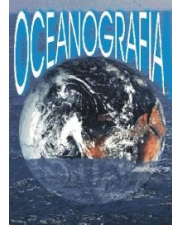




Universidade Federal do Pará



Faculdade de Oceanografia



Instituto de Geociências

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

JOSÉ OTÁVIO RODRIGUES DAS CHAGAS JÚNIOR

ESTUDO DAS ONDAS GERADAS POR EMBARCAÇÃO NO RIO GUAMÁ
PRÓXIMO A BELÉM-PA

GEOCIÊNCIAS
U F P A

BELÉM – PA

2012

JOSÉ OTÁVIO RODRIGUES DAS CHAGAS JÚNIOR

ESTUDO DAS ONDAS GERADAS POR EMBARCAÇÃO NO RIO GUAMÁ
PRÓXIMO À BELÉM-PA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade de Oceanografia da Universidade Federal do Pará – UFPA, em cumprimento às exigências para obtenção do grau de Bacharel em Oceanografia.

Orientador: Prof. Dr. Marcelo Rollnic.

Belém - PA
2012

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)
Biblioteca Geólogo Raimundo Montenegro Garcia de Montalvão

C433e Chagas Júnior, José Otávio Rodrigues da
Estudo das ondas geradas por embarcação no rio Guamá próximo à Belém-PA / José Otávio Rodrigues das Chagas Júnior; Orientador: Marcelo Rollnic – 2012
44 f. : il.
Trabalho de Conclusão de Curso (graduação em oceanografia) – Universidade Federal do Pará, Instituto de Geociências, Faculdade de Oceanografia, Belém, 2012.

1. Navegação. 2. Ondas. 3. Erosão. 4. Belém-PA. I. Rollnic, Marcelo, *orient.* II. Universidade Federal do Pará. IV. Título.

CDD 22^a ed.: 623.89098115

JOSÉ OTÁVIO RODRIGUES DAS CHAGAS JÚNIOR

ESTUDO DAS ONDAS GERADAS POR EMBARCAÇÃO NO RIO GUAMÁ PRÓXIMO À BELÉM-PA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade de Oceanografia da Universidade Federal do Pará – UFPA, em cumprimento às exigências para obtenção do grau de Bacharel em Oceanografia.

Data de aprovação: ____/____/____

Conceito: _____

Banca examinadora:

Prof. Dr. Marcelo Rollnic – Orientador
Doutor em Oceanografia
Universidade Federal do Pará

Prof. Dr. Maâmar El-Robrini
Doutor em Geologia Marinha
Universidade Federal do Pará

M.Sc. Renan Peixoto Rosário
Mestre em Oceanografia
Universidade Federal do Pará

À minha família.

AGRADECIMENTOS

Antes de tudo, a Deus, por ter me guiado pelos melhores caminhos, onde conheci as pessoas que citarei em seguida:

Aos meus pais José Otávio e Carmen, nesse caso, por me todo o apoio necessário aos meus estudos.

Ao meu irmão, por me dá momentos de alegria.

Aos meus tios Ari e Iolene e seus filhos, por me darem suporte nos anos que morei com eles.

Ao Prof. Marcelo Rollnic pela disponibilidade e incentivo à minha pesquisa.

À Thaís Angélica e Yuri Prestes pela grande ajuda em campo.

Aos meus irmãos de curso, Marcus Vinícius, Paulo Victor, Kleper, Jordana, Fabio W. e Davi por estarem sempre dispostos a cooperar de diversas formas.

À turma de oceano de 2008, por me receberem bem.

À minha amiga Sarah pelas boas risadas e ajuda.

Ao Prof. Dr. Mãamar El-Robrini e ao M.Sc. Renan Peixoto por aceitar compor a banca do meu TCC.

RESUMO

O volume de embarcações trafegando nos ambientes aquáticos vem ocasionando problemas para as margens dos mesmos, particularmente em canais estreitos. O transporte hidroviário está em crescente valorização no Brasil, porém, estudos que abordem a temática dos efeitos negativos das ondas geradas por embarcação (OGE) são incipientes. Observou-se que há um elevado tráfego de embarcações atraído por bares e restaurantes e para prática de navegação de recreio nas proximidades de Belém – PA. O presente trabalho analisa as OGE quanto suas alturas, energias e potências. Foram realizados dois experimentos em locais diferentes, canal do Combú e na margem da orla da UFPA. No experimento 1, utilizou-se dois sensores de pressão, um em cada margem submersa. Os trens de OGE detectados foram associados a quatro tipos de embarcação: barco com motor de centro (BMC), rabeta (RAB), jet ski (JS) e lancha (LAN). No experimento 2, os sensores distribuíram-se em diferentes profundidades de uma margem. Considerou-se um trem de ondas gerado por uma lancha. Quantificou-se as alturas, energias e potências da maior onda de cada trem de OGE para uma embarcação dos quatro tipos citados. A ordem crescente de energia e potência das maiores OGE relacionada aos tipos de embarcação, para as extensões 30m do experimento 1 é: BMC < JS < RAB < LAN. Para a extensão de 50m do experimento 2, os sensores de pressão mediram alturas diferentes, sendo que na região mais rasa, as alturas foram maiores, assim como os valores de energia e potência. As ondas geradas por lanchas são mais altas, logo mais energéticas e potentes dentro do esperado. Já o barco com motor de centro obteve os menores valores desses parâmetros. Quanto à erosão, a presença de vegetação não é suficiente para o controlá-la, pois as causas principais são fatores geológico-hidrodinâmicos. Concluiu-se que os valores do parâmetro *número de Froude* para ambientes com correntes como o rio Guamá devem ser corrigidos com aparelhos com rotores ou ADCP. Devem fazer estudos a respeito da problemática das OGE em conjunto com outros trabalhos sobre a agressão de ondas sob a margem e transporte resultante de sedimento.

Palavras-chave: Navegação. Ondas. Erosão. Belém-PA.

ABSTRACT

The volume of vessels traveling in aquatic environments has caused problems to the margins of the same, particularly in narrow channels. The water transportation is growing appreciation in Brazil, however, studies that address the theme of the negative effects of the waves boat-generated (OGE) are incipient. It was observed that there is a high boat traffic attracted to bars and restaurants and to practice boating near Belem - PA. This paper analyzes the waves as their heights, energies and powers. Two experiments were conducted in different location, Combu channel and margin the edge of the UFPA. In experiment 1, it was used two pressure sensors, one on each bank submerged. Trains from OGE detected were associated with four types of boat: boat with center motor (BMC), rabeta (RAB), jet ski (JS) and speed boat (LAN). In experiment 2, the sensors are distributed in different depths of a margin. It was considered a train of waves speed boat-generated. It was quantified the heights, energies and powers of the greatest waves of each train of waves for boat of four types cited. The order of increasing energy and power of the biggest waves related to the types of boat, for 30m the extension of the experiment 1: $BMC < JS < RAB < LAN$. To the extension of 50m of the experiment 2, pressure sensors measured at different heights, and in the shallower region, the heights were higher, as well as the values of energy and power. The waves speed boat-generated are higher and therefore more energetic and powerful as expected. Since the boat with center motor obtained the lowest values of these parameters. As for erosion, the presence of vegetation is not enough to control it, because the main causes are geological and hydrodynamic factors. It was concluded that the parameter values of *Froude number* for environments with currents as the river Guama should be corrected with devices rotors or ADCP. Studies should do about the problem of waves boat-generated in conjunction with other work on the assault waves on the shore and resulting sediment transport.

Key words: Navegation. Waves. Erosin. Belem-PA.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Bar no canal do Combú.....	13
Figura 2 - Diferentes embarcações observadas no canal do Combú.	14
Figura 3 - Padrão de ondas em águas profundas. As linhas tracejadas indicam a trajetória do barco e o limite da cunha de Kelvin. Ondas fora da esteira de Kelvin são mostradas com linhas pontilhadas.....	19
Quadro 1 - Características das ondas de acordo com <i>Número de Froude</i> (F_L) para o comprimento da embarcação.....	20
Quadro 2: Características das ondas de acordo com <i>Número de Froude</i> para a profundidade local (F_h).....	21
Quadro 3: Variação de τ e θ associado ao <i>número de Froude da profundidade</i> (F_h).....	22
Figura 4 - Ângulos da envoltória (τ) e da propagação das ondas (θ) associados ao número de Froude da profundidade (F_h).....	22
Figura 5 - Área de estudo incluindo a batimetria.	23
Figura 6 - Gráfico da chuva acumulada mensal do ano 2011 da estação meteorológica de Belém-Pa.	24
Figura 7 - Distribuição de Larssonneur de sedimentos na área investigada.....	25
Figura 8 - À esquerda, imagem híbrida integrada do RADARSAT-1 com a imagem LANDSAT- mostrando as principais unidades da paisagem. À direita, a interpretação visual do produto híbrido.....	27
Figura 9- Presença de aninga (<i>Montrichardia arborescens</i> Schott) no trecho da orla da UFPA em processo de erosão.....	27
Figura 10 - Esquema do experimento 1. Os pontos pretos na margem submersa sinalizam os sensores de pressão.	29
Figura 11 - Esquema do Experimento 2.....	30
Figura 12 - Altura (m), energia (J/m) e potência (W/m) do trem de ondas gerado por um barco com motor de centro.	33
Figura 13 - Altura (m), energia (J/m) e potência (W/m) do trem de ondas gerado por um barco com motor de popa (rabeta).....	34
Figura 14 - Altura (m), energia (J/m) e potência (W/m) do trem de ondas gerado por um jet ski.....	35

Figura 15 - Altura (m), energia (J/m) e potência (W/m) do trem de ondas gerado por lancha.	36
Figura 16 - Altura (m), energia (J/m) e da potência (W/m). Sensor de pressão da posição mais profunda.....	37
Figura 17 - Altura (m), energia (J/m) e potência (W/m). Sensor de pressão da posição mais rasa.	38

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
2 JUSTIFICATIVA	15
3 OBJETIVOS	16
3.1 OBJETIVO GERAL	16
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	16
4 EMBASAMENTO TEÓRICO	17
4.1 GERAÇÃO DAS ONDAS POR EMBARCAÇÃO	17
4.2 PADRÃO E CARACTERÍSTICAS DE ONDAS PARA ÁGUAS PROFUNDAS	18
4.3. PADRÃO E CARACTERÍSTICAS DE ONDAS PARA ÁGUAS RASAS	21
5 MATERIAS E MÉTODOS	23
5.1 DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	23
5.2. DESCRIÇÃO DOS EXPERIMENTOS	27
5.2.1 Experimento 1	27
5.2.2 Experimento 2	29
5.2.3 Experimento em laboratório	30
6 RESULTADOS	32
7 DISCUSSÃO	40
8 CONCLUSÃO	42
REFERENCIAS	44

1 INTRODUÇÃO

O número de embarcações motorizadas trafegando nos ambientes aquáticos para o transporte e prática de lazer vem ocasionando problemas para suas margens, particularmente em canais estreitos, onde os efeitos das ondas são mais pronunciados devido à proximidade do curso da embarcação. Nesse sentido, o estudo das ondas de superfície causada pelo deslocamento de embarcações é de fundamental importância para a avaliação de seus efeitos sob as margens, pois a transferência de energia da fonte que as gerou pode acarretar danos às estruturas naturais e naquelas modificadas pelo homem, oferecer riscos às outras embarcações, ou mesmo à vidas humanas. A solução para as diferentes situações envolve conhecimentos de áreas afins da ciência como Engenharias Civil, Costeira, Hidráulica, Naval e a Oceanografia, inclusive (NASCIMENTO, 2007).

No Brasil, o transporte hidroviário está em crescente valorização, porém, estudos que abordem a temática dos efeitos negativos das ondas geradas por embarcação (OGE) são incipientes, diferente do que acontece em países que possuem uma navegação bem estruturada, a citar, Austrália, Canadá, Estados Unidos, Malásia e Nova Zelândia (NASCIMENTO; FREITAS; MACIEL, 2009).

Osborne e Boak (1999), em seus estudos sobre os sedimentos em suspensão e as respostas morfológicas às OGE, concluem que as alturas e períodos dessas ondas são aproximadamente o dobro do máximo das verificadas para ondas geradas por vento (OGV) observadas em Torpedo Bay na Austrália, e que há uma pronunciada relação com o potencial de transporte de sedimentos sendo maior que o alimentado pela influência das OGV sob a praia.

Segundo Permanent International association of Navigation Congresses (PIANC, 1987 apud NASCIMENTO op.cit.), a mobilização e transporte de sedimentos podem ser o resultado da tensão no fundo proporcionado pela ação dos agentes hidráulicos: correntes de retorno, correntes naturais (rios, marés e vento), OGV e OGE. Considerando este último, Nascimento (op.cit.), diz que os impactos na margem são em função do tipo e velocidade da embarcação e a distância de seu trajeto à margem. Neves, Maciel e Rosauero (2006) ressaltam que as ondas de embarcações diferem das ondas geradas por vento, com cristas longas, por propagarem-se obliquamente a margem e de forma fixa, potencializado as tensões cisalhantes e, no caso de aumento do tráfego, a erosão é intensificada.

Nascimento (2007), Nascimento, Freitas e Maciel (2009, 2010), discutem a necessidade de uma legislação adequada à navegação para restringir os impactos das OGE, haja vista que normas empregadas por órgãos ambientais visam limitar a velocidade do tráfego da embarcação como sendo aquela que produza ondas com altura máxima igual à altura máxima de OGV, assim havendo equivalência com o que ocorre naturalmente. Todavia, esse princípio é questionável porque não considera as diferenças dos dois tipos de ondas.

Meu interesse pelo estudo das ondas induzidas por embarcações teve origem durante a realização do projeto Monitoramento dos Processos Erosivos da Orla do Campus Universitário do Guamá do Programa Integrado de Ensino, Pesquisa e Extensão – PROINT (PROEG/UFPA), pelo qual foram executados trabalhos investigando fatores relacionados à erosão.

Observou-se que há um elevado tráfego de embarcações tanto próximo a margem da área de estudo do projeto como nas imediações das ilhas no lado oposto, assim como nos canais que as entrecortam e as adentram, a exemplo dos principais, Furo da Paciência, que está entre as ilhas do Murutucu do Combú, e o Canal Combú dentro da última (Figura 5).

No arquipélago formado por essas e outras ilhas estão estruturados, além de moradias típicas dos ribeirinhos, bares e restaurantes, estabelecimentos estes que funcionam como estímulo a mais ao fluxo de embarcações transportando turistas e ao movimento da navegação de recreio, implicando numa variação de embarcações em tipo e tamanho, desde pequenas canoas motorizadas (popularmente chamadas de “rabetas”) a lanchas e iates (Figura 1 e 2).

Figura 1: Bar no canal do Combú.



Figura 2: Diferentes embarcações observadas no canal do Combú.



Em virtude dos aspectos apresentados sobre a problemática da erosão como resultado das OGE incluindo o fato da carência de estudos a respeito deste fenômeno, dois experimentos foram estruturados, de acordo com a logística, em momentos distintos do mês de novembro de 2011, para dois pontos da área estudo, um no canal do Combú, outro na orla do campus da UFPA.

2 JUSTIFICATIVA

Em vista do fluxo de embarcação na área de estudo e das características das ondas geradas por embarcação, o trabalho é justificável, pois, as ondas são o principal agente modelador da costa (ou margem), visto que resulta em transporte de sedimento e produzem forças das quais estruturas marítimas ou lacustres estão submetidas.

3 OBJETIVO

3.1 GERAL

Analisar as ondas geradas por embarcações que são comuns ao rio Guamá nas proximidades da orla do Campus universitário da UFPA e no canal do Combú.

3.2 ESPECÍFICOS

Quantificar o fluxo de embarcações próximo às margens, classificando-as quanto ao tipo de propulsão.

Investigar e analisar a energia das ondas geradas por embarcação (OGE) relacionando com os principais tipos de embarcações para os pontos dos experimentos.

Determinar a energia em Joule por segundo (J/s) e a potência em Watt por metro (W/m) das OGE para os trechos de erosão.

4 EMBASAMENTO TEÓRICO

4.1 GERAÇÃO DAS ONDAS POR EMBARCAÇÃO

O estudo das ondas geradas por embarcação (OGE) envolve duas fases, formação e propagação, ou escoamento próximo e longe da embarcação. A atuação do gradiente de pressão ao longo do casco é associada à aceleração do fluxo da água, sendo a magnitude deste gradiente e mudança na pressão total dependentes da velocidade da embarcação, da geometria do casco e do formato da seção do canal. Se o canal for relativamente raso e/ou estreito, ou seja, a embarcação trafegar em um canal confinado, a aceleração do fluxo e o gradiente de pressão resultante serão mais elevados do que se a embarcação passar em um canal largo e profundo (SORENSEN, 1997).

Sorensen (op.cit.), afirma que para um formato comum de casco, a pressão aumenta ao redor da proa e da popa, e decai nas laterais, logo a superfície da água ao longo do casco responde elevando o perfil da água na proa e popa e rebaixando nas laterais. O gradiente de pressão e a elevação de superfície da água na popa geralmente são menores do que na proa devido à separação do fluxo na seção traseira do casco. Se esta seção da embarcação for mais quadrada que cônica, a separação do fluxo será significativa, e terá um menor acréscimo de pressão se comparada com o que ocorre numa popa cônica.

A variação da superfície mencionada anteriormente faz com que a inércia atue no fluido perturbado na tentativa de que ele entre na posição de equilíbrio, ou seja, a tendência da gravidade deixar a superfície plana, produzindo então a oscilação. Por conseguinte, a distribuição da pressão no casco e as resultantes alturas das OGE dependem da velocidade relativa ao fluxo do fluido ao largo do casco, geometria deste, da distância entre o casco e a encosta e ao fundo do canal. O período e direção das OGE dependem somente da velocidade da embarcação e da profundidade (SORENSEN, op.cit.).

Portanto, com o aumento da velocidade da embarcação ou a passagem em canais cada vez mais confinados, a geração de ondas altas tende a aumentar. O maior número de ondas altas ocorre desde que a embarcação não seja plana. Para embarcações leves e velozes, as forças hidrodinâmicas atuantes no casco elevam a embarcação na superfície. Quando desse tipo de embarcação, as alturas das ondas são inferiores do que seria com embarcações pesadas

e não planas e os aumentos nas alturas das ondas seriam praticamente imperceptíveis com a variação da velocidade (SORENSEN, 1997).

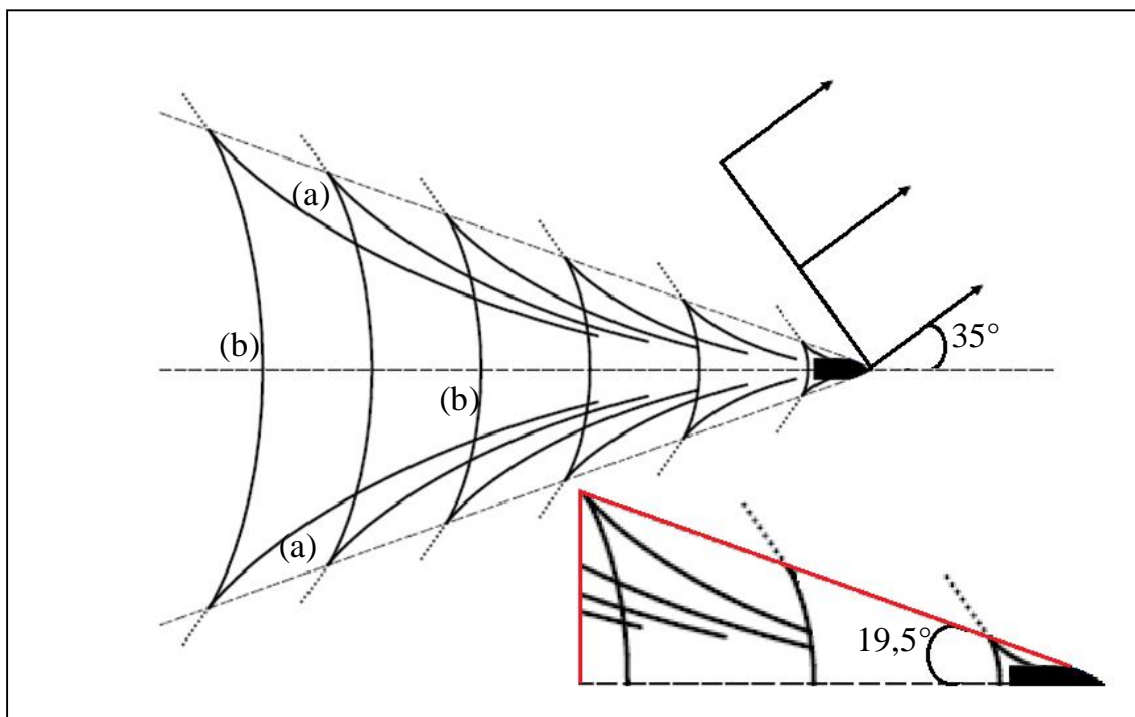
A classificação das ondas depende da relação entre seu comprimento e a profundidade da coluna de água. Portanto, ondas de águas profundas possuem $h/l \geq 0,5$ e ondas de águas rasas, $h/l < 0,04$, onde h é profundidade do local na passagem da embarcação, e l é o comprimento da onda (NASCIMENTO, 2007).

Quanto aos padrões e modos de propagação das OGE. Nascimento (op.cit.) apresentou uma revisão bibliográfica bastante abrangente a respeito do assunto. explicando com detalhes os parâmetros utilizados na caracterização dessas ondas.

4.2 PADRÃO E CARACTERÍSTICAS DE ONDAS PARA ÁGUAS PROFUNDAS

As ondas geradas por embarcação (OGE) foram estudadas primeiramente por Kelvin (1824-1907), o qual observou que qualquer objeto que se desloque na superfície da água com velocidade constante sempre gera ondas confinadas numa região formando uma cunha possuindo um semi-ângulo de $19,5^\circ$ com o eixo de deslocamento da trajetória e se propagam com um ângulo de 35° em relação ao mesmo eixo. A referida região, denominada de esteira de Kelvin, apresenta duas espécies de sistemas de ondas: um em forma de “V” com frentes de ondas que se propagam de modo oblíquo distanciando da trajetória da embarcação, e o sistema transversal, ondas que tendem a acompanhar a trajetória com ângulos aproximadamente retos (Figura 3) (NASCIMENTO op.cit.).

Figura 3: Padrão de ondas em águas profundas, (a) ondas divergentes, (b) ondas transversais. As linhas tracejadas indicam a trajetória do barco e o limite da cunha de Kelvin. Ondas fora da esteira de Kelvin são mostradas com linhas pontilhadas.



Fonte: Adaptado de Souza (2011).

As celeridades das ondas transversais e divergentes são em função da velocidade do barco, sendo que para as últimas, o ângulo de propagação tem importância direta:

$$C_T = V \quad (1)$$

$$C_D = V \cos \theta \quad (2)$$

onde C é a celeridade da onda; V é a velocidade da embarcação; os índices T e D estão para ondas transversais e divergentes, respectivamente.

Para calcular o ângulo de propagação da onda θ , tem-se, segundo Weggel e Sorensen (1986) apud Sorensen (1997):

$$\text{Se } F_h < 1, \theta = 35,27(1 - e^{12(F_h-1)}) \quad (4)$$

onde F_h é o *número de Froude da profundidade*, parâmetro que será descrito mais a frente, e deve estar entre 0 e 0,1 ; θ é dado em graus.

Um parâmetro importante na classificação das ondas é a utilização do parâmetro *número de Froude*, um grupo adimensional considerado em mecânica dos fluidos na maioria dos escoamentos que apresentam superfície livre. Descargas fluviais em função da geometria de estuários e escoamento de água em torno de embarcações são exemplos de aplicações do *número de Froude* (MIRANDA, 2002). Esta última, o *número de Froude* refere-se à

velocidade e ao comprimento da embarcação, através do qual é analisado o comportamento das ondas para diferentes velocidades da embarcação. Portanto:

$$F_L = \frac{V}{\sqrt{gL}} \quad (3)$$

onde F_L é o *número de Froude do comprimento*, g é a aceleração da gravidade e L é o comprimento do barco.

As características das OGE em águas profundas utilizando o parâmetro mencionado acima são descritas por Nascimento (2007) (Quadro 1):

Quadro 1: Características das ondas de acordo com *Número de Froude* (F_L) para o comprimento da embarcação.

F_L	Características das ondas
0,30	Comprimento das ondas transversais é igual à metade do comprimento da embarcação. Cristas das ondas da proa e popa coincidem elevando suas alturas.
0,35	As cristas das ondas da proa coincidem com os cavados das ondas de popa, resultando em ondas baixas.
0,40	Comprimento das ondas transversais é igual ao do comprimento da embarcação - Velocidade de casco (hull speed).
0,60	Comprimento das ondas transversais é maior do que o comprimento da embarcação; Velocidade maior que da embarcação; Ondas divergentes predominam no padrão de ondas.
0,8	Alta esbeltez das ondas divergentes, no limite de quebrar. Surgimento de ondas com diferentes comprimentos e com velocidades proporcionais ao comprimento
1,00	Redução do nº de ondas transversais quase a zero, porém as ondas divergentes são grandes o bastante para impor maior resistência ao avanço.
1,50	Redução da altura das ondas (que continuam muito energéticas) devido à diminuição da elevada hidrodinâmica do deslocamento ativo da embarcação.

Pela teoria de Airy, conhecida como teoria não linear, a celeridade (C), comprimento (l_o) e período (T) da onda são calculados:

$$C^2 = \frac{gl_o}{2\pi} \tanh\left(\frac{2\pi}{l}\right) \quad (4)$$

$$T = \frac{l_o}{C} \quad (5)$$

4.3 PADRÃO E CARACTERÍSTICAS DE ONDAS PARA ÁGUAS RASAS

Havelock (1908 apud NASCIMENTO, 2007) fez uma aproximação similar à de Kelvin definindo os padrões de onda dependendo do *número de Froude da profundidade* (Fh):

$$Fh = \frac{V}{\sqrt{gh}} \quad (6)$$

onde Fh é o *número de Froude da profundidade*, V é a velocidade da embarcação, g é a aceleração da gravidade.

Pela definição de Havelock, $Fh < 1$ é a condição subcrítica e $Fh = 1$, condição crítica e $Fh > 1$, condição supercrítica. As características das ondas em comparação com as de águas profundas e em função do parâmetro Fh estão abaixo relacionadas no Quadro 2.

Quadro 2: Características das ondas de acordo com *Número de Froude* para a profundidade local (Fh) (segundo Nascimento, 2007).

Fh	Características das ondas
$Fh < 1,0$	Velocidade subcrítica. Ondas com o mesmo padrão das ondas de águas profundas.
$0 \leq Fh < 0,7$	O ângulo da envoltória τ , limite da esteira de Kelvin onde as ondas divergentes e transversais se encontram, ainda tem o mesmo valor que o de águas profundas: $19,5^\circ$.
$0,7 \leq Fh < 1,0$	Variação de τ entre $19,5^\circ$ e 90° .
$Fh = 1,0$	Velocidade crítica. As ondas divergentes e transversais formam uma onda simples, semelhante à onda solitária. O ângulo $\tau = 90^\circ$.
$Fh > 1,0$	Velocidade supercrítica. As ondas transversais não ocorrem devido à velocidade da onda não poder exceder a velocidade crítica da embarcação
$1,0 < Fh < 3,0$	Variação de τ entre 90° e $19,5^\circ$.
$Fh \geq 3,0$	$\tau = 19,5^\circ$.

Quando o *número de Froude* excede a unidade, a direção de propagação é determinada pela equação:

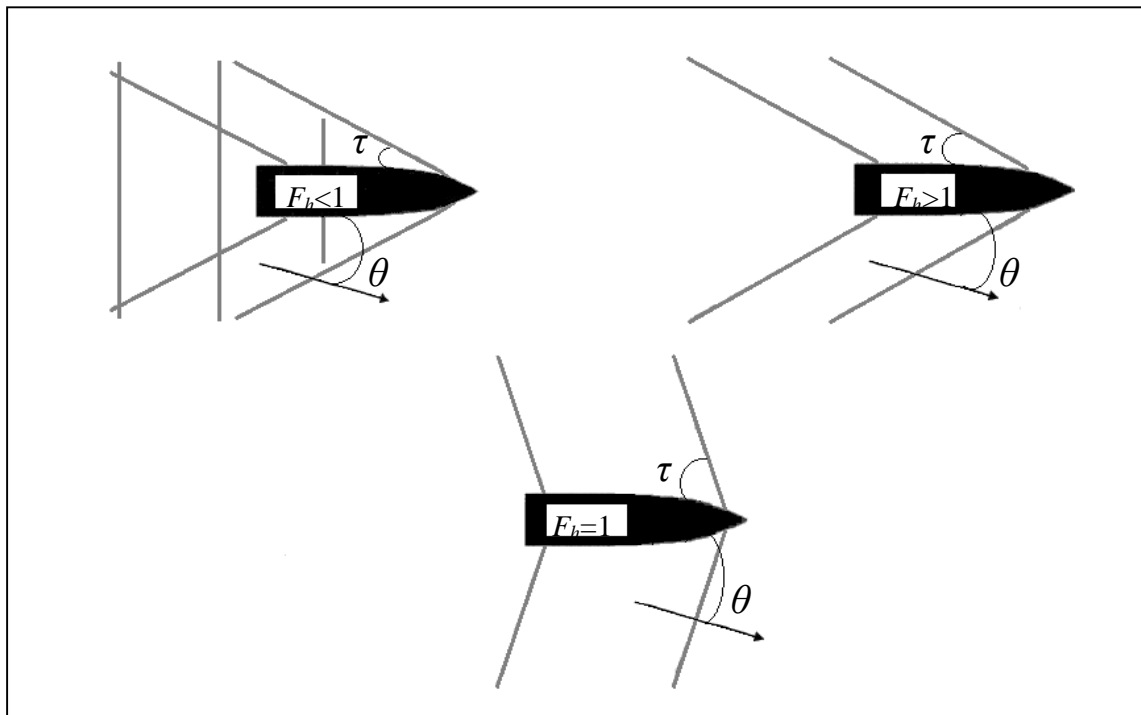
$$\theta = \arcsen\left(\frac{1}{F}\right) \text{ para } Fh > 1 \quad (7)$$

Baseado em Nascimento (2007), o Quadro 3 e a Figura 4 demonstram a variação do ângulo da envoltória e o modo de propagação das ondas associados à Fh .

Quadro 3: Variação de τ e θ associado ao número de Froude da profundidade (Fh).

Fh	Ângulo da envoltória (τ)	Ângulo de propagação (θ)
$Fh < 0,7$	$\tau = 19,5^\circ$	$\theta = 35,27^\circ$
$0,7 \leq Fh < 1,0$	$\tau = 19,5(1 - e^{12(F-1)})$	$\theta = 35,27(1 - e^{12(F-1)})$
$Fh \geq 1,0$	$\tau = \arcsen (-)$	$\theta = \arcsen (-)$

Figura 4: Ângulos da envoltória (τ) e da propagação das ondas (θ) associados ao número de Froude da profundidade (Fh).

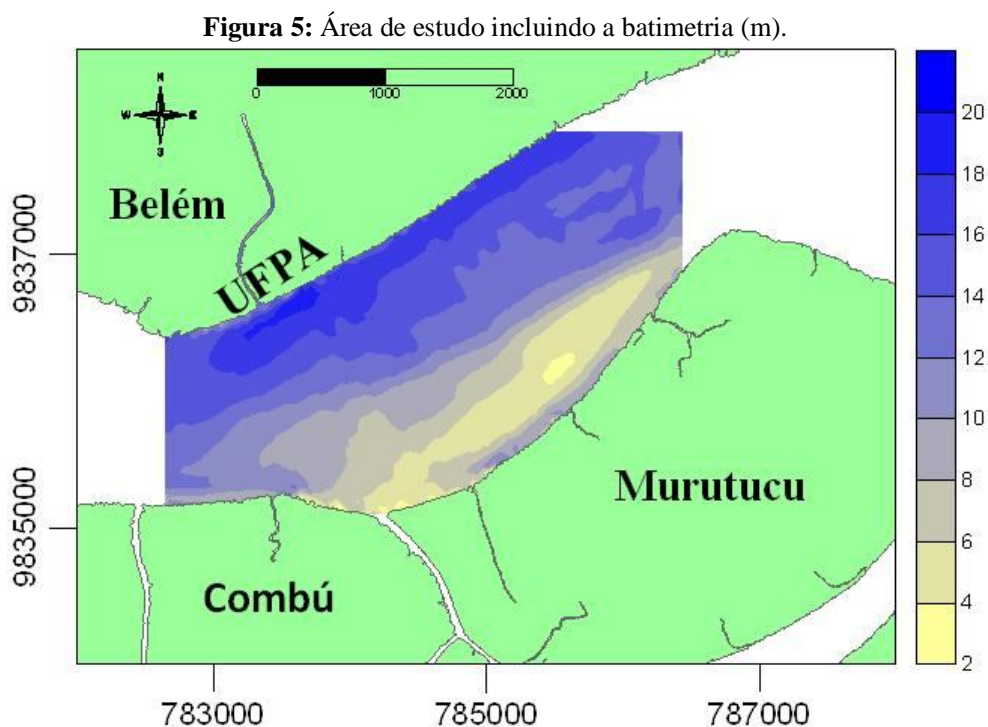


Quanto aos canais restritos, o conceito de canal restrito não está bem estabelecido. Segundo a metodologia de Maynord (2002 apud NASCIMENTO, op.cit.), o canal é restrito quando a razão entre a máxima área submersa da seção transversal, denominado fator de bloqueio S , varia entre $0,5 < S < 0,1$.

5 MATERIAIS E MÉTODOS

5.1 DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

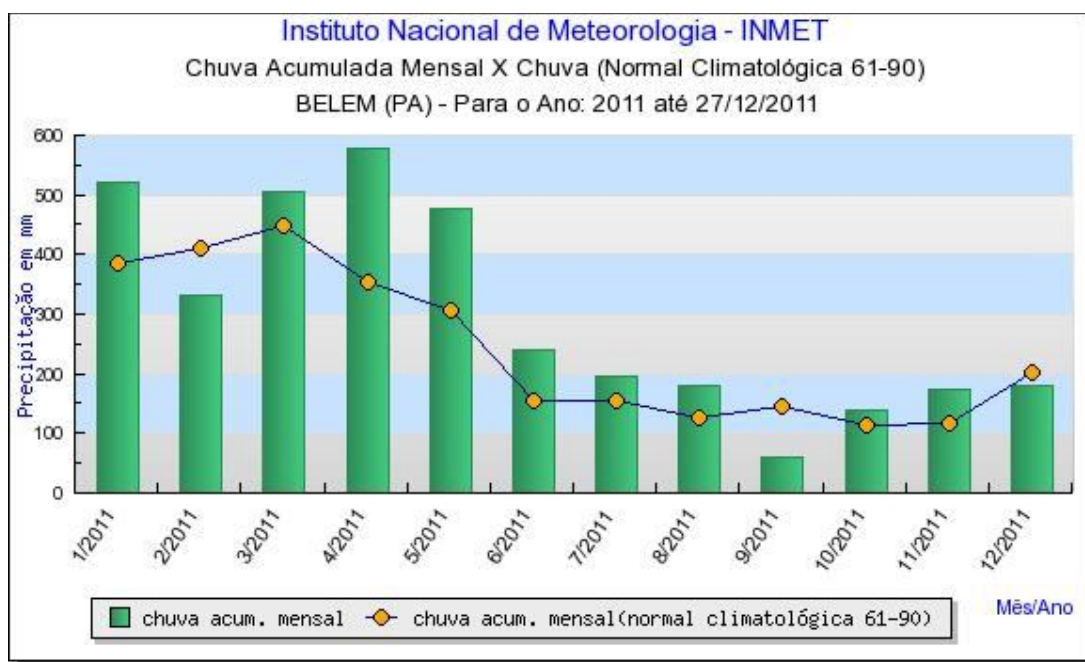
A área de estudo (Figura 5) está localizada no baixo curso do rio Guamá (direção NE-SW), ao sul da cidade de Belém, capital do Pará, entre os trechos que compreendem, à margem direita, a orla da UFPA e, à margem esquerda, as ilhas de Murutucu e Combú. Esta região é situada na parte central da zona costeira amazônica brasileira e inserida na zona 22 do sistema UTM. O rio faz parte da sub-bacia Guamá-Mojú, ligando-se ao estuário do rio Pará a jusante na baía de Guajará, onde tem grande influência de aporte de sedimentos. O clima é quente e úmido, não observado estação de inverno, mas períodos “chuvosos” e “menos chuvosos”, o de “seca” ainda está para ser bem definido (GREGÓRIO; MENDES, 2009).



A normal climatológica (1961 a 1990) de precipitação para a estação de Belém demonstra que os maiores níveis estão previstos para o primeiro semestre, atingindo maior pico no mês de março, caracterizando a “estação chuvosa”. A partir de então, é previsto uma sensível diminuição da precipitação a partir do mês de junho indicando a chegada da estação

“menos chuvosa”, quando os menores valores estão nos meses de outubro e novembro. Em dezembro é esperado o começo da elevação dos níveis do referido parâmetro. Porém, para o ano de 2011 observou-se algumas anomalias, visto que nos meses de janeiro, abril e maio, a chuva acumulada mensal foi acima do esperado, e, no mês de outubro, foi muito abaixo (Figura 6).

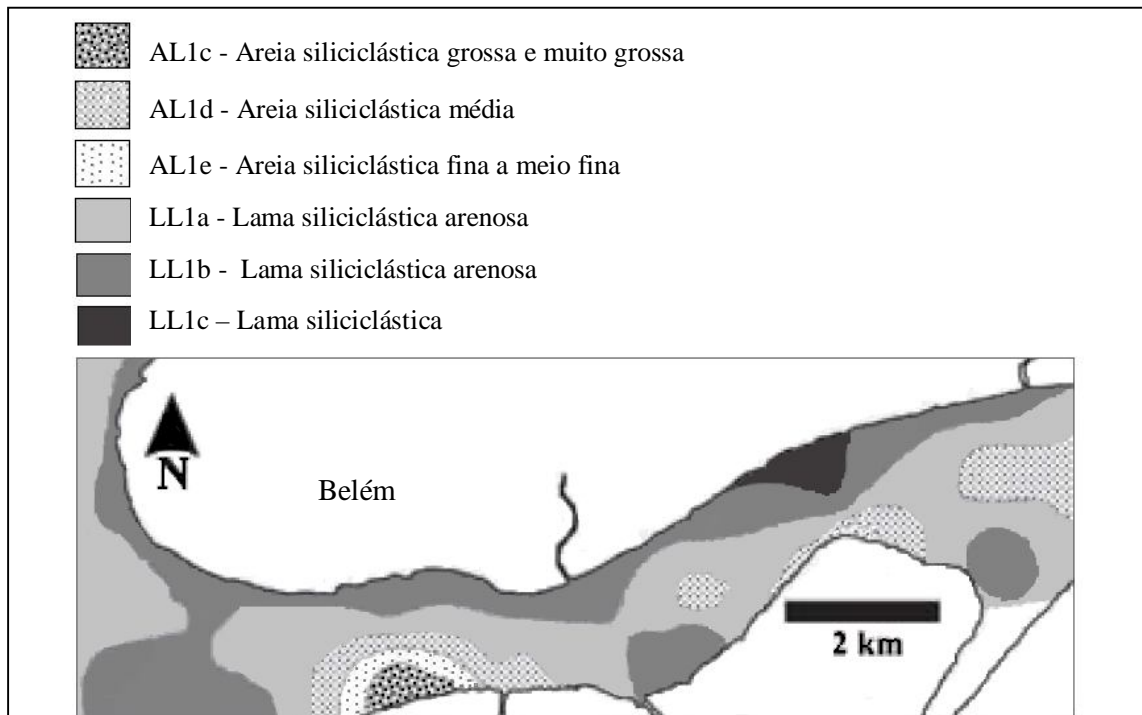
Figura 6: Gráfico da chuva acumulada mensal do ano 2011 da estação meteorológica de Belém-Pa.



Fonte: Instituto Nacional de Meteorologia (2011).

O ciclo de maré é do tipo semi-diurna com regime de meso maré variando entre 2,7 m na quadratura e 3,5 m na sizígia no mês de novembro de 2011 (DHN, 2011), sendo o período de vazante maior que de enchente. Segundo Gregório e Mendes (2009), no rio Guamá, a influência da maré é observada até a cidade de São Miguel do Guamá, a aproximadamente 120 km a montante da baía de Guajará. Os sedimentos do rio na área estudada são classificados, segundo Gregório (2008), de acordo o método Larssonneur, como sendo do tipo AL1c (areia siliciclástica grossa e muito grossa), AL1d (areia siliciclástica média), AL1e (areia siliciclástica fina e muito fina), LL1a (Lama siliciclástica arenosa), LL1b (Lama siliciclástica arenosa), LL1c (Lama siliciclástica). Também, segundo esse autor, utilizando-se do diagrama de Pejrup, associa os sedimentos a hidrodinâmica alta e muito alta da área estudada (Figura 7).

Figura 7: Distribuição de Larsonneur de sedimentos na área investigada

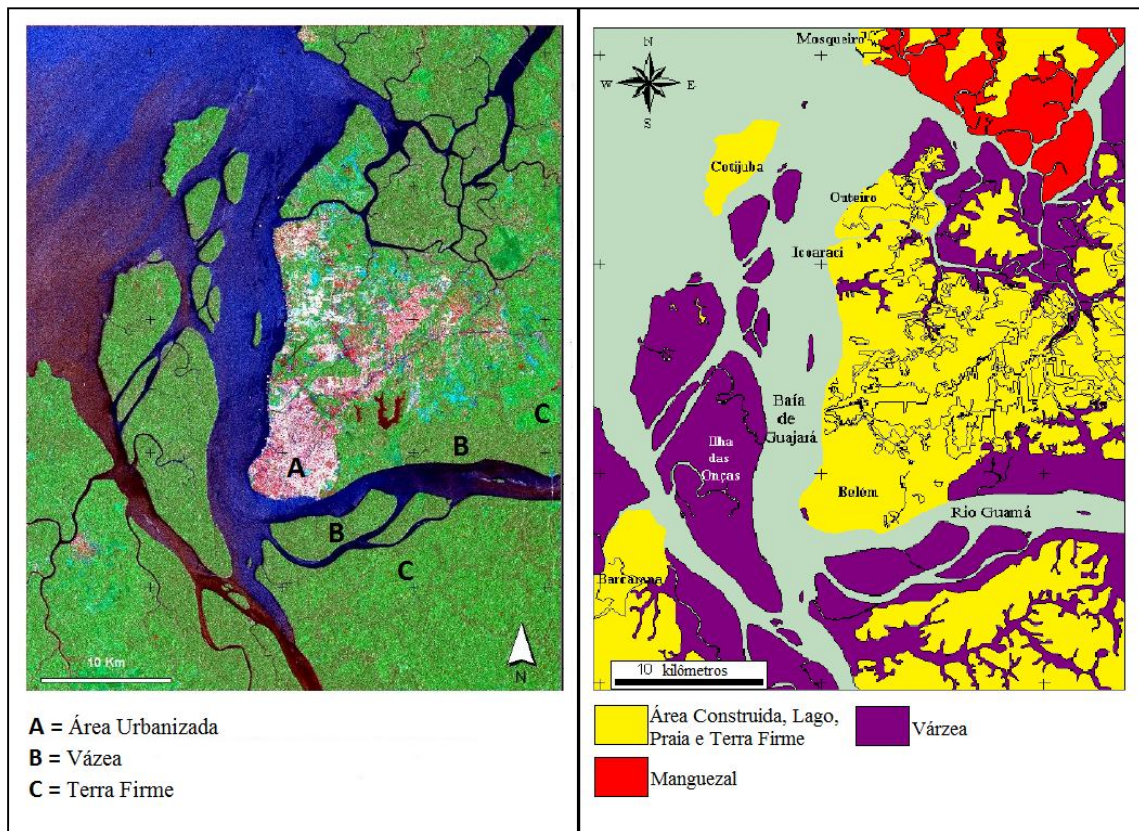


Fonte: (GREGÓRIO, 2008); Gregorio e Mendes (2009).

Pinheiro (1987), em sua tese sobre a hidrologia e sedimentologia do estuário Guajará-Belém (PA), diz que a vegetação das margens da área é fortemente afetada por fatores geomorfológicos, deste modo, havendo três tipos predominantes: vegetação de várzea, controlada pela relação entre relevo e regime de maré; vegetação de floresta densa associada à terra firme; vegetação secundária.

Ainda conforme Pinheiro (1987), a vegetação de várzea pode ser indicativo seguro de processos geológicos-hidrodinâmicos, agregada a áreas de sedimentação recente com predominância de espécies pioneiras. Para Lima (1956 apud PINHEIRO, 1987) a aninga (*Montrichardia arborescens* Schott) tem presença marcante neste tipo de ambiente (Figura 8).

Figura 8: À esquerda, imagem híbrida integrada do RADARSAT-1 com a imagem LANDSAT-mostrando as principais unidades da paisagem. À direita, a interpretação visual do produto híbrido (modificada de Gonçalves, 2005).



Apesar da evidente atuação da erosão na margem da orla da UFPA e não sendo esta correspondente ao ambiente de várzea, a presença de Aninga (*Montrichardia arborescens* Schott) (Figura 9) não ficou inibida, mas limitada, por estar pouco desenvolvida e com baixa densidade, logo indicando que a taxa de sedimentação é menor que a taxa de erosão, confirmando Madsen *et al.* (2001): o grau de interferência de determinada espécie será função do tamanho, densidade e distribuição espacial de seus indivíduos, parâmetros controlados pela turbidez e pelo escoamento, ou seja, a vegetação interfere no escoamento e vice-versa.

Figura 9: Presença de aninga (*Montrichardia arborescens* Schott) no trecho da orla da UFPA em processo de erosão.



Lima (2005), em sua revisão bibliográfica sobre a relação entre vegetação submersa e ondas gravitacionais, expõe que na literatura existem muitos trabalhos onde hipóteses e aproximações são úteis para estruturas específicas, naturais ou artificiais, isso em consequência do grande número de espécies e de ambientes distintos.

5.2. Descrição dos experimentos

Foram realizadas duas saídas para coleta dos dados referentes aos experimentos 1 e 2, nos dias doze e trinta de novembro de 2011, respectivamente.

5.2.1. Experimento 1

A primeira saída de campo (12/11/2011) foi efetuada no canal do Combú, onde foi montada uma estrutura com dois sensores de pressão presentes em sonda OBS (Optical

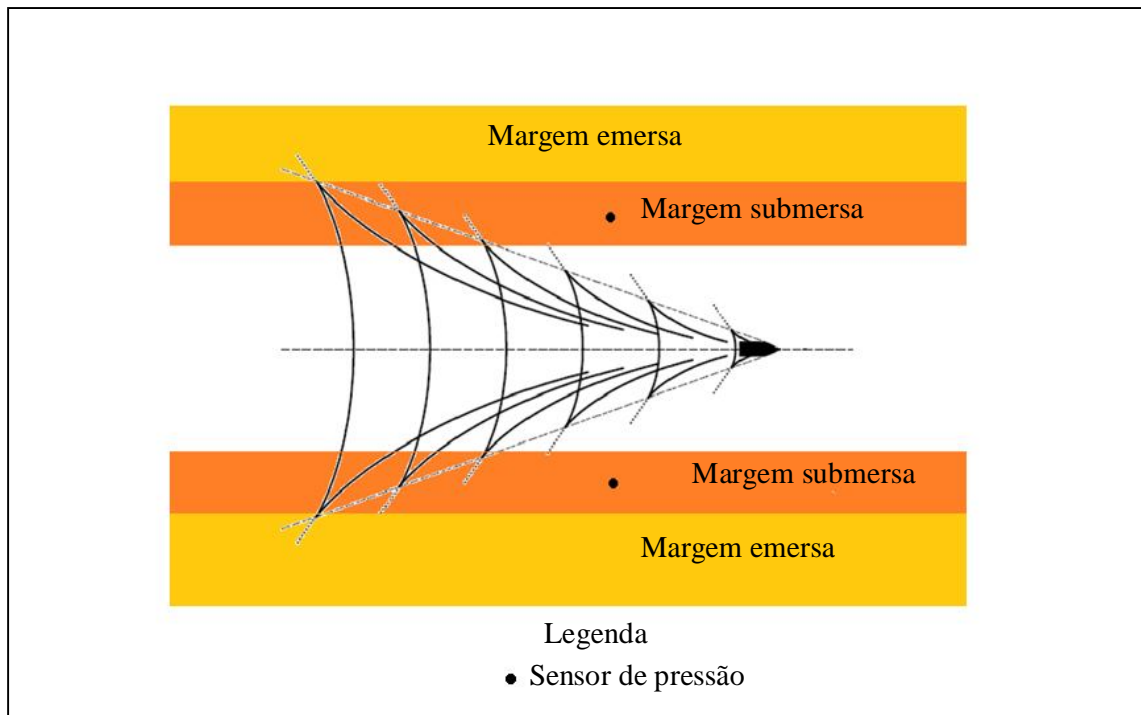
bakscatter sensor) sensores de pressão da JFE ALEC CO. LTD, distribuídos entre as margens nos pontos 782419,46E / 983507,15S e 783480,23E / 9835070,58S. Estavam programados para fazer medições da profundidade em metros (m) a cada 0,1 segundo (s), menor intervalo entre medições dos aparelhos, ou seja, 10 medições por segundo, com a finalidade de se obter com acuracia as alturas das ondas. Os horários de fixação e retirada dos instrumentos ocorreram nas estofas de maré baixa.

Durante treze horas, coletaram-se também dados sobre o número de passagens de embarcações entre os sensores de pressão, adotando como critério de classificação das mesmas, o tipo do motor em relação às características do barco, assim como o material da estrutura do barco e cobertura. As embarcações foram caracterizadas em quatro tipos: barco com motor de centro, barco com motor de popa (rabeta), lancha e jet ski (ver Figura 2).

Em decorrência da dificuldade de saber das dimensões ou outras informações a respeito de todos os barcos, outras classificações não foram adotadas.

Colocou-se um sensor de pressão em cada lado do canal com o objetivo de trabalhar com os dados do sensor de pressão que estivesse mais próximo da trajetória da embarcação (Figura 10).

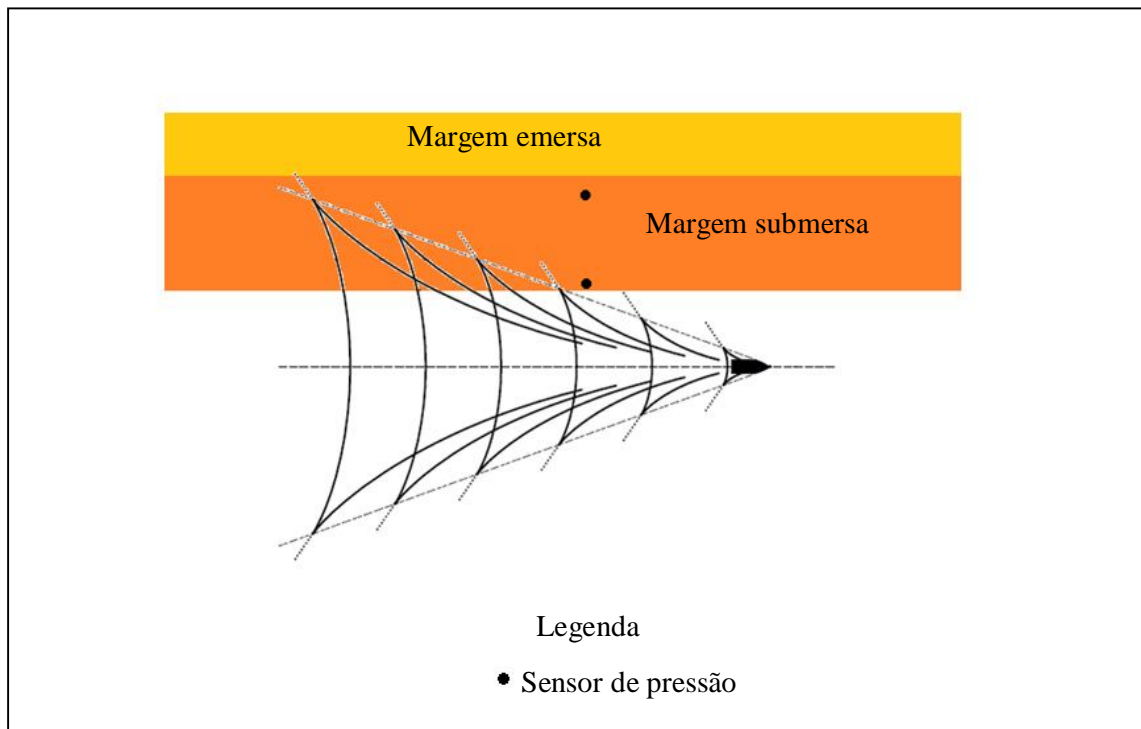
Figura 10: Esquema do experimento 1. Os pontos pretos na margem submersa sinalizam os sensores de pressão.



5.2.2. Experimento 2

O experimento 2 foi ocorreu no dia 30/11/2011. Na montagem do segundo experimento foram utilizados os dois sensores de pressão usados no primeiro experimento, mas com arranjo, posto que, os instrumentos ficaram no mesmo lado da margem, na margem da orla da UFPA, com o propósito de identificar as possíveis alterações nos padrões e parâmetros das ondas em relação à distância percorrida. Na programação, o intervalo entre medições fixou em 1 segundo (s) e a unidade para profundidade manteve-se em metros (m). Os pontos 783471,86E / 9836691,28S e 783480,23E / 9836683,78S (localização dentro da margem observada na Figura 9) correspondem às posições dos aparelhos. Um sensor de pressão foi fixado na menor profundidade, próximo à margem emersa, e o segundo, mais ao fundo, próximo ao trajeto das embarcações (Figura 11).

Figura 11: Esquema do Experimento 2.



5.2.3. Teste em Laboratório

Primeiramente, foram identificados os trens de ondas das embarcações com os dados de profundidade e tempo. A partir de então, determinou-se as frequências, alturas, comprimentos, períodos e celeridades para, por fim, calcular as energias e potências das ondas que compunham os trens de ondas.

As equações empíricas para águas profundas, segundo a teoria de Airy, utilizadas para os cálculos são as seguintes:

$$L_o = \frac{g}{2\pi} T^2 \quad (8)$$

onde L_o é o comprimento da onda em metros (m), T é o período dado em segundos (s) e g (ms^{-2}) é a aceleração da gravidade.

$$c = \sqrt{\frac{gL}{2\pi}} \text{ ou } c = \frac{L_o}{T} \quad (9)$$

onde c é a celeridade de onda em ms^{-2} .

$$C_g = \frac{1}{2} c \quad (10)$$

onde C_g é a celeridade de grupo em ms^{-2} .

$$E = \frac{1}{8} (\rho g H^2) \quad (11)$$

onde E é a energia de onda em Jm^2 por unidade de área e ρ é densidade da água (kgm^{-3}).

$$P = C_g E \quad (12)$$

onde P é a potência da onda em Wm^{-1} .

Das embarcações identificadas, foi amostrado um trem de onda de cada tipo para os processamentos e análise dos dados obtidos pelos sensores de pressão.

Uma batimetria foi executada dentro da área de estudo nos dias 25/03/2011 e 26/05/2011, para verificar as diferentes profundidades e confirmar a localização do canal à direita do rio Guamá nas imediações da UFPA. Fez-se uso do ecobatímetro da marca Garmin, o qual foi acoplado na lateral de um barco com motor de centro. A batimetria é mostrada na Figura 5.

As energias e potências de ondas quando chegam até a margem dos pontos dos experimentos são calculadas para as maiores ondas dos trens de ondas a serem discutidos.

6. Resultados

Os tipos, a quantidade e percentual de barcos que trafegaram no canal do Combú no decorrer do experimento 1 é exposta na Tabela 3. Das 290 embarcações, a com motor de centro foi o tipo com maior frequência com 137 de ocorrência, 47% do total. Já o jet ski, teve a menor frequência, 17 eventos, apenas, 6% do total.

Tabela 3: Tipo da embarcação, quantidade e percentual para cada tipo. Dados coletados no canal do Combú.

Tipo de embarcação	Nº	%
Barco com motor de centro	137	47
Barco com motor de popa (Rabeta)	89	31
Jet-ski	17	6
Lancha	47	16
Total	290	100

No ponto do segundo experimento, o volume de embarcações foi quantificado em duas ocasiões, porém sem critério de classificação (Tabela 4). No dia 25/11/2010 39, o total foi de 39 e no dia 21/01/2011 houveram menos eventos com 24 passagens.

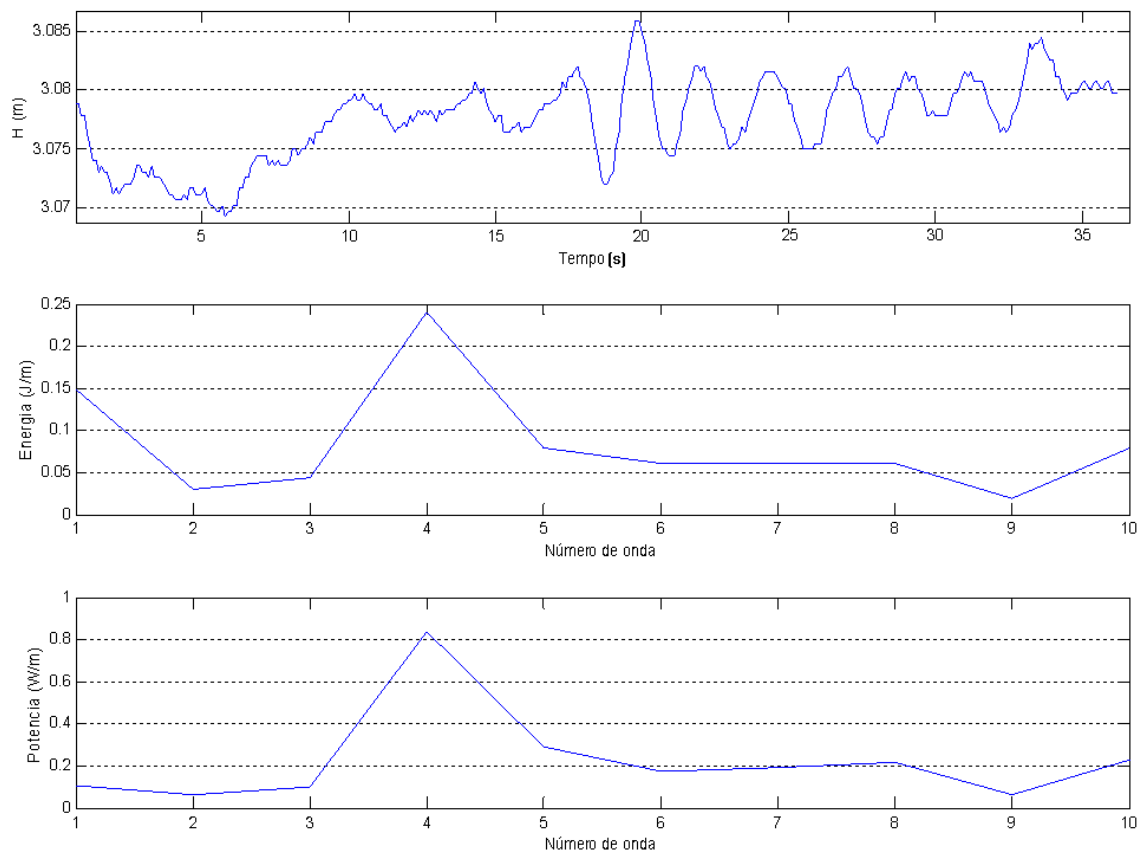
Tabela 4: Número de passagens de embarcações percebidas para o ponto de erosão da orla da UFPA.

Data	Nº de Embarcações
25/11/2010	39
21/01/2011	24

As alturas, energia e potência de um trem de ondas foram determinados para uma embarcação de cada tipo diferente para o experimento 1.

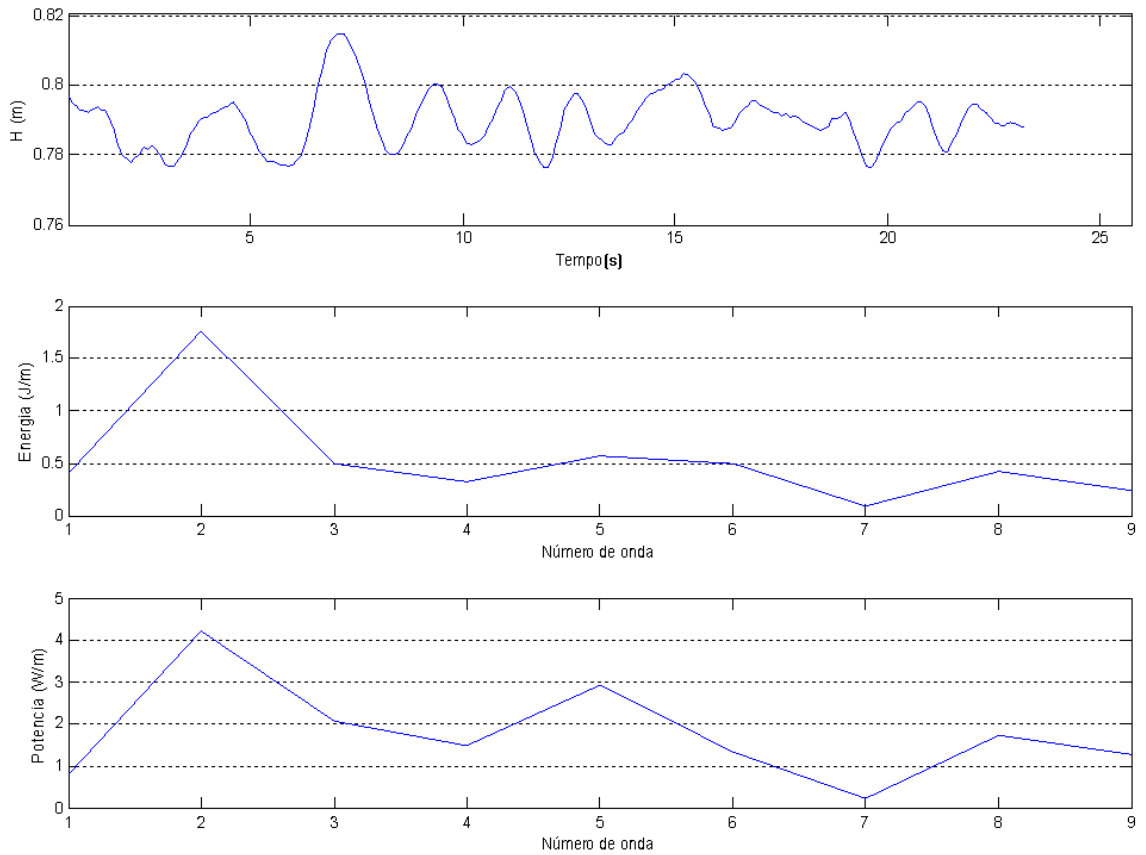
Para o barco com motor de centro, os máximos dos três parâmetros foram de 0,014 m, 0,2403 J/m, 0,8379 W/m para a onda 4 (Figura 12).

Figura 12: Altura (m), energia (J/m) e potência (W/m) do trem de ondas gerado por um barco com motor de centro.



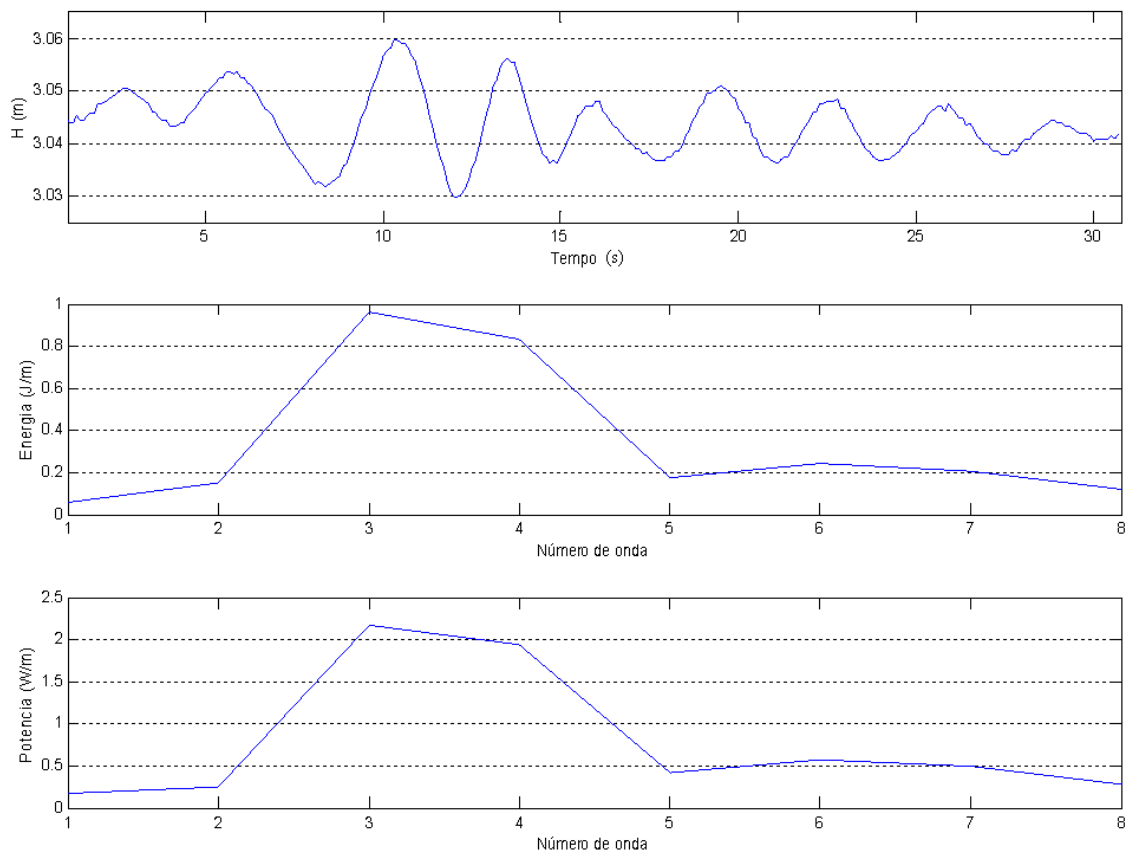
A embarcação do tipo Rabeta apresentou máximos de 0,0379 m de altura, 1,761 J/m de energia e 4,225 W/m de potência para onda 2 (Figura 13).

Figura 13: Altura (m), energia (J/m) e potência (W/m) do trem de ondas gerado por um barco com motor de popa (rabeta).



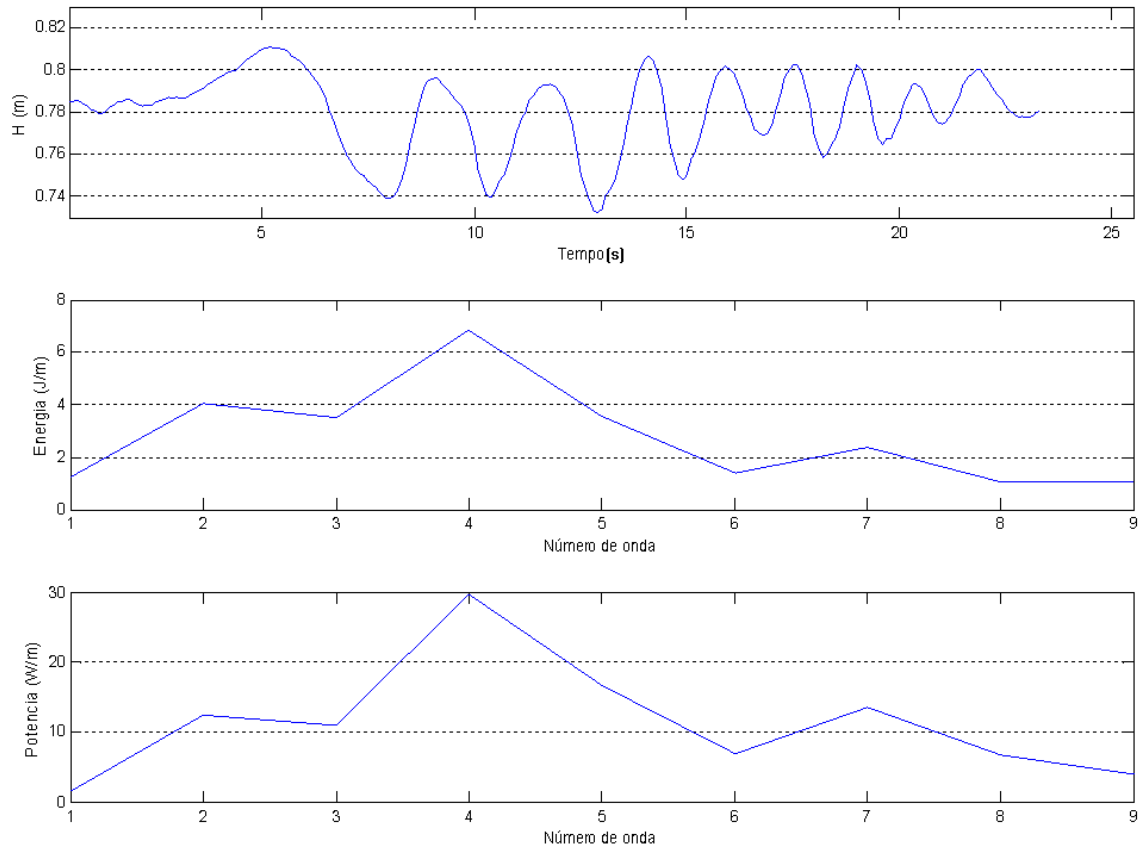
Para o Jet ski, a onda 3 atingiu os máximos de altura, energia e potência com os respectivos valores: 0,028 m , 0,9614 J/m, 2,164 W/m (Figura 14).

Figura 14: Altura (m), energia (J/m) e potência (W/m) do trem de ondas gerado por um jet ski.



As onda mais alta da embarcação do tipo lancha foi de 0,0748 metros, com energia de 6,861 J/m e potência de 29,7 W/m para a onda 4 (Figura 15).

Figura 15: Altura (m), energia (J/m) e potência (W/m) do trem de ondas gerado por uma lancha.



Os conjuntos de valores de alturas, energia e potência, obedecendo à ordem do menor para o maior e correspondente as embarcações de motor de centro (BMC), rabeta (RAB), jet ski (JS) e lancha (LAN), respectivamente, são:

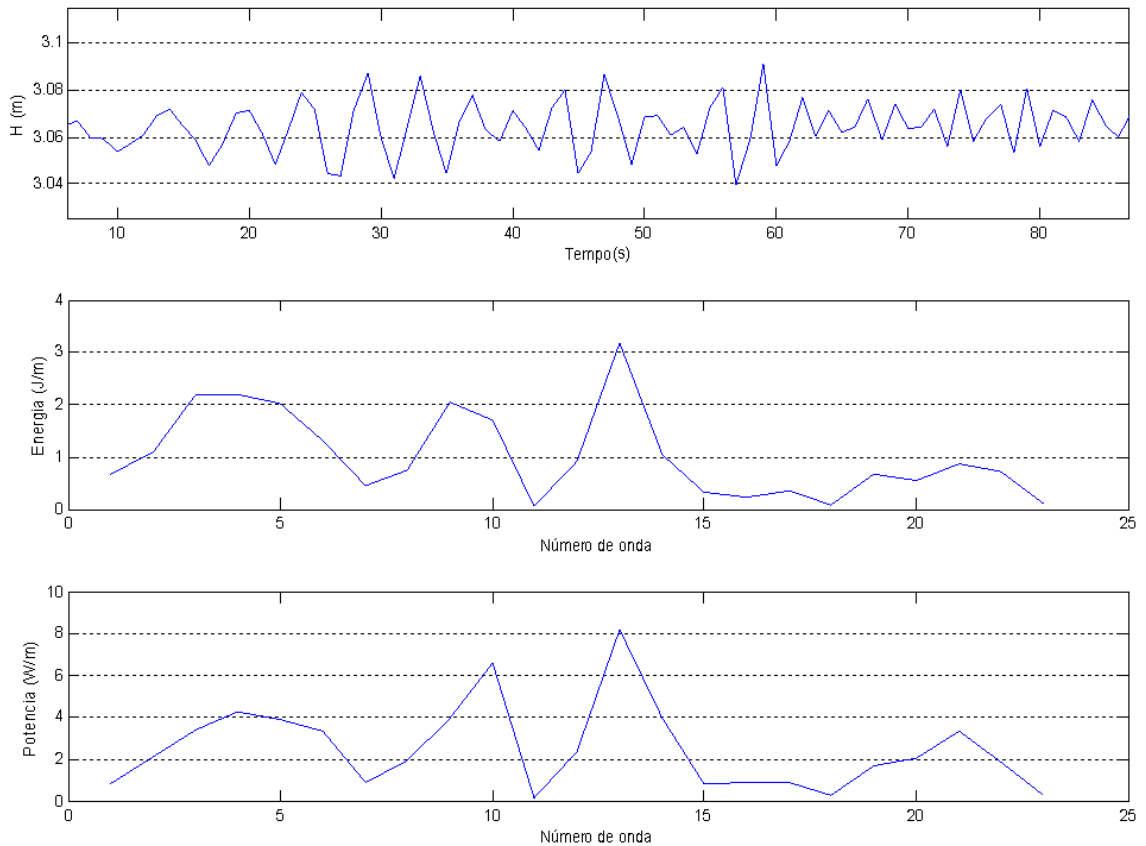
$$H = [\text{BMC} < \text{JS} < \text{RAB} < \text{LAN}].$$

$$E = [\text{BMC} < \text{JS} < \text{RAB} < \text{LAN}].$$

$$P = [\text{BMC} < \text{JS} < \text{RAB} < \text{LAN}].$$

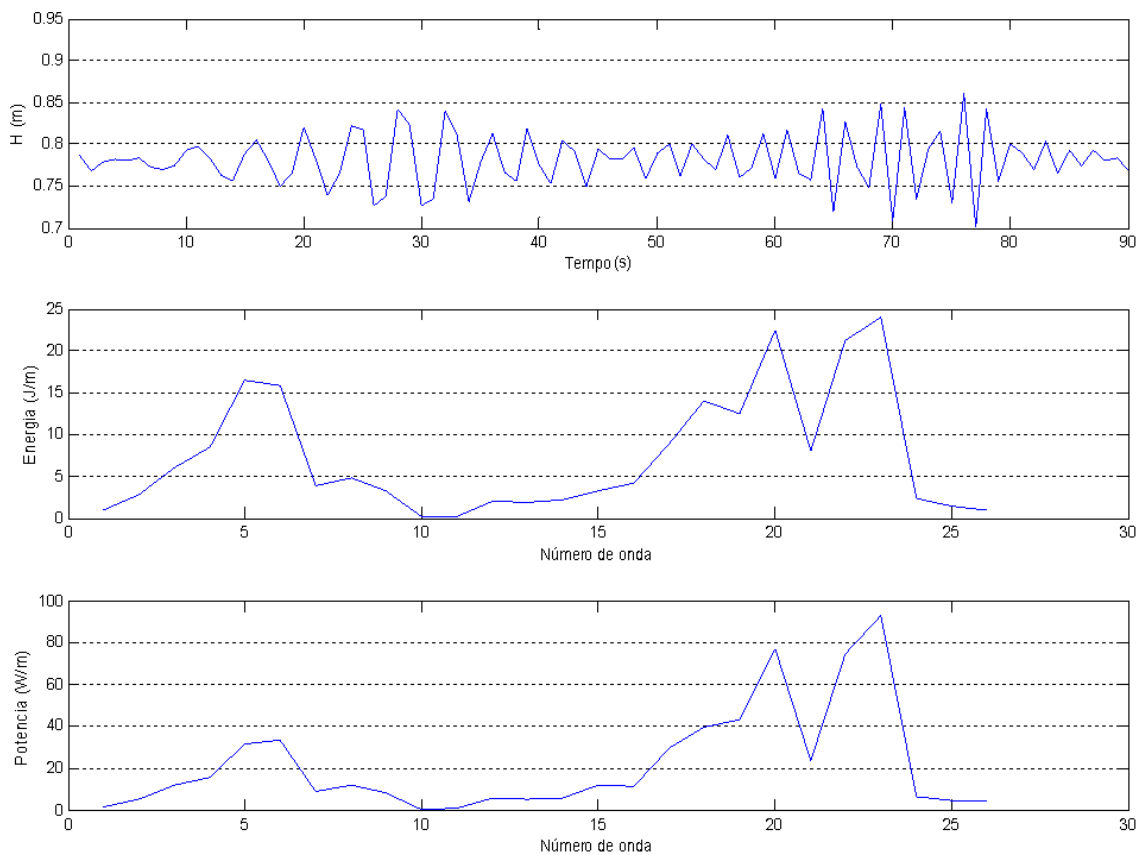
Do trem de ondas causado pela lancha no experimento 2, destas a que teve maior altura foi a onda 13 com de altura de 0,0498 m, 3,189 J/m de energia e 8,191 W/m de potência. Dados do sensor de pressão da área mais profunda (Figura 16).

Figura 16: Altura (m), energia (J/m) e da potência (W/m). Sensor de pressão da posição mais profunda.



Já para a área mais rasa, a altura mais relevante foi da onda 20 com altura de 0,8438 m, tendo a energia de 20,09 J/m e potência de 106 W/m (Figura 11).

Figura 17: Altura (m), energia (J/m) e potência (W/m). Sensor de pressão da posição mais rasa.



Com os dados de altura, energia e potência das principais ondas de cada trem analisado, tem-se para as extensões dos pontos no Combú (extensão = 30 m) e orla (extensão = 40 m):

Experimento 1:

Barco com motor de centro: $E = 7,209 \text{ J/m}$; $P = 25,137 \text{ W/m}$.

Rabeta: $E = 52,83 \text{ J/m}$; $P = 126,75 \text{ W/m}$.

Jet ski: $E = 28,842 \text{ J/m}$; $P = 64,92 \text{ W/m}$.

Lancha: $E = 205,83 \text{ J/m}$; $P = 891 \text{ W/m}$.

Experimento 2:

Sensor de pressão do fundo: $E = 91,23 \text{ J/m}$; $P = 331,72 \text{ W/m}$.

Sensor de pressão do raso: $E = 803,6 \text{ J/m}$; $P = 4240 \text{ W/m}$.

7. Discussão

Observações feitas por Neves Maciel e Rosauero (2006) no lago da Ilha Solteira, rio Paraná (fronteira entre os Estados de São Paulo e Minas Gerais) revelaram que a vegetação submersa tem semelhança com a viscosidade quanto ao efeito dissipativo da energia das frequências mais altas das ondas devido ao atrito. Afirmam também que a permanência da vegetação é produto de uma hidrodinâmica que favorece a deposição de sedimento e beneficiando espécies animais.

Por outro lado, no caso da orla da UFPA, o rio e suas características já mencionadas exercem o controle na erosão, aliado a isso, as análises da batimetria indicam que nas imediações da UFPA existe um canal e, segundo Gregório (2008), a erosão que ocorre na margem é consequência das correntes de marés e fluviais. Logo a presença de vegetação não é suficiente para o controle da erosão.

Se a climatologia do vento, o principal causador de ondas de gravidade, comprovar que as ondas causadas por ele atacam principalmente a margem esquerda do rio Guamá na área estudada, só viria comprovar que as correntes citadas no parágrafo anterior, são as maiores causadoras da erosão. As ondas de gravidade geradas por embarcação somam-se como um dos fatores responsáveis de tal erosão.

Na literatura pesquisada (LIMA,2005; MACIEL e MORAIS, 2008; NASCIMENTO, 2007; NEVES, MACIEL, ROSAURO, 2006) os estudos realizados no Brasil abordando as características das ondas geradas por embarcação (OGE) não levam em conta as velocidades das possíveis correntes.

Na revisão bibliográfica, foi abordado que um dos fatores que interferem nas alturas das ondas é a velocidade relativa do fluxo do fluido ao barco, que é igual à velocidade da embarcação calculada para um referencial fora do sistema fluido/objeto. Para estuários como o do rio Guamá, que possui regime de meso-maré, o parâmetro velocidade do fluido ao barco torna-se aparente, pois a água que está em contato com o casco já possui movimento. Mesmo estando o barco parado em relação a um referencial externo ao sistema, salvo casos de estufa de maré.

Se a embarcação navega contra ou no mesmo sentido da corrente e a uma mesma velocidade para um observador fora do sistema, o número de Froude teria o mesmo valor para as duas situações, logo as alturas das ondas deveriam ser iguais. Porém não é o que ocorre. A

velocidade dentro do sistema fluido/objeto é a que deve ser considerada para a obtenção de dados satisfatórios. Logo, as maiores alturas das ondas seriam para o trajeto contra a corrente. A utilização de aparelhos com rotores ou ADCP são úteis na correção dos dados de velocidades.

Quanto às diferenças entre as ondas dos tipos de embarcação amostrados ficou dentro do esperado, ou seja, embarcações mais velozes tendem a gerar as maiores ondas, logo as energias e potências responderam à proporção.

A climatologia do vento daria suporte como fez como fez Lima (2005), pois o que existe de pesquisa, abrange até a Baía de Guajará, ou são para escalas maiores. Segundo Gregório (2008), o vento *terral* de sudeste atinge possui pista livre na baía, ocasionando em ondas que atacam as ilhas do lado oeste da baía preservando os depósitos sedimentares do lado oposto.

Observou-se que no experimento 1 que a lancha foi a embarcação que causou ondas mais energéticas e potentes, em contra partida, a embarcação com motor de popa foi a que gerou as menores ondas, logo, proporcionando menos energia e potência nas ondas. O jet ski tem capacidade de se movimentar mais rápido do que uma rabeta, mas o trem de ondas gerado pelo primeiro foi de um jet ski que trafegava com uma velocidade menor do que a velocidade normal para esse tipo de embarcação, daí os menores valores de altura, energia e potência do que os valores desses parâmetros para a rabeta.

No experimento 2, o trem de ondas indo da lancha ganharam mais energia e potência ao se aproximar da margem emersa, indicando que a profundidade influência no acréscimo às alturas.

8. Conclusão

Concluiu-se no estudo de ondas geradas por embarcação, que o parâmetro *número de Froude* para o comprimento somente é válido para ambientes com correntes se forem adotadas medidas de correção da velocidade do fluido em relação à embarcação, como rotores e ADCP.

Os trens de ondas mais energéticos foram gerados por embarcações de recreação. As lanchas mantiveram as ondas mais altas, todavia, o jet ski amostrado não correspondeu à sua velocidade peculiar. Por outro lado, as ocorrências de eventos dos barcos com motor de centro e rabetas são mais frequentes que os outros tipos, então o número de ondas geradas é proporcional. Uma constância que pode induzir à erosão comparável a de ondas mais altas.

Recomendo a continuação de trabalhos que foquem a temática abordada no presente trabalho sobre as ondas geradas por embarcação na região Norte, visto que, não há relatos desse tipo, onde o transporte utilizando embarcações é tão antigo e importante até os dias de hoje.

Também, há que se considerar as ondas geradas por vento como objeto de estudo, de forma que se faça comparações das ondas que ocorrem em resposta a fatores naturais com gradadas por embarcação.

Outras abordagens de eventos de ataque das ondas sob a margem como fez Osborne e Boak (1999), no estudo sobre transporte de sedimento teriam igual valor na contribuição da pesquisa.

REFERÊNCIAS

- DIRETORIA DE HIDROGRAFIA E NAVEGAÇÃO (DHN). *Tábuas de maré para o Porto de Belém (Estado do Pará)*. Disponível em: <<http://www.dhn.mar.mim.br/chm/tabuas>>. Acessado em novembro de 2011.
- GONÇALVES, F. D.; SOUZA FILHO. Integração de imagens Radarsat-1 e Landsat-7 para o mapeamento dos índices de sensibilidade ambiental a derramamentos de óleo na Baía de Guajará (Belém-PA). In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 12., 2005, Goiânia. *Anais...* Goiânia: INPE, 2005. p. 1789-1796.
- GREGÓRIO, A. M. da S. *Contribuição à gestão ambiental da Baía de Guajará (Belém-Pará-Amazônia) através de estudo batimétrico e sedimentológico*. 2008. 128f. Dissertação (mestrado) - Universidade do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2008.
- GREGÓRIO, A. M. da S.; MENDES, A. C. Batimetria e sedimentologia da Baía de Guajará, Belém, estado do Pará, Brasil. *Amazônia: Ciência e Desenvolvimento*, v.5, n.9, p. 53-72. 2009.
- HAVELOCK, T. H. The propagation of groups of waves in dispersive media with application to wave on water produced by a traveling disturbance. In: *Proceedings*. [S.l.]: The Royal Society of London, 1987. Series A, v. 81, p.398-430.
- INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (INMET). *Gráfico da chuva acumulada versus normal climatológica*. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/html/observacoes>>. Acessado em dezembro de 2011.
- LIMA, S. F. *Amortecimento de ondas gravitacionais por campos de vegetação simulados por elementos de grande flexibilidade*. 2005. 123f. Tese (Doutorado em Engenharia Oceânica) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2005.
- LIMA, R. R. A agricultura na várzea do estuário do Amazonas. *Bol. Tec. do Inst. Agro. do Norte*, Belém, n.33, p. 1-164. 1956.
- MADSEN, P. A.; CHAMBERS, P.A.; JAMES, W.F.; KOCH, E. W.; WESTLAKE, D. F. The interaction between water movement, sediment dynamics and submersed macrophytes. *Hidrobiologia*, v. 444, p. 71-84. 2001.
- MAYNORD, S. Ship effects in navigation channels. In: SHIP EFFECTS WORKSHOP, 2002, Gulport, MS.
- MIRANDA, L. B de. *Princípios de oceanografia física de estuários*. São Paulo: Universidade de São Paulo, 2002.
- NASCIMENTO, M. F. *Estudo numérico da propagação para águas rasas de ondas geradas por embarcações*. 2007. 222f. Tese (doutorado) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2007.

NASCIMENTO, M. F.; FREITAS, C. F.; MACIEL, G. F. Estudo da influência, nos processos sedimentológicos, das velocidades orbitais de ondas geradas por embarcação junto às margens de canais de navegação. In: SEMINÁRIO DE TRANSPORTE DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ENGENHARIA NAVAL, 6., 2009, Rio de Janeiro. *Anais...* Rio de Janeiro: [s.n.], 2009.

NASCIMENTO, M. F.; FREITAS, C. F.; MACIEL, G. F. Modelo numérico de Boussinesq adaptado para a propagação de ondas de embarcação em águas rasas. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, Porto Alegre, v. 15, n.4, p.05-15. 2010.

NEVES, C. F.; MACIEL, G. F.; ROSAURO, N. M. L. Amortecimento de ondas por vegetação: uma estratégia para proteção de margens lacustres. In: SEMINÁRIO DE ENGENHARIA OCEÂNICA. SEMENGO, 2, 2006, Rio Grande. *Anais...* Rio Grande: Editor, 2006. v. 1, p.1-14.

OSBORNE, P. O.; BOAK, E. H. Sediment suspension and morphological response under vessel-generated wave groups: Torpedo Bay, Auckland, New Zealand. U.S.A. *Journal of Coastal Research*, v.15, n.2, p.388-398.1999.

PERMANENT INTERNETIONAL ASSOCIATION OF NAVIGATION CONGRESSES (PIANC). Guidelines for the design and construction of flexible revetments incorporating geotextiles for inland waterways. In: INTERNATIONAL NAVIGATION ASSOCIATION, 1987, (Boletim 57).

PINHEIRO, R. V. L. *Estudo hidrodinâmico e sedimentológico do estuário Guajará-Belém (PA)*. 1987. 184f. Dissertação (Mestrado em ciências na área de geologia) - Universidade Federal do Pará, Belém, 1987.

SOUZA, A. R. *Experimentos em ondas mecânicas*. 2011. 152f. Dissertação (Mestrado em Ensino de Física) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2011.

SORENSEN, R. M. *Prediction of vessel-generated waves with reference to vessels common to the upper Mississippi river system*. Bethlehem, PA, U.S.A: Lehigh University, 1997.

WEGGEL, J. R.; SORENSEN, R. M. Ship wave prediction for port and channel design. In: OF THE PORTS '86 CONFERENCE, 1986, Oakland, U.S.A. *Proceedings*. Oakland, U.S.A., 1986. p.797-814.