



www.ugb.org.br
ISSN 2236-5664

Revista Brasileira de Geomorfologia

v. 17, nº 2 (2016)

<http://dx.doi.org/10.20502/rbg.v17i2.838>



ALTERAÇÕES DA MORFOLOGIA EM PLANTA DE UMA PRAIA DE ENSEADA APÓS A INSTALAÇÃO DE ESTRUTURAS RÍGIDAS: O CASO DE ITAIPAVA, ESPÍRITO SANTO

CHANGES IN MORPHOLOGY IN PLANT A COVE BEACH AFTER RIGID STRUCTURES INSTALLATION : THE ITAIPAVA CASE OF ESPÍRITO SANTO

Nara Rodrigues Barreto

*Departamento de Geografia, Universidade Federal do Espírito Santo
Av Fernando Ferrari 514, Vitória, Espírito Santo, CEP: 29075-910, Brasil
Email: nara.rodriguesb@gmail.com*

James Rafael Ulisses dos Santos

*Departamento de Geografia, Universidade Federal do Espírito Santo
Av Fernando Ferrari 514, Vitória, Espírito Santo, CEP: 29075-910, Brasil
Email: jamesrulisses@gmail.com*

Rafael Mantovaneli

*Departamento de Química, Universidade Federal do Espírito Santo
Av Fernando Ferrari 514, Vitória, Espírito Santo, CEP: 29075-910, Brasil
Email: rafaelmantovaneli@hotmail.com*

Thatyane Mônico Nascimento

*Departamento de Geografia, Universidade Federal do Espírito Santo
Av Fernando Ferrari 514, Vitória, Espírito Santo, CEP: 29075-910, Brasil
Email: t_mnascimento@yahoo.com.br*

Deise Thompson Lugão Oliveira

*Departamento de Geografia, Universidade Federal do Espírito Santo
Av Fernando Ferrari 514, Vitória, Espírito Santo, CEP: 29075-910, Brasil
Email: deiselug14@gmail.com*

Jacqueline Albino

*Departamento de Oceanografia e Ecologia, Universidade Federal do Espírito Santo
Av Fernando Ferrari 514, Vitória, Espírito Santo, CEP: 29075-910, Brasil
Email: jacqueline.albino@ufes.br*

Informações sobre o Artigo

Recebido (Received):
04/09/2015
Aceito (Accepted):
17/02/2016

Resumo:

Praias de enseada tendem a ter sua forma em planta em equilíbrio estático quando as ondas incidentes mais frequentes são controladas pelo processo de difração em torno dos promontórios que as limitam. Este equilíbrio é interrompido com a alteração do ponto de difração, como no caso de implementação de estruturas

Palavras-chave:

Modelo Parabólico; Praia de Enseada; Morfodinâmica Praiaal.

Keywords:

Parabolic Shape Model; Embayed Beach; Beach Morphodynamic.

rígidas. O artigo apresenta um estudo de caso realizado na praia de Itaipava, localizada no distrito de Itapemirim, Espírito Santo, Brasil, onde foi construído um quebra-mar com a finalidade de ampliar a capacidade de suporte portuário nesta localidade. O estudo teve como objetivo reconstituir a evolução morfológica da praia e discutir os efeitos morfodinâmicos decorrentes da implementação do quebra-mar. Os métodos utilizados incluíram a superposição de imagens aéreas na determinação da evolução da linha de costa nas últimas 4 décadas (1970-2013). A partir da aplicação do modelo parabólico de enseada baseado em Hsu e

Evans (1989), da análise dos dados de ondas e de perfis de praia foi possível compreender as alterações ocorridas ao longo dessa porção do litoral. O estudo concluiu que após a construção das estruturas ocorreram significativas mudanças na planta da praia. Os resultados indicaram que a porção norte da praia, sob efeito direto das intervenções, encontrava-se em equilíbrio estático antes da intervenção, contudo agora encontra-se na condição de equilíbrio dinâmico, com intensificação da deriva longitudinal, retirada e transporte de sedimentos da porção central da praia rumo ao porto. Desta forma, tanto o recuo da porção central quanto a sedimentação na porção protegida da praia prejudicaram as atividades econômicas da região, como o turismo e a pesca. Já o setor sul manteve sua tendência à progradação. A aplicação do modelo parabólico de planta de enseadas e a análise de dados morfodinâmicos permitiram compreender como se deu o processo adaptativo, e poderiam ter sido utilizados antes da intervenção no sentido de prever as consequências.

Abstract:

Embayed beaches commonly exhibit equilibrium plan shape configurations when the frequent incident waves are controlled by the diffraction process around the headlands that limit them. The equilibrium breaks when the diffraction point changes, which can happen with the presence of hard structures in the influenced area. This article describes the case study on Itaipava beach located in the Itapemirim district, Espírito Santo, Brazil, where a breakwater was built, related to the city harbor extension, took place. The study aimed to reconstruct the morphological evolution of the beach and to discuss the morphodynamic effects of the implementation of this breakwater. The aerial images overlaying allowed to determine the evolution of the coastline over the last 4 decades (1970-2013). The application of parabolic shape model, based on Hsu and Evans (1989), along with the wave data and beach profiles survey were used for the analysis of changes over the affected coastal segment. The study concluded that after the construction of the structures significant changes occurred in plant beach. The results indicated that the northern part of the beach was in static equilibrium before intervention, however, it is now moving to the condition of dynamic equilibrium caused by the intensification of longitudinal drift that removes and transports the sediments from the central portion of the beach towards the harbor. Therefore, both the erosion of the central portion and sedimentation in the protected portion of the beach affected negatively the economic activities of the region such as tourism and fishing. The southern sector has maintained its trend towards progradation. The application of the parabolic shape model together with the analysis of the morphodynamic data allowed the simulation of the adaptive process happened and could have been used before the construction of breakwater in order to predict its consequences.

Introdução

O crescimento dos serviços portuários é acompanhado pela necessidade de instalação e/ou ampliação de estruturas rígidas, tais como quebra-mares e muros de contenção. A implantação destas obras é considerada uma das principais causas de desequilíbrio no balanço sedimentar, de mobilidade e de erosão da linha de costa nos dias atuais (BIRD, 2008). No caso de praias de enseada, a aplicação de modelos de mobi-

lidade e adaptação da praia em planta tem a habilidade de prever a forma resultante em planta desencadeada pelas estruturas costeiras, como quebra-mares e portos.

As praias de enseada são afetadas pela difração de ondas em torno de um promontório ou em torno da ponta de uma estrutura rígida. A partir do ponto de difração é possível identificar uma porção curva, protegida e à sombra dos processos de difração, uma porção no meio da praia com leve curvatura e uma última porção

distal mais retilínea (SHORT E MASSELINK, 1999; RAABE *et al.*, 2010).

Ao longo do tempo foram desenvolvidos diversos modelos de ajuste empíricos de linha de costa para praias de enseada, como equação da espiral logarítmica (*Logarithmic Spiral Equation*) de Krumbein (1944), de Yasso (1965), de Silvester (1970), a equação parabólica de praias de enseada (*Parabolic Bay Shape Equation*) de Hsu e Evans (1989) e a equação da tangente hiperbólica (*Hyperbolic Tangent Shape Equation*) de Moreno e Kraus (1999). Klein *et al.*, (2010) concluíram que o modelo parabólico proposto por Hsu e Evans (1989) apresenta-se mais robusto que os demais modelos na aplicação da determinação da planta nas praias da região sul do Brasil por não representar apenas uma solução matemática, que define a forma da enseada a partir de dados geométricos, mas por considerar os parâmetros relacionados com a direção da onda de maior energia.

A planta modelada é a forma estática média resultante de todas as formas mais prováveis. Se a forma em planta da enseada é predita pelo modelo parabólico, a praia é considerada em equilíbrio estático. Se a planta modelada predita está em desacordo com a forma real e encontra-se mais interiorizada, a enseada está em equilíbrio dinâmico (HSU *et al.*, 2008).

Na condição de equilíbrio dinâmico de uma praia em enseada, é provável a deposição de sedimentos na sombra da enseada e a erosão na porção retilínea, que cessa somente ao final do ajuste ou após a alimentação artificial, conforme sugerido por Raabe *et al.*, (2010).

Considerando que uma praia esteja em equilíbrio estático, isto é, que sua forma em planta resultante foi alcançada a partir da difração da onda em um ponto fixo, a aplicação do modelo parabólico poderá ser utilizada para prever a alteração da planta da praia quando o ponto de difração da onda e o ponto controle na praia forem alterados, como no caso de construção de estruturas costeiras rígidas, como portos. Mantendo-se as condições das ondas e do aporte sedimentar, a adaptação morfológica da praia modelada a partir do novo ponto de difração permite a avaliação dos processos morfológicos e sedimentares decorrentes pela implantação das estruturas. A aplicação dos modelos pode ainda auxiliar na determinação do volume necessário de areia para recuperação artificial (GONZALEZ e MEDINA, 2001; HSU *et al.*, 2008; GONZALEZ *et al.*, 2010).

Caso as adaptações morfológicas não tenham

sido corretamente previstas, os processos desencadeados podem prejudicar as operações existentes e desta forma, causar um declínio econômico no setor e/ou a necessidade de novas intervenções. Fischer e Calliari (2006) e Koerner *et al.*, (2013) destacam que para a implementação de obras de engenharia costeira é necessário ter cuidado para sua execução, necessitando de um planejamento na elaboração dos projetos, pois uma obra quando implantada de forma inadequada pode acarretar em custos a sua manutenção constante nas praias adjacentes.

Ilustrando as alterações morfológicas em planta de uma enseada, após a instalação de estruturas rígidas para suportar o crescimento da atividade pesqueira, tem-se a praia de Itaipava, litoral centro sul do Estado do Espírito Santo, Brasil. A vila de Itaipava começou a se definir como Vila de Pescadores já no final da década de 1920, se mantendo assim até os dias atuais (SOUZA, 2009). Com o crescimento da produção pesqueira e por solicitação da comunidade no sentido de ampliar a capacidade do porto, em 2007 iniciou-se a construção de um quebra-mar. No início de 2008 a obra estava concluída e contava, além do quebra-mar nas proximidades do porto, com enrocamentos longitudinais à praia e urbanização da orla.

Os processos morfodinâmicos decorrentes da instalação do quebra-mar e das demais estruturas rígidas ocasionaram um processo erosivo, causando conseqüentemente, o descontentamento dos atores das atividades turísticas, conforme os relatos da comunidade local divulgados pela imprensa regional nos anos seguintes (G1, 2010; GAZETA ONLINE, 2009). Tais prejuízos afetaram os comerciantes que passaram a deixar os estabelecimentos fechados devido à ausência de clientes no trecho em erosão (G1ES, 2013; GLOBO (1), 2013). Além do recuo da linha de costa, verificou-se o assoreamento do porto, levando os barcos que ali aportavam desviarem sua rota para outros portos, modificando a economia local e às atividades pesqueiras ali desenvolvidas (GLOBO (2), 2013). Em 2013, para solução desses problemas, um projeto de recuperação da praia foi avaliado. O projeto propunha a realização da dragagem dentro do porto, o engordamento artificial da praia e o prolongamento do comprimento do espigão (GLOBO (2), 2013).

Tendo em vista estas constatações, o objetivo do trabalho é reconstituir a evolução morfológica da praia e discutir os efeitos da implantação das estruturas rígi-

das sobre os processos morfodinâmicos que levaram à alteração da configuração da linha de costa e à deposição de sedimentos na enseada. Para atingir o objetivo foram estabelecidas as seguintes etapas: a) mapeamento da evolução da linha de costa através da comparação de fotografias aéreas das últimas quatro décadas e, b) modelagem da planta da praia por meio da aplicação do modelo parabólico de praias de enseada de Hsu e Evans (1989), antes e após a intervenção.

Área de Estudo

Aspectos físicos

A área de estudo está situada no município de Itapemirim, localizada na região sul do estado do Espírito Santo, Brasil. Segundo Martin *et al.*, (1996) este setor é caracterizado por afloramentos e promontórios cristalinos do período Pré-Cambriano entrando em contato com as planícies flúvio-marinhas holocênicas. A distribuição espacial entre as unidades geológicas é responsável por um litoral recortado de praias de enseada (Figura 1).

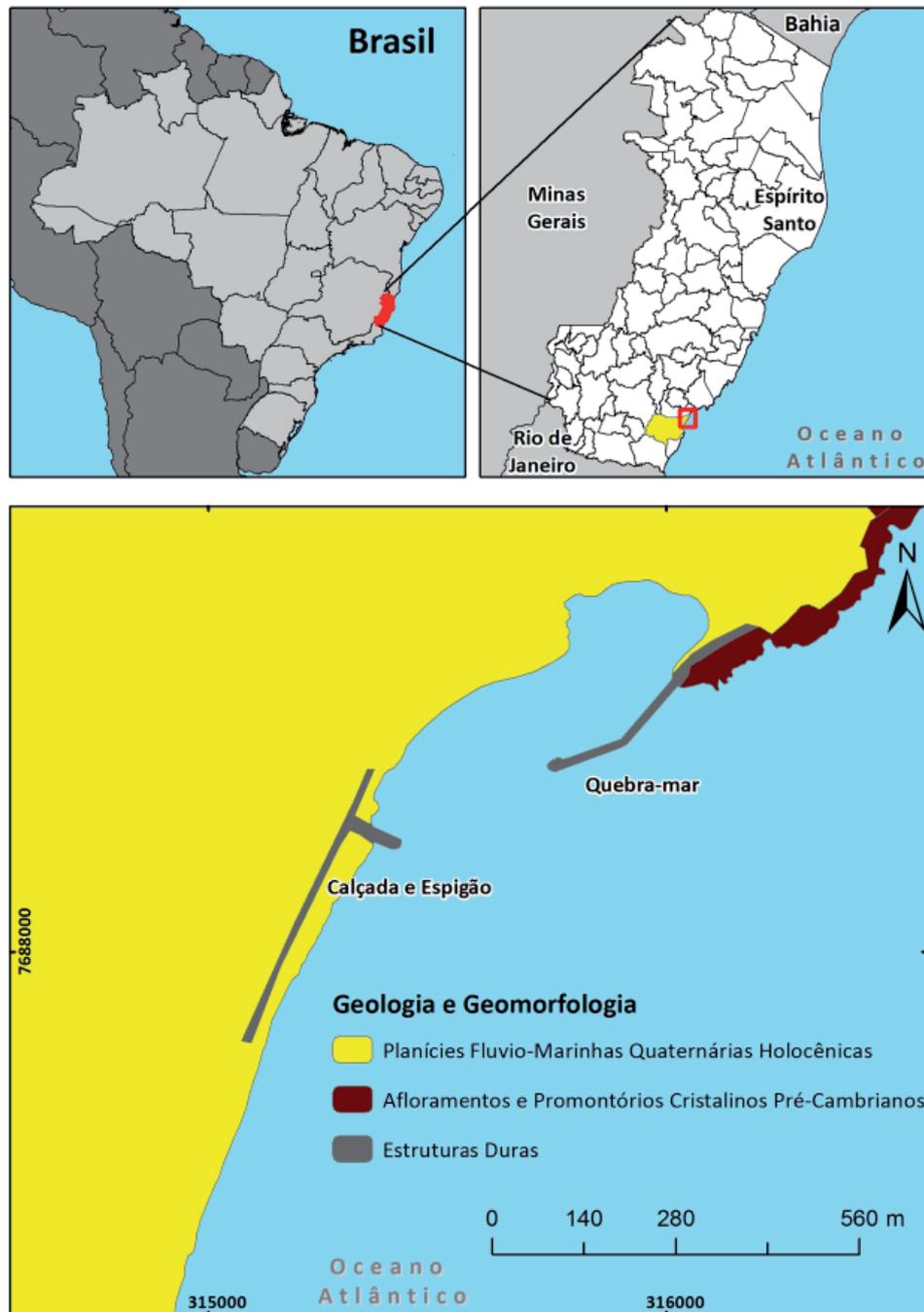


Figura 1 - Localização da área e caracterização geológica e geomorfológica.

Segundo Albino *et al.*, (2006), a praia de Itaipava é uma praia arenosa de tipologia dissipativa e intermediária, com 1,8 km de extensão. Encontra-se limitada por planície de cristas de praia largas com dunas frontais e por promontórios rochosos.

Os ventos mais frequentes e intensos ao longo do litoral voltado para o Atlântico e submetido ao sistema atmosférico do Atlântico Sul, são provenientes de E e SE, respectivamente. Os primeiros estão associados aos ventos alísios, ocorrendo na maior parte do ano, enquanto os segundos estão associados às entradas de frentes polares.

Pianca *et al.*, (2010) propuseram um clima de ondas para 10 anos, obtidos pela extração de dados do modelo NWW3 de uma estação representante do Setor Central W3, coordenadas 19°S e 36,25°W, nas proximidades da área de estudo. Como resultado foram encontradas ondas de E com altura entre 1-2m e período de 6-8s dominantes no verão, inverno e primavera. Já no outono as ondas de SE seguidas pela de E, com altura de 2-3m e período de 10-12s são as mais recorrentes. A amplitude de maré média da região é de 1,4m, classificada como micro maré. Considerando a orientação da praia de Itaipava, NE-SW, encontra-se exposta as ondas incidentes de E e SE (ALBINO *et al.*, 2006).

As estruturas rígidas na enseada de Itaipava

Na década de 1970, a vila de Itaipava no município de Itapemirim tinha como principal atividade a pesca artesanal realizada por intermédio de canoas e barcos a vela construídos na própria vila. Nessa época, produzia-se anualmente, cerca de 2.000 a 3.000 kg de pescados. Posteriormente, nos anos 1980, surgem os primeiros barcos a motor e as primeiras cargas de peixe conservadas não mais pelo sal marinho, mas por gelo industrial (SOUZA, 2009).

Ao longo das décadas de 1980 e 1990, os pescadores de Itaipava se destacaram por sua competência no mercado nacional. Em 1993 Itaipava atraiu também investidores internacionais através da instalação de uma grande empresa de pesca. Desta forma houve o aumento da produção do pescado - com capacidade de armazenamento de 100 toneladas de peixe congelados e 20 toneladas frescos e contava com uma fábrica de gelo com produção de 16ton/dia - e o crescimento da frota de barcos de Itaipava. O desenvolvimento foi também incentivado pelas melhorias dos instrumentos

de navegação e das novas técnicas de pesca. Registra-se que em 2003, a comunidade de Itaipava contava com uma frota de 300 barcos.

Com esta expansão, em 2005 foi solicitado pelos pescadores locais que a Secretaria de Pesca do Estado executasse obras de engenharia para a melhorar as operações do porto (INCAPER, 2005). Como resultado, em 2007 iniciaram-se as obras do quebra-mar, concluído em 2008, com intuito de aumentar a área portuária e ainda diminuir a agitação das ondas dentro do porto, gerada por ondas incidentes do quadrante sul. Porém, com implementação do quebra-mar a praia sofreu uma alteração da forma em planta, com o recuo do trecho central. Este recuo exigiu novas obras, com a instalação de um espigão e um muro de contenção. Posteriormente este muro foi adaptado um calçadão a beira mar.

As últimas intervenções causaram novas adaptações morfológicas. Atualmente, a praia de Itaipava apresenta trechos em recuo e trechos assoreados, próximos ao porto, o que respalda ainda mais a necessidade das obras, como forma de correção desses problemas (Figura 2A e 2B). A pesca e a atividade turística foram impactadas negativamente (Figura 2C e 2D), gerando prejuízos aos comerciantes locais, sobretudo na alta temporada (GIES, 2013; G1, 2010; GAZETA ONLINE, 2009).

Material e Método

Evolução decadal da linha de costa

A evolução da linha de costa foi realizada em duas etapas, com materiais e métodos diferentes. Na primeira etapa foram superpostas a fotografia aérea de 1970 e a imagem do Google Earth de 2003 (detalhes do material na Tabela 1) para o intervalo de 33 anos. A mobilidade verificada precede o início da primeira intervenção costeira realizada em 2007. Nesta etapa foi escolhido como indicador da linha de costa o limite da vegetação com a praia. Segundo Boak e Turner (2005) os indicadores como o limite de vegetação, falésia e escarpas estão menos sujeitos a erros de mapeamento do que os indicadores de interface da linha úmida-seca. E ainda este indicador apresenta-se o mais apropriado, por ser o mais perceptível principalmente nas imagens aéreas mais antigas. A vegetação se mostra mais escura nas imagens enquanto o entorno mais claro, facilitando a determinação da transição entre os dois ambientes. Esta



Figura 2 - Área de estudo em Itaipava - ES.

(A) Alimentação artificial iniciada em 2013 nos setores em erosão acentuada; (B) Impedimento ao tráfego de carros e uso para banho; (C) e (D) Estruturas de turismo prejudicadas pelas obras. Fotos: Junho de 2014.

adoção, ainda resguarda os resultados dos erros decorrentes das alterações do nível do mar (KOMAR, 1998).

Na segunda etapa, foram superpostas fotografias aéreas de 2008 e 2013 com a identificação da mobilidade pós intervenção (Tabela 1). Apesar da nítida alteração na largura da faixa de areia, a adoção da linha de vegetação não apresentou resultado significativo, já que é também conhecida como uma referência de menor variação em curta escala de tempo (MORTON, 1997). Considerando a sensibilidade de alteração e também a facilidade de identificar os tons (BOAK e TURNER, 2005) adotou-se a linha úmida da maré mais alta. Para o erro associado às variações dos níveis do mar e conseqüentemente ao alcance do espraiamento máximo, considerou-se somente a alteração nos níveis das marés mais altas, que variam entre 1,7m e 1,2m e o gradiente médio da face praial dos perfis de praia em Itaipava de 1:10 m. Desta forma, como erro máximo admitiu-se o valor de 5 metros, sendo, portanto, pequeno o deslocamento

em planta na escala de 1:7.000 m escolhida nos mapas confeccionados.

Em ambas as etapas, a superposição na linha de costa foi realizada com aplicação de técnicas de Sistemas de Informações Geográficas (SIG), utilizando imagens georreferenciadas no sistema de coordenadas UTM (*Universal Transversa de Mercator*), com referencial espacial do Datum WGS 1984 na zona 24 Sul. As superposições foram realizadas com o auxílio do *software ArcGis 10.1* e criados *shapefiles* com banco de dados cronológicos. As imagens foram georreferenciadas com base na imagem de 2013, a qual apresenta melhor resolução espacial, com o pixel igual a 0,25 cm. O cálculo para *RMS* (erro médio quadrático) foi inferior a 0,5 cm, e o interpolador utilizado foram os pontos perceptíveis que não se alteraram ao longo do tempo, a exemplo dos promontórios rochosos situados nos dois extremos da praia. Também foram consideradas as diferentes escalas das imagens como uma margem

de erro no processo de georreferenciamento. Dessa forma, foram delimitados 6 pontos para cada imagem georreferenciada.

Aplicação do modelo parabólico de enseada

No presente trabalho, o modelo parabólico desenvolvido por Hsu e Evans (1989) foi aplicado e viabilizado pela utilização do software MEPBAY (VARGAS *et al.*, 2002) sobre as imagens do *Google Earth 7.1.2.2014* dos anos de 2003 e 2013. O MEPBAY é um sistema computacional livre (<http://siaiacad17.univali.br/mepbay/>), desenvolvido para a aplicação do Modelo Parabólico de Praia. O *software* apresenta-se de maneira simplificada e de fácil utilização, o que possibi-

lita a análise de forma instantânea sobre a representação gráfica da linha de costa teórica.

O Modelo Parabólico de praia de enseada busca relacionar os elementos geométricos da praia em planta e o ângulo de incidência das ondas na praia (HSU *et al.*, 1989). Em praias de enseada, as ondas sofrem difração em torno dos promontórios que as limitam. Desta forma, na porção praiial localizada próxima ao promontório rochoso, desenvolve-se uma área de sombra, que se encontra protegida da energia de ondas e fortemente curvada (VARGAS *et al.*, 2002), representada pela Figura 3A. A porção central da praia apresenta-se linear à direção das cristas das ondas incidentes sem o efeito da difração.

Tabela 1: Dados das fotografias aéreas e imagens de satélites utilizadas na análise da evolução da linha de costa de Itaipava.

E t a p a	Ano	Fonte	E s c a l a	R e s o l u ç ã o E s p a c i a l
1 Pré-intervenção	1970	Instituto de Defesa Agropecuária e Florestal do Espírito Santo (IDAF)	1: 25.000	10 a 15 m
	2003	Google Earth Pro	1: 5.000	0,00127 m
2 Pós-Intervenção	2008	Instituto Estadual de Meio Ambiente (IEMA)	1: 15.000	1 m
	2013	Instituto Estadual de Meio Ambiente (IEMA)	1: 5.000	0, 25 cm

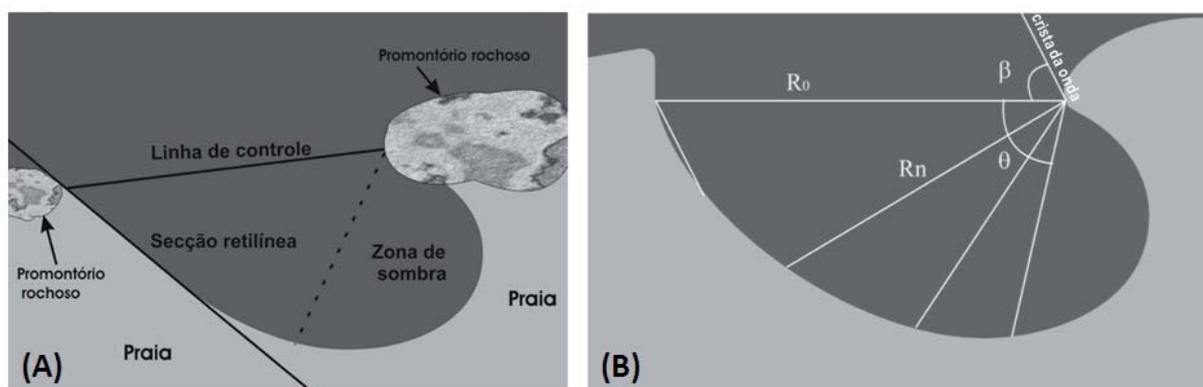


Figura 3 - (A) Exemplo hipotético com os elementos presentes em uma praia de enseada extraído de Vargas *et al.*, 2002; (B) Principais parâmetros do modelo parabólico modificado de Vargas *et al.*, (2002).

Para a aplicação do modelo são extraídas de fotografias aéreas da praia, imagens de satélites ou mapas, os parâmetros descritos na Figura 3B onde:

R₀ ou linha de controle: linha que une o ponto de difração de ondas até o final da parte retilínea da praia;

- Crista de onda: Linha de direção predominante de ondas indica a direção predominante de ondas;

- R_n: raios traçados a partir do promontório e unidos ao longo da praia;

- Ângulo Beta (β): ângulo formado entre a linha de direção de ondas predominantes (Rθ) e a linha R₀ ;

- Ângulos Teta (θ): ângulos formados entre a linha de direção predominante de ondas e os demais raios R_n

A aplicação do modelo parabólico baseia-se nas relações entre as características geométricas da praia em planta e o ângulo de incidência das ondas na praia (HSU e EVANS, 1989), que é representada pela equação 1:

$$\text{Equação 1: } \frac{R_n}{R_0} = C_0 + C_1 \left(\frac{\beta}{\theta_n} \right) + C_2 \left(\frac{\beta}{\theta_n} \right)^2$$

onde C₀, C₁, C₂ são coeficientes obtidos em função do ângulo beta e definidos através de testes e experimentos tabelados (HSU e EVANS, 1989; SILVESTER e HSU, 1993).

Representado na Tabela 2, têm-se os valores dos parâmetros e coeficientes aplicados na extremidade norte e sul da praia, antes e após a intervenção. O ângulo de incidência das ondas aplicado ao modelo foi inferido a partir de orientação da porção central da praia, sem

efeito da difração, onde a direção das ondas é obtida pela orientação da costa + 90°. Para a determinação da mobilidade na direção das ondas ao longo das décadas, foi adotada a diferença entre o maior e menor ângulo obtida pelos ângulos médios do intervalo dos recortes temporais, sobre um banco de dados descrito a seguir, com os coeficientes identificados na Tabela 2 como Setor norte mobilidade.

Ondas

Os dados de ondas para as proximidades de Itaipava (21°S e 40°30'W; 25m de profundidade), para o período entre 1970 e 2008, foram obtidos do modelo de ondas do Oceano Global Wave (GOW), que consiste de uma reanálise das ondas globais (REGUERO *et al.*, 2012). A série temporal dos vários parâmetros estatísticos de onda e energia espectral foram obtidos usando uma malha global com 1,5° longitude e 1,0° latitude e horária resolução. O modelo GOW foi calibrado e validado globalmente usando medições instrumentais de 21 boias e dados altimétricos extraídos de imagens de satélite (REGUERO *et al.*, 2012). O processamento dos dados de altimetria incluídos identifica e eliminam as mudanças associadas às perturbações atmosféricas.

Sobre o banco de dados das ondas modeladas, foram adotados os seguintes procedimentos:

- Foram consideradas somente as ondas cuja direção teria condição de alcançar a costa com competência de gerar deriva litorânea (0° – 180°), que perfizeram 99,95% do total do modelado;

- Os diversos recortes temporais de clima de ondas foram realizados em função do material aerofotográfico

Tabela 2: Coeficientes obtidos na aplicação da praia de Itaipava, para a porção norte e sul da praia de Itaipava, antes (2003) e após a intervenção (2013).

	Setor Norte 2003	Setor Norte Mobilidade e 2003	Setor Sul 2003	Setor Norte 2013
R ₀	325m	327m	152m	324m
C ₀	0,045916886936216	0,052988700124164845	0,02461078570771046	0,036820780028709
C ₁	1,1412401777596524	1,08415878192119	1,243558435195282	1,1898326071892003
C ₂	-0,1871570646958986	-0,13714748204535482	-0,2681692209030532	-0,22665338872179092

disponível e utilizados na evolução da linha de costa (Tabela 2)

As alturas e direções médias anuais das ondas significativas e de 33% das ondas significativas mais altas foram obtidas, para inferir as prováveis alterações do clima de ondas e a mobilidade da linha de costa nas análises de evolução da linha de costa, e ainda na predição da mobilidade da praia.

Por fim, contribuindo na análise da adaptação morfológica da praia, foram analisados perfis topográficos transversais superpostos em três estações, ao longo da praia. Os levantamentos topográficos utilizados foram realizados em duas ocasiões: a) entre setembro de 2008 e julho de 2009, em que foram realizados levantamentos mensais e b) em junho de 2014, com levantamento único. Ambas medições precederam do auxílio de nível

de precisão, régua e trena e foram adotados os mesmos pontos referenciais iniciais e de alinhamentos dos perfis.

Resultados

Clima de ondas

Os dados do clima de ondas obtidos a partir da modelagem estão apresentados na Tabela 3. Observa-se que os ângulos médios das ondas anuais que atingem a praia de Itaipava apresentam orientação de 98°, com oscilação de 3° nos intervalos temporais adotados (Tabela 3). As ondas médias mais altas apresentam maiores ângulos para SE, estando associadas às entradas das frentes frias, que na costa de Itaipava são provenientes de SEE e apresentam orientação de 101°, mantendo a oscilação de 3°.

Tabela 3: Clima de ondas obtidos a partir do modelo GOW para a porção oceânica nas proximidades de Itaipava, ES.

Períodos	Média das Ondas Anuais			Médias das 33% ondas anuais mais altas		
	Hs (m)	T (s)	Dir (°)	Hs (m)	T (s)	Dir (°)
1948 a 2008	1.03	6.8	98	1.35	6.9	101
1948 a 1970	1.01	6.84	98	1.35	9.98	99
1971 a 2003	1.03	6.83	101	1.36	6.94	102
2004 e 2005	1.06	6.85	101	1.35	6.83	104
2006 a 2008	1.09	7.13	99	1.37	7.18	99
$\Delta\alpha$			3			3

Recortes adotados a partir do material cartográfico utilizado na análise evolutiva. $\Delta\alpha$: mobilidade dos ângulos médios obtido pela diferença entre o valor de longo período (1948-2008) e os demais valores de recortes temporais.

Considerando a orientação da linha de costa, os ângulos médios das ondas anuais provavelmente apresentam potencial de desenvolver uma deriva resultante para SO, porção sul da praia. Contudo o incremento dos ângulos para SE, refletida nos valores das ondas mais altas, pode limitar o desenvolvimento deste padrão ou mesmo inverter a resultante longitudinal para NE, para

a porção norte da praia. Observa-se que no intervalo de 2004 e 2005 houve o incremento das ondas provenientes de SSE, refletida no ângulo médio de incidência das ondas no período.

Estado de equilíbrio estático e mobilidade pré-intervenção

A mobilidade da planta no intervalo de 33 anos pré-intervenção (1970 e 2013) é apresentada na Figura 4. Observa-se, de maneira geral, que a linha praia de Itaipava progrediu no intervalo superposto com uma média de 12m. A progradação é mais pronunciada no extremo norte, quando comparado ao extremo sul.

Considerando os dados das ondas nos intervalos temporais adotados na Tabela 3, acredita-se que a oscilação em até 3° no ângulo de incidência das ondas mais altas, mais energéticas, entre 1971 e 2003, do quadrante leste para o sudeste tenha ocasionado o incremento no potencial de transporte de sedimentos e na deriva litorânea

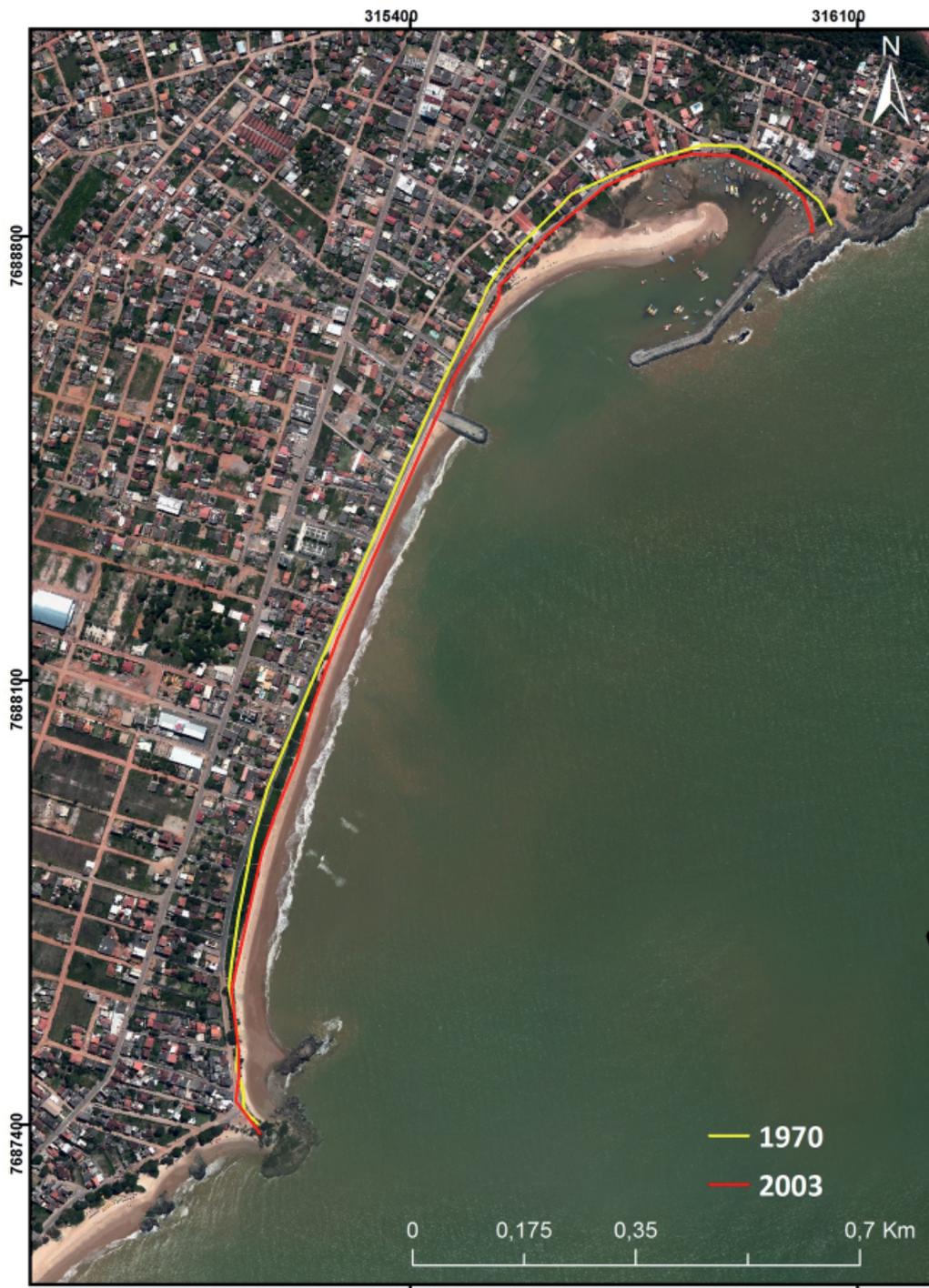


Figura 4 - Morfologia em planta no período entre 1970 e 2003, pré-intervenção. Instituto Estadual de Meio Ambiente (IEMA, 2013).

para norte e consequente, maior progradação da linha de costa no extremo deste setor no intervalo analisado. Na figura 5 tem-se a planta modelada com as ondas médias (na cor vermelha) e a planta modelada com o incremento de 3° no ângulo das ondas médias, representada pela linha amarela. Na situação do incremento das ondas de ESE há a progradação da porção norte.

A porção central da praia, que apresentou a menor faixa de progradação encontra-se submetida ao transporte de sedimentos desta porção para norte.

Outro processo que poderia ocorrer na praia seria o de rotação praial, que consiste na inversão na direção da deriva litorânea em um arco praial perceptível pela morfologia em planta com acréscimo e recuo nos extremos, de forma inversa, e mais estabilidade ao centro do eixo de rotação (SHORT e TREMBANIS, 2004). Desta forma a porção central da praia de Itaipava representaria o trecho de basculamento, isto é o centro de rotação.

A superposição das linhas de costa no período de 32 anos indicou, portanto, a progradação da costa antes das intervenções, diferente da classificação de estabilidade indicada por Albino *et al.*, (2006) para esta praia.

A aplicação do modelo parabólico tendo como o principal ponto de difração o promontório natural mostrou-se perfeitamente adequado à planta da praia no setor norte, demonstrado pela linha na cor vermelha (Figura 5A), sendo a praia classificada como em equilíbrio estático. Desta forma, adotou-se que o setor norte da praia se encontrava em equilíbrio estático com as ondas e processos atuantes no sistema costeiro até 2005, antes das intervenções.

Já no setor sul, o modelo não se adéqua a aplicação do modelo parabólico, estando a linha de costa modelada, mais recuada que a planta da praia. Os pontos secundários de difração representados pelas ilhotas próximas e a formação de um tómbolo arenoso junto à linha de costa, são responsáveis pela planta observada. Entende-se que para o setor sul, a difração pelas ondas não representou o processo predominante na modelagem da forma.

Mobilidade Pós-intervenção

A primeira alteração da planta da praia ocorreu após a construção do quebra-mar na prolongação do promontório norte iniciado em 2007, onde está localizado o

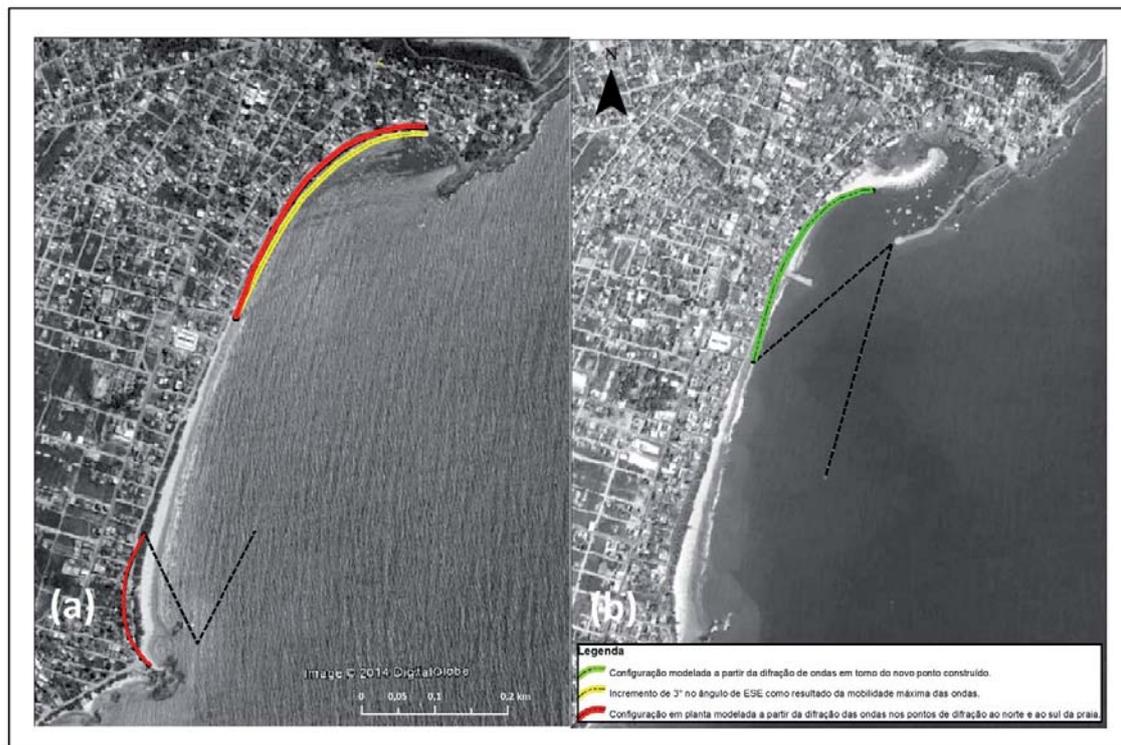


Figura 5 - Modelo parabólico aplicado para representar o equilíbrio estático da praia de Itaipava, Itapemirim - ES.

(a) Linha vermelha: Configuração em planta modelada a partir da difração das ondas nos pontos de difração ao norte e ao sul da praia. Linha amarela: incremento de 3° no ângulo de ESE como resultado da mobilidade máxima das ondas, conforme Tabela 2 (Ortofoto 2013); (b) Linha verde: Configuração modelada a partir da difração de ondas em torno do novo ponto construído (Ortofoto 2013).

ancoradouro de barcos. As adaptações morfodinâmicas que se seguiram desencadearam outras intervenções sucessivas, como a instalação de um espigão transversal a linha de costa, concluído em 2008. Na Figura 6 podem ser observadas as alterações da linha de costa após as obras e ainda é observado que a mobilidade da linha de

costa ocorreu com intensidades distintas ao longo do arco praial. Assim, a análise das alterações será realizada por setores, onde se reconhece como “setor norte” a área sob influência direta das intervenções, delimitada pela planta modelada (Figura 5B) e “setor sul”, os últimos 700 m da praia.



Figura 6 - Configuração em planta no período pós-intervenção (2003, 2008 e 2013). Setor norte, sob influência direta da adaptação morfológica da praia de enseada e Setor Sul, rumo ao promontório sul. Localização dos perfis transversais Norte (PN), Sul 1 (PS1) e Sul 2 (PS2).

No setor norte, a partir da superposição das linhas de costa, observa-se que a praia no período de pré-intervenção, entre 1970 e 2003, apresentou progradação média de 12m. A aplicação do modelo parabólico indicou ainda que a forma da praia em planta em 2003 encontrava-se em equilíbrio estático (linha verde, Figura 5A).

Com a implementação do quebra-mar houve a adaptação da praia validada pelo resultado do modelo parabólico aplicado na Figura 5B, com o recuo da porção mais exposta e central da praia e deposição na área de sombra, no extremo norte, próxima ao ancoradouro (Figura 5B). Esse comportamento foi verificado pela superposição da linha de costa entre 2003, 2008 e 2013.

O muro de contenção implantado inicialmente protegeu a costa. Entretanto, na praia arenosa registrou as consequências do transporte litorâneo interrompido pela implementação do espigão transversal. Assim, com a chegada das ondas difratadas pelo quebrar-mar, o sedimento transportado pela deriva se depositou a barlar do espigão e desenvolveu-se então, uma linha de costa mais recuada à sotamar, conforme verificado na linha de costa de 2008 (Figura 6).

Já para o mesmo período, a deposição de sedimentos na porção abrigada da planta parabólica foi observada a partir do desenvolvimento e mobilidade de um pontal arenoso (Figura 6). O pontal cresce em direção da deriva predominante. A morfologia da sua porção final depende das direções das ondas ou dos processos de difração em torno dele (EVANS 1942; KING e MCCULLAGH, 1971).

A circulação hidrodinâmica interna, na área do ancoradouro, com a contribuição das ondas geradas pela circulação das embarcações, parece convergir rumo à corrente de deriva litorânea, desenvolvendo o pontal arenoso já observado na imagem de 2008. Com a continuidade do processo adaptativo observado pela adequação da forma modelada com planta da praia em 2013 (Figuras 5B e 6), o pontal arenoso se estende e se define no interior do ancoradouro. No mesmo período, entre 2008 e 2013, verifica-se ainda o incremento de ondas de E sob as de ESE (Tabela 3). Este padrão diminuiu a deriva rumo ao norte e intensificou as trocas transversais e a resultante da deriva para sul. Sob este processo se deu o recuo da porção a barlar do espigão, conforme verificado na superposição da linha de costa e na superposição dos perfis transversais comparados entre 2008/2009 e 2014 (Figura 7).

Setor sul

O setor sul entre 2003 e 2008 (Figura 6) apresentou recuo da linha de costa em torno de 20m coincidindo com o período de grande mobilidade do setor norte. Neste intervalo predominaram as ondas com ângulos de ESE (Tabela 3) que favoreceram a deriva para norte e a deposição de sedimentos a barlar do espigão transversal ao norte para o período, conforme verificado. Com o retorno do predomínio das ondas de leste, entre 2008 e 2013, as condições de deriva para sul atuaram e houve a retomada da configuração da planta da praia, com a linha de costa de 2013, muito próxima daquela antes da intervenção em 2003.

Após a implementação do espigão transversal à praia, estabeleceu-se um novo compartimento praiial entre a estrutura e o promontório sul. A alteração nos ângulos de entrada das ondas na enseada seria responsável pelas inversões no sentido da deriva litorânea, ora para sul ora para norte. Este processo rotacional, já amplamente discutido em outros trabalhos sobre praias de enseada (SHORT e MASSELINK, 1999; RANASINGHE *et al.*, 2004; SHORT e TREMBANIS, 2004), é verificado ao longo da praia de Itaipava no comportamento dos perfis de praia (Figura 07, localização vide Figura 06) e na configuração da linha de costa. O perfil S1 se manteve estável no intervalo entre 2008/2009 e 2014, estando localizado no ponto de basculamento de sedimentos, enquanto que o S2 mantém a tendência progradação da praia, já verificada no período antes intervenção.

Discussão

A praia de Itaipava apresenta uma configuração geométrica do tipo enseada e como tal apresenta processos controlados pelo seu grau de exposição e configuração dos promontórios rochosos. No setor norte atua a difração das ondas em torno do promontório e agora, o quebra-mar, enquanto que ao sul predomina o processo rotacional. A alteração no sentido da entrada das ondas gera mobilidade rotacional da praia verificada ao longo dos anos, estando em acordo com outras praias do litoral recortado, ao sul do Espírito Santo (KLUMB-OLIVEIRA e ALBINO, 2014; ALBINO *et al.*, 2006).

A porção norte da praia modelada pelo processo de difração encontrava-se em equilíbrio estático antes da intervenção. A instalação do quebra-mar e a atuação das

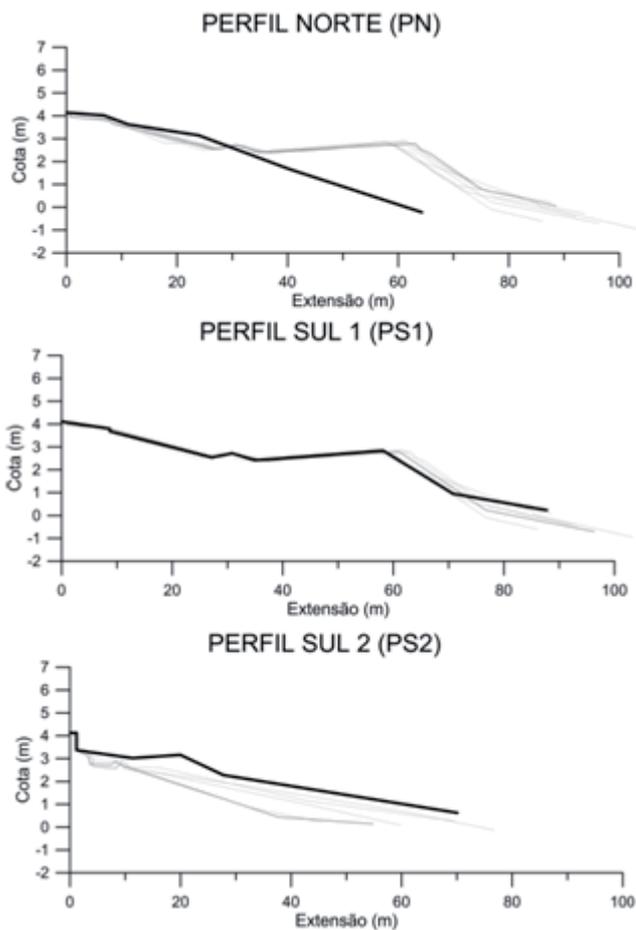


Figura 7 - Variação morfológica dos perfis emersos.

ondas de ESE no período de 2005 a 2008 desenvolveu um transporte de sedimentos rumo a norte, à região do ancoradouro de barcos.

O recuo da linha de costa e a formação de um pontal foram os resultados morfológicos deste processo adaptativo, que foi previsto pela aplicação do modelo parabólico de enseada.

A evolução morfológica desencadeada gerou problemas às operações de pesca e ao turismo. As intervenções no sentido de contenção, como a construção do muro longitudinal e do espigão transversal compartimentou a praia em dois setores morfodinâmicos. No setor sul o processo rotacional de praia, com inversão do transporte de sedimentos entre os extremos com a alteração do sentido da direção das ondas, comportamento similar ao discutido por Short e Trembanis (2004) e Ranasinghe *et al.*, (2004) em outras praias, ficou mais atuante a partir da intervenção, estando o transporte limitado pelo promontório sul e o espigão transversal implantado.

Já o setor norte, uma vez encurtado e dominado pelos processos de difração das ondas encontra-se em equilíbrio dinâmico, gerando gradativamente o recuo e erosão da praia em sua porção sul e deposição no ancoradouro o que resultou na necessidade de dragagens e alimentação artificial do trecho (Figura 2A e 2B).

A dinâmica costeira da praia de Itaipava atualmente é regida pelos fatores que modificam a trajetória natural das ondas que incidem à praia, entre os quais destacam as construções, como molhes e quebra-mares conforme destacados por Short e Masselink (1999) e Bird (2008). Os processos adaptativos poderiam ser previstos, a fim de se avaliar as consequências socioeconômicas desencadeadas e desta forma, os prejuízos evitados. Fischer e Calliari (2006) destacam ser imprescindível conhecer os processos morfodinâmicos e hidrodinâmicos costeiros, para que posteriormente implantem-se as obras de engenharia, com a finalidade de proteger a costa e minimizar os problemas de erosão.

Conclusão

Parte do problema morfodinâmico desencadeado na praia de Itaipava poderia ter sido evitado com o uso de ferramentas simples como, por exemplo, a aplicação do Modelo do Parabólico de Enseada proposto por Hsu e Evans (1989) antes do início da intervenção. É de conhecimento que praias de enseada são praias limitadas por promontórios rochosos e/ou outros obstáculos físicos, geralmente resultando em um arco com curvatura. Apresentando formas assimétricas, tendem a possuir uma zona de sombra localizada próxima ao promontório rochoso, protegida da energia de ondas e fortemente curvada nesse setor e outra mais retilínea, submetida às ondas incidentes. Dependendo do resultado da planta modelada é possível prever a faixa de erosão e progradação da enseada.

A implantação de estruturas transversais tende a originar novas células de circulação ou mesmo novas enseadas. As adaptações morfológicas resultantes podem não ser as mais desejadas para a manutenção das atividades socioeconômicas do litoral.

Obras emergenciais muitas vezes são exigidas e, a ausência de dados levantados ou modelados pode ter resultado inverso ao que se propôs, causando maiores desequilíbrios sedimentares. A situação ideal seria o planejamento e organização do espaço urbano dentro do contexto morfodinâmico da área em questão, além

de predições quanto às alterações climáticas e oceanográficas de curto, médio e longo prazo, a fim de mapear sua mobilidade e susceptibilidade erosiva e/ou inundacional.

Agradecimentos

Ao Instituto de Hidráulica Ambiental de Cantabria (Environmental Hydraulics Institute “IH Cantabria”), Espanha pelos dados de ondas; À Flavia Acypreste pela concessão dos perfis topográficos de 2008/09. Ao programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal do Espírito Santo, que reuniu os autores na disciplina “Geomorfologia Costeira Aplicada” ministrada pelo último autor em 1/2014, resultando na presente produção.

Referências Bibliográficas

ALBINO, J.; GIRARDI, G; NASCIMENTO, K. A. Espírito Santo. In MUEHE, D. (Org.). **Erosão e progradação do litoral brasileiro**. p. 227-264, MMA, Brasília, 2006.

BIRD, E. **Coastal Geomorphology: An Introduction**. 2nd ed. England: Willey, 2008.

BOAK, E. H; TURNER, I. L. Shoreline definition and detection: a review. **Journal of Coastal Research**. Vol. 21, n. 4, p. 688-703, 2005.

EVANS, O. F. The origin of Spits, bars and related structures. **Journal of Geology**. Vol. 50, p. 846-863, 1942.

FISCHER, A.; CALLIARI, L. J. Proposta para recuperação das áreas afetadas por erosão na praia estuarina do Barro Duro Laguna dos Patos/RS. In: II Seminário e Workshop em Engenharia Oceânica, Rio Grande. II Seminário e Workshop em Engenharia Oceânica. Rio Grande, 2006.

G1 Espírito Santo. **Orla é destruída por erosão na Praia de Itaipava, no Sul do ES**. Disponível em: <<http://g1.globo.com/espírito-santo/noticia/2013/07/orla-e-destruida-por-erosao-na-praia-de-itaipava-no-sul-do-es.html>>. Acesso em: 24 abr. 2015.

G1 São Paulo. **Mar avança e causa prejuízos em cidades do Espírito Santo**. 2010. Disponível em: <<http://g1.globo.com/brasil/noticia/2010/07/mar-avanca-e-causa-prejuizos-em-cidades-do-espírito-santo.html>>. Acesso em: 24 abr. 2015.

Gazeta online. **Orla de Itaipava sofre com a erosão**. Disponível em: <http://gazetaonline.globo.com/_conteudo/2009/10/547807orla+de+itaipava+sofre+com+a+erosao.html>. Acesso em: 24 abr. 2015.

Globo (1). **Erosão em orla preocupa moradores de Itaipava, no ES**. Disponível em: <<http://globo.com/tv-gazeta-es/estv-1a-edicao/v/erosao-em-orla-preocupa-moradores-de-itaipava-no-es/2676705/>>. Acesso em: 24 abr. 2015.

Globo (2). **Começam as obras para recuperação da orla de Itaipava, no Sul do ES**. 2013. Disponível em: <<http://globo.com/tv-gazeta-es/estv-2a-edicao/v/comecam-as-obras-para-recuperacao-da-orla-de-itaipava-no-sul-do-es/2743076/>>. Acesso em: 24 abr. 2015.

GONZALEZ, M.; MEDINA, R. On the application of static equilibrium bay formations to natural and man-made beaches. **Coastal Engineering**. Vol. 43 n. 3-4, p. 209-225, 2001.

GONZALEZ, M.; MEDINA, R.; LOSADA, M. On the design of beach nourishment projects using static equilibrium concepts: Application to the Spanish coast. **Coastal Engineering**. Vol. 57, p. 227-240, 2010.

Google Earth, Disponível em: <<http://earth.google.com/>>. Acesso em 27 out. 2014.

HSU, J. R. C.; BENEDET, L.; KLEIN, A. H. F.; RAABE, A. L. A.; TSAI, C. P.; HSU, T.W.; Appreciation of Static Bay Beach Concept for Coastal Management and Protection. **Journal of Coastal Research**. Vol.24, n. 1, p.198- 215, 2008.

HSU, J. R. C.; EVANS, C. Parabolic bay shapes and applications. **ICE Proceedings**. Vol. 87, n. 4, p. 557-570, 1989.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Informações sobre os municípios brasileiros**. Rio de Janeiro, 2010.

INSTITUTO ESTADUAL DE MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS – IEMA. **Ortofotomosaico IEMA 2007/2008**. Convênio “VALE DE QUALIDADE AMBIENTAL”. Companhia VALE e Instituto Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos – IEMA, Cariacica, 2009.

INSTITUTO CAPIXABA DE PESQUISA, ASSISTÊNCIA TÉCNICA E EXTENSÃO RURAL - INCAPER. **Relatório de Atividades**. Cariacica, 2005.

INSTITUTO ESTADUAL DE MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS – IEMA. **Ortofotomosaicos do Município de Itapemirim-ES bloco XX**. Cariacica, 2013.

KING, C. A. M.; MCCULLAGH, M. J. A simulation model of a complex recurved spit. **Journal of Geology**. Vol. 79, p. 22-37, 1971.

KLEIN, A. H. F.; VARGAS, A.; RAABE, A. L. A.; HSU, J. R. C. Visual assessment of bayed beach stability with computer

- software. **Computers e geosciences**. Vol. 29, n. 10, p.1249-1257, 2010.
- KLUMB, L. A. O.; ALBINO, J. Mobilidade e Erosão da Enseada da Praia do Morro, Guarapari – ES, em Diferentes escalas de Tempo. **Revista Brasileira de Geomorfologia**. Vol. 15, p. 103 – 117, 2014.
- KOERNER, K. F.; OLIVEIRA, U. R.; GONÇALVES, G. Efeito de estruturas de contenção à erosão costeira sobre a linha de costa: Balneário Hermenegildo, Rio Grande do Sul, Brasil. **Revista da Gestão Costeira Integrada**. Vol. 13, n. 4, p. 457-471, 2013.
- KOMAR, P. D. **Beach processes and sedimentation**. Prentice 2nd ed. New Jersey: Hall Inc. p.544, 1998.
- KRUMBEIN, W. C. Shore currents and sand movement on a model beach. **U.S. Army Corps of Engineers, Beach Erosion Board, Tech. Memo**. Vol. 7, 1944.
- MARTIN, L.; SUGUIO, K.; FLEXOR, J. M.; ARCHANJO, J. D. Coastal Quaternary formations of the southern part of the state of Espírito Santo (Brazil). **Academia Brasileira de Ciências**. Vol. 68, n. 3, p. 389-404, 1996.
- MORENO, L. J. E.; KRAUS, N. C. Equilibrium shape of headland-bay beaches forengineering design. **Society of Civil Engineers**. Vol.1, p. 860-875, 1999.
- MORTON, R. A. Gulf shoreline movement between Sabine Pass and the Brazos River, Texas: 1974 to 1996. **Geological Circula**. Vol. 97, n. 3, p. 1-27, 1997.
- PIANCA, C.; MAZZINI, P. L. F.; SIEGLE, E. Brazilian offshore wave climate base don NWW3 reanalysis. **Brazilian Journal of Oceanography**. Vol. 58, n.1, p. 53-70, 2010.
- RAABE, A. L. A.; KLEIN, A. H. F; GONZÁLEZ, M; MEDINA, R. MEPBAY and SMC: Software tools to support different operational levels of headland-bay beach in coastal engineering projects. **Coastal Engineering**. Vol. 57, p. 213–226, 2010.
- RANASINGHE, R.; McLOUGHLIN, R.; SHORT, A.D.; SYMONDS, G. The Southern Oscillation Index, wave climate, and beachrotation. **Marine Geolog**. Vol. 204, p. 273-287, 2004.
- REGUERO, B. G.; MENÉNDEZ, M.; MÉNDEZ, F. Z.; MÍNGUEZ, R.; LOSADA, I. J. A Global Ocean Wave (GOW) calibrated reanalysis from 1948 onwards. **Coastal Engineering**. Vol. 65, p. 38-55, 2012.
- SHORT, A. D. E.; MASSELINK, G. Embayed and structurally controlled beaches. Handbook of Beach and Shoreface Morphodynamics, Wiley, ed. A.D. Short, p. 230-249, 1999.
- SHORT, A. D.; TREMBANIS, A. C. Decadal Scale Patterns in Beach Oscillation and Rotation Narrabeen Beach, Australia - Time Series, PCA and Wavelet Analysis. **Journal of Coastal Research**. Vol. 20, n. 2, p. 523-532, 2004.
- SILVESTER, R. Coastal Defense. **Proceedings Institution of Civil Engineers**. Vol. 45, p. 677-682, 1970.
- SILVESTER, R.; HSU, J. R. C. **Coastal stabilization: Innovative concepts**. New Jersey: Prentice-Hall. p. 578, 1993.
- SOUZA, C. R. **Pescadores Artesanais de Tradições Oceânicas: Identidades, Práticas Cotidianas e Capital Social**. Itaipava – ES. Dissertação (Mestrado em Sociologia Política) – Programa de Pós-graduação em Sociologia Política, Universidade Estadual Norte Fluminense, Campos, 2009.
- VARGAS, A.; RAABE, A. L. A.; KLEIN, A. H. F. Sistema Computacional para Aplicação do Modelo Parabólico de Praias de Enseada. **Revista Brasileira de Geomorfologia**. Vol. 3, n. 1, p. 11-19, 2002.
- YASSO, W. E. Plan geometry of headland bay beaches. **Journal of Geology**. Vol. 73, p. 702-714, 1965