technologies and the implementation of these methods have caused an increase of costs in the international market, which in most cases limits their use in research in universities (e.g., Watson et al., 2015; Pepper et al., 2014; Roussel et al., 2015).

On the other hand, the International Hydrographic Organization (IHO) regulates that the total error of measurement of tide-gauges, including the temporal error, can't exceed +/- 10 cm, for this type of study (Normas de la OHI, 1998). Knowledge of the variations of tides-levels in coastal areas, rivers and estuaries is very important to implement public policies for environmental conservation. This behavior of tides affects the human development in these areas, where they develop nautical activities of transport of passengers and foods, as well as, the constant practices of nautical sports, fishing and tourism infrastructure.

The distribution of satellites and in situ measurements remains too small or non-existent in the area near to coast (e.g., Watson et al., 2015), so the challenge is to propose an original and easy to implement, financially viable solution to recover sea and estuary level variations in these regions.

Recent advances in microelectronics and computer industry, together with the philosophy of open hardware and free and open source software, has enabled the creation of new low-cost development kits for the automation of various processes and phenomena in various fields of science and technology. Examples of these types of technology constitute the microprocessor electronic boards for automation called Arduino (<https://www.arduino.cc/>, 2015), designed on low-cost microcontrollers. One of the strengths of this type of small computers is that feature a built-in micro USB connector and a large number of connector pins through which external circuitry can be connected to develop specific practical projects. The development of sensors was also stimulated by modern microelectronics. Even relative complex sensors, which previously could be realized only as scientific instruments, are now feasible as compact devices at low costs (Fisher et al., 2012; Buechley et al., 2008). The aim of this work was the development and characterization of two electronic embedded measurement systems for remote sensing of liquid-levels, using Arduino Uno board with microcontroller ATmega328.

This paper is organized as follows. In section 2, we present an overview of both the hardware, consisting of analogue and digital circuits, as well as the programs developed in C language. Then, in the section 3, the results will be discussed with the object of analyzing system performance when it is used for the sensing of liquid-levels in experiments with auto calibration of the speed of sound by temperature, made in the laboratory and in situ. Finally, we will present conclusions and future prospects.

## **2. Materials and methods**

### **2.1 Design and development**

It was designed and built two embedded electronic measurement system for remote sensing of liquid levels. Fig. 1 shows the block diagrams for the measurement systems. There is an Arduino Uno microcontroller board based on the ATmega328, as the main component, connected into different peripherals blocks. The Arduino provide some programmable output-

input ports to generate and measure voltage signals, controlling all peripherals with a personal computer using a USB port, or allowing them to work autonomously. The latter is possible after the firmware is embedded within the microcontroller, and using an external power source like a battery. When the battery is on and the SW are disconnected the prototype works autonomously.

We can also see the blocks representing the ultrasonic sensor HC-SR04 to remote measure of liquid-level, a LM35 precision temperature detector, an 8 GB microSD memory card circuit or Secure Digital Card (SD Card) for data-storage and a real time clock (RTC), using DS1307 chip. These last allow, the microcontroller perform measurements in a programmed date and time, which can be downloaded for processing and analysis. All circuits were powered by a 12V/9A battery. The computer is often used to analyze the acquired ultrasonic data. In this Fig.1, addition to the components mentioned above can also observe the water storage tank with an emptied and feeding system, a graduated ruler to measure the water level inside the tank and a mechanical support structure.

The HC-SR04 ultrasonic distance sensor is a popular and low cost solution for non-contact distance measurement function. It is able to measure distances from 2 cm to 400 cm with an accuracy of about 3 mm. This module includes ultrasonic transmitter (T), receiver (R) and its control circuit.

The physical operating principle is the piezoelectric effect using sound pulses to determine the distance to an object, using the same principle of detecting objects by bats and dolphins. When a trigger signal excites the transmitter, this automatically transmits eight 40 KHz ultrasonic wave, traveling in a medium. If there is an obstacle in-front of the wave, it will reflect the ultrasonic wave (echo pulse), that is detected by the receiver in the sensor module. The echo pin of the sensor will be in HIGH state (5V) for a duration of time taken for sending and receiving ultrasonic waves, this time are called time-of-flight (ToF). Knowing the speed of sound in a given medium (340 m/s in the air) and measurement ToF, we can calculate the distance (d) between the obstacle and transmitter, which is so-called time difference distance measurement principle, and can be written by,

$$d = 340 \frac{\text{ToF}}{2} \quad (1)$$

Although it is generally assumed to be constant, the speed of sound in air is highly dependent on air temperature and slightly affected by humidity (e.g., Bohn, 1988). This can be compensated by calculating the actual speed of sound with more precision using the following equation,

$$v_{sc} = 340 + (0.6)T \quad (2)$$

where T is the air temperature in C° and  $v_{sc}$  is the corrected speed of sound. This allows higher fidelity in the distances experimental estimate in a medium with variation of temperature, compared with other commercial ultrasonic tide gauges without dynamic temperature compensation system.

When an ultrasound beam travels or passes through a medium, it is said that the medium attenuates the ultrasound beam. This attenuation refers to the total propagation losses resulting in a reduction of the beam intensity. The beam attenuation depends on both the beam frequency and the physical properties of medium. The medium property called as characteristic acoustic impedance, Z, it is a measure of the resistance of the particles of the media to mechanical vibrations. The acoustic impedance can be expressed as,

$$Z = \rho v \quad (3)$$

where  $\rho$  is the medium density and v is the ultrasound velocity in the medium. Values of acoustic impedance are expressed in Rayl.

In the case of specular reflection on a surface, the ratio between reflected (echo) and incident intensities of the ultrasound beams is called reflection coefficient ( $a_R$ ), and the ratio between

transmitted and incident intensities of the ultrasound beams is called transmission coefficient ( $a_T$ ). The coefficients  $a_R$  and  $a_T$  can be written as,

$$a_R = \left( \frac{Z_1 - Z_2}{Z_1 + Z_2} \right)^2 \quad (4)$$

and

$$a_T = \frac{4 Z_1 Z_2}{(Z_1 + Z_2)^2} \quad (5)$$

where  $Z_1$  and  $Z_2$  are acoustic impedance of first and second medium.

For example, for  $Z_2 = 1.50$  Rayl (water) and  $Z_1 = 0.0004$  Rayl (air), the coefficients  $a_R$  and  $a_T$  between their boundaries are equal to 0.9988 and 0.001066, accordingly. Thus 99.88% of the ultrasound energy is reflected at the water–air interface, and only 0.1% of the energy is transmitted.

For another hand, the LM35 temperature sensor from National Semiconductor, show as its main feature, that is already autocalibrated from factory with a sensitivity of 10 mV/C°.

The electrical connections between the Arduino UNO board with the different analogue and digital peripherals circuits, are shown in the Fig. 2. The Arduino board have 14 digital input/output ports, these 6 can be used as PWM outputs, 6 analog inputs with a digital analog conversion (A/D) capacity of 10 bits or, .0049 volts (4.9 mV) per unit, a 16 MHz crystal oscillator, a port for serial connection USB, Flash Memory of 32 KB (ATmega328P) of which 0.5 KB used by boot-loader among other hardware components.

In the same Fig. 2 we can see that the real-time temperature values are measured through the analog port A0 connected to the output (center pin) of LM35 detector. This information is used to correct the speed of sound given by Eq. 2.

Communication between the microcontroller and the memory card is performed by the Serial Peripheral Interface (SPI) protocol. As we can see the pin /CS from SD Card Secure Digital Card or SD Card is connected to the digital port on the Arduino D4, through it selects the SPI bus. The line of SPI bus data (MOSI) and (MISO) are connected between SDI and SDO pins of the microSD and digital ports D11 and D12, respectively. The microSD bus clock signal (SCK) is connected to digital port D13 from Arduino. The transmission speed was of 9600 bits/s

Also it is seen that the trigger and echo pins in ultrasonic sensor HC SR04 were connected into digital ports 8 and 9, the first configured as an input and second as output. In the same Fig. 2, we can see that the RTC circuit have connected the SCL and SDA pins in the A4 and A5 Arduino analog ports. The RTC chip provides the information of time and day used by microcontroller to perform distance and temperature measurements at regular intervals; all information is stored in data card, giving the possibility of the system work in an automated and autonomous way during the time-life of the external battery. With a capacity of 9000 mA / h for the source and given the current demand from the hardware, the survival of the battery is more than 200 days.

To give functionality to the Arduino is necessary load the code into the brain or microcontroller. The source code was written using the Integrated Development Environment (IDE) or Arduino Software. The IDE allows to program source code in a language similar to C++ and transfers it to the microcontroller. The program has been developed to run on Windows operating system. After the Arduino are connected to an external battery, the program or firmware in the microcontroller starts to run and the first step is to check the presence of the memory card, if the answer is true, immediately reads the date and time from RTC and begins temperature measurement. Subsequently measuring of the distance between the water level and the lower boundaries of the ultrasonic sensor is corrected using the average value of the temperature in each time step. Measurements are repeated in constant time intervals, the average distance and computed values are stored synchronously with the time. Others measurement periods can be selected via software, as well as the number of reads to be

performed. The complete code for automation as well as the electrical schematic can be freely downloaded at the following electronic address: <http://dfis.uefs.br/p/juan/tide/>. A summary of system costs includes costs with the Arduino Uno; Module RTC-DS1307; Ultrasonic sensors SR04 HC-35 and LM-temperature among others leading to a total cost of approximately USD400 for a prototype.

## 2.2 Experiments

The instruments performance analysis was carried out. Three types of experiments, two calibrations in the laboratory and other for tide height measurement in Serinhaém estuary were performed. The experiment aims were to study the experimental modules with respect to their ability to measure distances with ultrasonic sensors, processing and storing the data in a text file for further analysis offline.

In the first experiment we used the tank illustrated in the diagram block (Fig.1) simulating tide dynamic, varying the water height manually. The sensing of water column heights in the tank are carried out simultaneously form, using a ruler graduated in millimeters with 0.5 mm error and the proposed experimental modules.

The value of height of water level,  $h_{wl}$ , inner the water-tank according to the description given in Fig. 1 can obtained using the following expression,

$$h_{wl} = h_{bt} - h_{ws} \quad (6)$$

where  $h_{bt}$  and  $h_{ws}$  are the distances between the inferior surface of ultrasound sensors and the bottom of the tank and the water surface, respectively.

In Fig. 3 a-b, we show the pictures of the assembled experimental setups for performing calibration of the modules with water flow and a fixed object (our case we use the wall), respectively.

In the first experiment (see Fig.3a and 1) with water flow simulating the dynamic process of high tide and low tide, the water surface height was changed each 5 minutes, with a dynamic range from 20-140 cm.

In the second experiment the detection system was moved and aligned with measuring tape ribbon in the soil, which also allowed measuring the distance from the sensor to the wall, the dynamic range was 1-420 cm, estimated by using the proposed system and the graduate ruler, simultaneously.

The third experiment was conducted in situ study in the site of Serinhaém estuary which is situated in Ecópolo III APAdo Pratigi (Environmental Protection Area, Portuguese acronym) in the lower South of Bahia State, about 110 km from the state capital, Salvador. In Fig.4, we shown the map of Serinhaém estuary which is located between parallels 13°30' and 14°00' S latitude and meridians 38°50' and 39°40' W longitude (e.g., Namara et al., 2011).

The study site is surrounded by the boundaries of the municipality of Ituberá, from which extends its course until to disemboque into the Bay of Camamu, and meet with the Atlantic Ocean (see Fig. 4). According to Santos, (2014) the estuary has a length of 30.0 km with average width of 2.0 km and average depth of 6.0 m.

The precise location of positioning of the experimental station in the estuary was on the Barra do Serinhaém pier (Fig. 5).

In Fig. 5, we can see the system installed on the pier of Barra do Serinhaém, at 29.5 km from the city of Ituberá and about 500 m from the mouth of the estuary, the Bay of Camamu. This test point on the field was chosen from previous experiments with a ruler tide carried out in December 2014, according to the marigraphy technical procedures Standard from 25/DHN, Brazil (Marinha do Brasil, 2014).

The system was installed vertically allowing ultrasonic waves were reflected by the surface of the water below the ultrasonic sensor. The distance from the sonar sensor to the bottom of the

estuary, was carried out manually with a ruler tide being 300 cm with an approximate error of  $\pm 1$  cm in stable weather.

The Arduino-based module recorded the measurements of the distance between the level of the water and the bottom surface of the ultrasonic sensor and record into the memory card every one second for later offline analysis. In these analyzes were determined average values of the readings every 5 minutes, i.e., 300 samples were used for all experiments.

### 3 Results and discussions

The first calibration experiment simulating part of the tidal dynamics in a controlled environment using a cylindrical tank has shown a high correlation between the measurements of the height of water using the electronic embedded measurement system with Arduino and the measures carried out manually with the graduated scale (Fig.6). These experimental results show that the proposed experimental system can register the changes in water levels over time similar to the classical tide rulers.

Values of the measurements of temporal evolution of the height of water level inner the water-tank with ultrasonic system and manual techniques (Fig. 6) shows some discrepancies not exceeding 3 cm, which are within the limits of detectability of ultrasonic sensor and pose no problems for the measures in the field.

In the second experiment was carried out the calibration of the two built experimental modules. Simultaneously measurements of sensor-wall distances using the Arduino ultrasonic system and manual were compared using calibration curves (Fig. 7). This last the measurement was made using a 10m tape measure.

From the graphical analysis of the calibration curves of the modules I and II in Fig. 7, we can conclude that the built experimental systems have a very similar calibration factor and close to 1, with adjustment factor  $R^2 = 1$ , confirming the linear response of the ultrasound sensors. The slope near to unit of the data fitting, proves that the experimental modules using ultrasonic sensors and Arduino, can automatically measure distances with a nearby accuracy to 100%, compared the measurements with the graduated rulers in cm, within a total error less  $\pm 3$  cm.

In the Fig. 8 we can see, for the first time, the experimental results with high resolution, of the tide height measured in a 24 h period held for two days followed by the ultrasonic Arduino measurement station, installed on Pier of the Barra do Serinhaém, according to description of the third experiment explained in the previous section.

According to NOAA's (Tidal Analysis and Prediction, 2007) the timing and amplitude of tide levels is highly dependent on location.

From the analyzes of the results we can verify the presence of two high tides, with tide height of 254 cm for 16:50 and 270 cm to 4:30 with a duration period between them of 12.20 hours. Also in August 16, 2015 were found two low-tides with 73 cm at 10h35 and 80 cm registered at 22:40 with a time-elapséd period of 12:05 hour. As result the tidal range was 197 cm and 174 cm for the first and second tide cycle, respectively, for the same day.

We can see, for the day August 17 also the presence of two high tides, with tidal heights of 259 cm at 4:55 a.m and 255 cm for 17h10, with a time duration of between them of 12.55 hours. In addition, was measured two low-tides of 71 cm at 11.05 and 74 cm recorded at 23.10, with a period of 12.05 hours. Tidal range was 188 cm and 181 cm for the first and second tide cycle, respectively.

According to Davies, (1964) the above data allow us to infer that the tide measured on Pier of the Barra do Serinhaém located in the Serinhaém estuary, as semidiurnal and microtidal because tidal range is less than 200 cm, for the days analyzed.

Comparing our results with the data disclosed in the tide tables (Diretoria de Hidrografia, 2015) published by the Navy of Brazil, the ports of Ilhéus and Salvador-BA, the corresponding days,

we observe a correspondence in the time of occurrence of high tides and low tide and their values.

These preliminary results demonstrate that automated, stand-alone systems based on Arduino and ultrasonic sensors can be used to perform measurements of tide levels. It also permitted create the basis for use in various scientific-technical applications, such as agriculture, meteorology, hydrography, among others.

## **4 Conclusions and future works**

### **4.1- Conclusions**

Electronic systems for automatic and autonomous remote sensing of liquid-levels basically composed by a low-cost microprocessor card Arduino UNO, were designed, built, calibrated and tested in the field.

Calibration tests showed that measurements performed with the automated systems were very close to those carried out manually, with correlation  $R^2 > 0.99$  for both systems studied. The field experiments have shown that the system was able to monitor the heights of tide. The heights of tide measured on Pier of the Barra do Serinhaém located in the Serinhaém estuary, can be classified as semidiurnal and microtidal. These results were consistent with the provisions and measures the tide tables published by the Navy of Brazil in the days studied.

The cost for constructing a module was reasonably low compared with commercial tide gauges and for sensors with similar physical principle.

The results show that the proposed prototype based on Arduino allows us to achieve a relatively high accuracy and repeatability is an alternative for the remote sensing of liquid-levels including the height of tide levels. Besides, important features expected of these prototypes are: high resolution, dynamic temperature compensation system, autonomy, low cost, flexibility, storage of a big amount of data and portability.

### **4.2- Future works**

Based on this study the developed electronic modules with base in Arduino, can be deployed at the estuaries for operational monitoring of the water surface elevation, during long periods, helping to improve human activity and house-building management programs in estuaries.

## **Acknowledgements**

By availability of transport and laboratories, the authors thank to the State University of Feira de Santana, UEFS, Feira de Santana, Bahia Brazil. Also, we appreciate the National Council for the Improvement of Higher Education (CAPES), for granting the Research Fellowship which has greatly helped to make our research. We thank Organização de Conservação da Terra for financial and field operations support. The authors are grateful the great help offered by Dr. Germano Pinto Guedes from Department of Physics at UEFS. Thank you kindly to TaimyCantillo for their willingness to review the English grammar in the manuscript.

## **References**

Bohn, D. A., (1988). Environmental effects on the speed of sound. *Journal of the Audio Engineering Society*. 36(4): 223-231.

Buechley, L.; Eisenberg, M., (2008). "The LilyPad Arduino: Toward Wearable Engineering for Everyone," in *Pervasive Computing*, IEEE, vol.7, no.2, pp.12-15, (April-June). <http://dx.doi.org/10.1109/MPRV.2008.38>

Daniel K. Fisher, Ruixiu Sui., (2013) An inexpensive open-source ultrasonic sensing system for monitoring liquid levels. *AgricEngInt: CIGR Journal*, 15(4):328-334.

DAVIES, J. L. (1964). A Morphogenic approach to world shore-lines. *Zeitschrift für Geomorphologie*, NF,8:127-142.

Diretoria de Hidrografia e Navegação – tábuas das marés. Sítio eletrônico “[www.dhn.mar.mil.br / serviços / tábuas das marés](http://www.dhn.mar.mil.br/serviços/tábuas_das_marés)”. (Accessed 1 September, 2015)

FerranReverter, Xiujun Li, Gerard C.M. Meijer., (2007). Liquid-level measurement system based on a remote grounded capacitive sensor, *Sensors and Actuators A: Physical*, Volume 138, Issue 1, 20 July, Pages 1-8, ISSN 0924-4247, <http://dx.doi.org/10.1016/j.sna.2007.04.027>.

Fisher, D. K., and P. J. Gould., (2012). Open-source hardware is a low-cost alternative for scientific instrumentation and research. *Modern Instrumentation*, 1: 8-20. <http://dx.doi.org/10.4236/mi.2012.12002>

Gabor Vass., 2000. The principles of level measurement. *Sens. Mag.* 17.

<https://www.arduino.cc/>(Accessed 21 November, 2015)

Joonhwan Shim., (2013). Liquid level measurement system using capacitive sensor and optical sensor. *Journal of the Korean Society of Marine Engineering*, Vol. 37, No. 7, pp. 778~783. <http://dx.doi.org/10.5916/jkosme.2013.37.7.778>

Marinha do Brasil, Diretoria de Hidrografia e Navegação, Norma 25 DHN, Estabelece normas e procedimentos para autorização e controle dos Levantamentos Hidrográficos (LH) realizados em Águas Jurisdicionais Brasileiras (AJB) por órgão ou entidade não pertencente à MB, 2014. <https://www.mar.mil.br/dhn/chm/box-levantamento-hidrografico/arquivos/normam25-rev1.pdf>. (Accessed 15 October, 2015).

Namara Santos Lopes, Maurício Santana Moreau, Maria Eugênia Bruck Moraes., (2011). Análise da paisagem com base na fragmentação - caso APA pratigi, baixo sul da Bahia, Brasil. *Revista Eletrônica do Prodemá*, Fortaleza, v. 6, n.1, p. 53 - 67, mar.

Normas de la OHI para Levantamientos, Hidrográficos. Publicación especial No. 44, Cuarta Edición, 1998.

Okeke, I. O.; Abu, A. E.; Eze, R. C.; Ezeanyagu, O. N., (2015). Wireless sensor network-based remote diesel-level monitoring system," in *Industrial Technology (ICIT)*, 2015 IEEE International Conference on vol., no., pp.2209-2213, 17-19 (March). <http://dx.doi.org/10.1109/ICIT.2015.7125423>

Pepper, J.; Jonas, M., (2014). Port of London authority tidal monitoring system., (2014). in *Oceans - St. John's*, vol., no., pp.1-5, 14-19. <http://dx.doi.org/10.1109/OCEANS.2014.7003302>

Roussel, N.; Ramillien, G.; Frappart, F.; Darrozes, J.; Gay, A.; Striebig, N.; Biancale, R., (2015). Enhancement in interference pattern technique for altimetry and tide/wave measurements: Offshore 60-meter lighthouse case study, in *Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS)*, IEEE International, vol., no., pp.3894-3897, 26-31. <http://dx.doi.org/10.1109/IGARSS.2015.7326675>

Sabuj Das Gupta, IslamMd. Shahinur, AkondAnisulHaque, AminRuhul, SudipMajumder., (2012). Design and Implementation of WaterDepthMeasurement and ObjectDetectionModelUsingUltrasonicSignalSystem. International Journal of EngineeringResearch and Development. Volume 4, Issue 3 (October), PP. 62-69.

Samarth Viswanath, Marco Belcastro, John Barton, Brendan O’Flynn, Nicholas Holmes, Paul Dixon., (2015). Low-power wireless liquid monitoring system using ultrasonic sensors. International Journal on Smart Sensing and Intelligent Systems VOL. 8, NO. 1, (MARCH).

SANTOS, I., (2014). Modelagem do Fundo do Estuário do Serinhaém – Ba: Geomorfologia e Sedimentos (Dissertação de Mestrado), PPGM, UEFS, 123pp.

Tidal Analysis and Prediction. NOAA Special Publication NOS CO-OPS. [http://tidesandcurrents.noaa.gov/publications/Tidal\\_Analysis\\_and\\_Predictions.pdf](http://tidesandcurrents.noaa.gov/publications/Tidal_Analysis_and_Predictions.pdf). (Accessed 5 October, 2015).

Turki, I.; Laignel, B.; Chevalier, L.; Costa, S.; Massei, N., (2015). On the Investigation of the Sea-Level Variability in Coastal Zones Using SWOT Satellite Mission: Example of the Eastern English Channel (Western France)," in Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing, IEEE Journal of vol.8, no.4, pp.1564-1569, April 2015. <http://dx.doi.org/10.1109/JSTARS.2015.2419693>

Understanding Salinity. In SCORE Water-Quality Tutorial. Retrieved from, [http://score.dnr.sc.gov/ktmlpro10/files/uploads/elearning/Understanding\\_Salinity.pdf](http://score.dnr.sc.gov/ktmlpro10/files/uploads/elearning/Understanding_Salinity.pdf). (Accessed 10 January, 2016).

Watson, Christopher S.; White, Neil J.; Church, John A.; King, Matt A.; Burgette, Reed J.; Legresy, Benoit., (2015). Unabated global mean sea-level rise over the satellite altimeter era. Nature Climate Change. 5, 565–568. <http://dx.doi.org/10.1038/nclimate2635>.

Yen-Pin Lin; Ching-Jer Huang; Sheng-Hsueh Chen., (2014). Development of a GPS-buoy for monitoring water surface elevations at estuaries. in OCEANS 2014 - TAIPEI , vol., no., pp.1-6, 7-10. <http://dx.doi.org/10.1109/OCEANS-TAIPEI.2014.6964453>

## Figure Captions

Figure 1. Block diagram of the measurement system is composed by The Arduino board block connected to temperature and ultrasound transducers blocks, the microSD memory card and real-time clock blocks, and the computer via a switching equipment (SW).

Figure 2. Schematic diagram shown the Arduino UNO board and their connections with the different analogue and digital circuits peripherals.

Figure 3. Pictures of calibration setups to perform calibration experiments with water flow (a) and a fixed object such as the wall of a room (b).

Figure 4. Map of the study site Serinhaém estuary, situated in Ecópolo III of APA do Pratigi, Bahia State, Brazil.

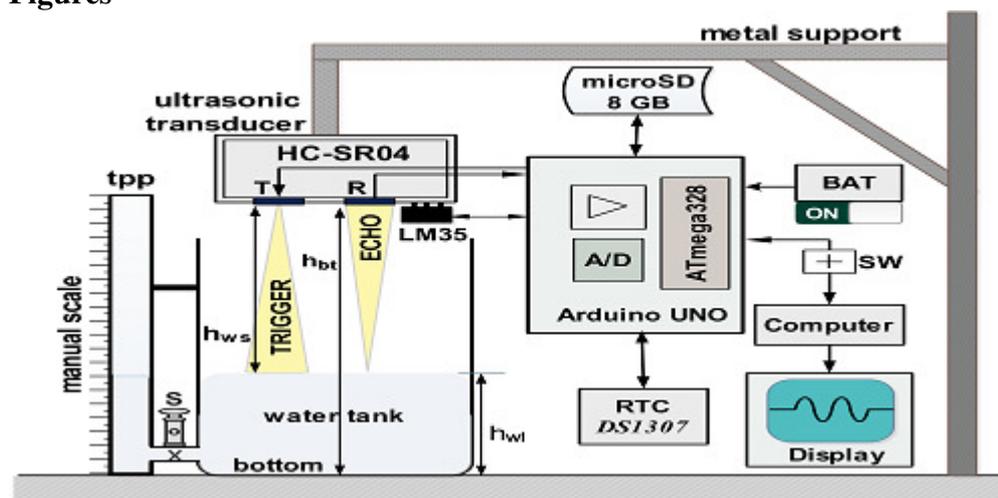
Figure 5. Measurement system installed on the Barra do Serinhaém pier, where we can observe the water level at high tide.

Figure 6. Temporal evolution of the height of water level inner the water-tank measured with the ultrasonic system (Ultrasonic) and manually (Manual).

Figure 7. Calibration curves for the modules I and II. Comparing the automatic measurements ( $H_p$ ) using the ultrasonic sensors vs manual ( $H_r$ ).

Figure 8. The temporal behavior of the tide height, measured on Pier of the Barra do Serinhaém located in Ecopolo III of Pratigi APA in Serinhaém estuary, South Coast of Bahia, Brazil, during two days 08.16.2015 (top) and 08/17/2015 (lower).

## Figures



Graphical Abstract

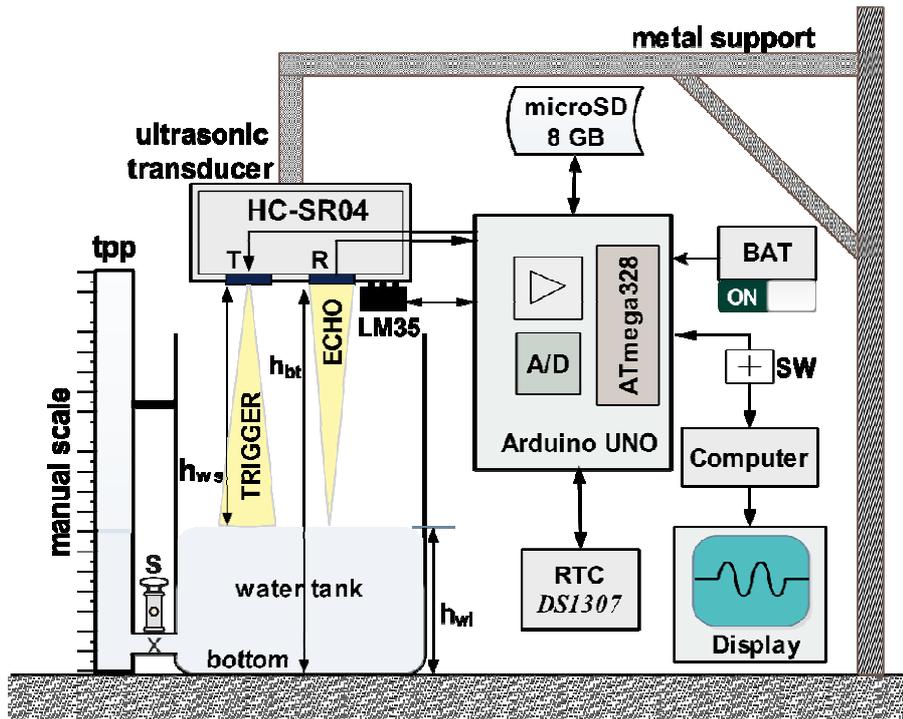


Figure 1

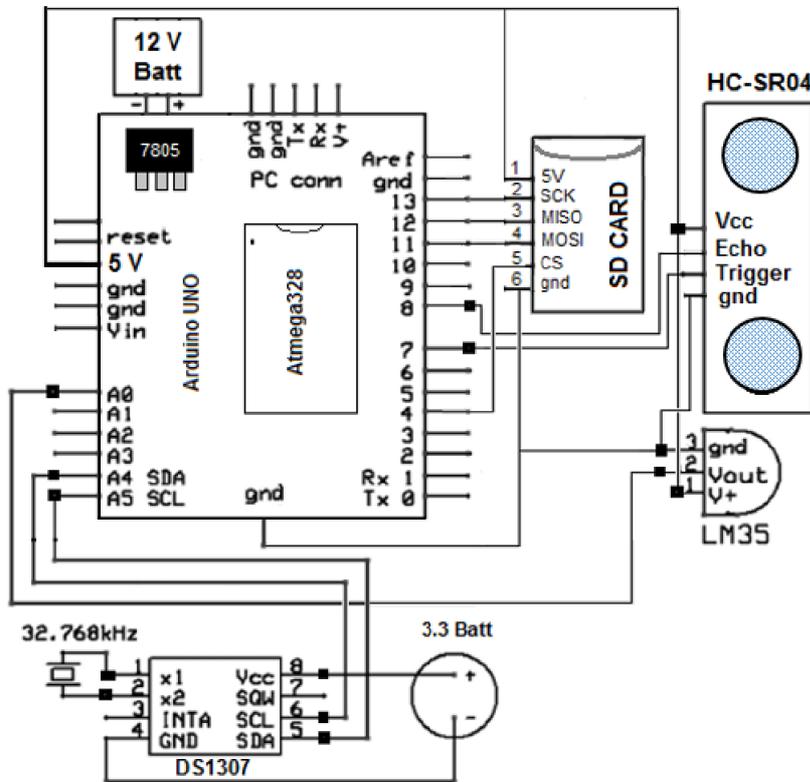


Figure 2

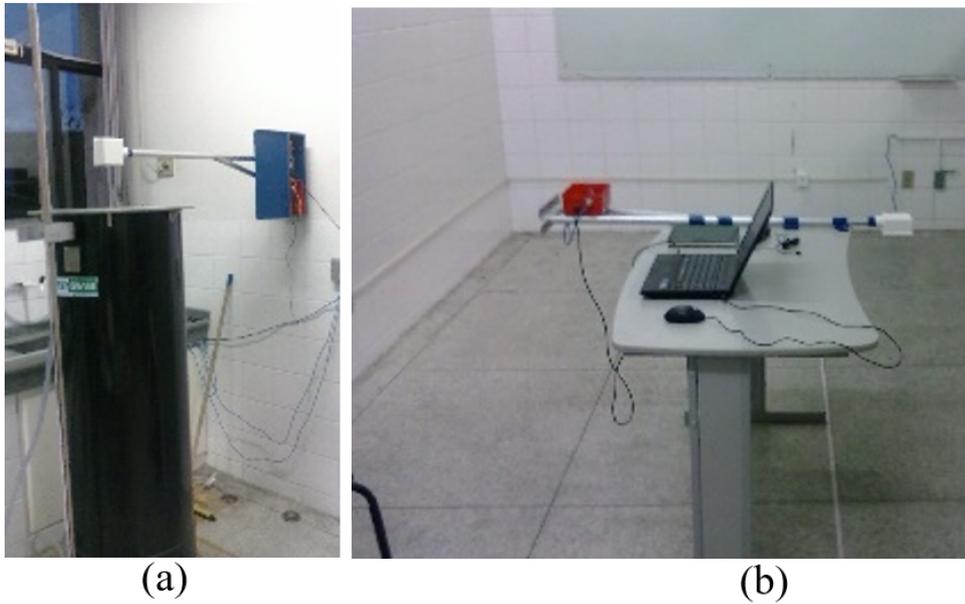


Figure 3

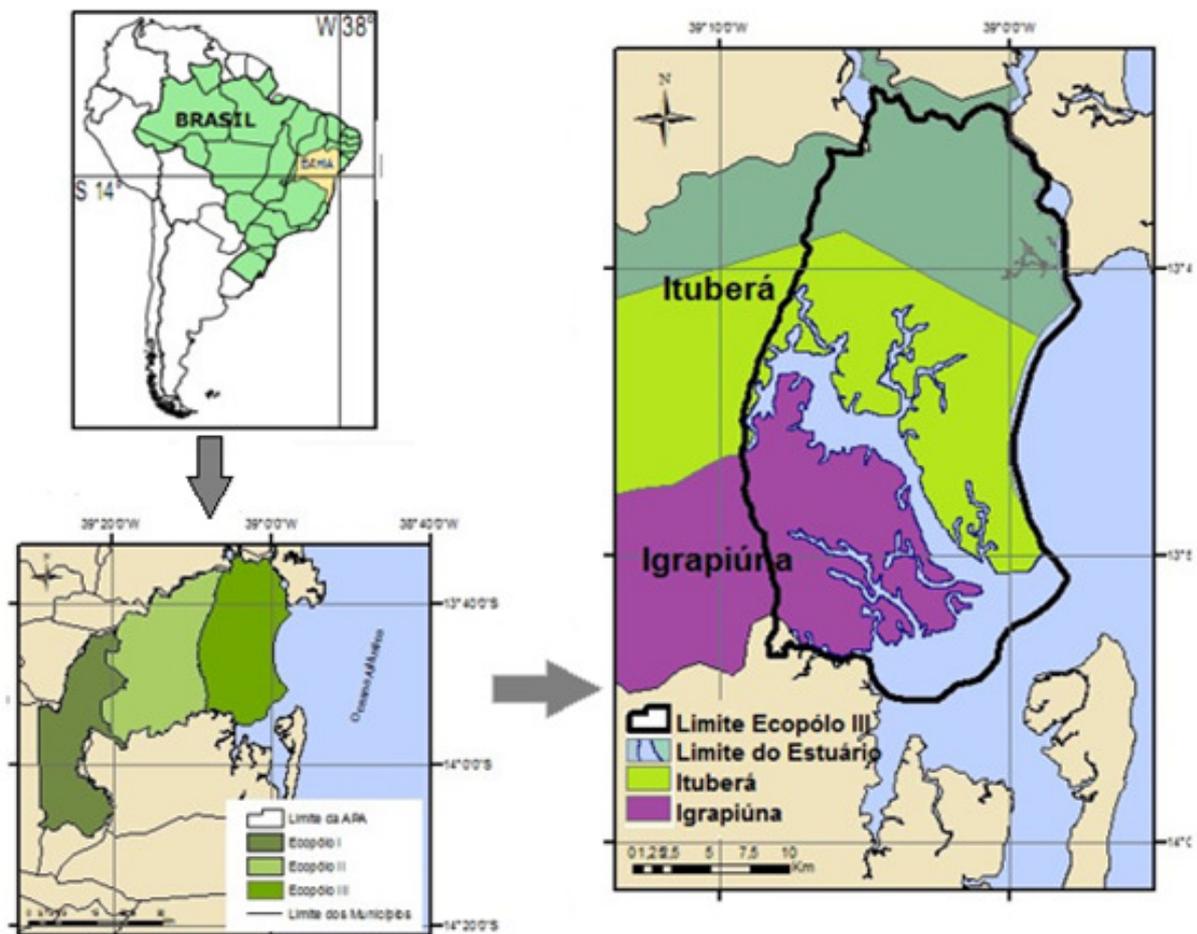


Figure 4



Figure5

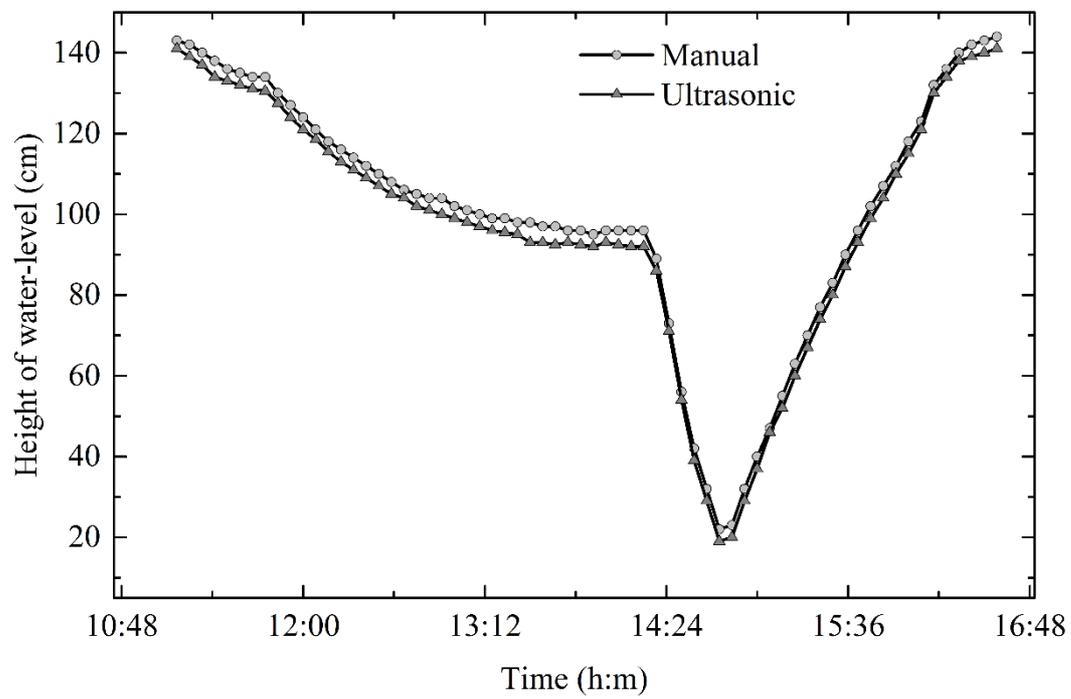


Figure 6

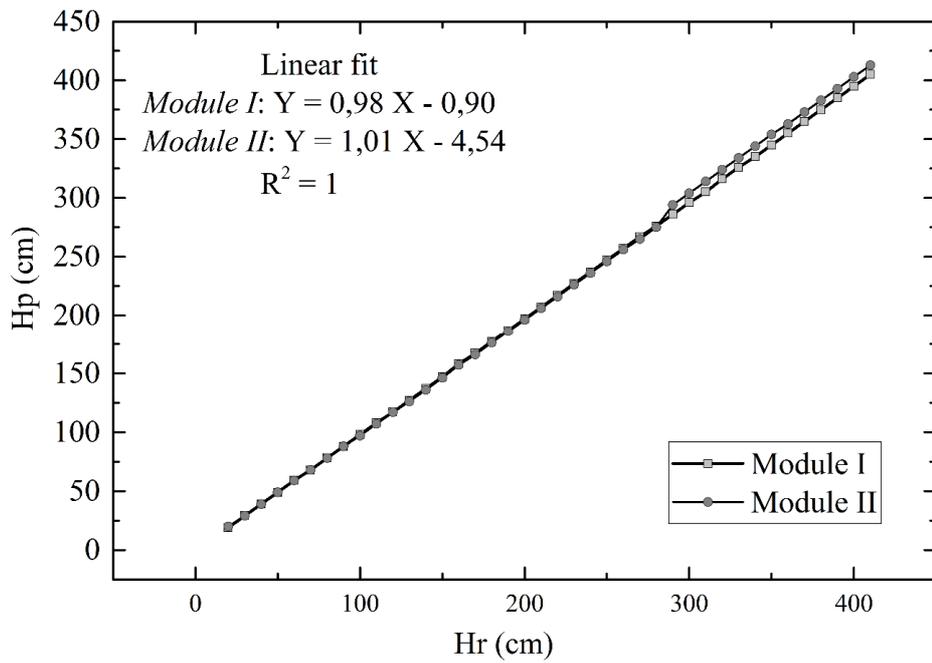


Figure 7

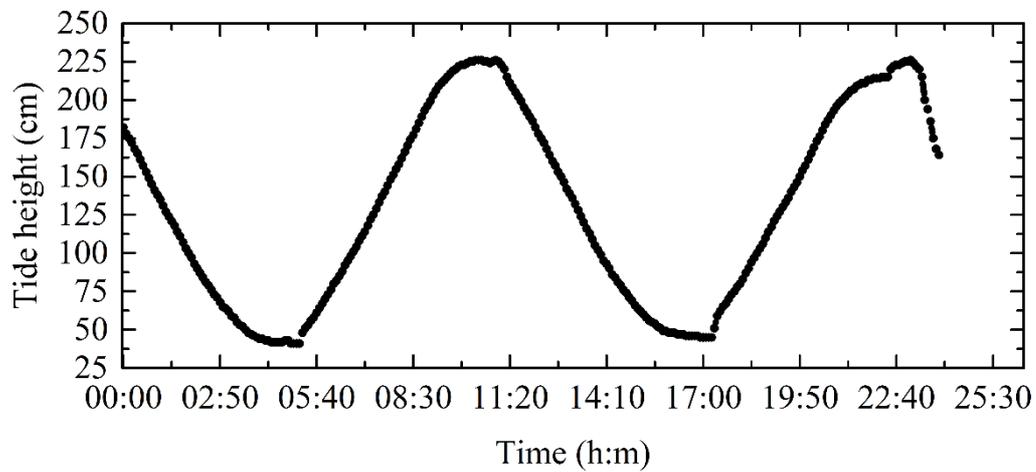
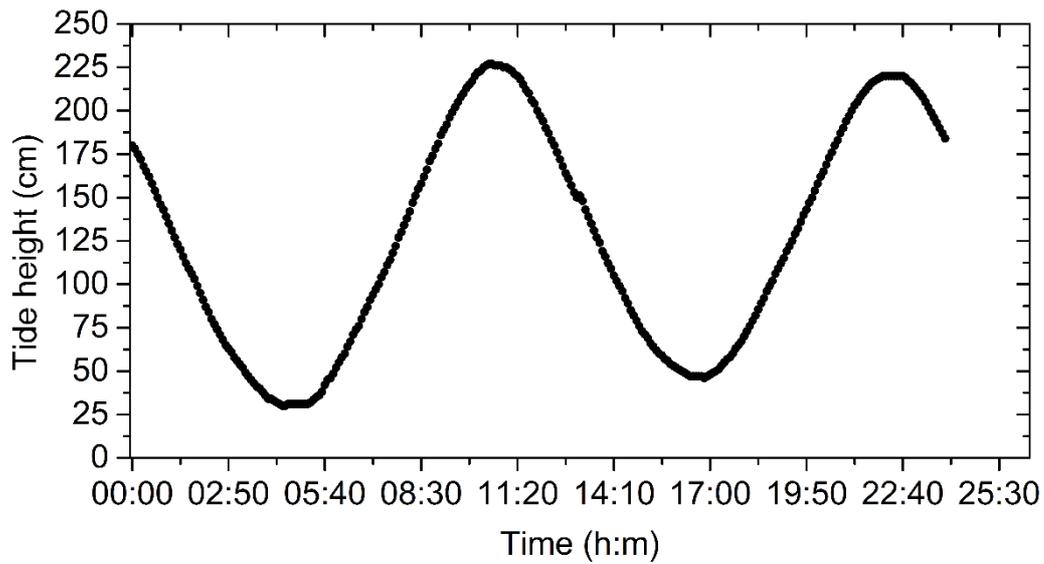


Figure 8

**Apêndice 2. Tabela de valores de Salinidade de superfície e fundo do estuário do Serinhaém, nos meses de abril, julho, dezembro de 2014 e agosto de 2015.**

No. Ponto	abril/2014		julho/2014		dezembro/2014		agosto/2015	
	Sal.Sup.	Sal. fundo	Sal.Sup.	Sal. fundo	Sal.Sup.	Sal. fundo	Sal.Sup.	Sal. fundo
0	0,00	0,00	1,00	2,00	1,25	2,16	1,00	3,00
1	0,00	0,00	2,00	5,00	1,93	2,46	2,00	6,00
2	0,00	0,00	4,00	5,00	3,93	5,87	6,00	8,00
3	0,00	0,00	3,00	5,00	1,23	1,27	5,00	7,00
4	1,00	3,00	5,00	15,00	5,55	6,23	3,00	7,00
5	0,00	5,00	5,00	15,00	1,93	14,02	2,00	7,00
6	0,00	3,00	5,00	15,00	1,05	14,04	2,00	5,00
7	0,00	0,00	5,00	14,00	2,40	3,60	7,00	11,00
8	0,00	4,00	10,00	16,00	2,79	19,12	9,00	12,00
9	1,00	4,00	9,00	16,00	2,22	8,35	10,00	10,00
10	3,00	4,00	16,00	18,00	4,95	5,36	10,00	10,00
11	3,00	8,00	16,00	19,00	6,77	13,54	12,00	15,00
12	3,00	4,00	15,00	17,00	5,67	14,99	10,00	13,00
13	8,00	10,00	8,00	19,00	12,19	23,97	12,00	17,00
14	5,00	10,00	16,00	18,00	16,13	28,84	15,00	18,00
15	4,00	8,00	16,00	20,00	13,98	23,69	12,00	16,00
16	5,00	11,00	17,00	20,00	6,61	20,29	15,00	18,00
17	5,00	11,00	16,00	19,00	12,75	22,68	12,00	16,00
18	5,00	7,00	15,00	17,00	12,45	19,65	12,00	15,00
19	6,00	10,00	18,00	19,00	12,52	25,16	15,00	18,00
20	5,00	11,00	18,00	20,00	18,58	20,59	15,00	18,00
21	5,00	8,00	15,00	20,00	17,87	18,30	12,00	18,00
22	9,00	10,00	20,00	20,00	16,56	25,85	15,00	19,00
23	7,00	11,00	20,00	21,00	18,44	27,30	15,00	20,00
24	7,00	9,00	20,00	20,00	20,50	22,15	15,00	19,00
25	10,00	11,00	20,00	20,00	15,99	24,98	14,00	15,00
26	10,00	16,00	20,00	23,00	19,63	25,92	16,00	18,00
27	12,00	15,00	20,00	22,00	21,16	26,65	15,00	20,00
28	10,00	13,00	20,00	21,00	24,60	26,44	10,00	16,00
29	7,00	10,00	20,00	20,00	18,64	24,00	13,00	15,00
30	11,00	11,00	22,00	23,00	20,27	23,23	16,00	18,00
31	12,00	20,00	22,00	23,00	23,55	27,15	15,00	16,00
32	10,00	10,00	22,00	23,00	23,15	26,55	15,00	16,00
33	13,00	15,00	22,00	24,00	21,10	24,80	22,00	22,00
34	13,00	15,00	23,00	24,00	20,27	28,01	16,00	16,00
35	11,00	14,00	24,00	25,00	22,20	25,50	16,00	17,00
36	10,00	17,00	24,00	25,00	24,50	25,26	15,00	17,00
37	11,00	11,00	20,00	22,00	24,10	25,95	15,00	17,00
38	13,00	16,00	22,00	25,00	25,45	26,34	16,00	17,00

39	13,00	15,00	22,00	23,00	21,61	22,10	17,00	18,00
No. Ponto	abril/2014		julho/2014		dezembro/2014		agosto/2015	
	Sal.Sup.	Sal. fundo	Sal.Sup.	Sal. fundo	Sal.Sup.	Sal. fundo	Sal.Sup.	Sal. fundo
40	14,00	18,00	22,00	23,00	21,30	25,28	17,00	18,00
41	14,00	22,00	22,00	23,00	22,10	27,50	15,00	19,00
42	12,00	13,00	21,00	21,00	23,12	26,85	16,00	18,00
43	10,00	15,00	23,00	24,00	23,00	24,02	17,00	18,00
44	11,00	15,00	20,00	22,00	22,64	24,18	17,00	17,00
45	11,00	21,00	21,00	22,00	22,48	23,32	19,00	20,00
46	13,00	17,00	22,00	23,00	23,00	27,40	17,00	20,00
47	12,00	15,00	22,00	22,00	22,37	28,18	18,00	18,00
48	10,00	12,00	22,00	22,00	23,31	23,50	19,00	19,00
49	12,00	12,00	22,00	22,00	24,25	25,17	19,00	20,00
50	12,00	13,00	22,00	22,00	23,85	24,48	19,00	20,00
51	12,00	13,00	22,00	23,00	24,15	27,28	17,00	21,00
52	12,00	16,00	22,00	23,00	23,76	27,77	19,00	20,00
53	11,00	16,00	22,00	23,00	22,40	27,64	20,00	22,00
54	8,00	15,00	23,00	23,00	24,10	25,58	18,00	19,00
55	15,00	17,00	24,00	24,00	24,23	25,54	21,00	22,00
56	10,00	15,00	23,00	23,00	23,81	25,04	21,00	22,00
57	12,00	22,00	24,00	25,00	24,15	25,34	21,00	22,00
58	16,00	21,00	24,00	25,00	24,60	24,65	21,00	21,00
59	16,00	17,00	25,00	25,00	24,45	25,64	20,00	21,00
60	17,00	17,00	23,00	23,00	22,59	23,12	21,00	21,00
61	15,00	16,00	22,00	23,00	24,75	25,30	19,00	20,00
62	15,00	15,00	22,00	22,00	23,77	24,63	18,00	20,00
63	17,00	18,00	20,00	22,00	22,32	24,56	19,00	21,00
64	15,00	18,00	20,00	23,00	22,56	23,45	21,00	22,00
65	15,00	15,00	22,00	23,00	22,87	23,00	22,00	22,00
66	15,00	17,00	23,00	25,00	22,87	23,46	22,00	24,00
67	12,00	20,00	24,00	24,00	21,29	22,14	22,00	23,00
68	15,00	18,00	24,00	24,00	23,39	24,70	20,00	21,00
69	14,00	17,00	24,00	24,00	24,64	25,27	19,00	22,00
70	17,00	19,00	22,00	22,00	22,97	22,97	20,00	21,00
71	17,00	20,00	21,00	23,00	23,47	24,65	22,00	24,00
72	17,00	17,00	22,00	23,00	22,87	22,87	18,00	18,00
73	15,00	19,00	23,00	24,00	22,65	23,59	21,00	21,00
74	19,00	20,00	25,00	25,00	23,56	24,87	23,00	23,00
75	15,00	18,00	26,00	26,00	25,04	25,21	23,00	24,00
76	19,00	20,00	25,00	25,00	24,58	24,82	21,00	24,00
77	17,00	17,00	23,00	24,00	22,43	22,45	20,00	22,00
78	17,00	21,00	22,00	23,00	21,52	22,97	20,00	21,00
79	15,00	16,00	23,00	25,00	22,57	23,48	21,00	22,00
80	17,00	18,00	25,00	26,00	24,37	25,65	24,00	24,00

81	18,00	20,00	23,00	24,00	23,54	24,87	23,00	24,00
No. Ponto	abril/2014		julho/2014		dezembro/2014		agosto/2015	
	Sal.Sup.	Sal. fundo	Sal.Sup.	Sal. fundo	Sal.Sup.	Sal. fundo	Sal.Sup.	Sal. fundo
82	18,00	19,00	23,00	24,00	23,87	24,92	24,00	25,00
83	18,00	20,00	25,00	28,00	26,30	27,23	24,00	25,00
84	18,00	19,00	27,00	29,00	25,04	26,18	25,00	26,00
85	18,00	19,00	27,00	29,00	24,65	26,15	25,00	25,00
86	18,00	19,00	23,00	24,00	21,12	21,12	20,00	21,00
87	17,00	17,00	21,00	22,00	24,76	25,47	19,00	20,00
88	18,00	19,00	25,00	27,00	24,78	27,17	23,00	24,00
89	19,00	21,00	25,00	29,00	25,43	27,84	21,00	22,00
90	17,00	20,00	23,00	25,00	26,00	27,00	21,00	24,00
91	17,00	23,00	23,00	24,00	24,68	28,50	21,00	23,00
92	18,00	20,00	24,00	24,00	23,49	23,52	21,00	21,00
93	19,00	20,00	27,00	29,00	25,16	28,15	22,00	23,00
94	18,00	19,00	27,00	30,00	25,36	30,00	21,00	23,00
95	18,00	22,00	27,00	28,00	26,02	29,10	21,00	23,00
96	18,00	20,00	26,00	29,00	26,19	29,16	24,00	26,00
97	21,00	24,00	28,00	29,00	25,83	29,88	20,00	24,00
98	18,00	18,00	27,00	29,00	26,02	29,60	20,00	23,00
99	18,00	20,00	26,00	27,00	25,63	25,63	24,00	25,00
100	19,00	23,00	28,00	30,00	22,93	27,54	22,00	24,00
101	19,00	21,00	27,00	27,00	24,56	25,18	22,00	23,00
102	20,00	23,00	26,00	27,00	24,93	24,95	25,00	26,00
103	19,00	23,00	27,00	30,00	24,53	26,62	23,00	25,00
104	18,00	20,00	28,00	29,00	26,34	26,97	23,00	25,00
105	20,00	21,00	27,00	29,00	25,34	25,87	26,00	27,00
106	20,00	23,00	30,00	30,00	23,63	25,58	23,00	25,00
107	20,00	20,00	27,00	28,00	23,67	23,73	24,00	26,00
108	15,00	20,00	27,00	27,00	25,45	25,46	26,00	27,00
109	15,00	20,00	26,00	27,00	24,48	26,12	24,00	26,00
110	21,00	28,00	29,00	30,00	23,87	25,65	24,00	26,00
111	20,00	26,00	30,00	30,00	24,36	25,72	25,00	26,00
112	21,00	24,00	27,00	27,00	24,43	24,43	25,00	26,00
113	20,00	23,00	27,00	30,00	23,57	24,98	24,00	25,00
114	21,00	26,00	29,00	30,00	25,67	27,98	25,00	26,00
115	20,00	28,00	29,00	30,00	25,84	27,93	26,00	27,00
116	20,00	26,00	27,00	28,00	26,97	27,32	27,00	27,00
117	20,00	27,00	28,00	29,00	24,67	25,85	25,00	26,00
118	24,00	25,00	27,00	27,00	28,55	29,18	28,00	28,00
119	20,00	21,00	26,00	27,00	28,83	30,04	29,00	30,00
120	20,00	29,00	28,00	29,00	30,14	33,10	28,00	30,00
121	20,00	29,00	28,00	30,00	29,14	29,25	27,00	30,00

No. Ponto	abril/2014		julho/2014		dezembro/2014		agosto/2015	
	Sal.Sup.	Sal. fundo	Sal.Sup.	Sal. fundo	Sal.Sup.	Sal. fundo	Sal.Sup.	Sal. fundo
123	22,00	25,00	24,00	26,00	28,35	28,50	30,00	31,00
124	20,00	27,00	28,00	30,00	28,54	31,50	30,00	31,00
125	20,00	26,00	27,00	28,00	28,50	29,71	30,00	31,00
126	22,00	28,00	27,00	29,00	29,19	31,00	30,00	31,00
127	21,00	27,00	28,00	29,00	28,40	28,45	30,00	30,00
128	22,00	25,00	27,00	29,00	20,10	28,04	30,00	31,00
129	22,00	28,00	28,00	29,00	28,24	30,68	30,00	31,00
130	22,00	29,00	27,00	29,00	28,00	28,94	30,00	31,00
131	20,00	22,00	27,00	28,00	28,24	29,54	30,00	31,00
132	21,00	28,00	27,00	27,00	27,20	29,25	30,00	30,00
133	20,00	30,00	28,00	29,00	28,33	28,34	31,00	31,00
134	20,00	30,00	27,00	29,00	28,39	29,48	30,00	31,00
135	22,00	28,00	27,00	30,00	28,75	28,89	30,00	30,00
136	21,00	28,00	28,00	30,00	28,52	36,40	30,00	30,00
122	20,00	20,00	29,00	30,00	26,46	29,67	27,00	28,00