

SUBSÍDIOS À GESTÃO COSTEIRA INTEGRADA NA REGIÃO OCEÂNICA DE NITERÓI/RJ: UMA ANÁLISE DO COMPORTAMENTO MORFODINÂMICO DA PRAIA DE ITACOATIARA

Fábio Guimarães Oliva¹

Maria Augusta Martins da Silva²

260

Resumo: Este artigo efetua monitoramento sistemático da hidrodinâmica das marés de sizígia e analisa o comportamento morfodinâmico de um ambiente costeiro de micromaré. Busca-se compreender como a dinâmica das marés pode gerar impactos em zonas costeiras e, assim, dar suporte à gestão destes ambientes. Foram realizados levantamentos de campo durante o inverno e a primavera na praia de Itacoatiara (Niterói/RJ) para a execução de perfis praias e aferição dos alcances máximos das correntes de maré. O método baseou-se em Emery (1961) para a elaboração dos perfis topográficos que expressam as mudanças morfológicas exibidas pelo ambiente. Os dados apontaram consideráveis alcances máximos das correntes e comportamento morfodinâmico que resulta em significativas variações morfológicas que podem condicionar a atuação da hidrodinâmica das marés. A análise dos resultados mostra a relevância da dinâmica das marés e de suas interações com a topografia praial para o planejamento e a gestão integrada da zona costeira.

Palavras-chave: correntes de maré; comportamento morfodinâmico; perfil de praia; gestão costeira.

SUPPORT TO INTEGRATED COASTAL MANAGEMENT IN THE OCEANIC REGION OF NITERÓI/RJ: AN ANALYSIS OF THE MORPHODYNAMICAL BEHAVIOR OF THE ITACOATIARA BEACH

Abstract: This work analyzes the hydrodynamics of spring tides and the morphodynamical behavior of a microtidal coastal environment. The aim includes a discussion how the dynamics of spring tidal currents can generate impacts in coastal areas and, thus, support the management and planning of these areas. Fieldworks were carried out to verify the maximum internal reach of tidal currents during winter and spring months on Itacoatiara Beach, located in the oceanic region of Niterói, Rio de Janeiro. The methodology includes the method of Emery (1961) that was useful to construct beach profiles that show the morphological changes of the beach environment. The data showed considerable maximum internal reach of spring tidal currents and morphodynamical

¹ Doutorado em Geografia pelo Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal do Rio de Janeiro (PPGG/UFRJ). E-mail: faoliva@hotmail.com

² Professora Associada do Departamento de Geologia da Universidade Federal Fluminense.

behavior that results in significant morphological variations that may influence tidal hydrodynamics. The analysis of the results indicates the relevance of tidal dynamics and their interactions with beach topography for integrated coastal zone management and planning.

Keywords: tidal currents; morphodynamical behavior; beach profile; coastal management.

SOPORTE A LA GESTIÓN COSTERA INTEGRADA EN LA REGIÓN OCEÁNICA DE NITERÓI/RJ: UN ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO MORFODINÁMICO DE LA PLAYA DE ITACOATIARA

Resumen: Este artículo analiza la hidrodinámica de las mareas de sizigia y el comportamiento morfodinámico de un ambiente costero de micromaré. Se busca comprender cómo la dinámica de las mareas puede generar impactos en zonas costeras y dar soporte a la gestión de estos ambientes. Se realizaron levantamientos de campo durante el invierno y la primavera en la playa de Itacoatiara (Niterói/RJ) para la ejecución de perfiles playais y la medición de los alcances máximos de las corrientes. El método se basó en Emery (1961) para la elaboración de los perfiles topográficos que expresan los cambios morfológicos exhibidos por el ambiente. Los datos apuntaron considerables alcances máximos y comportamiento morfodinámico que resulta en significativas variaciones morfológicas que pueden condicionar la hidrodinámica de las mareas. Los resultados muestran la relevancia de la dinámica de las mareas y de sus interacciones con la topografía para la gestión integrada de las zonas costeras.

Palabras clave: corrientes de marea; comportamiento morfodinámico; perfil de playa; gestión costera.

1. Introdução

A morfogênese e a morfodinâmica das zonas costeiras estão condicionadas à atuação tempo-espaial de processos tectônicos, geomorfológicos, climáticos e oceanográficos, dentre os quais os processos hidrodinâmicos costeiros como ondas, correntes costeiras e marés apresentam grande relevância na dinâmica de esculturação dos ambientes costeiros. Neste sentido, ao abordar a atuação de processos de erosão, transporte e sedimentação no desenvolvimento de formas costeiras e no entendimento da dinâmica praial, faz-se necessária uma compreensão acerca do papel das ondas, das correntes costeiras e das marés, uma vez que estes agentes atuam em escala de tempo histórica, influenciando a morfodinâmica costeira e a vida das sociedades.

A zona costeira é a interface entre continente, atmosfera e oceano, sendo, portanto, vulnerável a mudanças nestes três grandes componentes do sistema

terrestre. Em zonas costeiras, a interação entre os fenômenos astronômicos (marés) e oceanográficos com os processos sedimentares se faz de forma mais intensa e, neste contexto, os mecanismos hidrodinâmicos têm papel essencial por meio da ação erosiva, de transporte e de sedimentação. Para Muehe (1998) a morfologia resultante depende de fatores adicionais como tipo e disponibilidade de sedimentos, geologia e variação do nível do mar, mas a abrangência espacial de diferentes climas de ondas constitui um fator essencial na definição das formas e na dinâmica dos processos.

De acordo com Muehe (1998), a configuração de um litoral representa o resultado de longa interação entre processos tectônicos, geomorfológicos, climáticos e oceanográficos e para efeitos de planejamento e gerenciamento, a identificação e caracterização de macrocompartimentos costeiros similares morfologicamente e inclusive com relação aos processos atuantes, representa um grande passo para a sistematização dos conhecimentos existentes e para a integração de informações em nível multidisciplinar.

Segundo Fernandez *et al.* (2012), a zona costeira envolve processos de interface entre o continente e o oceano que a caracteriza como uma área sujeita a alterações morfológicas de grande magnitude. Nesta área, pode-se observar uma série de ambientes deposicionais e erosivos, onde se destacam as praias, revelando para esta faixa, múltiplas vocações e funções, ressaltando-se entre estas seu papel de proteção a ondulações oriundas de tempestades, e sua utilização para o lazer.

Um ambiente costeiro praias pode ser definido, de acordo com Friedman e Sanders (1978), como um depósito sedimentar formado por sedimentos inconsolidados ao longo de uma costa sujeito à ação das ondas, no qual o limite interno (continental) corresponde ao alcance máximo das ondas de tempestade enquanto o limite externo (marinho) é definido pela zona de arrebentação das ondas durante a maré baixa. Este conceito associa diretamente formas e processos, pois, como afirma Calliari *et al.* (2003), os processos responsáveis pelo comportamento das praias começam a atuar na base da antepraia (*shoreface*), a qual representa o limite externo da “camada limite costeira”. O conceito de Tessler (2005) também constrói uma relação entre formas e processos uma vez que define os ambiente praias como

ambientes sedimentares costeiros formados mais comumente por areias de composição variada nos quais o limite externo é marcado por uma feição de fundo onde tem início o processo de arrebentação das ondas e o limite interno é definido pela zona máxima de incidência das ondas de tempestade.

O clima de ondas influencia a variação espacial e temporal do comportamento morfodinâmico das praias, ao passo que o regime de marés exerce grande influência temporal, pois depende do ciclo lunar e das diferentes estações do ano. De acordo com Calliari *et al.* (2003), o regime da zona de arrebentação, por sua vez, depende do clima de ondas de águas profundas do local e, pelo grau de modificação que as mesmas sofrem (diminuição ou aumento) antes de atingir o ponto de quebra. Variações temporais do estado da praia dependem fundamentalmente do regime ondulatório de águas profundas, ao passo que, mudanças espaciais dependem principalmente das variações na modificação das ondas à medida que as mesmas se propagam para águas rasas. Estas modificações são controladas pela geologia e configuração da costa e tanto a variabilidade temporal como a espacial dependem do tipo e da disponibilidade do material que compõe a praia.

De maneira geral, a sensibilidade morfodinâmica das praias se torna cada vez mais evidente em função do contínuo e crescente processo de ocupação da zona costeira, com pouco ou nenhum planejamento. A crescente ocupação está diretamente associada não somente as inúmeras atividades associadas e as amenidades que a praia dispõe, mas também pode estar atrelada a falsa percepção de que localmente estas se mantêm estáveis (FERNANDEZ, *et al.*, 2012).

A hidrodinâmica que existe ao longo da praia é o resultado da interação de ondas incidentes, refletidas ou parcialmente refletidas da face da praia, modos ressonantes de oscilações (ondas de borda, estacionárias ou progressivas), fluxos permanentes e aperiódicos, que resultam da arrebentação e dos fluxos gerados por ondas e marés. Tais movimentos da água exercem atrito sobre os materiais inconsolidados da praia, causando gradientes espaciais e temporais em seu transporte e são estes gradientes que geram mudanças em morfologia, as quais, por sua vez, induzem modificações no padrão hidrodinâmico atuante. À medida que a

hidrodinâmica produz determinadas morfologias, estas mesmas morfologias induzem mudanças no padrão hidrodinâmico atuante, ou seja, morfologia e hidrodinâmica evoluem em conjunto, uma influenciando a outra (WRIGHT & SHORT, 1984).

A praia é altamente dinâmica, podendo erodir ou progradar em função da ação direta das ondas em apenas algumas horas, chegando a ponto de parte relacionada à parte emersa do sistema desaparecer por completo, em casos de tempestades excepcionais (FERNANDEZ & SAVI, 2001; BULHÕES *et al.* 2010). Morfodinâmica praial é um método de estudo que integra observações morfológicas e dinâmicas numa descrição mais completa e coerente da praia e zona de arrebentação (CALLIARI *et al.*, 2003).

Wright *et al.*, (1982) observaram aspectos importantes relacionados também com o efeito da variação de maré na morfodinâmica praial. Atribuíram às ondas (vagas e ondulações) a maior parte do trabalho realizado nas porções intermaré e submaré do perfil praial, sendo responsáveis primárias pela remobilização e suspensão de sedimentos. Porém, embora a morfologia das praias do tipo micromaré seja determinada basicamente por processos da zona de espraiamento e da zona de surfe, somente na zona de maré alta de praias do tipo meso e macromarés estes processos são dominantes. Mesmo assim, sua atuação é sujeita à ciclicidade das variações de maré, ou seja, é intermitente porquanto sujeita ao regime de marés.

2. Justificativa e Objetivos

A região oceânica de Niterói/RJ começou ser mais densamente ocupada a partir da década de 1970, com o advento da construção da Ponte Rio-Niterói, que proporcionou maior mobilidade da população do estado do Rio de Janeiro e motivou um maior fluxo de pessoas para a zona costeira do município de Niterói. Com estas mudanças, desenvolveu-se a urbanização de toda a zona costeira, muitas vezes com planejamento deficiente, gerando impactos devido à implantação de aterros e construção de moradias, calçadões e ruas em áreas próximas e adjacentes à costa. Ademais, a urbanização promoveu a retirada dos manguezais e das restingas, desprotegendo as áreas mais internas da ação das ondas e das marés e contribuindo

para uma alteração da dinâmica natural dos ambientes costeiros. Neste sentido, o fenômeno das ressacas recebeu maior atenção da imprensa a partir da década de 1970, quando a zona costeira do estado do Rio de Janeiro passou a sofrer impactos mais severos em decorrência dos eventos de ressaca e urbanização intensa.

A análise da dinâmica e da morfologia das praias em muitos países, como Estados Unidos e Austrália, vem sendo realizada de forma sistemática no intuito de se entender o comportamento dos perfis topográficos de praia frente a mudanças nas condições meteorológicas e oceanográficas (SANTOS, 2001). Desde o início do crescente processo de urbanização da zona costeira do município de Niterói, em meados da década de 1970, estudos já existiam a respeito da dinâmica e morfologia das praias da região. Entretanto, tais estudos não eram aproveitados de maneira adequada afim de uma melhor contribuição no momento de uma tomada de decisão para uma melhor gestão da zona costeira. Ao longo das décadas subsequentes, notou-se que o entendimento dos processos costeiros era importante para uma melhor gestão, pois subsidiava o planejamento ambiental e urbano tendo em vista uma ocupação ordenada que preocupava-se com a dinâmica natural do ambiente e com a qualidade de vida da sociedade.

O estudo da dinâmica dos ambientes costeiros, sobretudo os ambientes praias de alta energia no que se refere aos processos hidrodinâmicos e morfodinâmicos desempenhados por ondas e marés, é fundamental para o entendimento dos processos naturais e ponto crucial para compreender os desequilíbrios induzidos pelo homem ao se apropriar destes espaços. De acordo com Bulhões, *et al.* (2014), o campo de ondas em águas profundas é notável por sua variabilidade e dita a energia de ondas que vai ser direcionada para a costa. Os impactos morfológicos nos ambientes costeiros dependem da magnitude das forçantes meteorológicas e oceanográficas e da capacidade das praias de absorverem esta energia.

Especialmente em ambientes de alta energia, a incidência de ondas de tempestade associadas a sistemas frontais podem conjugar os seus efeitos com aqueles relativos a linhas de preamares de sizígia e gerar grandes volumes de água que remobilizam materiais e tendem a promover remoção e transporte de elevado aporte

sedimentar em ambientes praias. Segundo Press *et al.* (2006), tempestades que ocorrem durante eventos de marés de sizígia podem gerar as chamadas marés de ressaca, ondas de maré alta que podem cobrir toda a praia e colidir com as estruturas sedimentares, rochosas ou artificiais situadas no pós-praia. Tais eventos erosivos reafirmam a necessidade de estudos referentes à dinâmica costeira, como energia e clima de ondas, amplitude de marés e alcance máximo interno das correntes de maré.

A dinâmica dos ambientes costeiros, sobretudo das praias, é um aspecto fundamental e que deve ser levado em conta no planejamento da zona costeira e no desenvolvimento de uma gestão costeira integrada. De acordo com Souza (2009), um dos princípios básicos da Gestão Integrada da Zona Costeira (GIZC) é que a mesma deveria funcionar em um contexto que é resposta de incertezas científicas sobre as funções dos ecossistemas costeiros, que são complexos e respondem continuamente aos estresses causados por intervenções antrópicas. Adicionalmente, deve ser efetuada uma avaliação comparativa entre cenários de riscos (aos ecossistemas e ao homem) e opções de gerenciamento disponíveis, guiando a seleção de estratégias de gerenciamento.

Historicamente, e baseados nos princípios ecológicos de Pressão-Mudança-Impacto-Resposta, a maioria dos modelos de GIZC destaca a interrelação entre pressões ambientais (estresses ou forçantes antrópicas e naturais), mudanças ambientais (modificações impostas ao sistema costeiro quando afetado pelas pressões), impactos ambientais (conseqüências das mudanças ambientais atuando negativamente sobre os processos ambientais e socioeconômicos), e respostas políticas (ações integradas de gestão que podem ser tomadas para mitigar os impactos gerados pelas mudanças ambientais e minimizar as pressões sobre a zona costeira) (TURNER *et al.*, 1998).

Neste contexto, este trabalho apresenta e discute o comportamento morfodinâmico sazonal de um ambiente praias localizado na costa do Sudeste do Brasil, Estado do Rio de Janeiro, em função das variações temporais da hidrodinâmica exercida pelas marés e correntes de maré durante as fases de sizígia. Busca-se compreender, principalmente, como as variações nestas hidrodinâmicas influenciam e

modificam a morfologia praial em curta escala de tempo e como a morfologia resultante pode condicionar a hidrodinâmica das correntes de maré em um sistema ambiental que evolui de forma conjugada. Com esta análise, pretende-se compreender melhor o comportamento morfodinâmico de um ambiente costeiro sob regime de micromaré e fornecer subsídios ao planejamento e gestão integrada da zona costeira.

3. Caracterização da Área de Estudo

Este trabalho tem como área de estudo a praia de Itacoatiara, situada na costa oceânica do município de Niterói/RJ, sendo, no sentido Oeste-Leste, a última das praias deste município, já no limite com o município de Maricá/RJ. Este sistema ambiental costeiro possui orientação aproximadamente W-E e exibe um arco praial de 750 m de extensão que é limitado em suas extremidades oeste e leste por dois esporões cristalinos que, no entanto, não protegem a praia das ondulações provenientes de sul e de sudoeste (MUEHE, 1975). Seus limites ocidental/oeste e oriental/leste são representados pelo Morro das Andorinhas e pelo maciço que inclui o Costão de Itacoatiara e a Pedra do Elefante, respectivamente (**Figura 1**). Estes promontórios rochosos localizados à leste desta praia compõem a extremidade sul da Serra da Tiririca, junto ao mar, e demarcam o limite entre os municípios de Niterói e Maricá.



Figura 1. Visão panorâmica da praia de Itacoatiara a partir da Pedra do Elefante. Em segundo plano, encontra-se o Morro das Andorinhas e a Ponta de Itaipu que limitam a extremidade oeste do arco praial. Fonte: os autores.

De acordo com Muehe (2001), este setor costeiro está inserido no macrocompartimento dos cordões litorâneos onde, entre o Cabo Frio e a baía de Angra dos Reis, as rochas do embasamento praticamente chegam à linha de costa inibindo o desenvolvimento de planícies costeiras que, quando presentes, evoluíram a partir do entulhamento sedimentar dos baixos vales fluviais, impressos nas paisagens periféricas das baías de Guanabara e de Sepetiba.

A praia de Itacoatiara é classificada como refletiva, considerando inerente a esta característica, de acordo com Calliari *et al.* (2003), o desenvolvimento de acentuado gradiente topográfico em seus perfis e redução da largura da zona de surfe com ondas colapsando na frente de praia gerando demasiada turbulência. Com relação à granulometria, as areias predominantes são definidas como areias médias cujas frações encontram-se em torno de 0,25 e 0,50 mm (MUEHE, 1975).

O regime de maré da área de estudo é classificado como semi-diurno com desigualdades diurnas que resultam em duas preamares e duas baixa-mares diárias que ocorrem em um intervalo de aproximadamente 6h 12 min. No que se refere à amplitude de maré, o ambiente estudado está submetido ao regime de micromaré, caracterizado por apresentar amplitudes de maré de até 2.0 m, sendo que a área de estudo, em escala local, desenvolve amplitudes de maré de até 1.4 m que, segundo Muehe (1989), ocorre durante os episódios de marés de sizígia, uma vez que as de quadratura manifestam-se em menores amplitudes. Como afirma Davis Jr. (1985), as marés são responsáveis pelo afogamento e exposição de uma determinada área durante a preamar e a baixa-mar, respectivamente. De acordo com o autor, é de grande importância o estudo das marés e da diferença de amplitude entre as marés de sizígia e as de quadratura.

4. Materiais e Métodos

Os métodos utilizados, nesta pesquisa, incluem a realização de perfis topográficos de praia em fases de maré de sizígia e aferição dos alcances médios e máximos das correntes de maré em períodos de preamar e de baixa-mar, estabelecendo suas amplitudes e seus alcances máximos internos. Durante a execução da perfilagem topográfica e a partir da análise da morfologia apresentada pela praia, pode-se identificar e aferir a largura dos subambientes praias, tal como o pós-praia e a frente de praia e, por fim, calcular o ângulo de declividade da frente praial.

Este monitoramento sistemático teve como objetivo compreender como as feições morfológicas respondem às diferentes amplitudes de correntes de maré e ao alcance máximo da corrente de maré, assim como entender de que maneira a morfologia produzida influencia a hidrodinâmica e o alcance máximo interno das correntes de maré.

O local definido para a execução da perfilagem foi o referente ao meio do arco praial ($22^{\circ}58'27''$ S; $43^{\circ}01'57''$ W). A análise das amplitudes das correntes de maré foi realizada com base no alcance médio ocorrido nas preamares e baixa-mares. O alcance

médio e a largura dos subambientes praias foram calculados tendo como referência a baliza inicial, situada no início do perfil, e que foi fixada no limite mais interno da praia, junto à vegetação de restinga em seu contato com a areia (**Figura 2**).



Figura 2. Localização do início do perfil na praia de Itacoatiara com a baliza de referência sendo posicionada junto à vegetação de restinga. Fonte: os autores.

A determinação do alcance máximo interno foi baseada nos picos máximos das correntes de maré, registrados nas preamares de sizígia. Entende-se como amplitude das correntes de maré a diferença no alcance médio da massa d'água, em períodos de preamar e baixa-mar, quando de sua incidência e espraiamento sobre a praia. Os levantamentos de campo foram realizados em dias de tempo meteorológico estável, com mar calmo, pouco vento e predominância de ondulações associadas a bom tempo, para que não ocorresse influência significativa dos ventos e do mar agitado no empilhamento e na energia das ondas, o que, conseqüentemente, poderia alterar os resultados.

Os valores das preamares e baixa-mares foram adquiridos mediante consulta à tábua de marés da Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN). Para execução dos

perfis de praia, recorreu-se ao Método de Emery (1961) que consiste no alinhamento, perpendicularmente à linha de costa, de três balizas de 1.5 m de altura graduadas de 2 cm em 2 cm com cores alternadas e sustentada por uma base de madeira em forma quadrangular de cerca de 20 cm de largura. Foi utilizada uma quarta baliza para facilitar o alinhamento do perfil de forma a mantê-lo o mais perpendicular possível à linha d'água (EMERY, 1961). Desta forma, acredita-se ser mais fácil manter um alinhamento preciso, formando um ângulo de 90° com a orientação da faixa arenosa no meio do arco de praia. Inicia-se a perfilagem escolhendo o local de monitoramento, sendo o meio do arco de praia no caso deste estudo, e a distância horizontal é determinada de modo a acompanhar as mudanças morfológicas da praia (**Figura 3**).

A partir do alinhamento, a diferença vertical entre as balizas, resultado da declividade da praia, é obtida alinhando-se o topo de uma das balizas com a linha do horizonte, projetando-se a continuação desta linha imaginária na outra baliza o que fornecerá a diferença vertical entre as duas balizas. O perfil será concluído quando for possível fazer com que a baliza à frente alcance o ponto de recuo máximo das ondas (em condições de mar calmo ou durante a maré baixa) ou, quando não for possível devido ao mar agitado, atingindo somente até o ponto de alcance médio das ondas. O perfil topográfico realizado em campo é, primeiramente, confeccionado em folha de papel milimetrado e, posteriormente, representado por meio do software GRAPHER 1.3.



Figura 3. Perfilagem. A distância horizontal é determinada de modo a acompanhar as mudanças morfológicas da praia. Fonte: SILVA, M. A. M. (2002).

Com a sobreposição dos perfis construídos na preamar e na baixa-mar durante monitoramento ocorrido em um mesmo dia, pode-se identificar o alcance máximo das correntes de maré e a diferença entre o alcance médio destas correntes na preamar e na baixa-mar. Ademais, pode-se obter a largura dos subambientes praias e suas variações sazonais, bem como o ângulo de declividade da frente praias e suas alterações. Esta pesquisa apresenta dados de quatro campanhas de campo realizadas somente durante as fases de maré de sizígia, sendo duas ocorridas no inverno e duas na primavera.

5. Resultados e Discussão

Nos quatro levantamentos de campo realizados, foram verificados perfis praias muito distintos, evidenciando que a morfologia desenvolvida pela praia de Itacoatiara pode apresentar conspícuas mudanças em curta escala têmporo-espacial. Mudanças de morfologia, ainda que muito tênues, também foram observadas no curto recorte temporal do período da manhã para o da tarde, quando da oscilação da maré (maré

enchente). Os subambientes praias tiveram suas morfologias bastante modificadas com a variação sazonal, o que, por sua vez, influencia a hidrodinâmica das correntes de maré e seu espraiamento e alcance sobre a praia. Em todos os monitoramentos de preamar, exceto no levantamento I (Lev. I) (Figuras 4 e 5), o alcance máximo não atingiu o pós-praia, provavelmente em virtude deste subambiente ter apresentado a largura mais estreita dentre todos os levantamentos, considerando, ainda, que este alcance foi significativo ao comparar com os outros.

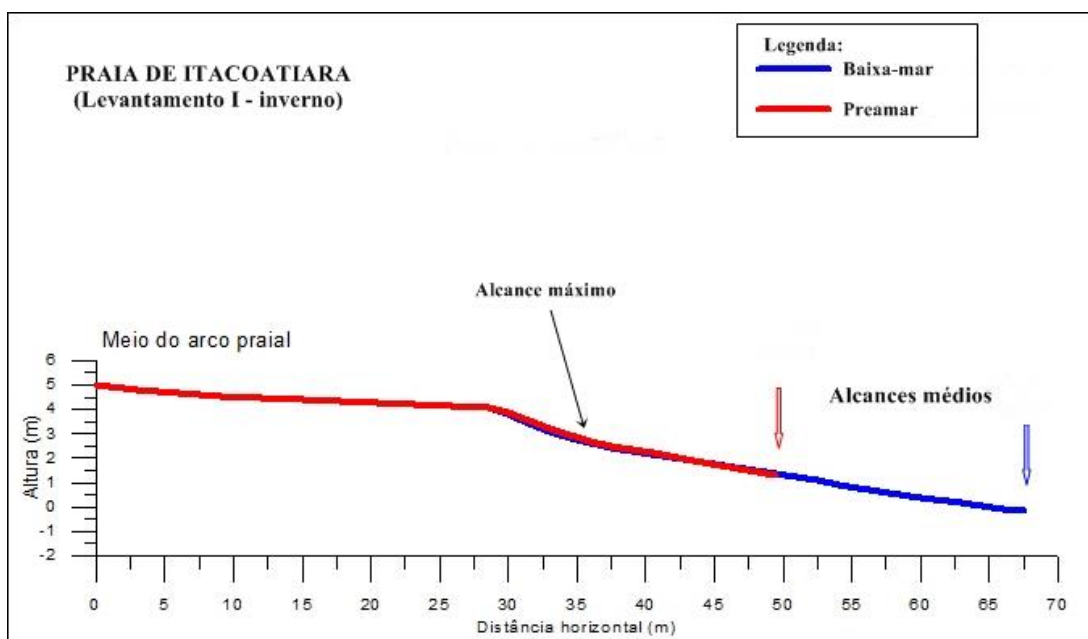


Figura 4. Perfis topográficos de praia executados no levantamento de campo I durante o inverno (junho). Fonte: os autores.

A frente de praia apresentou nítidas mudanças de largura na baixa-mar para a preamar em um mesmo monitoramento diário, em função da mudança no alcance médio das correntes de maré. No que se refere ao gradiente de inclinação da frente praial, este apresentou mudanças da baixa-mar para a preamar de um mesmo levantamento de campo, porém as modificações e variações ao longo do período estudado foram consideravelmente mais nítidas e relevantes.

No levantamento I, efetuado no durante o inverno (junho) e diante de uma oscilação de maré de 1.2 m a 0.1 m (DHN), a praia apresentou o subambiente do pós-praia com 28.5 m de largura tanto na baixa-mar como na preamar e a frente de praia

variou de largura entre 39.0 m e 21.0 m em função do aumento em 18.0 m do alcance médio das correntes na preamar que foi responsável pelo afogamento de parte deste subambiente (**Figuras 4 e 5**). Aproximadamente 46.1% da frente de praia encontrou-se afogada pelo alcance médio das correntes de preamar. Considerando o alcance máximo, este afogamento foi de 80.7% chegando próximo à transição com o pós-praia. O ângulo de inclinação da frente de praia variou pouco nas aferições efetuadas na baixa-mar e preamar, tendo apresentado 20° e 18°, respectivamente.



Figura 5. Ocorrência da baixa-mar (esq.) e da preamar (dir.) durante o levantamento I e seus respectivos alcances médios quando a frente de praia foi afogada em cerca de 18.0 m. Fonte: os autores.

Ainda durante o inverno (agosto), foi realizado o levantamento II (Lev. II) com oscilação de maré de 1.3 m a - 0.1 (DHN), portanto uma oscilação superior à apresentada no levantamento anterior. No período da manhã, na baixa-mar, a praia apresentava berma bem extensa após trecho inicial relativamente inclinado para o mar e um canal formado ao longo de praticamente toda a extensão do arco praial. O pós-praia apresentou aumento em sua largura tanto na baixa-mar (48.0 m) como na preamar (52.0 m) e a frente de praia variou entre 31.5 m (baixa-mar) e 13.5 m (preamar). Nota-se, neste levantamento, um considerável aumento da largura do pós-praia tanto na baixa-mar como na preamar, e uma redução da largura da frente de praia. O alcance máximo foi de 29.0 m, sendo o mais significativo dentre todos os levantamentos realizados e que afogou grande parte do pós-praia (**Figuras 6 e 7**).

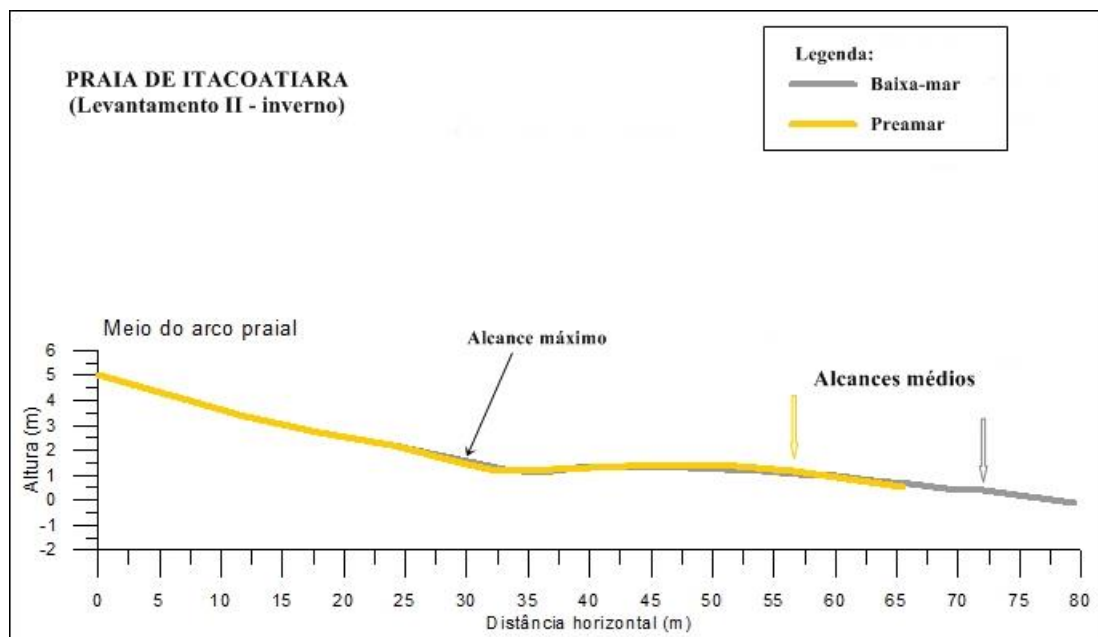


Figura 6. Perfis topográficos de praia executados no levantamento de campo II durante o inverno (agosto). Fonte: os autores.

Ocorreu uma grande suavização no ângulo de inclinação da frente de praia em relação ao levantamento I, uma vez que foram aferidos valores de 7° (baixa-mar) e 11° (preamar). Indiscutivelmente, a suavização esteve muito marcada, pois o ângulo decresceu de 20° para 7° na baixa-mar e de 18° para 11° na preamar. Em um período de seis semanas, de um monitoramento para outro, foi possível destacar inúmeras modificações nos perfis de praia, nos quais as características dos subambientes sofreram mudanças tanto em largura como em processos e formas associadas.



Figura 7. Visão sentido W-L da praia durante a baixa-mar (esq.) e a preamar (dir.). O canal e parte do pós-praia são inteiramente afogados pela atuação das correntes de preamar em seus alcances máximos. Fonte: os autores.

O levantamento III (Lev. III) ocorreu na primavera e somente dois meses após o segundo levantamento. A oscilação de maré foi de 1.1 m a 0.1 m (DHN), portanto uma oscilação de 1.0 m que foi inferior às anteriores. No período da baixa-mar, o pós-praia, apresentava um segmento mais rebaixado onde a água se acumulava formando um canal e, provavelmente, evidenciando que a preamar atingiu este ponto em seu alcance anterior (**Figura 8**). O pós-praia teve sua largura ampliada em relação ao levantamento anterior, apresentando 55.0 m (baixa-mar) e 54.0 m (preamar). A frente de praia teve redução de largura neste monitoramento, apresentando 21.0 m na baixa-mar e 12.0 m na preamar. A partir da análise do perfil, são nítidas as mudanças morfológicas desenvolvidas pela praia em sua evolução sazonal em função das interações com a hidrodinâmicas das marés, aqui monitoradas, com as ondas e as correntes costeiras, aqui não estudadas, mas que sabemos que são processos que atuam de forma contínua no desenvolvimento da morfologia dos perfis praiais. Neste levantamento, o alcance máximo foi de 50.5 m, o menos pronunciado dentre todos os levantamentos, mas que foi suficiente para atingir o pós-praia, devido à largura pouco significativa da frente de praia e à largura bastante relevante do pós-praia. Após a grande suavização do ângulo de quebra da frente de praia no levantamento II, foi registrado novo aumento neste ângulo, onde se observou o valor de 23° (baixa-mar) e

19° (preamar), refletindo nas mais íngremes frentes de praia dentre os três levantamentos realizados até o momento.

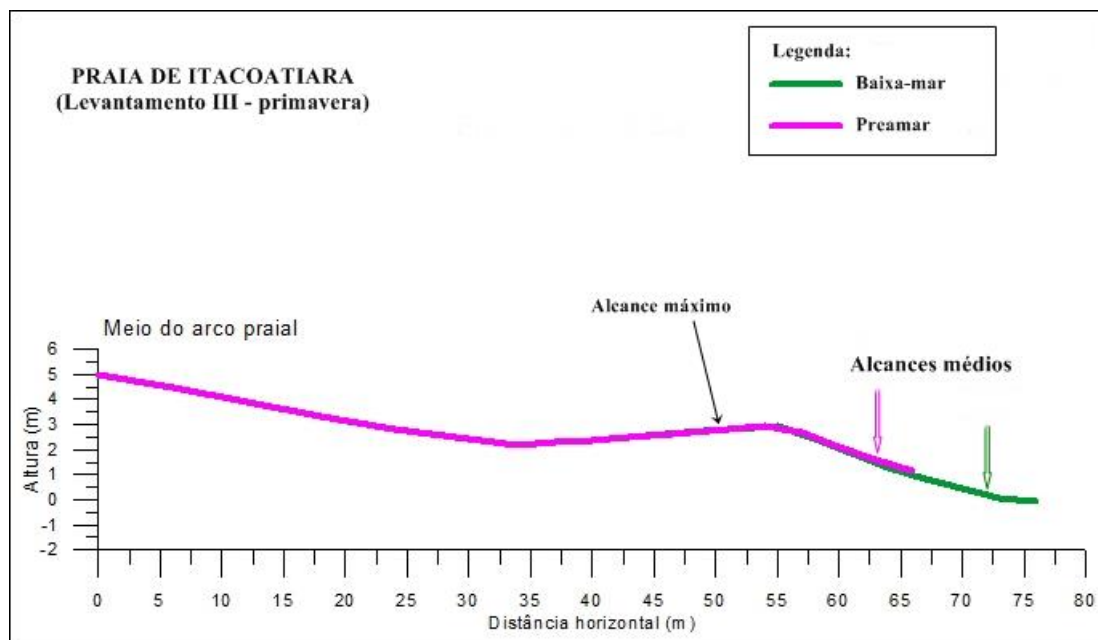


Figura 8. Perfis topográficos de praia executados no levantamento de campo III durante a primavera (outubro). Fonte: os autores.

O levantamento IV (Lev. IV) ocorreu um mês após o anterior, na primavera, com oscilação de maré de 1.0 m a 0.4 m (DHN) que gerou amplitude pouco significativa de 0.6 m, a menor dentre as quatro observadas. O subambiente do pós-praia teve sua largura um pouco reduzida e apresentou 49.5 m na baixa-mar e 51.0 m na preamar, valores similares ao levantamento II. A frente de praia teve sua largura ainda mais reduzida e foram registrados apenas 19.5 m na baixa-mar e 6.0 m na preamar, os valores mais baixos dentre todos os levantamentos (**Figura 9**).

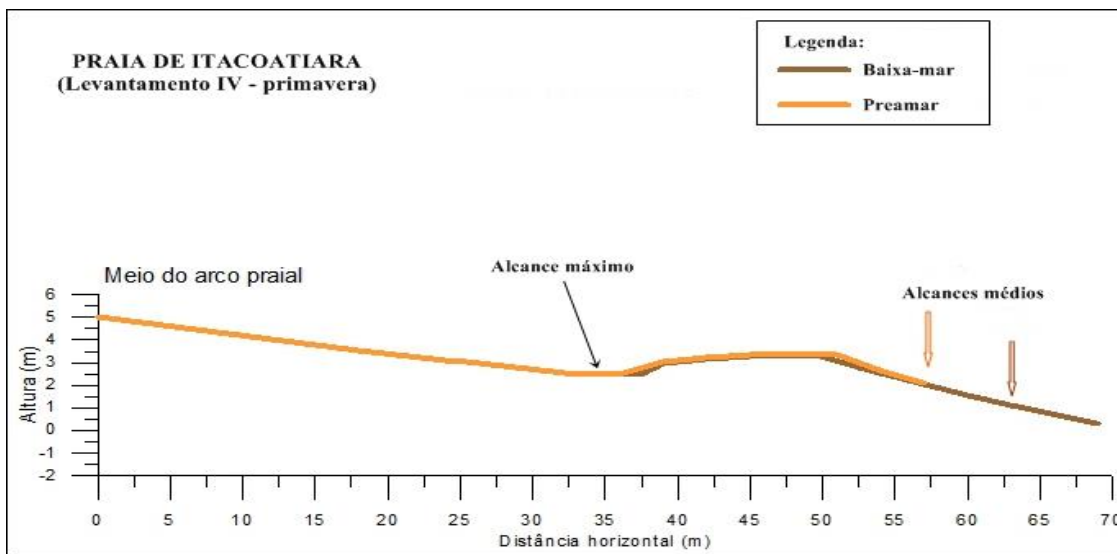


Figura 9. Perfis topográficos de praia executados no levantamento de campo IV durante a primavera (novembro). Fonte: os autores.

Com relação ao alcance máximo, este foi de 34.5 m, curiosamente o segundo mais significativo, pois ocorreu em monitoramento com a menor das preamares registradas pela DHN (**Figura 10**). No entanto, este elevado alcance em uma preamar pouco considerável pode estar associado à morfologia apresentada pela praia na qual um segmento do pós-praia apresentou inclinação voltada para o continente, o que pode ter contribuído para um maior espriamento das correntes de maré e seu consequente alcance interno significativo. O ângulo de inclinação da frente praial se manteve elevado neste levantamento, no qual foi registrado 22° na baixa-mar (muito próximo ao anterior) e 25° na preamar, que representa a frente de praia mais íngreme dentre todas as aferições.



Figura 10. Frente de praia com alto grau de inclinação na baixa-mar (esq.) sendo, neste trecho, totalmente encoberta pelos alcances máximos das correntes de preamar (dir.). Fonte: os autores.

Constataram-se, no ambiente estudado, amplitudes de correntes de maré de 18.0 m, 15.5 m, 8.5 m e 6.0 m nos levantamentos em fases de maré de sizígia. O mais elevado alcance máximo interno relativo à preamar (29.0 m, no Lev. II) pode estar relacionado à significativa linha de preamar de 1.3 m previamente divulgada pela tábua de marés e que ocorre mais comumente no período de inverno. A largura do subambiente pós-praia variou pouco durante um mesmo dia de monitoramento (até 4.0 m mais estreita na baixa-mar em relação a preamar no Lev. II), no entanto esta feição apresentou grande variação morfológica sazonal uma vez que oscilou entre a largura de 28.5 m (Lev. I) e de 55.0 m (Lev. III) para a baixa-mar e entre 28.5 m (Lev. I) e 54.0 m (Lev. III) para a preamar (**Tabela 1**).

O mesmo não se pode divulgar com relação à frente de praia em um levantamento diário, pois esta feição modifica-se em largura rapidamente com as variações de maré, uma vez que encontra-se no segmento da praia que é atingido pelo espraiamento da massa d'água resultante dos alcances médios das baixa-mares e preamares. Esta largura foi reduzida em até 18.0 m em virtude das diferenças de alcance médio promovidas pelas marés. No entanto, para a baixa-mar, esta feição apresentou considerável variação em largura ao longo do período estudado com valores entre 40.5 m (Lev. I) e 19.5 m (Lev. IV), onde constatou-se uma significativa variação de 21.0 m, igual ou superior, inclusive, às duas menores larguras verificadas (Lev. III e IV). Situação similar foi observada durante a preamar, quando as larguras da frente de praia também foram reduzindo ao longo do período estudado (desde 21.0 m no Lev. I até 6.0 m no Lev. IV) com uma variação de até 15.0 m que, inclusive, foi superior a três das quatro larguras registradas (**Figura 11**).

Os ângulos de inclinação da frente de praia (**Tabela 1**) mostraram pouca variação considerando os monitoramentos realizados em um mesmo dia (até 4° de variação no Lev. II e no III). Entretanto, ao investigar o comportamento morfológico da frente praial durante todo o período observado, verificou-se nítida modificação na inclinação deste subambiente tanto nas aferições efetuadas nas baixa-mares como aquelas realizadas nas preamares. Durante os monitoramentos nas baixa-mares, a

inclinação variou desde o gradiente suave de 7° (Lev. II) até o de 23° (Lev. III). Assim, em um curto intervalo de dois meses, ocorreu uma variação de 16° e, considerando que a média de gradiente para estas quatro aferições foi de 18°, a variação de 16° não pode ser desprezada. Comportamento semelhante pode ser verificado durante os levantamentos nas preamares, nos quais foram registradas inclinações desde 11° (Lev. II) até 25° (Lev. IV). No mesmo intervalo de tempo, a variação foi de 14°, também próxima à constatada nos levantamentos das baixa-mares.

Os alcances máximos das correntes de maré (**Tabela 1**), registrados nas preamares, variaram desde 29.0 m (Lev. II) até 50.5 m (Lev. III). O alcance de 29.0 m evidencia que a largura da faixa arenosa subaérea apresentou apenas 29.0 m, uma vez que a medida do alcance máximo tem como ponto de referência o início do perfil situado no limite interno da praia. É provável que este alcance significativo esteja relacionado a mais elevada preamar prevista pela tábua (1.3 m) para o período estudado, mas sabe-se que este não é o único condicionante que interfere na hidrodinâmica das marés. Neste mesmo levantamento, pode-se notar a menor inclinação da frente praial (7° - 11°) e este pode ser um fator que também contribui para o maior espraiamento e alcance da massa d'água. No entanto, contraditoriamente, a mesma hipótese não pode ser aplicada ao monitoramento de alcance máximo menos significativo (50.5 m, ocorrido no Lev. III), pois não parece ter relação direta com a preamar prevista pela tábua que se apresentou elevada (1.1 m). Seguindo a mesma explicação, o alcance máximo esperado deveria ser também elevado, porém foi o menor e isto pode ter uma relação muito estreita com a morfologia da frente praial que apresentou altos ângulos de inclinação.

No que concerne ao levantamento IV, ressalta-se que se torna um caso interessante a ser destacado uma vez que esteve associado a uma preamar prevista de apenas 1.0 m (a mais baixa) e aos ângulos mais elevados de inclinação da frente praial (22° - 25°). O alcance máximo poderia responder a tais características com valores pouco significativos, entretanto não foi o constatado em campo, pois o alcance foi de 34.5 m, o segundo maior dentre os quatro levantamentos. Tal comportamento hidrodinâmico, embora não pareça apresentar uma relação direta com a morfologia da

frente de praia e com a preamar prevista, pode estar associado à feição desenvolvida no pós-praia, um canal e uma berma de aproximadamente 10.0 m de largura com inclinação voltada para o continente e que terminava no limite com a frente de praia.

Tabela 1. Algumas características hidrodinâmicas e morfológicas apresentadas pela praia de Itacoatiara ao longo do período de monitoramento. Os primeiros valores (esq.) referem-se às baixa-mares e os seguintes (dir.) às preamares. Fonte: os autores.

	LARGURA PÓS-PRAIA (m)	LARGURA FRENTE DE PRAIA (m)	ÂNGULO FRENTE DE PRAIA	ALCANCE MÁXIMO	PREAMAR PREVISTA
Levantamento I (Jun)	28.5 - 28.5	40.5 - 21.0	20° - 18°	36.0 m	1.2 m
Levantamento II (Ago)	48.0 - 52.0	31.5 - 13.5	7° - 11°	29.0 m	1.3 m
Levantamento III (Out)	55.0 - 54.0	21.0 - 12.0	23° - 19°	50.5 m	1.1 m
Levantamento IV (Nov)	49.5 - 51.0	19.5 - 6.0	22° - 25°	34.5 m	1.0 m

Embora possa existir uma relação estreita entre flutuação de maré observada na tábua e amplitude de correntes de maré e entre elevada preamar prevista e significativo alcance máximo interno, não se pode dizer que quanto maior a flutuação de maré prevista maior será a amplitude de corrente de maré ou quanto mais elevada for a preamar maior será o alcance máximo. A morfologia dos perfis praias altera-se significativamente em curta escala temporal devido a respostas a processos diversos, apresentando grandes variações morfológicas e rápidas mudanças no gradiente da frente praias. Esta característica morfodinâmica parece ser um forte condicionante para maior ou menor espraiamento e alcance interno das correntes de maré quando do desenvolvimento de uma frente praias menos ou mais íngreme, respectivamente.

Os alcances máximos registrados apresentaram-se muito mais significativos do que os médios. Levando em conta os quatro levantamentos, o alcance máximo chegou a apontar 27.5 m à mais de alcance do que o médio. Embora o alcance máximo tenha ocorrido esporadicamente, ele deve ser considerado na análise da dinâmica costeira, pois representa o máximo alcance das massas d'água em sua incidência sobre a costa.

Os alcances máximos também evidenciam a largura da faixa arenosa que se encontra exposta. Esta largura variou de 29.0 m a 50.5 m, onde a largura de 29.0 m ocorreu em resposta ao maior alcance verificado, ocorrido no levantamento II. Como dito, este maior alcance pode ser atribuído ao fator preamar alta, no entanto, não se trata do único, pois outros interferem no espriamento e no alcance das correntes de maré, principalmente a topografia praial. O segundo maior alcance máximo foi de 34.5 m e ocorreu no levantamento IV em uma preamar prevista de 1.0 m. Este resultado é um bom indicador de que preamares não muito elevadas também podem implicar em elevados alcances máximos, deixando evidente que existem outros fatores controladores, sendo a topografia praial um fator preponderante na determinação do espriamento da massa d' água e seu conseqüente alcance.

O levantamento III contou com preamar de 1.1 m e alcance máximo de 50.5 m, sendo este o menor alcance. É possível que este caso seja explicado, em parte, pela morfologia da frente praial observada no levantamento III que exibiu 23° de inclinação na baixa-mar e 19° na preamar. Neste sentido, talvez a relação entre a topografia e o alcance máximo seja ainda mais estreita influenciando sobremaneira no espriamento e no alcance máximo das correntes de maré. O aumento da intensidade dos ventos com formação de ondas mais altas é um dos fatores que poderia explicar maiores alcances mesmo em preamares não muito altas. No entanto, os procedimentos metodológicos desta pesquisa se preocuparam em efetuar levantamentos com condições meteorológicas e oceanográficas estáveis. Em termos de sazonalidade, pode-se perceber que o inverno, por meio dos levantamentos I e II, além de registrar as maiores amplitudes de correntes de maré (18.0 m e 15.5 m), também acusou dois dos três maiores alcances máximos (29.0 m e 36.0 m).

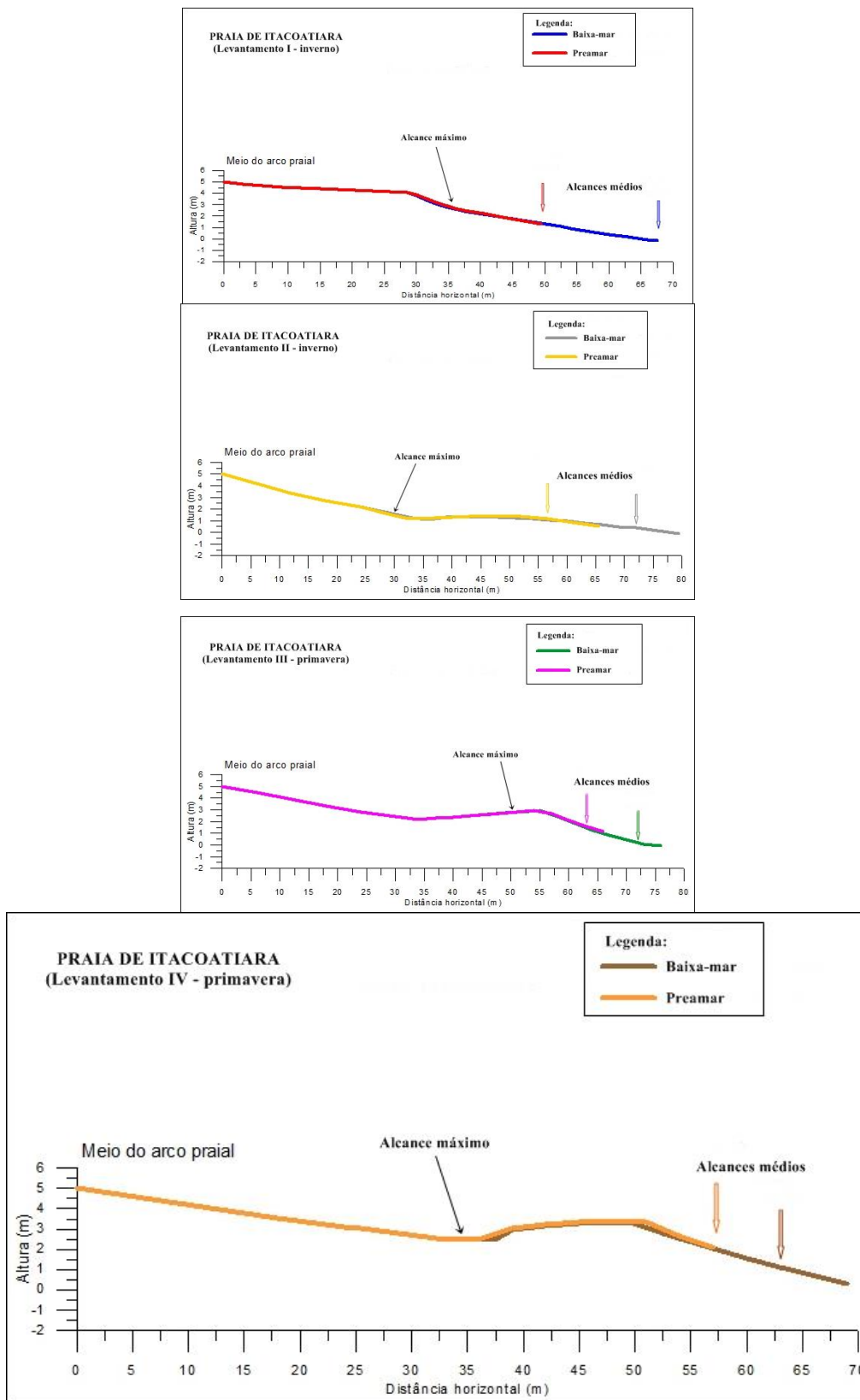


Figura 11. Perfis topográficos de praia relativos aos quatro levantamentos de campo com fins de melhor identificação e análise do comportamento morfodinâmico sazonal. Fonte: os autores.

6. Conclusões

OLIVA & SILVA, *Subsídios à Gestão Costeira Integrada na Região Oceânica de Niterói/RJ: Uma Análise do Comportamento Morfodinâmico da Praia de Itacoatiara*

Mesmo em um ambiente caracterizado pelo regime de micromaré, valores expressivos de alcance máximo de correntes de maré podem ser registrados, bem como conspícuas variações sazonais nos perfis praias e na morfologia dos subambientes. O período do inverno apresentou hidrodinâmica mais efetiva com alcances máximos de maré mais significativos do que a primavera. Os alcances máximos, em todos os registros, se apresentaram superiores aos médios, o que torna evidente a necessidade de levar em conta este registro que, embora ocorra eventualmente, representa o alcance máximo da massa d'água em sua incidência sobre a praia. A hidrodinâmica das marés exerce influência na esculturação dos perfis de praia, juntamente com o clima de ondas e a atuação das correntes costeiras. No entanto, o sistema ambiental costeiro evolui de maneira intrínseca e em conjunto, de modo que a morfologia e a topografia praias parecem condicionar o comportamento hidrodinâmico das correntes de maré, sendo fatores que respondem, em conjugação com outros, pelo espraiamento e alcance máximo interno das marés. A inclinação da frente praias parece ter grande controle sobre esta hidrodinâmica. Durante o inverno, a área de estudo desta pesquisa é comumente afetada por sistemas frontais que geram tempestades e ondas de ressaca. Maior atenção deve ser dada a estes ambientes nesta época do ano, visto que uma combinação destes eventos com marés mais altas de sizígia, inerentes ao inverno e aqui pesquisadas, tende a gerar somatório de massas d'água que podem empilhar-se e incidir sobre a praia, atingindo áreas ainda mais internas do que as registradas nesta pesquisa. Ressalta-se, ainda, que esta pesquisa não considerou os eventos de frontogênese, tendo efetuado levantamentos em clima de ondas associado a tempo bom. As áreas litorâneas do Sudeste do Brasil e de outros segmentos do litoral brasileiro vêm sendo alteradas constantemente pelo crescente processo de urbanização e, tendo em vista uma convivência equilibrada entre sociedade e natureza, há a necessidade de um planejamento urbano e ambiental mais eficaz nestas áreas e a implantação de uma gestão integrada das zonas costeiras, com a obrigatoriedade de considerar o comportamento morfodinâmico dos sistemas ambientes costeiros.

7. Referências Bibliográficas

- BULHÕES, E.; FERNANDEZ, G. B.; ROCHA, T. B. Efeitos morfológicos nas barreiras costeiras do litoral centro-norte do Estado do Rio de Janeiro: resultados do evento de tempestade de abril de 2010. Revista de Geografia da UFPE. Vol. 2: 15-29. Edição especial Sinageo, 2010.
- BULHÕES, E.; FERNANDEZ, G. B.; ROCHA, T. B.; OLIVEIRA FILHO, S. R.; PEREIRA, T. G. *Impactos costeiros induzidos por ondas de tempestade entre o Cabo Frio e o Cabo Búzios, Rio de Janeiro, Brasil*. In: Quaternary and Environmental Geosciences, 05 (2): 155-165. 2014.
- CALLIARI, L. J.; MUEHE, D.; HOEFEL, F. G. e TOLDO JR., E. *Morfodinâmica praial: uma breve revisão*. Revista Brasileira de Oceanografia. 51: 63-78 p. 2003.
- DAVIS JR., R. A. *Coastal Sedimentary Environments*. Springer-Verlag. 716 p. 1985.
- EMERY, K. O. *A Simple Method of Measuring Beach Profiles*. Limnology and Oceanography. v. 6, 90-93 p. 1961.
- FERNANDEZ, G. B.; ROCHA, T. B.; MALUF, V.; BULHÕES, E. M. R. *Características Morfodinâmicas das Praias do Litoral Centro Norte do Estado do Rio de Janeiro*. In: Anais do IX Simpósio Nacional de Geomorfologia. Rio de Janeiro, 2012.
- FRIEDMAN, G. M. and SANDERS, J. E. *Principles of Sedimentology*. John Wiley and Sons, New York. 792 pp. 1978.
- MUEHE, D. *Análise ambiental no sistema costeiro sul-oriental do Estado do Rio de Janeiro. Dissertação de Mestrado*. Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal do Rio de Janeiro. 141 pp. 1975.
- MUEHE, D. *Distribuição e caracterização dos sedimentos arenosos da plataforma continental interna entre Niterói e Ponta Negra, RJ*. Revista Brasileira de Geociências. 19 (1): 25-36 pp. 1989.
- MUEHE, D. *O litoral brasileiro e sua compartimentação*. In: CUNHA, S. B.; GUERRA, A. J. T. Geomorfologia do Brasil. Editora Bertrand Brasil, 2ª edição, Rio de Janeiro. 273-349 pp. 2001.
- PRESS, F., SIEVER, R., GROTZINGER, J. and JORDAN, T. Para Entender a Terra. Understanding Earth. 4ª Edição. Tradução Rualdo Menegat *et al.* (UFRGS). Bookman, Porto Alegre. 656 pp. 2006.
- SANTOS, C. L. *Dinâmica sazonal e os efeitos das ressacas nas praias de Niterói, RJ*. Dissertação de Mestrado. Pós-Graduação em Geologia e Geofísica Marinha da Universidade Federal Fluminense. 151 pp. 2001.
- SOUZA, C. R. G. *A erosão costeira e os desafios da gestão costeira no Brasil*. Revista da Gestão Costeira Integrada 9 (1): 17-37 pp. 2009.
- OLIVA & SILVA, *Subsídios à Gestão Costeira Integrada na Região Oceânica de Niterói/RJ: Uma Análise do Comportamento Morfodinâmico da Praia de Itacoatiara*

TESSLER, M. G.; GOYA, S. C. *Processos costeiros condicionantes do litoral brasileiro*. Revista do Departamento de Geografia, 17 (11-23), São Paulo. 2005.

TURNER, R. K., LORENZONE, I., BEAUMONT, N., BATEMAN, I. J., LANGFORD, I. H., and McDONALD, A. L. *Coastal management for sustainable development: analyzing environmental and socio-economic changes on UK coast*. The Geographical Journal, 164 (3): 269-281. 1998.

WRIGHT, L. D.; NIELSEN, P.; SHORT, A. D. and GREEN, M. O. *Morphodynamics of a macrotidal beach*. *Marine Geology*, 50(1-2):97-128. DOI: 10.1016/0025-3227(82)90063-9. 1982.

WRIGHT, L. D. and SHORT, A. D. *Morphodynamics variability of surf zone and beaches – A synthesis*. *Marine Geology*, 56(1-4):93-119. 1984.

Data de Submissão: 31/03/2018

Data Da avaliação 21/08/2018