



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ  
INSTITUTO DE CIÊNCIAS DO MAR - LABOMAR, UFC  
CURSO DE OCEANOGRAFIA**

**FELIPE FACÓ FROTA**

**ANÁLISE DO NÍVEL DA ÁGUA NA PLATAFORMA CONTINENTAL  
SETENTRIONAL DO NORDESTE DO BRASIL.**

**FORTALEZA**

**2013**

FELIPE FACÓ FROTA

ANÁLISE DO NÍVEL DA ÁGUA NA PLATAFORMA CONTINENTAL  
SETENTRIONAL DO NORDESTE DO BRASIL.

Monografia apresentada ao Curso de graduação em Oceanografia do Instituto de Ciências do Mar da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Oceanografia.

Orientador: Prof. Dr. Carlos Augusto F. Schettini.  
Coorientador: Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Eliane C. Truccolo

FORTALEZA

2013

FELIPE FACÓ FROTA

ANÁLISE DO NÍVEL DA ÁGUA NA PLATAFORMA CONTINENTAL  
SETENTRIONAL DO NORDESTE DO BRASIL.

Monografia apresentada ao Curso de graduação em Oceanografia do Instituto de Ciências do Mar da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Oceanografia.

Aprovada em \_\_/\_\_/\_\_\_\_\_.

BANCA EXAMINADORA

---

Prof. Dr. Carlos Augusto França Schettini (Orientador)  
Universidade Federal de Pernambuco (UFPE)

---

Prof. Dr. Carlos Eduardo Peres  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Profª. Drª. Maria Ozilea Bezerra Menezes  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Aos meus pais, Fátima e Antonio.

## **AGRADECIMENTOS**

Ao meu pai e minha mãe por todo o apoio que me deram durante toda a minha vida acadêmica e por não duvidarem de minhas capacidades.

Ao Prof. Dr. Carlos Augusto França Schettini (Guto) por toda sabedoria, conhecimento e paciência.

A Prof. Dr(a) Eliane Cristina Truccolo (Nane) pela sabedoria, atenção e colaboração.

Aos meus amigos de curso Évila Pinheiro Damasceno, Gaia Tavares Machado, Heitor Flávio de Albuquerque Gentil Neto e Wersângela Cunha Duaví pelo apoio nos momentos difíceis e pelo companheirismo.

À Bárbara Pereira Paiva, pelo incentivo e paciência.

“A moderação é uma coisa fatal.  
Nada tem mais sucesso do que o  
excesso.” (Oscar Wilde)

## RESUMO

O objetivo deste trabalho é caracterizar o nível do mar na plataforma continental cearense, através da análise harmônica, da variabilidade morfométrica e da transformada de ondeletas. Foram utilizados dados registrados pelo marégrafo situado no Porto do Mucuripe durante o período de 2009 a 2011. Outros dados maregráficos utilizados foram os das estações de Santana, Salvador e Imbituba, para o ano de 2009. Dados meteorológicos foram obtidos da estação do Campus do Pici - UFC. A variabilidade morfométrica, mostrou que as marés alcançaram valores máximos nos períodos de equinócio, e mínimos nos períodos de solstício. Existe também uma variabilidade considerável entre quadraturas e sizígias consecutivas, alcançando diferenças superiores a meio metro. Foram obtidos 59 harmônicos, sendo possível caracterizar o regime de maré como semi-diurno puro, com número de forma anual de 0,11. A constituinte harmônica  $S_2$  apresentou maior variação anual, de 0,22 m, determinando a oscilação da anomalia do número de forma. Esta apresentou valor mínimo em março e setembro, devido à maior intensidade da componente semi-diurna, e máximo em junho e dezembro, mostrando um declínio da componente semi-diurna. A análise das ondeletas sobre os dados de baixa frequência mostrou que o vento local não está associado às oscilações do nível do mar na costa cearense. Estas podem estar relacionadas a efeitos remotos da tensão do vento. Os espectros de potência e coerência dos níveis de maré das estações maregráficas mostraram uma correlação de média a alta entre as estações Fortaleza-Santana. Entre as estações Fortaleza-Salvador e Fortaleza-Imbituba não houve correlação, indicando que possíveis ondas de plataforma não se deslocaram em direção à costa norte do Brasil durante o período analisado.

Palavras-chave: Maré; Porto do Mucuripe; Nível do mar

## ABSTRACT

The objective of this work is to characterize the sea level on the continental shelf of Ceará, using harmonic analysis, morphometric variability and wavelet analysis. The data was recorded by tide gauge located in Porto do Mucuripe during the period from 2009 to 2011. Tide data from Santana, Salvador and Imbituba station, for the year 2009 were also used. Meteorological data were obtained from Campus do Pici - UFC. The morphometric variability showed that the tides reached maximum values during periods of equinox. The minimum values were registered during solstice period. There is also variability between consecutive neap tide and spring tide, reaching differences of more than half a meter. Fifty-nine harmonic constituents were determined, and it was possible to characterize the tide regime as semi-diurnal, with an Form Number of 0,11. The harmonic constituent  $S_2$  had higher annual growth of 0,22 m, determining the oscillating of Form Number Anomaly. The anomaly presented minimum values in March and September, due to the higher intensity of semi-diurnal component, and maximum in June and December, showing a decline of semi-diurnal component. The wavelet analysis of the data showed that low-frequency wind is not associated with fluctuations in sea level on the Ceará coast. These effects may be related to remote wind tension. The power spectra and coherence of the tide levels showed a medium to high correlation between stations Fortaleza-Santana. There was no correlation between Fortaleza-Salvador and Fortaleza-Imbituba stations, indicating that possible platform waves did not move toward the northern coast of Brazil during the analyzed period.

Keywords: Tide; Porto do Mucuripe; Harmonics

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Mapa com localização da Estação Fortaleza da Rede Maregráfica Permanente para Geodésia/Porto do Mucuripe, Fortaleza - CE.....	9
Figura 2 - Gráfico da variação do Nível do Mar, onde (A) representa o ano de 2009, (B) o ano de 2010 e (C) o ano de 2011.....	15
Figura 3 - Gráfico da variação Morfométrica da Maré, onde (A) representa o ano de 2009, (B) o ano de 2010 e (C) o ano de 2011.....	16
Figura 4 - Número de ocorrências das alturas de maré entre 2009 e 2011. ....	17
Figura 5 - Variabilidade da altura da preamar entre quadraturas e sizígias consecutivas.....	17
Figura 6 - Variação mensal das constituintes O1, K1, M2 e S2. ....	20
Figura 7 - Anomalia Mensal do Número de Forma.....	21
Figura 8 - Representação das séries temporais filtradas. Onde (A) é o nível em Fortaleza; (B) a componente do vento longitudinal à linha de costa; e (C) a componente transversal à linha de costa. ....	22
Figura 9 - Espectros de potência e coerência das séries temporais filtradas de nível do mar e da tensão superficial do vento. As flechas representam a diferença de fase entre as séries. A variância segue na barra de cores. O cone de influência está representado na região hachurada, e o nível de significância de 5 %, corresponde aos contornos de linha preta. ....	23
Figura 10 - Representação das séries temporais filtradas das estações maregráficas. Onde (A) é o nível em Santana (A); (B) o nível em Fortaleza; (C) o nível em Salvador; e (D) o nível em Imbituba. ....	24
Figura 11 - Espectro de potência e coerência das séries temporais filtradas do nível do mar de SAN-FOR (A), FOR-SAL (B) e FOR-IMB (C). As flechas representam a diferença de fase entre as séries. A variância segue na barra de cores. O cone de influência está representado na região hachurada, e o nível de significância de 5 %, corresponde aos contornos de linha preta. ....	25

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Conversão dos dados de direção para graus.....	11
Tabela 2 - Parâmetros descritivos observados da maré astronômica para a costa cearense.....	18
Tabela 3 - Principais constituintes Harmônicos em termos de amplitude. ....	18
Tabela 4 - Parâmetros descritivos calculados da maré astronômica para a costa cearense.....	19

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
<b>2. OBJETIVO GERAL.....</b>	<b>7</b>
<b>2.1 Objetivos Específicos.....</b>	<b>7</b>
<b>3. MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>8</b>
<b>3.1 Área de Estudo.....</b>	<b>8</b>
<b>3.2 Aquisição dos Dados.....</b>	<b>8</b>
<b>3.3 Processamento dos Dados .....</b>	<b>10</b>
<b>3.3.1 Tratamento Preliminar.....</b>	<b>10</b>
<b>3.3.2 Morfometria e Análise Harmônica.....</b>	<b>12</b>
<b>3.3.3 Transformada de Ondeletas .....</b>	<b>12</b>
<b>4. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>15</b>
<b>4.1 Nível e Morfometria.....</b>	<b>15</b>
<b>4.2 Análise Harmônica.....</b>	<b>18</b>
<b>4.3 Transformada em Ondeletas.....</b>	<b>21</b>
<b>4.3.1 Espectro de Potência e de Coerência.....</b>	<b>22</b>
<b>5. CONCLUSÕES.....</b>	<b>27</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>28</b>

## 1. INTRODUÇÃO

O nível médio da linha de costa, que corresponde à posição em que a superfície livre do mar teria na ausência de qualquer perturbação, varia em resposta às forçantes astronômicas, atmosféricas e oceanográficas. Estas atuam em diferentes escalas de tempo e espaço, porém gerando um sinal único (GILL, 1982). As escalas de tempo mais relevantes para os processos costeiros atuais estão relacionadas com ondas de gravidade, marés, seiches e tsunamis (PUGH, 1987).

As marés consistem de perturbações verticais na superfície das grandes massas fluidas que recobrem o planeta. Elas podem ser observadas uma ou duas vezes a cada dia e apresentam origem na atração gravitacional exercida pelo sistema Terra-Lua-Sol, conjuntamente com a rotação da Terra. As marés estão diretamente relacionadas com as forças astronômicas e podem ser representadas como o somatório de ondas sinusoidais.

A compreensão científica sobre a origem das marés está fundamentada na Teoria da Gravitação Universal, de Isaac Newton (1642-1727). Este estudo propiciou a explicação de inúmeros aspectos do comportamento das marés.

A atração gravitacional demonstra que todas as partículas que possuem massa no universo se atraem mutuamente. Dessa forma, a força gravitacional entre dois pontos materiais possui uma intensidade diretamente proporcional ao produto de suas massas e inversamente proporcional ao quadrado da distância que os separa, como pode ser observado na expressão abaixo:

$$F_g = \frac{y \cdot M \cdot m}{r^2}$$

Onde,  $y$  é a constante universal de atração gravitacional com valor igual a  $6.672 \times 10^{-11} \text{ N.m}^2.\text{kg}^{-2}$ ,  $M$  e  $m$  são as massas dos corpos que se atraem e  $r$  é a distância entre os centros dos corpos.

As forças de atração gravitacional da Lua e do Sol são as de maior relevância sobre a Terra. No caso da Lua, isso ocorre devido à relativa distância entre ela e a Terra. Já a importância do Sol na atração gravitacional sobre a Terra se dá devido à sua elevada massa. Aplicando a expressão acima, foi determinado matematicamente que a força gravitacional exercida pela Lua sobre a Terra apresenta um valor 46% maior do que aquela aplicada pelo Sol, mesmo este possuindo uma massa da ordem de  $10^8$  vezes maior que a massa da Lua. A rotação da Terra também é importante, contudo apresenta um papel secundário, dando origem a períodos de marés baixa e alta em determinados pontos do planeta.

A compreensão das características da variabilidade do nível da água em diferentes escalas temporais constitui um importante instrumento para a gestão portuária (SCHETTINI *et al.*, 2011). Dessa forma o fenômeno das marés é de extrema importância, sobretudo quando se navega em águas restritas, já que o calado das embarcações nessas águas pode ser crítico durante a navegação. A elevação do nível do mar proveniente do efeito das marés pode ser aproveitada para a manobra de navios, aumentando a segurança da navegação.

A previsão de eventos catastróficos causadas pela combinação de elevadas marés astronômicas e meteorológicas agindo sobre regiões costeiras com pequena declividade e densamente povoadas podem resultar em grandes desastres às populações envolvidas, como já foi observado em várias localidades do globo (PUGH, 2004). Outro aspecto seria a produção de energia elétrica renovável, que poderia ser extraída durante os períodos entre marés.

As ondas de maré podem apresentar períodos curtos e longos. A escala de tempo em que as marés ocorrem pode variar de 6 horas a 18,5 anos, e elas podem provocar alterações de alguns centímetros a 15 metros no nível do mar. Elas ocorrem no ambiente costeiro de forma astronômica e meteorológica.

As marés astronômicas são previsíveis, produzindo variações periódicas no nível do mar através da combinação dos movimentos de rotação e de atração gravitacional exercida sobre a Terra pela Lua e pelo Sol (TUREKIAN, 1969; WESTERNIK *et al.*, 1989). O período de uma onda corresponde ao tempo decorrido entre dois níveis máximos ou mínimos. Quanto ao período, estas marés podem ser

classificadas em: semidiurnas (12h 25min), possuindo dois ciclos de maré diários; diurnas (24h 50min), com um ciclo de maré diário; e mistas, que correspondem a situações com algumas características de marés semidiurnas e outras de marés diurnas. As marés diurnas são mais significativas quando a declinação da Lua é maior. Sua importância reduz-se a zero quando a Lua passa pelo plano equatorial terrestre, onde sua declinação é zero. Já as marés semidiurnas são mais influentes após as fases de Lua nova e cheia, sendo apenas parcialmente reduzidas durante o período de maré de quadratura, pois sua declinação não apresenta valor nulo.

A altura de uma onda de maré corresponde à diferença entre um nível máximo de preamar e um nível mínimo de baixamar consecutivo. Segundo Davies (1964), as marés podem ser classificadas em: micromaré, quando sua altura máxima (Hmax) não ultrapassa 2 m; mesomaré quando sua Hmax está entre 2 e 4 m; macromaré quando sua Hmax se encontra entre 4 e 6 m; e hipermarés quando sua Hmax ultrapassa os 6 m. Estas diferenças entre baixamar e preamar são máximas nas marés de sizígia (durante o período de Lua Nova e de Lua Cheia), e mínimas durante o período de quadratura (condições de Lua Quarto Minguante e Lua Quarto Crescente). Durante a sizígia, a Terra se encontra alinhada com o Sol e a Lua. Na quadratura, os três astros citados fazem um ângulo de 90° entre si.

A maré astronômica calculada pode diferir dos registros de nível do mar observados no mesmo local, devido aos efeitos meteorológicos sobre as oscilações do nível. A maré meteorológica é então definida como sendo a diferença entre a maré astronômica registrada e a maré astronômica prevista para um determinado local (PUGH, 1987). Segundo Truccolo & Franco (1998), as marés meteorológicas também podem ser definidas como sendo oscilações na superfície do mar, provocadas pelos efeitos locais da pressão atmosférica e da tensão do vento, que se desenvolvem até a costa. Elas não são periódicas e provocam alterações no nível do mar de centímetros até alguns metros, respondendo a escalas temporais longas de 2 a 15 dias. Com a melhoria dos equipamentos de monitoramento, sua ocorrência vem sendo antecipada com melhor eficiência.

A influência da atmosfera sobre o nível oceânico pode ser expressa sob dois pontos de vista: o primeiro, indireto, através da ação do vento gerado a partir da existência de gradientes atmosféricos de pressão; e o segundo, direto, através do

efeito físico do peso da coluna de ar atmosférica sobre a coluna vertical de água. Esses efeitos diretos e indiretos podem ser identificados nas alterações do nível do mar e têm sido largamente utilizados em estudos de baixa frequência da dinâmica na plataforma continental (WANG, 1979; SANDSTROM, 1980; e CHUANG *et al*, 1983).

O resultado do peso da coluna de ar, mais conhecido como efeito do barômetro invertido, é a forma direta de ação da pressão atmosférica sobre o nível do mar. Um aumento de pressão em torno de 1 hPa resulta em um decréscimo de 1 cm no nível do mar. De forma contrária, uma diminuição de 1hPa na pressão atmosférica causa elevação no nível do mar de 1 cm.

O efeito indireto da tensão do vento na superfície oceânica é explicado pela teoria de Ekman, na qual a transferência de energia e de momento do vento para as massas líquidas se dá pela ação da força de atrito e da força tangencial. Estas forças atuam entre as superfícies de contato de duas massas fluidas que se deslocam com velocidades distintas, e agem retardando a velocidade do fluido mais rápido e acelerando a velocidade do fluido mais lento (POND & PICKARD, 1983). A resultante do transporte das massas d'água e o consequente empilhamento em regiões costeiras ocorrem à esquerda da direção do vento no Hemisfério Sul (GODIN, 1972).

A plataforma continental é bastante afetada pelo processo acima, uma vez que se encontra em transição entre a linha de costa e a borda da planície abissal. Como ela apresenta-se rasa, sua resposta é intensa a forçantes externas como a atmosfera sobrejacente e ao oceano profundo adjacente. Dessa forma, o empilhamento das águas torna-se significativo à medida que ventos sopram sobre águas rasas e por distâncias consideráveis, durante um período de tempo necessário para que tal processo atinja sua máxima manifestação. A costa então age como acumulador de água após o estabelecimento de uma tempestade. Esta água acumulada pode permanecer no seu local de formação até se dissipar ou se propagar pela costa até que sua energia cinética seja completamente dissipada durante seu deslocamento. Esta onda que se propaga pela plataforma continental é denominada onda de plataforma.

Outras perturbações que podem ocorrer no nível do mar são ondas de gravidade, seiches e tsunamis. Estes eventos também podem ser separados do registro observado, contudo são estudados como alta frequência, pois apresentam menor escala de duração, da ordem de segundos a dezenas de minutos.

As ondas de gravidade se desenvolvem quando existe uma superfície livre ou uma descontinuidade de densidade. Nestas situações, a gravidade atua como uma força restauradora achatando a onda para que esta retorne ao estado de equilíbrio e, dessa forma, acaba por provocar uma oscilação na superfície. Os seiches são ondas estacionárias que ocorrem em ambientes semi-fechados, como portos, baías e enseadas, sendo originados da energia da maré ou do vento. Já a tsunami é uma onda ou uma série delas que ocorrem após perturbações abruptas, como atividade sísmica ou vulcanismo, que deslocam verticalmente a coluna de água. A energia de um tsunami é função de sua amplitude e velocidade.

As marés astronômicas, por serem periódicas, podem ser previstas. Para isto, a análise harmônica pode ser utilizada como ferramenta matemática (LePROVOST *et al.*, 1981, GODIN e GUTIERREZ, 1986, WESTERNIK *et al.*, 1989, GODIN e MARTINEZ, 1994, TRUCCOLO, 2009). Esta consiste no somatório das componentes da onda de maré, sendo representadas por funções senoidais, com amplitudes e fases constantes para cada local. As amplitudes e as fases são determinadas a partir dos registros maregráficos utilizando um ajuste de mínimos quadrados, que resultam nas chamadas constantes harmônicas. Considerando-se que as respostas às forças geradoras não mudam com o tempo, as constantes harmônicas descrevem o regime de maré do local (PUGH, 1987).

Os constituintes diurnos e semidiurnos que atuam nas variações das marés astronômicas apresentam, a letra M e letras próximas ao M, para constituintes lunares, como o  $M_2$ ; e a letra S e letras próximas ao S, para constituintes solares, como o  $S_2$ . O índice da letra identifica a espécie que representa a frequência do constituinte em ciclos por dia (índice 1 indica que este constituinte ocorre 1 vez ao dia; índice 2, duas vezes ao dia; e assim por diante)(EMERY & THOMPSON, 1997).

A análise de ondeletas é outra ferramenta matemática que pode ser utilizada no estudo do nível do mar. Ela permite examinar séries temporais que contenham

energia não-estacionária em muitas frequências diferentes (FOUFOULA-GEORGIU & KUMAR, 1995). A decomposição da série temporal no espaço tempo-frequência, permite a identificação de modos dominantes de energia da série temporal e de como estes modos de energia se modificam com o tempo (JEVREJEVA *et al.*, 2003).

A análise de ondeletas ou transformada em ondeletas de forma geral, segundo Misiti *et al.* (1997), representa um algoritmo matemático para se criar funções bases para representações de funções em outros modelos. Para Torrence & Compo (1998) a vantagem desse método para outros mais tradicionais, como o de Fourier, é que as funções de Fourier são dependentes da frequência, mas não do tempo. Dessa forma pequenas modificações na frequência podem acarretar distúrbios em todo o domínio do tempo. Esse caso não acontece com as ondeletas, pois estas são capazes de fornecer informações de tempo (via translação) e de frequência (via dilatação) simultaneamente, dando a representação da frequência-tempo de uma série temporal, o que representa uma grande vantagem na análise de séries temporais.

As funções ondeletas podem ser classificadas como discreta e contínua. A função discreta mais simples é a de Haar, utilizada na decomposição e filtragem de qualquer série temporal. A onda produzida por esta função é descontínua, o que torna seu resultado pobre na localização da frequência produzida. Em geral é utilizada no entendimento básico de ondeletas. Já a função contínua tem como mais comum a de Morlet, que consiste de uma onda modulada por uma Gaussiana. Ela é bastante utilizada na análise de frequências pertencentes ao sinal e na identificação de relações entre tempo e frequência.

## **2. OBJETIVO GERAL**

O objetivo deste trabalho é caracterizar a variabilidade do nível do mar na plataforma continental de Fortaleza - CE, Brasil, com base nos dados da Rede Maregráfica Permanente para Geodésia (RMPG) e dessa forma contribuir com a descrição do nível do mar na plataforma continental setentrional do Nordeste.

### **2.1 Objetivos Específicos**

- Realizar uma análise morfométrica da altura da maré;
- Obter os componentes não astronômicos;
- Avaliar a anomalia mensal do número de forma em termos dos constituintes harmônicos de maré;
- Caracterizar as oscilações da baixa frequência do nível de maré observado através da análise de ondeletas;
- Investigar a correlação de fatores meteorológicos locais com a baixa frequência dos dados de maré de Fortaleza.

### **3. MATERIAL E MÉTODOS**

#### **3.1 Área de Estudo**

A plataforma continental do estado do Ceará está inserida no contexto tectônico e sedimentar da Bacia Potiguar, localizada no Nordeste do Brasil. Ela apresenta-se estreita com uma média de 63 km de largura e em sua maior parte rasa com profundidades menores que 40 metros. Por ser rasa, esta região está sujeita a processos influenciados por agentes hidrodinâmicos como ondas, correntes, marés e ventos.

#### **3.2 Aquisição dos Dados**

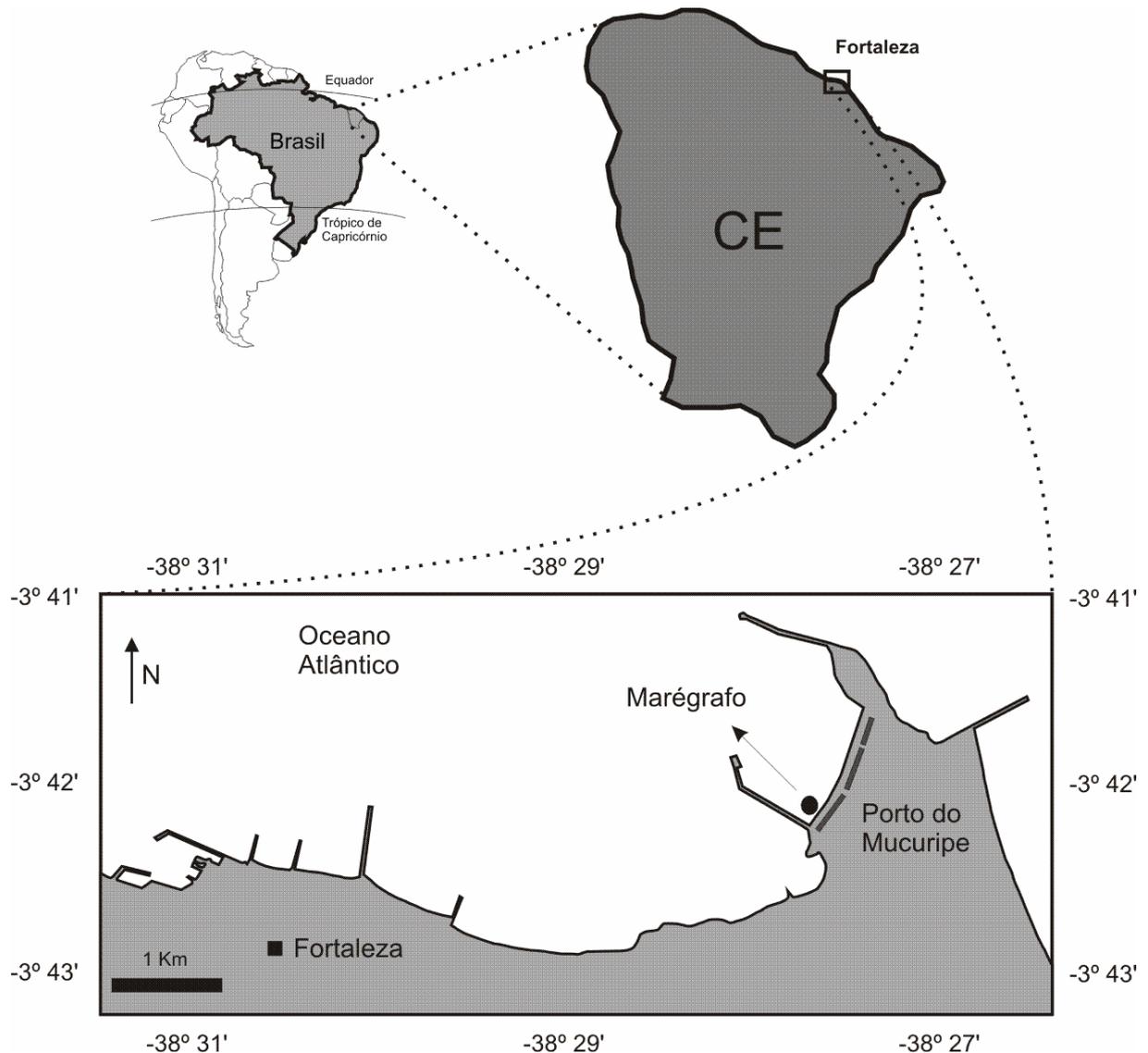
Os dados de nível da água do mar utilizados neste trabalho foram obtidos da Estação Fortaleza da RMPG do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), localizada no Porto do Mucuripe, Fortaleza-CE (Figura 1), com coordenadas aproximadas de 03° 42,9' S; 38° 28,6' W. O sítio da internet que hospeda o registro do marégrafo é <http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/geodesia/default.shtm>. Esses dados foram escolhidos devido a sua facilidade de acesso na internet e por serem digitais, mas o Porto do Mucuripe apresenta dados históricos de nível do mar desde 1955 com o uso de rolos de papel.

O início das operações de coleta de dados pela RMPG no porto se deu em setembro de 2007, com um marégrafo analógico convencional, que faz registros horários. Em abril de 2008 foi adicionado um marégrafo digital (com sensor radar, sensor convencional com encoder e sensor de calibração) que faz medições em intervalos de 5 minutos, e em agosto de 2008 foi incorporado um GPS. A estrutura também conta com régua padrão RMPG e abrigo padrão RMPG com dois poços de tranquilização.

Os arquivos são disponibilizados compactados (formato ZIP) para cada conjunto Estação/Data, contendo as informações do nível d'água coletadas ao longo do dia para cada estação ativa. Os arquivos podem ser visualizados em editores de texto e apresentam três colunas distintas: a primeira registra a data (dd/mm/aaaa), a segunda o horário da coleta (hh:mm:ss) e a última a profundidade. O relatório

descritivo desta estação é disponibilizado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) e informa que apenas as variações do nível devem ser consideradas como informações absolutas, uma vez que os valores publicados para o nível da água baseiam-se em um referencial próprio do IBGE.

**Figura 1 - Mapa com localização da Estação Fortaleza da Rede Maregráfica Permanente para Geodésia/Porto do Mucuripe, Fortaleza - CE.**



**Fonte: o autor**

Foram obtidos dados de nível da água do mar do ano de 2009 para três outras estações maregráficas RMPGs, situadas na plataforma Norte e Sul do país. A primeira, estação Santana com início de operação em junho de 2005, localizada no Porto de Macapá, Santana-AP, com coordenadas aproximadas de 00° 04' S; 51° 10' W; a segunda, estação Salvador com início de operação em dezembro de 2002,

localizada na Capitania dos Portos, Salvador-BA, com coordenadas aproximadas de  $12^{\circ} 58' S$ ;  $38^{\circ} 31' W$ ; e a terceira, estação Imbituba com início de operação em agosto de 2001, localizada no Porto de Imbituba, Imbituba-SC, com coordenadas aproximadas de  $28^{\circ} 14' S$ ;  $48^{\circ} 39' W$ .

Todas as estações seguem as mesmas características de Fortaleza, sendo utilizados os mesmos equipamentos, com mesma frequência para coleta de dados e disponibilizados para download no sítio do IBGE na internet, <http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/geodesia/default.shtm>.

Os dados meteorológicos de direção e velocidade do vento foram obtidos da estação meteorológica situada no Campus do Pici da Universidade Federal do Ceará - UFC, com coordenadas  $03^{\circ} 43' S$  e  $38^{\circ} 33' W$ . A coleta dos dados é realizada três vezes ao dia às 9, 15 e 21 horas.

A estação escolhida apresenta dados de vento pouco modificados ao longo do tempo por se localizar em uma área pertencente à UFC, local que em teoria não está passível de construções verticais. Dados de vento medidos na costa seriam ideais, pois retratariam as condições atuantes sobre o nível do mar para aquele instante. A partir do momento que as medições são realizadas no interior do continente, o vento passa a sofrer influência de fatores externos que agem modificando-o. Não foi possível, porém, utilizar dados da costa devido à ausência de uma estação meteorológica nessa região e em suas adjacências.

### **3.3 Processamento dos Dados**

#### **3.3.1 Tratamento Preliminar**

Os dados utilizados correspondem a níveis da água do mar registrados de janeiro de 2009 a dezembro de 2011, para a estação Fortaleza. Para a análise e interpretação do nível do mar no período citado, houve a necessidade de unir todos os arquivos gerados pelo marégrafo, para que fosse gerada uma matriz regular em ordem cronológica. Os dados utilizados nas estações Santana, Salvador e Imbituba correspondem ao ano de 2009. Após o tratamento prévio, o processamento dos dados foi realizado utilizando rotinas para o software Matlab® 2012a, da MathWorks Inc. ([www.mathworks.com](http://www.mathworks.com)).

Com os dados carregados no software, foi feita uma análise inicial para a eliminação de dados espúrios que porventura tivessem sido registrados pelos instrumentos. A observação dos dados também permitiu retificar qualquer ausência de registros advinda de eventual troca ou manutenção dos equipamentos.

Alguns erros foram corrigidos através da análise harmônica do sinal do nível original, utilizando rotinas do programa T\_TIDE (PAWLOWICZ *et al.*, 2002) em ambiente Matlab®, disponíveis em [http://www2.ocgy.ubc.ca/~rich/#T\\_Tide](http://www2.ocgy.ubc.ca/~rich/#T_Tide). Quando o período sem dados era pequeno, de algumas horas a no máximo um dia, as imperfeições no sinal original foram substituídas pelo sinal harmônico completando a série temporal da maré. Quando a ausência de dados era maior que a do período acima, o valor médio anual do nível foi adicionado.

Os dados da estação meteorológica correspondem a medições do ano de 2009. A direção foi indicada de onde o vento é proveniente, sendo convertida em graus considerando o sentido horário, como segue na tabela 1. Posteriormente os dados foram rotacionados em 53° para que ficassem orientados de forma longitudinal e transversal à linha de costa de Fortaleza.

**Tabela 1 - Conversão dos dados de direção para graus.**

Denominação	Direção
Norte	360°
Sul	180°
Leste	90°
Oeste	270°
Nordeste	45°
Sudeste	135°
Noroeste	315°
Sudoeste	225°
Calmaria	0°

**Fonte: o autor**

Nos dados de velocidade e de direção, foi realizada uma interpolação seguindo o método spline ou curvatura mínima, sendo o grau de polinômio mais utilizado o três, chamado spline cúbico (EMERY & THOMPSON, 1997). O spline não utiliza somente um polinômio de grande ordem para interpolação de toda a matriz de

dados, mas sim divide a série de dados em subconjuntos e utiliza polinômios de pequenas ordens para cada subconjunto. A soma ou junção destes polinômios formará a interpolação sobre o domínio (MAZZINI & SCHETTINI, 2009).

Foi criada uma matriz com os dados de nível do mar da estação Fortaleza e os dados de velocidade e direção do vento da estação meteorológica do Pici.

### **3.3.2 Morfometria e Análise Harmônica**

Primeiramente, os dados de nível do mar pré-processados e corrigidos da estação Fortaleza, amostrados a cada cinco minutos, foram reduzidos para intervalos horários. Posteriormente, foi calculada a morfometria, através do valor absoluto da diferença entre os extremos das baixamares e preamares consecutivas.

A morfometria permitiu analisar a variabilidade entre preamares de marés de sizígia e quadratura consecutivas através da diferença entre ambas. Foi construído também um histograma da morfometria para exibir a frequência das alturas de maré e da faixa de predominância das menores e maiores alturas durante o período de três anos.

Através da análise harmônica, utilizando as rotinas do programa T\_TIDE (PAWLOWICZ *et al.*, 2002), foram obtidos os principais constituintes harmônicos diurnos ( $K_1$  e  $O_1$ ) e semidiurnos ( $M_2$  e  $S_2$ ). Essa avaliação permitiu determinar o número de forma (PUGH, 1987) e caracterizar o regime padrão predominante da maré astronômica na região.

Foi calculado também o número de forma mensal e anual para cada ano do período em estudo. Avaliou-se a anomalia do número de forma para os anos de 2009, 2010 e 2011 da estação Fortaleza através da diferença entre o número de forma mensal e anual. Foi analisada também a influência relativa dos constituintes  $O_1$ ,  $K_1$ ,  $M_2$  e  $S_2$  sobre a anomalia mensal do número de forma.

### **3.3.3 Transformada de Ondeletas**

Inicialmente, realizou-se a filtragem dos dados horários de nível do mar para o ano de 2009 de todas as estações maregráficas, utilizando rotinas do programa FOURFILTR para Matlab® (WALTERS & HESTON, 1982). Este programa é um filtro

espectral passa banda. Foram utilizadas frequências entre 2 e 365 dias. Esse procedimento detectou perturbações meteorológicas de longa duração que agiram sobre os referidos dados, eliminando componentes astronômicos e inerciais. A tendência dos dados de nível filtrados foi retirada.

A velocidade e a direção do vento para o período acima citado foram decompostas em vetores  $u$  (componente longitudinal à linha de costa) e  $v$  (componente transversal à linha de costa) e, posteriormente, foram filtradas utilizando o mesmo procedimento descrito acima. Depois da filtragem, os vetores foram recompostos para velocidade e direção. Com o dado de vento, foi calculada a tensão, representada pela letra grega  $\tau$  ("Tau"). O coeficiente de arrasto utilizado foi de 0,053 L/M, segundo Stech & Lorenzetti (1992). A tendência da tensão também foi retirada.

Na prática os sinais não são estritamente limitados em banda. Isso provoca algum grau de sub-amostragem, causando aliasing (NEWLAND, 1975). Esse efeito pode ser entendido como um sinal falso, ou uma falsa informação, que surge quando a taxa de amostragem é inferior a taxa de Nyquist. Para que o sinal possa ser reproduzido integralmente sem erro de aliasing, a quantidade de amostras por unidade de tempo de um sinal (frequência de amostragem) deve ser maior que o dobro da maior frequência contida no sinal a ser amostrado.

Dessa forma, o período mínimo para as observações é o dobro do intervalo amostrado. Como consequência, a frequência máxima que pode ser observada é a metade do intervalo amostrado chamada frequência de corte ou Nyquist (JENKINS & WATTS, 1968). Esse número corresponde ao limite máximo de frequência do sinal que pode ser reproduzido, ou seja, o mais curto período presente no registro igual a dois intervalos de amostragem.

Após as etapas anteriores, os dados filtrados de nível e do vento foram submetidos à transformada de ondeletas contínua, com o intuito de descrever o comportamento da baixa frequência. O método utilizado foi descrito e adaptado por Grinsted *et al.*(2004), baseado nos trabalhos de Torrence & Combo (1998). Foram utilizadas rotinas modificadas desses autores em ambiente Matlab®, disponíveis em <http://www.pol.ac.uk/home/research/waveletcoherence/>.

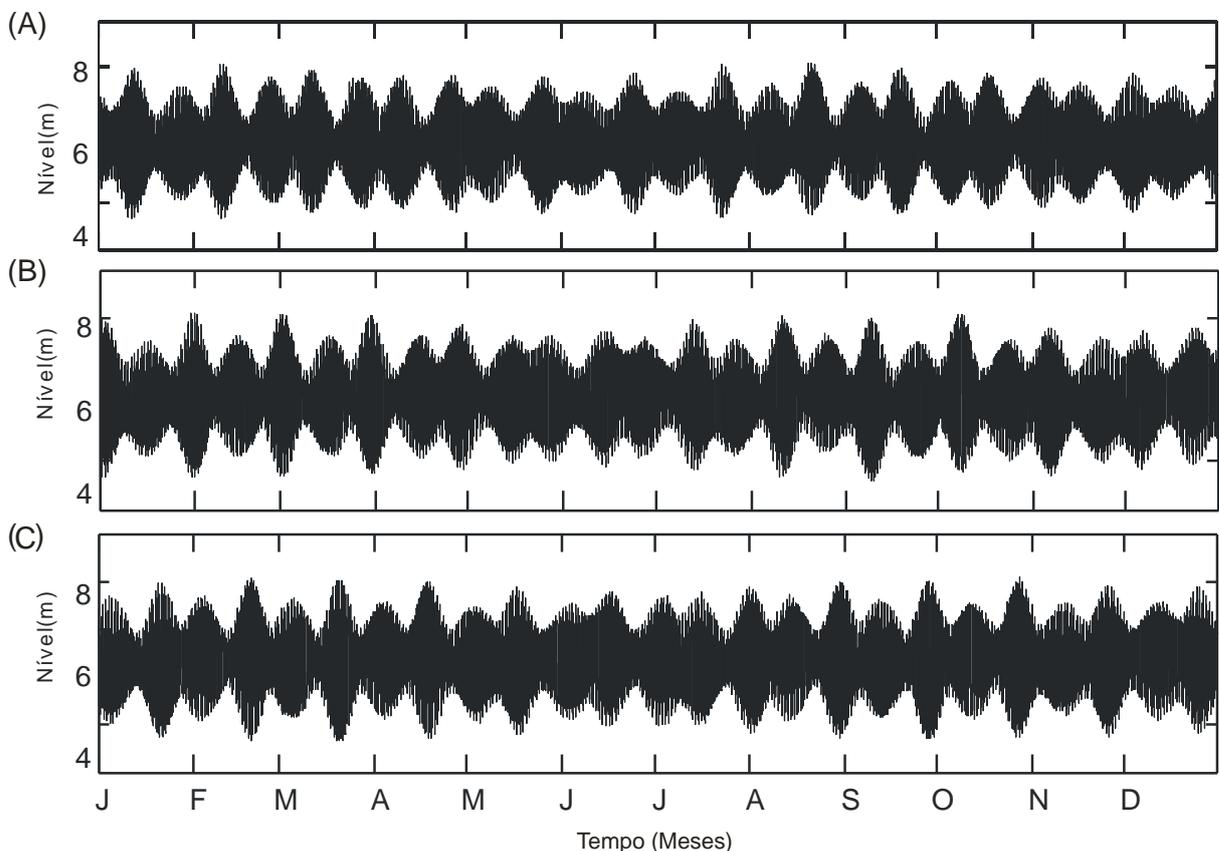
Através da análise de ondeletas, foi possível obter os espectros de potência e coerência para os dados filtrados do nível do mar e da tensão do vento ( $\tau$ ). Esta mesma análise foi aplicada aos dados filtrados de nível das estações maregráficas com o intuito de avaliar ondas de plataforma.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Nível e Morfometria

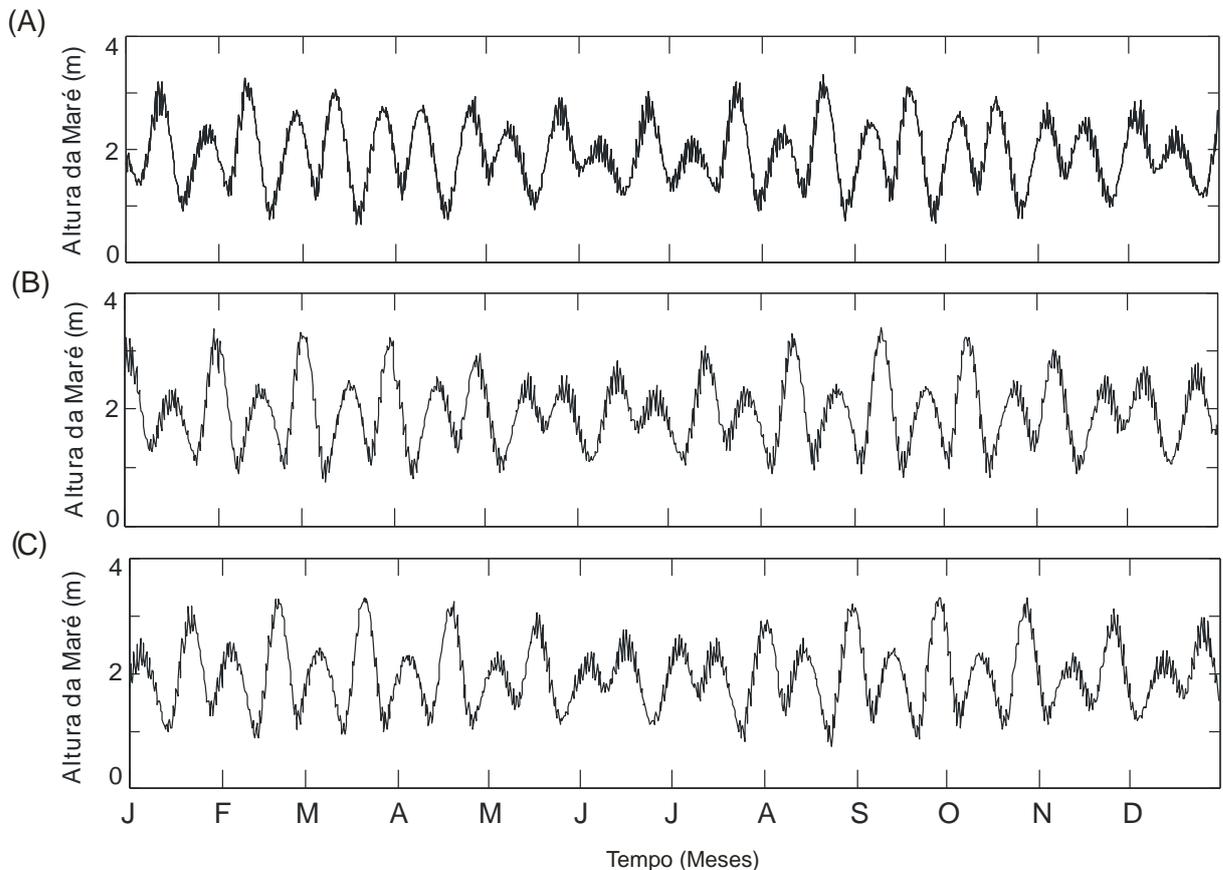
O registro do nível do mar para o período de janeiro de 2009 a dezembro de 2011 está representado na Figura 2, apresentando média igual a 6,33 metros. Através da análise morfométrica (Figura 3), observou-se que as maiores alturas de preamar de sizígia ocorreram durante o período de fevereiro a abril (equinócio de outono), e de agosto a outubro (equinócio de primavera). Os maiores valores alcançados foram 3,3 e 2,8 m em 2009; 3,4 e 3,0 m em 2010; e 3,3 e 3,0 m em 2011. A declinação nula do Sol nesse período, combinada aos períodos de sizígia, provoca as maiores marés do ano, denominadas de marés equinociais de sizígia. Segundo a classificação de Davies (1964), o regime de maré para essa região é caracterizado como de mesomaré, com altura máxima de maré pouco superior a 3 metros.

**Figura 2 - Variação do Nível do Mar, onde (A) representa o ano de 2009, (B) o ano de 2010 e (C) o ano de 2011.**



**Fonte: o autor**

**Figura 3 - Variação Morfométrica da Maré, onde (A) representa o ano de 2009, (B) o ano de 2010 e (C) o ano de 2011.**



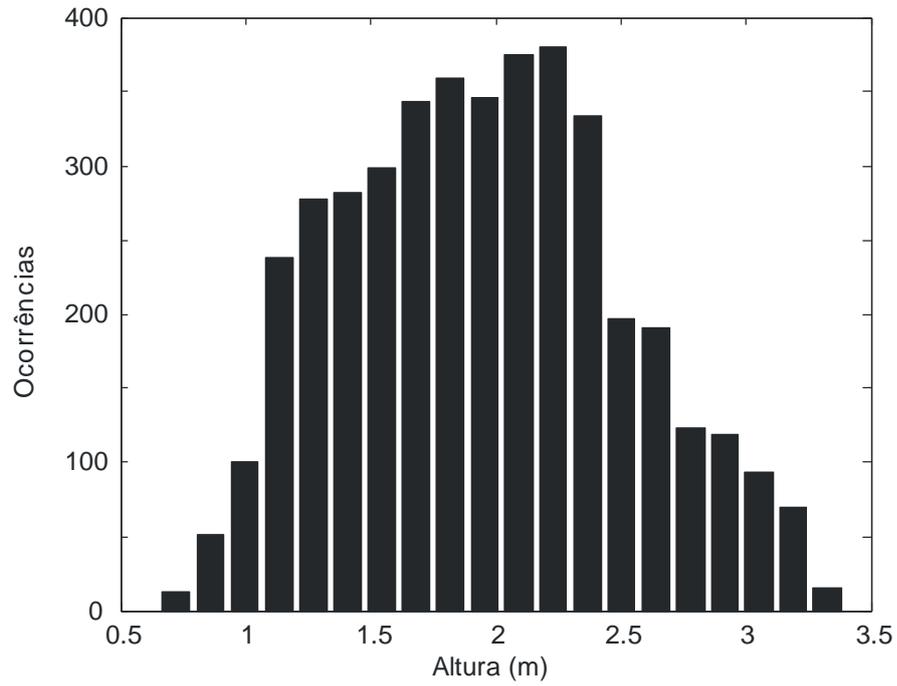
**Fonte: o autor**

A moda de ocorrência de altura para toda a série temporal de morfometria analisada é para a classe entre 1,8 e 2,3 m (Figura 4). A distribuição da altura é assimétrica, com dominância das alturas menores que 2 metros.

Outro aspecto importante da morfometria é a variabilidade da altura da preamar entre quadraturas e sizígias consecutivas, que se aproxima de 1 m dependendo da época do ano. Também ocorreram períodos em que a variabilidade se apresentou quase nula (em abril e novembro de 2009; em junho e dezembro de 2010; e em julho de 2011), como pode ser observado na Figura 5.

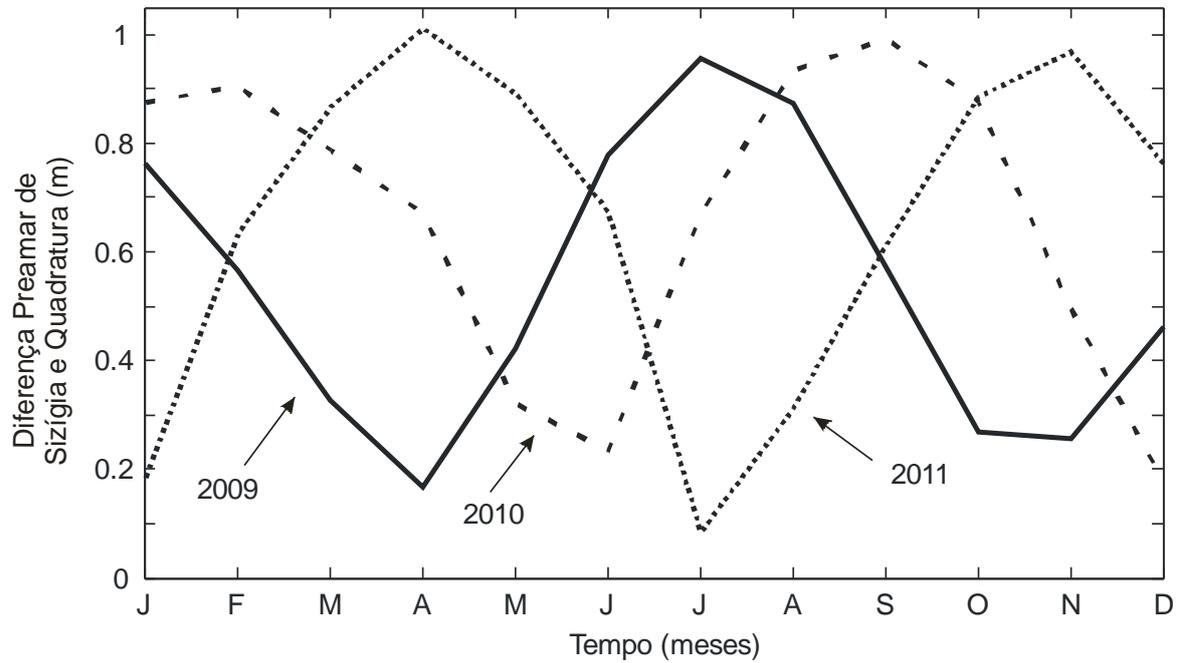
A tabela 2 apresenta uma análise estatística da morfometria, para todos os anos. Ela mostra o valor da altura média, a altura máxima da maré de sizígia e o valor mínimo da altura da maré de quadratura, durante o período analisado.

Figura 4 - Número de ocorrências das alturas de maré entre 2009 e 2011.



Fonte: o autor

Figura 5 - Variabilidade da altura da preamar entre quadraturas e sizígias consecutivas.



Fonte: o autor

**Tabela 2 - Parâmetros descritivos observados da maré astronômica para a costa cearense.**

Parâmetro	Valores (m)
Altura Média	1,95
Altura de Sizígia	3,39
Altura de Quadratura	0,66

Fonte: o autor

#### 4.2 Análise Harmônica

O resultado da análise harmônica para cada ano analisado apresentou um total de 59 harmônicos, sendo os mais significantes, em termos de amplitude, apresentados na Tabela 3. A variabilidade total dos dados de elevação do nível é explicada em 99,7% pela maré.

**Tabela 3 - Principais constituintes Harmônicos em termos de amplitude.**

Harmônicos de Maré	2009		2010		2011	
	Amplitude (m)	Fase (°)	Amplitude (m)	Fase (°)	Amplitude (m)	Fase (°)
O <sub>1</sub>	0,07	181,22	0,07	082.54	0,07	181,27
K <sub>1</sub>	0,07	221,55	0,07	218.45	0,07	219,62
Q <sub>1</sub>	0,01	153,49	0,01	145.21	0,01	140,49
P <sub>1</sub>	0,02	213,41	0,02	215.36	0,02	214,87
M <sub>2</sub>	0,95	131.03	0,96	030.80	0,94	131,34
MU <sub>2</sub>	0,03	106,10	0,04	105.42	0,04	104,30
S <sub>2</sub>	0,31	150.90	0,31	152.10	0,31	151,64
N <sub>2</sub>	0,20	117,38	0,20	118,24	0,20	117,52
2N <sub>2</sub>	0,03	105,11	0,03	104,84	0,03	107,15
NU <sub>2</sub>	0,03	116,93	0,03	117.10	0,04	120,95
K <sub>2</sub>	0,08	147,39	0,08	147.51	0,08	146,86

Fonte: o autor

Com base nessas informações de amplitude, foi possível calcular alguns parâmetros descritores da maré astronômica como: o número de forma (Equação 1),

a altura média da maré (Equação 2), a altura máxima da sizígia (Equação 3) e a altura mínima de quadratura (Equação 4).

$$\text{Número de Forma} = (K_1 + O_1) / (M_2 + S_2) \quad (1)$$

$$\text{Altura Média} = 2,2 (M_2) \quad (2)$$

$$\text{Altura Sizígia} = 2,0 (M_2 + S_2) \quad (3)$$

$$\text{Altura Quadratura} = 2,0 (M_2 - S_2) \quad (4)$$

Onde,  $O_1$  é a maré principal diurna lunar;  $K_1$  a maré principal diurna solar;  $M_2$  a maré principal semi-diurna lunar; e  $S_2$  a maré principal semi-diurna solar.

Os valores do número de forma (NF) determinam quatro tipos de regime de marés astronômicos: semidiurno puro ( $NF < 0,25$ ), misto com desigualdades semidiurnas ( $0,25 < NF < 1,5$ ), misto com desigualdades diurnas ( $1,5 < NF < 3$ ) e diurno puro ( $NF > 3$ ). O número de forma médio encontrado foi de 0,11, caracterizando o regime de maré no Porto do Mucuripe como semidiurno puro.

Os demais parâmetros citados nas equações anteriores seguem na tabela 4.

**Tabela 4 - Parâmetros descritivos calculados da maré astronômica para a costa cearense.**

Parâmetro	Valores (m)
Altura Média	2,07
Altura de Sizígia	2,52
Altura de Quadratura	1,28

**Fonte: o autor**

Ao comparar os parâmetros observados na morfometria (Tabela 2) e os calculados pela análise harmônica (Tabela 4), observou-se que houve uma diferença significativa na altura máxima da sizígia e na altura mínima da quadratura. Os valores são 25% menores e 93% maiores, respectivamente, do que os valores observados. Os parâmetros calculados seriam melhor expressos caso a componente  $N_2$  fosse incorporada às fórmulas. Isto ocorre devido à grande amplitude dessa constituinte como pôde ser observado na tabela 3. Nesse caso as equações 3 e 4 seriam modificadas para as equações 5 e 6 descritas abaixo:

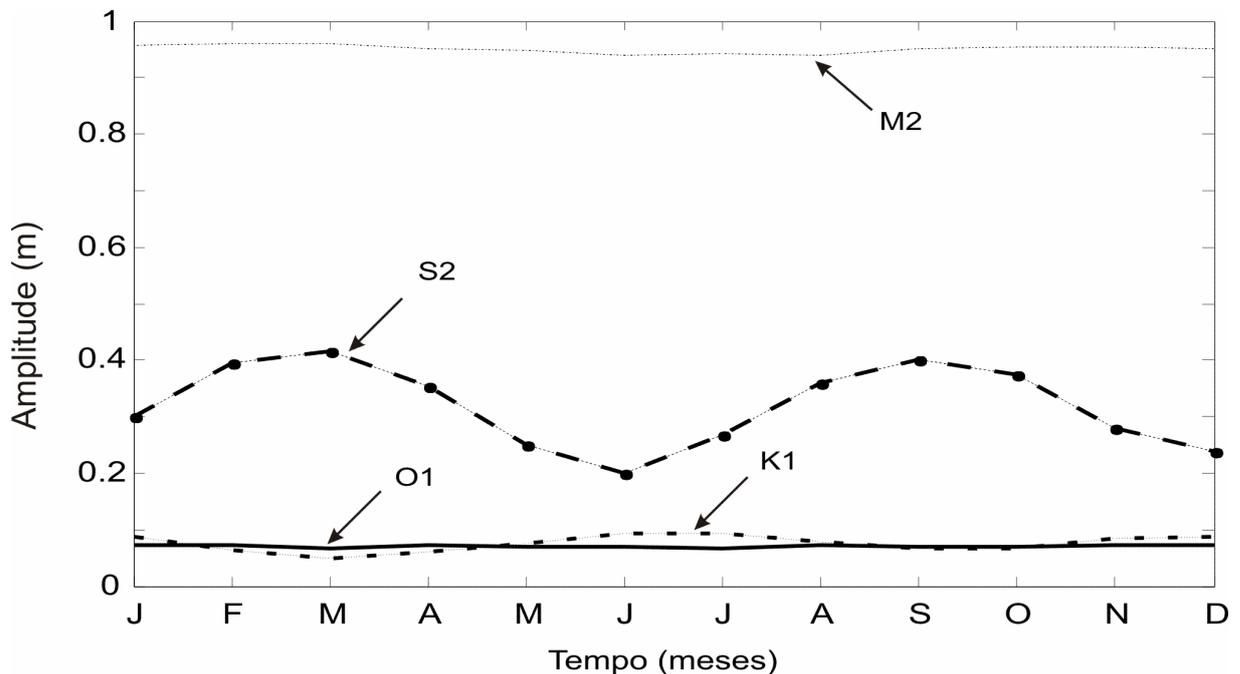
$$\text{Altura Sizígia} = 2,0 (M_2 + S_2 + N_2) \quad (5)$$

$$\text{Altura Quadratura} = 2,0 (M_2 - (S_2 + N_2)) \quad (6)$$

Aplicando as novas equações temos que o valor da nova altura máxima de sizígia calculada é de 2,92 m (13% menor que a observada) e a nova altura de quadratura é de 0,88 m (33% maior que a observada).

Analisando as amplitudes de  $K_1$ ,  $O_1$ ,  $M_2$  e  $S_2$  apresentadas na Figura 6, observa-se que a maior variação com o tempo é a da constituinte semidiurna solar  $S_2$ , com 0,22 m. O componente diurno solar  $K_1$  apresenta o segundo maior valor, com flutuação máxima pouco superior a 0,04 m. A variação de  $S_2$  é significativa, pois a altura média no Porto do Mucuripe é de 1,95 m. Esta constituinte é, portanto, responsável por uma variação de até 11% do valor médio da altura da maré em Fortaleza.

**Figura 6 - Variação mensal das constituintes  $O_1$ ,  $K_1$ ,  $M_2$  e  $S_2$ .**

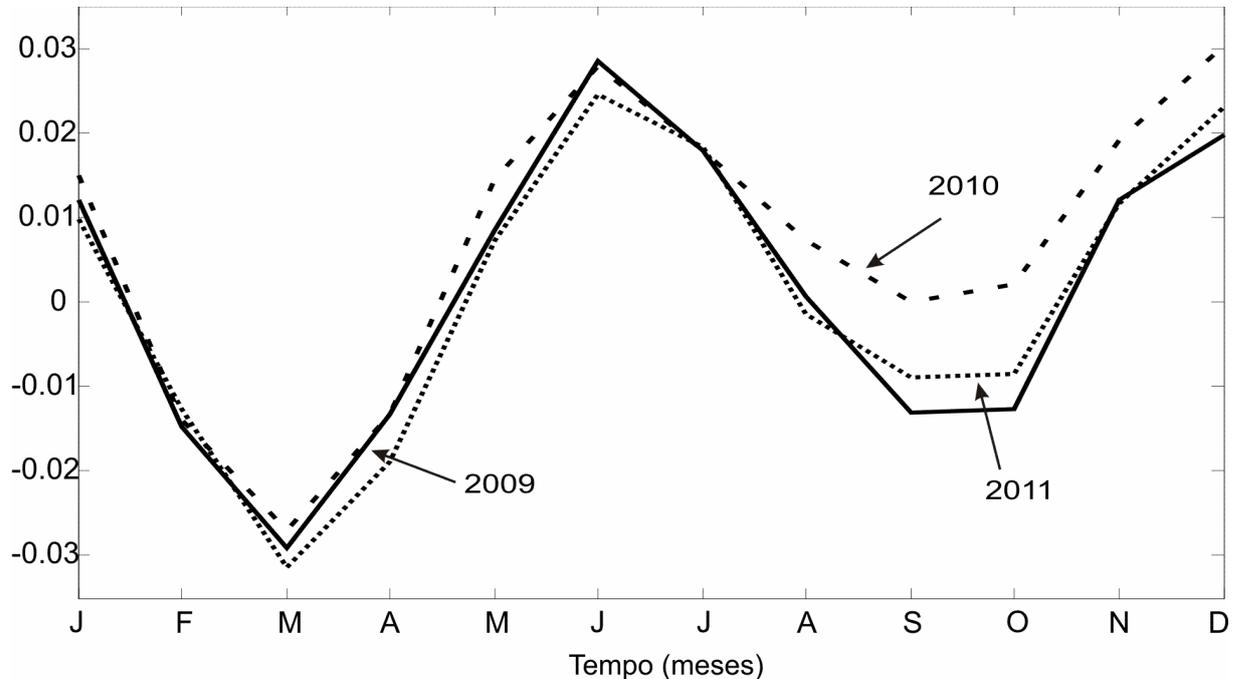


Fonte: o autor

A anomalia do número de forma mensal (Figura 7) apresentou valores negativos em março e setembro (-0,03 e -0,01 em 2009; -0,03 e 0 em 2010; e -0,03 e -0,09 em 2011) para todos os anos, indicando uma maior influência da componente semi-diurna  $S_2$ . Os máximos positivos foram registrados em junho e

dezembro (0,03 e 0,02 em 2009; 0,03 e 0,03 em 2010; e 0,02 e 0,02 em 2011), caracterizando um enfraquecimento da componente semi-diurna  $S_2$ , que determina a variabilidade do número de forma.

**Figura 7 - Anomalia Mensal do Número de Forma**



Fonte: o autor

### 4.3 Transformada em Ondeletras

As análises foram realizadas utilizando-se a ondeleta de Morlet. Em geral, os espectros de potência e coerência identificam os períodos associados à maior energia da série. Estes gráficos foram gerados pelas rotinas descritas e adaptadas por Grinsted *et al.*(2004), baseado nos trabalhos de Torrence & Compo (1998). Neles, o eixo x é a escala temporal, e o eixo y são os períodos presentes na série. A linha preta contínua no gráfico é chamada de cone de influência e os períodos fora deste cone devem ser descartados, uma vez que não possuem confiança estatística. A barra de cores ao lado indica a energia associada a cada período da série, enquanto os níveis de significância de 5% são representados pelas linhas pretas. Este valor de significância representa 95% de confiança estatística. Os ângulos de fase entre duas séries temporais são representados pelas flechas, que indicam se as

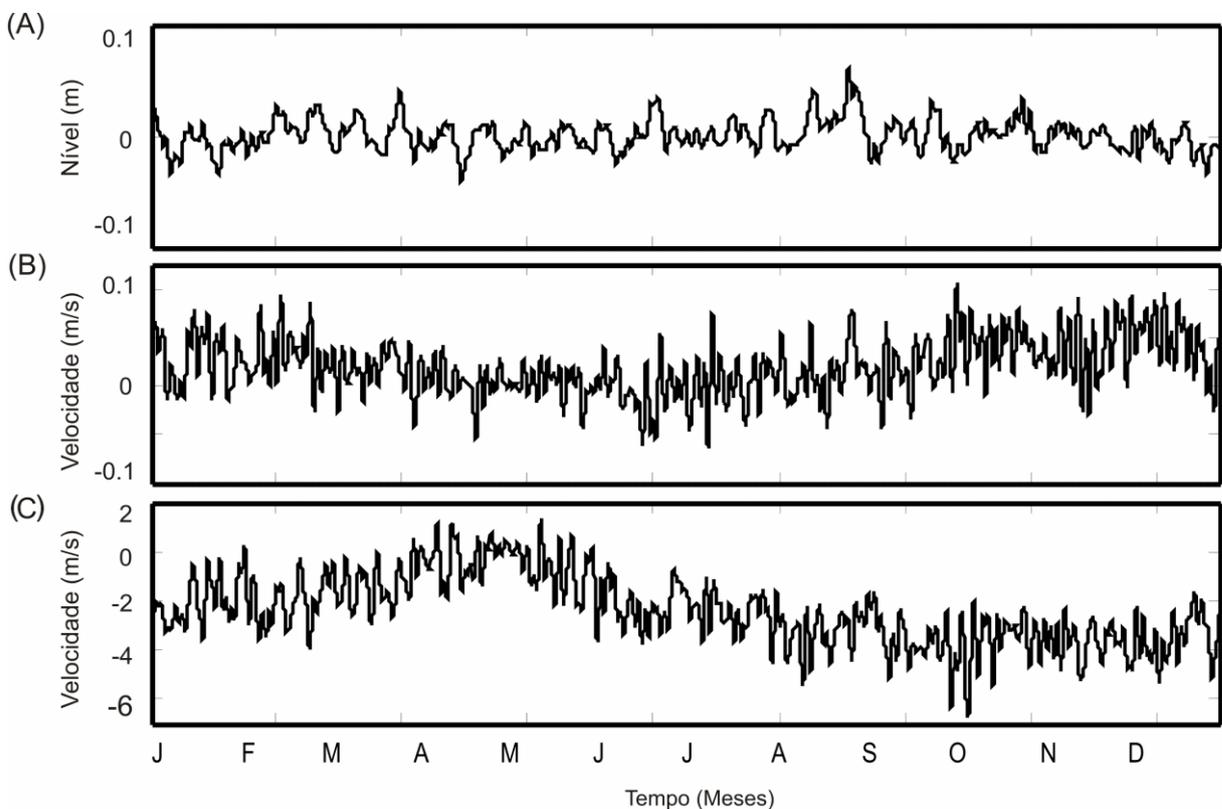
séries temporais estão em fase ou em oposição de fase, e se uma série está avançada ou defasada em relação a outra.

O espectro de coerência é definido como o valor absoluto do espectro cruzado alisado ao quadrado, normalizado pelo espectro das ondeletas alisado. Segundo Torrence & Webster (1999), utilizando esta definição, o intervalo de coerência assume valores entre 0 e 1. O nível de significância estatística do espectro de coerência foi estimado usando o método de Monte Carlo. Utilizando o espectro de coerência, pode-se observar regiões de maior covariabilidade, diferentemente da ondeleta cruzada, que revela regiões comuns de maior energia entre duas séries (TRUCCOLO, 2009).

#### 4.3.1 Espectro de Potência e de Coerência

Os gráficos das séries temporais filtradas de nível do mar em Fortaleza e das componentes paralela e transversal do vento estão representados na figura 8.

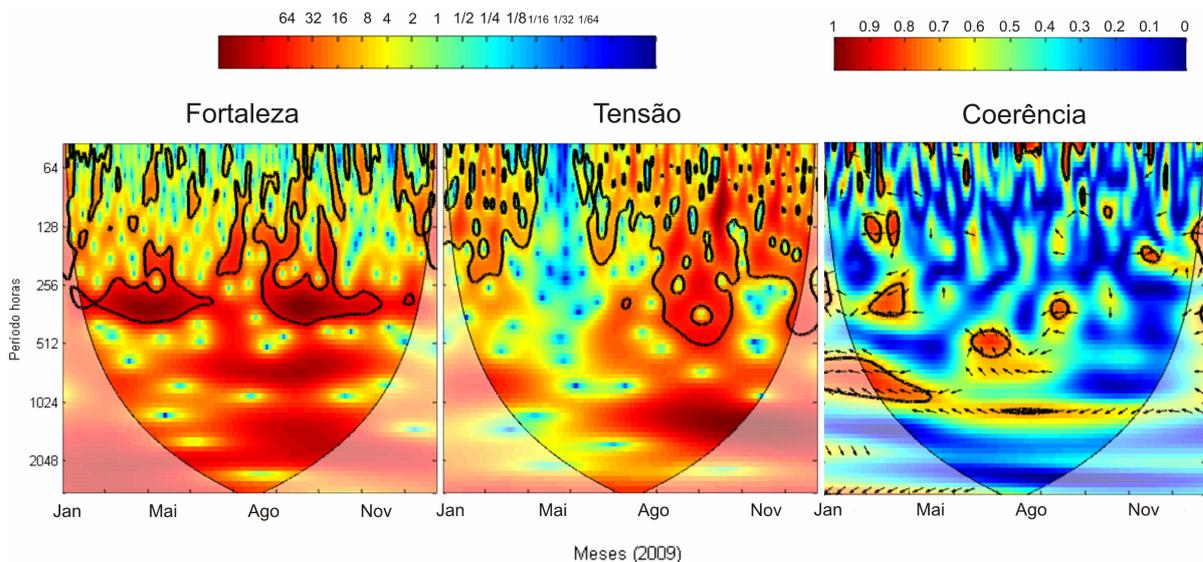
**Figura 8 - Representação das séries temporais filtradas. Onde (A) é o nível em Fortaleza; (B) a componente do vento longitudinal à linha de costa; e (C) a componente transversal à linha de costa.**



**Fonte: o autor**

O espectro de potência e de coerência para as séries temporais filtradas de nível do mar e de tensão superficial do vento seguem representados na Figura 9. O espectro de potência do nível apresenta energia elevada quase que contínua durante o ano entre 256 e 350 horas. A tensão apresenta energia significativa entre agosto e novembro, entre 256 e 350 horas. O espectro de coerência aponta uma alta coerência de 0,6 a 0,8, para um período inicial e central da série temporal entre 256 e 512 horas, nos meses de março, junho e setembro. As flechas com direção noroeste e oeste no gráfico indicam que o nível está avançado em relação ao vento local, ou seja, as séries temporais estão fora de fase.

**Figura 9 - Espectros de potência e coerência das séries temporais filtradas de nível do mar e da tensão superficial do vento. As flechas representam a diferença de fase entre as séries. A variância segue na barra de cores. O cone de influência está representado na região hachurada, e o nível de significância de 5 %, corresponde aos contornos de linha preta.**



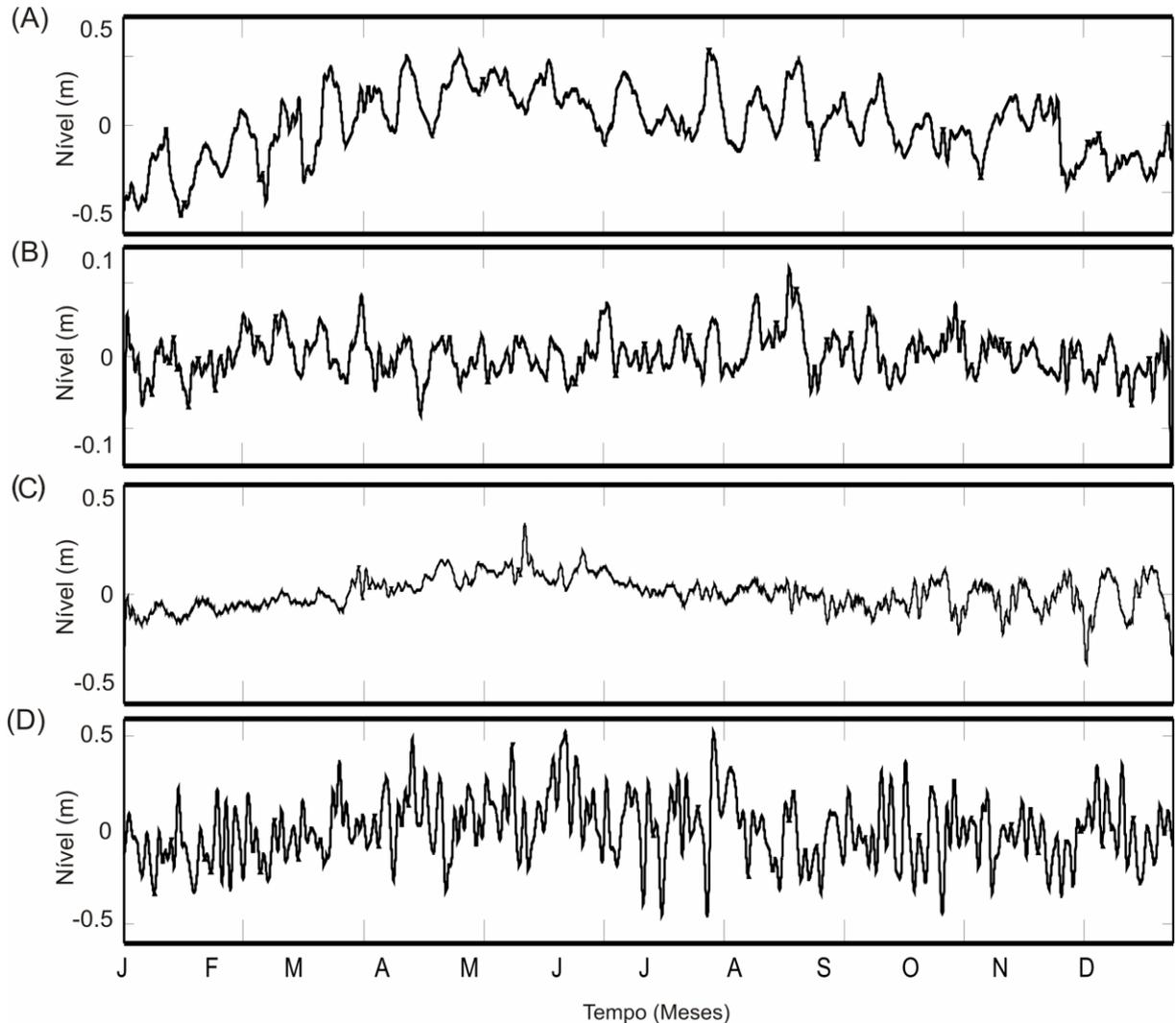
**Fonte: o autor**

A análise do gráfico indica que não existe uma relação física entre o vento local e o nível, podendo as oscilações do nível do mar em baixa frequência estar relacionadas a processos atmosféricos que ocorreram longe do local analisado. As oscilações do nível do mar podem estar relacionadas a efeitos remotos da tensão do vento que estejam acontecendo para além da costa cearense.

Os sinais filtrados de nível do mar das estações maregráficas de Santana (SAN), Fortaleza (FOR), Salvador (SAL) e Imbituba (IMB), seguem na figura 10.

Para estes dados foi aplicada a análise de ondas (figura 11). Os espectros de potência de SAN, FOR e IMB apresentam regiões de alta significância e concentração de energia na faixa entre 256 e 350 horas, já a estação SAL apresenta alto nível de significância apenas de outubro a dezembro.

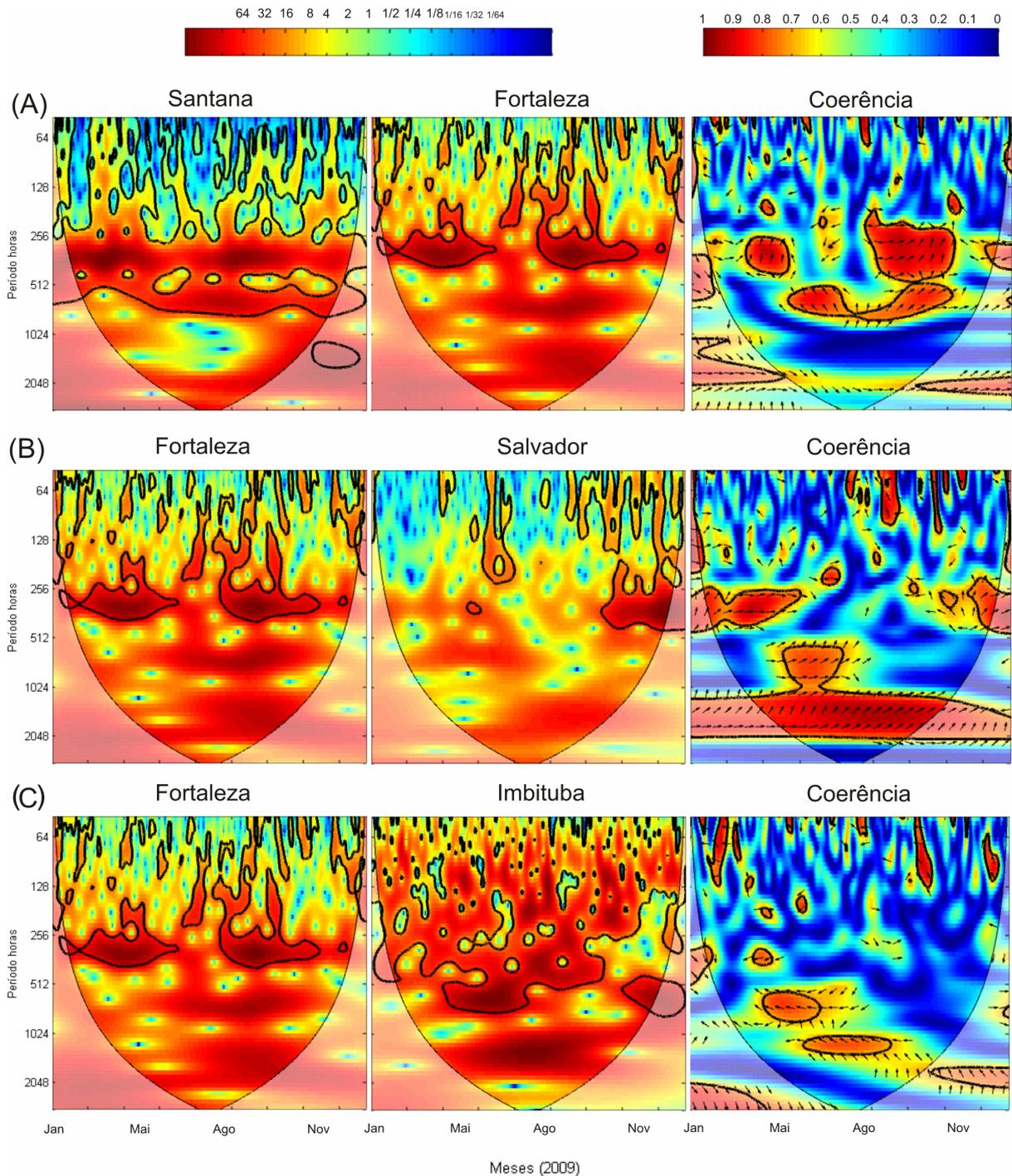
**Figura 10 - Representação das séries temporais filtradas das estações maregráficas. Onde (A) é o nível em Santana (A); (B) o nível em Fortaleza; (C) o nível em Salvador; e (D) o nível em Imbituba.**



**Fonte: o autor**

Os espectros de coerência mostraram que apenas as estações SAN-FOR apresentaram correlação na faixa entre 256 e 350 horas. Entre os meses de maio e junho as séries se encontraram defasadas em  $90^\circ$ . Já entre agosto e novembro durante a primeira metade do tempo elas se encontraram em fase e durante a segunda metade defasadas em  $90^\circ$ .

**Figura 11 - Espectro de potência e coerência das séries temporais filtradas do nível do mar de SAN-FOR (A), FOR-SAL (B) e FOR-IMB (C). As flechas representam a diferença de fase entre as séries. A variância segue na barra de cores. O cone de influência está representado na região hachurada, e o nível de significância de 5 %, corresponde aos contornos de linha preta.**



**Fonte: o autor**

A estação FOR-SAL apresentou correlação estatística na faixa entre 256 e 350 horas, contudo as regiões de concentração de energia que apareceram no

espectro de coerência não apresentam sentido físico. Isto ocorre devido à ausência de uma significância no espectro de potência da estação Salvador. A estação FOR-IMB apresentou apenas uma estreita correlação fora de fase durante alguns dias de abril, mas durante o restante do ano não houve correlação na faixa entre 256 e 350 horas. Eventos, como ondas de plataforma, que agem modificando o nível na costa de Imbituba e de Salvador, não chegam a Fortaleza.

## 5. CONCLUSÕES

As alturas das marés alcançaram valores máximos nos períodos de equinócio, e mínimos nos períodos de solstício. Existe também uma variabilidade considerável entre as alturas das quadraturas e das sizígias consecutivas, que podem alcançar diferenças superiores a meio metro.

O regime de maré é semi-diurno puro, com número de forma anual de 0,11. Das principais constituintes harmônicas, a  $S_2$  foi a que apresentou maior variação anual, de 0,22 m, sendo responsável por uma variação de até 11% do valor médio da altura da maré na costa cearense.

A anomalia do número de forma é determinada pela oscilação da constituinte harmônica  $S_2$ . Os valores negativos foram encontrados em março e setembro para todos os anos, indicando uma maior intensidade do constituinte semi-diurno solar  $S_2$  nesse período. Os máximos positivos foram registrados em junho e dezembro, quando houve uma diminuição da amplitude da componente  $S_2$ .

O vento local não está relacionado com as oscilações do nível do mar. Estas oscilações podem estar relacionadas a efeitos remotos da tensão do vento.

Através da observação das estações FOR-SAL e FOR-IMB, pode-se afirmar que possíveis ondas de plataforma formadas no extremo sul do país não se propagaram para a plataforma continental norte do nordeste no ano de 2009. Fortaleza e Santana apresentaram processos em comum que agiram modificando o nível do mar em suas costas.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CHUANG, W. S.; WISEMAN Jr., W. J. Coastal Sea level Response to Frontal Passages on the Louisiana-Texas Shelf. **Journal of Geophysical Research**. vol. 88, NO. C4 pp. 2615-2620, March 20, 1983.
- DAVIES, J. L. A morphogenic approach to world shorelines, **Zeitschrift für Geomorphology**, 8, Mortensen Sonderheft, pp. 127-142, 1964.
- EMERY, W.; THOMSON, R. **Data Analysis in Physical Oceanography**. Pergamon Press, New York, 634p. 1997.
- GILL, A. E. Atmosphere-Ocean Dynamics. **International Geophysics Series**. v. 30, London, Academic Press, 662pp. 1982.
- GODIN, G. **The Analysis of Tides**. Univ. Toronto Press. Buffalo, pp.264. 1972
- GODIN, G., GUTIERREZ, G. Non-linear Effects in the Tide of the Bay of Fundy. **Continental Shelf Research**. v. 5, n. 3, pp. 379-402. 1986.
- GODIN, G., MARTINEZ, A. Numerical Experiments to Investigate the Effects of Quadratic Friction on the Propagation of Tides in a Channel. **Continental Shelf Research**. v. 14, n. 7/8, pp. 723-748. 1994.
- GRINSTED, A.; MOORE, J.C.; JEVREJEVA, S. Application of the cross wavelet transform and wavelet coherence to geophysical time series. **Nonlinear Processes in Geophysics**. 11:561 - 566. 2004.
- JENKINS, G. M. and WATTS, D. G.. **Spectral Analysis and its Applications**, Holden-Day, San Francisco, Califórnia, p.525, 1968.
- JEVREJEVA, S.; MOORE, J. C.; GRINSTED, A. Influence of the Arctic Oscillation and El Nino-Southern Oscillation (ENSO) on ice conditions on the Baltic Sea: The wavelet approach. **Journ. Of Geophysical Res.** 108(D21), 4677, doi: 10.1029/2003JD003417. 2003.

KUMAR, P.; E. FOUFOULA-GEORGIOU. A multicomponent self-similar characterization of rainfall fluctuations. **Environmental Studies**. M. Wheeler et al (eds.). Springer-Verlag, N.Y. pp. 239-254. 1995.

LePROVOST, C., ROUGIER, G., PONCET, A. Numerical Modeling of the Harmonic Constituents of the Tides with Application to the English Channel. **Journal of Physical Oceanography**, v. 11, pp. 1123-1138. 1981

MAZZINI, P.L.F; SCHETTINI, C.A.F. Avaliação de metodologias de interpolação espacial aplicadas a dados hidrográficos costeiros quase-sinóticos. **Brazilian Journal of Aquatic Science na Technology**, 13:53-64. 2009.

MISITI, M. et al. **Ondaleta toolbox**: for use with Matlab. The Math Works, Inc. 1997. Disponível em: <http://www.mathworks.com>. Acesso em: 9 set. 2012.

NEWLAND, D.E. **Random Vibration and Spectral Analysis**, Longman Group Limited, New York, p.285,1975.

PAWLOWICZ, R., BEARDSLEY, B., LENTZ, S. Classical Tidal Harmonic Analysis including Error Estimates in MATLAB using T\_TIDE. **Computers & Geosciences**. v.28, pp.929-937. 2002.

POND, S.; PICKARD, G. L. **Introductory Dynamical Oceanography**. 2nd ed. Oxford: Pergamum Press, 329pp, pp.103. 1983.

PUGH, D.T. **Tides, surges and mean sea level**. Swindon, UK, John Wiley & Sons. 1987.

\_\_\_\_\_. **Changing sea levels**. Effects of tides, weather and climate, Cambridge University Press, 280pp. 2004.

SANDSTROM, H. On the Wind-induced sea level changes on the Scotian Shelf. **J. Geophys.** 85, pp. 461-468. 1980.

SCHETTINI, C. A; MAIA, L. P.; TRUCCOLO. E. L. Análise da variabilidade do nível da água na costa de Fortaleza, Ceará. **Arquivo de Ciências do Mar**, v. 44(1), pp. 27-32. 2011.

- STECH, J.L.; LORENZETTI, J.A. The response of South Brazil Bight to the passage of wintertime cold fronts. **J. Geophys. Res.**, 97:9507-9520, 1992.
- TORRENCE, C; COMPO, G. P. A practical guide to wavelet analysis. **Bulletin of the American Meteorological Society**. 79(1):61-78, 1998.
- TORRENCE, C; WEBSTER, P. J. Interdecadal changes in the ENSO-Monsoon system. **Jour. of Climate**. 12:2679-2680, 1999.
- TRUCCOLO, E.C. Hidrodinâmica em Frequência Mareal e Sub-Mareal do Estuário do Rio Itajaíba-Açu. Tese de Doutorado. **IGEO/UFRGS**. 180 p. Porto Alegre. 2009.
- TRUCCOLO, E.C.; FRANCO, D. Marés meteorológicas e a tensão do vento local em São Francisco do Sul, SC. In: XI SEMANA NACIONAL DE OCEANOGRAFIA, 1998, Rio Grande. **Resumos expandidos. Anais... FURG**. 1998.
- TUREKIAN, K. **Oceano**. São Paulo: Editora Edgard Blücher Ltda, 151pp, pp. 107-112. 1969.
- WALTERS, R. A.; HESTON, C. Removing the tidal-period variations from time-series data using low-pass digital filters. **Journal of Physical Oceanography**, 12 112-115. 1982.
- WANG, B. P. Low frequency sea level variability on the Middle Atlantic. Bight. **Journal of Marine Research**. v. 37, pp. 683-697. 1979.
- WESTERNIK, J. J.; STOLZENBACH, K.D.; CONNOR, J. J. General Spectral Computations of the Non-linear Shallow Water Tidal Interactions within the Bight of Abaco. **Journal of Physical Oceanography**. v. 19, pp. 1348-1371. 1989.