

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO  
CENTRO DE CIÊNCIAS HUMANAS E NATURAIS  
DEPARTAMENTO DE OCEANOGRAFIA E ECOLOGIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM OCEANOGRAFIA AMBIENTAL**

**BRENDA SILVA DE SOUZA**

**DESENVOLVIMENTO E MORFODINÂMICA DE PRAIAS SOBRE  
PLATAFORMAS DE ABRASÃO EM LITORAIS DE MICROMARÉ  
DOMINADOS POR ONDAS**

ARACRUZ  
2018

BRENDA SILVA DE SOUZA

**DESENVOLVIMENTO E MORFODINÂMICA DE PRAIAS SOBRE  
PLATAFORMAS DE ABRASÃO EM LITORAIS DE MICROMARÉ  
DOMINADOS POR ONDAS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Oceanografia Ambiental da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Oceanografia Ambiental.

Orientadora: Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Jacqueline Albino.

ARACRUZ  
2018



DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

**DESENVOLVIMENTO E MORFODINÂMICA DE PRAIAS SOBRE PLATAFORMAS DE  
ABRASÃO EM LITORAIS DE MICROMARÉ DOMINADOS POR ONDAS**

por

**Brenda Silva de Souza**

Aprovado por:

---

Profa. Dra. Jacqueline Albino  
Universidade Federal do Espírito Santo

---

Prof. Dr. Alex Cardoso Bastos  
Universidade Federal do Espírito Santo

---

Prof. Dr. Leonardo Azevedo Klumb Oliveira  
Universidade Federal do Espírito Santo

Vitória, 21 de março de 2018.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus por ter me proporcionado mais uma oportunidade de aprendizado e crescimento profissional, me sustentando e auxiliando na conclusão desta etapa.

Agradeço à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de estudo.

Agradeço a minha família, em especial a minha mãe Cintia, pelo apoio incondicional e por fazer o possível e o impossível na busca do trado, e a minha irmã Bruna, pelas longas horas digitando infindáveis dados de ondas.

Agradeço a minha orientadora, Jacqueline Albino, pelo apoio e suporte conferidos para a realização deste trabalho, bem como por todo o aprendizado proporcionado.

Agradeço aos demais professores do programa de pós-graduação que contribuíram com conselhos e sugestões para o desenvolvimento desta dissertação.

Agradeço aos amigos e colegas de laboratório que com muita paciência e disposição me auxiliaram nas campanhas de campo, principalmente, naquelas que envolviam o trado.

E a todos que colaboraram de alguma forma para a realização deste trabalho, muito obrigada!

*“Feliz o homem que acha sabedoria, e o  
homem que adquire conhecimento.”*

*Provérbios 3:13*

## RESUMO

Praias limitadas por plataformas de abrasão são influenciadas por sua geomorfologia singular e se comportam de forma diferente das praias arenosas quanto a morfologia e aos processos morfodinâmicos. A aplicação de modelos tem se tornado uma hábil ferramenta no estudo destes complexos ambientes. O modelo de Trenhaile (2004), proposto para litorais de meso e macromaré, tem sido considerado o mais adequado dentre os diversos modelos. Este modelo considera a morfologia das plataformas de abrasão e as condições hidrodinâmicas do litoral. Estudos acerca do desenvolvimento de praias sobre plataformas de abrasão em litorais de micromaré, frequentemente, não consideram a contribuição de fatores hidrodinâmicos. Neste sentido, o objetivo do presente estudo consistiu em propor um novo modelo de desenvolvimento de praias sobre plataformas de abrasão em litorais de micromaré, onde as ondas correspondem ao principal agente morfodinâmico. Esta proposta foi baseada nas premissas e elementos considerados por Trenhaile (2004). Ademais, a influência das plataformas de abrasão nos processos morfodinâmicos destas praias foi avaliada. A área de estudo compreendeu três praias limitadas por plataformas de abrasão localizadas no litoral do Espírito Santo, Brasil, classificado como um litoral de micromaré. Algumas adaptações do modelo de Trenhaile (2004) foram aplicadas para o êxito do novo modelo: o limite vertical do perfil praiado emerso foi obtido por meio do *run up* das ondas durante o período de sizígia e os dados morfológicos do perfil foram obtidos através de levantamentos em campo. Os resultados indicam que as plataformas de abrasão não impedem a acumulação de sedimentos e, conseqüentemente, a formação das praias. Contudo, este substrato exerce significativa influência na limitação do espaço de acomodação, na morfologia e nos processos morfodinâmicos das praias. Em geral, o novo modelo foi capaz de representar a morfologia e a capacidade de acomodação de sedimentos dos sistemas praiados estudados.

Palavras-chave: modelo de Trenhaile (2004); litorais dominados por ondas; *run up* da onda; praias do Espírito Santo.

## **ABSTRACT**

Beaches on shore platforms are influenced by their singular geomorphology and respond differently from sandy beaches in terms of morphology and morphodynamic processes. The application of models has become a useful tool in the study of these complex environments. The model of Trenhaile (2004), proposed for mesotidal and macrotidal shore platform coasts, has been considered the most suitable among several models. This model considers the morphology of the shore platforms and hydrodynamic conditions of the coast. Studies about beach development on shore platforms along microtidal coasts, not frequently, consider the contribution of hydrodynamic factors. Thus, the aim of present study was to propose a new model for the development of beaches on shore platforms in microtidal coast, where waves are the fundamental morphodynamical agent. This propose was based on Trenhaile (2004) assumptions and elements. In addition, the influence of the shore platforms on the morphodynamic processes of these beaches was evaluated. The study area comprised three beaches on shore platforms located in the coast of Espírito Santo, Brazil, classified as microtidal coast. Some adaptation from Trenhaile model (2004) were applied for the success of new model: the vertical limit of emerge beach profile was obtained by wave run up during spring tidal and profile morphology data were known by field survey. The results indicated that shore platforms do not prevent the accumulation of sediments and, consequently, the formation of beaches. Although, shore platform exerts significant influence on the limitation of the accommodation space, on beach morphology and morphodynamic processes. In general, the new model was able to represent the morphology and the sediment accommodation capacity of the studied beach systems.

**Keywords:** model of Trenhaile (2004); wave-dominated coasts; wave run-up; Espírito Santo beaches.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 - Premissa do modelo baseada na relação entre as inclinações da face praial e da plataforma de abrasão. ....	15
Figura 1.2 - Desenvolvimento do perfil praial. ....	17
Figura 1.3 - Desenvolvimento de praias considerando a relação entre as inclinações da face da praia e da plataforma de abrasão e a disponibilidade de sedimento .....	18
Figura 1.4 - Comparação entre os perfis praias obtidos em campo e o perfil obtido por meio da aplicação do modelo de Trenhaile (2004). Praia de Maimbá, Anchieta (ES). ....	19
Figura 3.1 - Localização da área de estudo. ....	22
Figura 3.2 - Desenvolvimento da plataforma de abrasão associada à ação abrasiva das ondas. ....	23
Figura 3.3 – Praia de Barra do Sahy e Praia dos Padres, Aracruz (ES). ....	24
Figura 3.4 - Praia de Maimbá, Anchieta (ES). ....	25
Figura 4.1 - Terminologia e subdivisão morfológica e hidrodinâmica do perfil praial. ....	28
Figura 4.2 – Desenvolvimento do perfil praial emerso em litorais de micromaré dominados por ondas. ....	29
Figura 4.3 - Levantamento topográfico do perfil praial emerso e da porção das plataformas de abrasão emersa durante a baixa-mar. ....	31
Figura 4.4 - Segmento da plataforma de abrasão frequentemente recoberto pelo perfil praial emerso. ....	31
Figura 4.5 - Sondagem a trado para caracterização morfológica das plataformas de abrasão. ....	32
Figura 4.6 - Comparação entre os parâmetros de onda obtidos por meio do modelo Wavewatch III e medidos <i>in situ</i> pela boia Vitória .....	33
Figura 5.1 - Valores mensais de altura significativa, energia, período e direção de propagação da onda na região oceânica adjacente ao município de Aracruz (ES) .....	36
Figura 5.2 - Rosa direcional de ondas para a região oceânica adjacente ao município de Aracruz (ES). ....	37
Figura 5.3 - Valores mensais de altura significativa, energia, período e direção de propagação da onda na região oceânica adjacente ao município de Anchieta (ES) .....	38
Figura 5.4 - Rosa direcional de ondas para a região oceânica adjacente ao município de Anchieta (ES) .....	38
Figura 5.5 - Morfologia e mobilidade da praia de Barra do Sahy, Aracruz, ES. ....	39



Figura 5.6 - Morfologia e mobilidade dos perfis praias da praia dos Padres, Aracruz, ES...	40
Figura 5.7 - Morfologia e mobilidade dos perfis praias da praia de Maimbá, Anchieta, ES..	41
Figura 5.8 - Comparação entre os perfis praias obtidos por meio do levantamento topográfico e o perfil modelado para a praia de Barra do Sahy, Aracruz (ES).....	43
Figura 5.9 - Comparação entre os perfis praias obtidos por meio do levantamento topográfico e o perfil modelado para a praia dos Padres, Aracruz (ES).....	44
Figura 5.10 - Comparação entre os perfis praias obtidos por meio do levantamento topográfico e os perfis modelados para a praia de Maimbá, Anchieta (ES).....	44

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1.1 - Variáveis consideradas por Trenhaile (2004) no desenvolvimento de seu modelo e valores/variações assumidas para cada uma delas. ....	16
Tabela 4.1 - Terminologia e subdivisão morfológica e hidrodinâmica do perfil praial. ....	27
Tabela 4.2 - Limitação vertical do perfil praial emerso para litorais de micromaré dominados por ondas, proposta em substituição aos limites considerados por Trenhaile (2004). ....	29
Tabela 4.3 – Data de realização das campanhas de campo nas praias de Barra do Sahy e dos Padres (Aracruz) e na praia de Maimbá (Anchieta). ....	30
Tabela 4.4 – Coeficiente de correlação de Pearson, viés e raiz do erro médio quadrático para os parâmetros altura significativa, período e direção de propagação das ondas. ....	33
Tabela 5.1 - Parâmetros morfológicos dos perfis praias obtidos no levantamento topográfico. ....	42
Tabela 5.2 - Síntese dos dados obtidos para proposta do novo modelo. ....	45

# SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	12
1.1 APRESENTAÇÃO .....	12
1.2 JUSTIFICATIVA PARA PROPOSTA DO NOVO MODELO .....	14
<b>1.2.1 Modelo de Trenhaile (2004) para o desenvolvimento de praias limitadas por plataformas de abrasão</b> .....	14
<b>1.2.2 Modelo de Trenhaile (2004) previamente aplicado a um litoral de micromaré</b> .....	18
<b>2 OBJETIVOS</b> .....	21
<b>3 ÁREA DE ESTUDO</b> .....	22
3.1 LOCALIZAÇÃO .....	22
3.2 ASPECTOS GEOLÓGICOS E GEOMORFOLÓGICOS .....	22
3.3 ASPECTOS CLIMÁTICOS E OCEANOGRÁFICOS .....	23
3.4 MORFODINÂMICA PRAIAL .....	24
<b>3.4.1 Praia de Barra do Sahy e dos Padres</b> .....	24
<b>3.4.2 Praia de Maimbá</b> .....	25
<b>4 MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	27
4.1 CONSIDERAÇÕES METODOLÓGICAS .....	27
<b>4.1.1 Terminologia</b> .....	27
<b>4.1.2 Litorais de micromaré dominados por ondas</b> .....	28
<b>4.1.3 Novo modelo proposto para litorais de micromaré dominados por ondas</b> .....	29
4.2 OBTENÇÃO DOS DADOS PARA APLICAÇÃO E VALIDAÇÃO DO NOVO MODELO .....	30
<b>4.2.1 Morfologia e mobilidade do perfil praiial</b> .....	30
<b>4.2.2 Morfologia da plataforma de abrasão</b> .....	31
<b>4.2.3 Ondas</b> .....	32
4.2.3.1 Validação do modelo Wavewatch III .....	32
4.2.3.2 Cálculo dos parâmetros de ondas .....	34
<b>4.2.4 Maré</b> .....	34
<b>4.2.5 Run up</b> .....	34
<b>5 RESULTADOS</b> .....	36
5.1 MORFOLOGIA E MOBILIDADE DOS PERFIS PRAIAIS .....	36
<b>5.1.1 Condições de onda no período de amostragem</b> .....	36

5.1.1.1 Aracruz.....	36
5.1.1.2 Anchieta .....	37
<b>5.1.2 Topografia e variabilidade topográfica dos perfis praias.....</b>	<b>39</b>
5.1.2.1 Praia de Barra do Sahy.....	39
5.1.2.2 Praia dos Padres .....	40
5.1.2.3 Praia de Maimbá.....	40
5.2 APLICAÇÃO E VALIDAÇÃO DO NOVO MODELO PROPOSTO .....	43
<b>6 DISCUSSÃO .....</b>	<b>46</b>
6.1 DESENVOLVIMENTO DE PRAIAS SOBRE PLATAFORMAS DE ABRASÃO EM LITORAIS DE MICROMARÉ DOMINADOS POR ONDAS .....	46
<b>6.1.1 Morfologia e capacidade de acomodação do perfil praial.....</b>	<b>46</b>
6.1.1.1 Altura do perfil praial e inclinação da face da praia.....	46
6.1.1.2 Capacidade de acomodação e largura do perfil praial .....	49
6.2 MORFODINÂMICA DE PRAIAS LIMITADAS POR PLATAFORMAS DE ABRASÃO.....	50
<b>7 CONCLUSÕES .....</b>	<b>53</b>
<b>8 REFERÊNCIAS.....</b>	<b>55</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>59</b>
<b>ANEXO A – Coordenadas iniciais e orientação dos perfis topográficos. ....</b>	<b>60</b>
<b>ANEXO B - Dados obtidos a partir do levantamento topográfico nas três estações amostrais.....</b>	<b>61</b>

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 APRESENTAÇÃO

Praias limitadas por plataformas de abrasão são particularmente influenciadas por sua geomorfologia singular que determina a morfologia, os processos morfodinâmicos e a mobilidade dos perfis praias, diferenciando-as das praias essencialmente arenosas (BERNABEU-TELLO et al., 2002; ANFUSO et al., 2003). As particularidades desses ambientes justificam o crescente interesse observado nos últimos anos por partes de pesquisadores que se dedicam a compreender as características e o comportamento destas praias.

Parte da energia das ondas incidentes em praias limitadas por plataformas de abrasão é dissipada a partir da interação turbulenta com a superfície irregular deste substrato (MARSHALL & STEPHENSON, 2011). A atenuação das ondas reduz a quantidade total de energia que chega a face praial, favorecendo a formação de perfis praias com maiores inclinações (MUÑOZ-PÉRES et al., 1999). Simultaneamente, as plataformas de abrasão limitam o espaço de acomodação da praia, o que favorece a acumulação vertical do sedimento junto à costa e a formação de perfis altos e estreitos (ALBINO et al., 2016a).

Em relação ao estado morfodinâmico, as praias limitadas por plataformas de abrasão são frequentemente restritas ao estado morfodinâmico intermediário do tipo terraço de baixa-mar, proposto por Wright & Short (1984), com características intermediárias a refletivas, na preamar, e dissipativas, na baixa-mar (ALBINO et al., 2016a). Ogawa et al. (2015) ainda destacam que as plataformas de abrasão limitam a amplitude e a variação da altura das ondas que chegam a praia e, conseqüentemente, reduzem a variação topográfica dos perfis praias em resposta às variações hidrodinâmicas.

Os processos de transformação das ondas pelas plataformas de abrasão dificultam ainda o transporte longitudinal de sedimento nestas praias, cuja variação topográfica é controlada, principalmente, pelas trocas transversais entre a praia emersa e a submersa (ALBINO, 1999; ALBINO et al., 2016a). Nestes litorais, a impermeabilidade das plataformas de abrasão reduz a infiltração de parte do espraiamento, tornando a praia mais propensa ao empilhamento das ondas e ao transporte transversal em direção a antepraia, durante eventos de moderada a alta energia (JACKSON & COOPER, 2009). A atenuação das ondas pelo substrato, no entanto, reduz o volume

de sedimento mobilizado (MUÑOZ-PÉREZ & MEDINA, 2010), bem como a perda de material para a região oceânica, que ao permanecer na célula de balanço sedimentar pode ser novamente incorporado ao perfil emerso (ALBINO et al., 2016a).

Ao considerar as particularidades de praias limitadas por substratos rochosos, alguns pesquisadores têm questionado a aplicabilidade de conceitos e modelos propostos para praias essencialmente arenosas. Neste sentido, destacam-se os trabalhos de Muñoz-Pérez et al. (1999), Jackson & Cooper (2009) e Taborda & Ribeiro (2015), que propõem novos modelos e conceitos para praias limitadas por substratos rochosos, a partir da adequação de modelos como os de Bruun (1962), Dean (1977) e Wright & Short (1984).

Estudos ainda têm sido desenvolvidos com o propósito de compreender as variáveis responsáveis pelas particularidades destas praias. Dentre esses, destaca-se o modelo de Trenhaile (2004) para o desenvolvimento e dinâmica de praias sobre plataformas de abrasão em litorais de meso e macromaré. O modelo sugere que, nestes litorais, a altura do perfil praial emerso é diretamente determinada pelos níveis médios de maré e que o desenvolvimento das praias é controlado, principalmente, pela quantidade de sedimento disponível e pela relação entre a inclinação da face da praia e da plataforma de abrasão.

Kennedy & Milkins (2015) investigaram as variáveis que controlam o desenvolvimento de praias limitadas por plataformas de abrasão em litorais de micromaré. A partir de observações em campo, os autores concluíram que, na condição em que o sedimento não é um fator limitante, a largura e a elevação das plataformas de abrasão constituem os principais fatores influenciadores no desenvolvimento das praias. No entanto, os autores destacam ainda que a contribuição de fatores hidrodinâmicos deve ser melhor estudada.

O estado do Espírito Santo está localizado na região sudeste do Brasil. O litoral do estado apresenta amplitude de maré em torno de 1,7 m (DHN, 2017), se enquadrando na classificação proposta por Davis (1964) de regiões submetidas a micromaré (< 2 m). Litorais de micromaré são frequentemente definidos como litorais dominados por ondas e, nesta condição, os processos costeiros são dominados pela energia das ondas, com menor influência da maré (MASSELINK & TURNER, 1999).

Em termos geomorfológicos, na região costeira são reconhecidas três unidades: os afloramentos e promontórios cristalinos pré-cambrianos, os tabuleiros neogênicos da Formação Barreiras e as planícies flúvio-marinhas quaternárias (MARTIN et al., 1996). A Formação Barreiras se estende ao longo do litoral na forma de falésias e plataformas de abrasão (ALBINO et al., 2006) limitando frequentemente os depósitos quaternários (MARTIN et al., 1996; 1997). Desta forma, praias limitadas por plataformas de abrasão são comumente encontradas por toda a extensão do litoral do estado (ALBINO et al., 2016a).

O estudo das características morfológicas e morfodinâmicas destas praias é essencial para o planejamento de uso e ocupação da zona costeira, uma vez que a partir de tais características é possível compreender a vulnerabilidade natural destas feições. Neste sentido, a aplicação de modelos e sua adequação à diferentes condições morfológicas e hidrodinâmicas tem se tornado uma eficiente ferramenta no estudo e compreensão destes complexos ambientes.

Dentre os modelos propostos, o modelo de Trenhaile (2004) pode ser apontado como o mais completo, por considerar não apenas a morfologia das plataformas de abrasão, bem como as condições hidrodinâmicas destes ambientes. No entanto, por ter sido desenvolvido para litorais de meso e macromaré, há uma lacuna quanto a contribuição de fatores hidrodinâmicos no desenvolvimento de praias limitadas por plataformas de abrasão em litorais de micromaré

Desta forma, o presente trabalho propõe um modelo de desenvolvimento de praias limitadas por plataformas de abrasão em litorais de micromaré, a partir da adequação do modelo de Trenhaile (2004) às particularidades morfológicas e hidrodinâmicas de praias do litoral do Espírito Santo. Além disso, o trabalho tem por objetivo avaliar a influência das plataformas de abrasão nos processos morfodinâmicos de praias deste litoral.

## 1.2 JUSTIFICATIVA PARA PROPOSTA DO NOVO MODELO

### **1.2.1 Modelo de Trenhaile (2004) para o desenvolvimento de praias limitadas por plataformas de abrasão**

O modelo de Trenhaile (2004) está fundamentado em três principais premissas:

l) Uma praia só é capaz de se desenvolver se a inclinação de sua face for maior que a inclinação do segmento da plataforma de abrasão recoberta por esta (Figura 1.1 a

e b). Contudo, uma vez satisfeita esta condição, a praia pode se estender, em direção à costa, sobre porções da plataforma que apresentem inclinação superior a inclinação da face da praia, se a quantidade de sedimento não for um fator limitante (Figura 1.1 c);

II) Se vários trechos da plataforma de abrasão apresentarem inclinações adequadas à acumulação de sedimento, este será depositado preferencialmente nas seções mais próximas a costa, em função das correntes geradas pelas ondas;

III) A ocorrência e extensão da praia dependem ainda da quantidade de sedimento disponível.

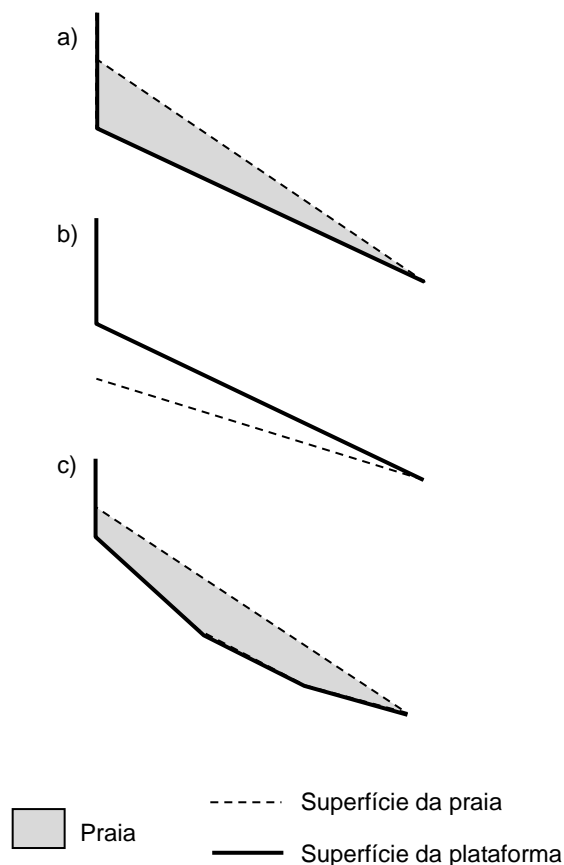


Figura 1.1 - Premissa do modelo baseada na relação entre as inclinações da face praial e da plataforma de abrasão: a) uma praia pode se desenvolver se a inclinação de sua face for superior a inclinação da plataforma recoberta por esta; b) caso contrário, a praia não se desenvolverá; c) uma vez satisfeita a condição 'a', a praia pode se estender sobre as porções da plataforma que apresentem inclinações superiores a inclinação de sua face, se houver disponibilidade de sedimento. Fonte: Trenhaile (2004), adaptado.

Além das premissas supracitadas, o modelo considera o efeito das variáveis forma e inclinação da plataforma de abrasão, amplitude de maré, altura e período da onda e quantidade e granulometria do sedimento. Para cada uma destas variáveis Trenhaile



(2004) atribui uma série de valores/variações para as devidas simulações (Tabela 1.1).

Tabela 1.1 - Variáveis consideradas por Trenhaile (2004) no desenvolvimento de seu modelo e valores/variações assumidas para cada uma delas.

Variáveis	Valores/Variações assumidos	Observações
Morfologia da plataforma de abrasão	Linear Côncava Convexa	Largura das plataformas côncavas e convexas: 64, 169 e 320 m
Inclinação da plataforma de abrasão	Linear: 1°, 2°, 3° e 6° Côncava e convexa: 0,6° a 8°	
Amplitude de maré	Mesomaré (3,3 m) Macromaré (9,1 m)	Amplitude média de sizígia
Quantidade de sedimento disponível	Variando entre 100 a 10.000 m <sup>2</sup>	
Diâmetro médio do sedimento	Areia fina (D=0,1875 mm) Areia grossa (D=0,525 mm) Cascalho (D=24 mm)	Classificação de Wentworth
Tipo de onda	Ondas do tipo swell	Dados para águas profundas

A partir dos valores assumidos para as variáveis consideradas, Trenhaile (2004) utiliza a equação empírica de Sunamura (1989) para o cálculo da inclinação da face da praia:

$$\tan \alpha = \frac{0,12}{(H_b / (g^{0,5} D^{0,5} T))^{0,5}} \quad (\text{Equação 1})$$

Onde  $H_b$  é a altura de quebra da onda,  $g$  é a aceleração devido à gravidade,  $D$  é o diâmetro médio do sedimento e  $T$  é o período da onda. A altura de quebra da onda, por sua vez, é determinada por meio da expressão de Komar & Gaughan (1972):

$$H_b = 0,39g^{0,2}(TH_0^2)^{0,4} \quad (\text{Equação 2})$$

Onde  $H_0$  é a altura da onda em águas profundas.

Em cada simulação, Trenhaile (2004) considera um determinado conjunto de valores para as variáveis inclinação da face da praia, inclinação da plataforma de abrasão e quantidade de sedimento disponível. Com base nas premissas do modelo, avalia-se se na condição considerada uma praia pode se desenvolver do nível médio das baixas-mares de sizígia (NMBS) até 1 m acima do nível médio das preamares de sizígia (NMPS), uma simplificação realizada devido à quantidade de fatores que influenciam na construção da berma. Quando as condições são favoráveis ao desenvolvimento

desta praia, sua espessura é calculada considerando os diferentes níveis de maré e as simulações prosseguem com base no próximo conjunto de dados (Figura 1.2).

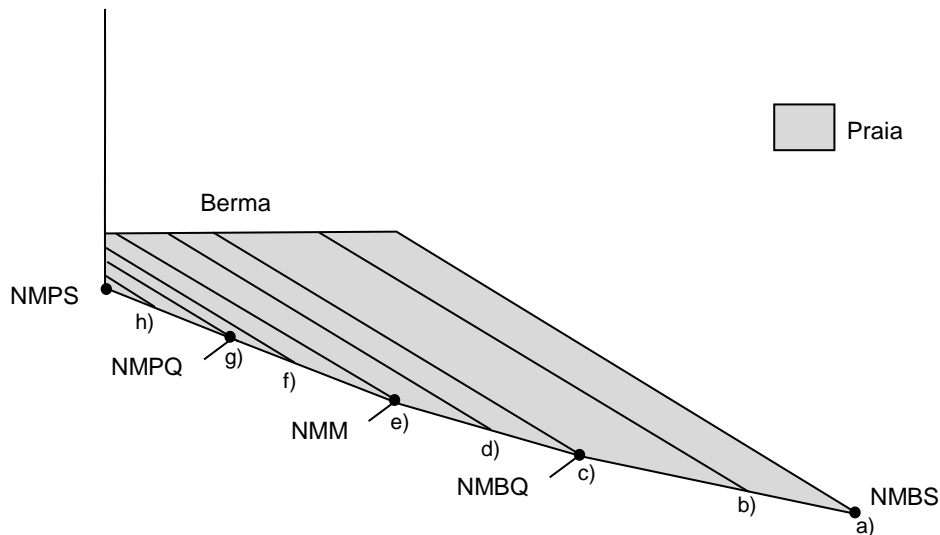


Figura 1.2 - Desenvolvimento do perfil praiial. Para cada simulação é avaliado, a partir das inclinações da face da praia e da plataforma de abrasão e da quantidade de sedimento disponível, se uma praia é capaz de se estender do nível médio das baixa-mares de sizígia (NMBS) até 1 m acima do nível médio das preamares de sizígia (NMPS) (a). Se esta praia não puder ser formada, então o procedimento é repetido, reduzindo o limite inferior da praia entre os estágios (b) a (f). Se for determinado que nenhuma praia é capaz de se desenvolver, o limite superior da potencial praia é reduzido entre os níveis de maré e as simulações são repetidas considerando o novo limite. (NMPQ – nível médio das preamares de quadratura; NMM – nível médio de maré; NMBQ – nível médio das baixa-mares de quadratura). Fonte: Trenhaile (2004), adaptado.

Contudo, se o desenvolvimento desta praia for limitado pela quantidade de sedimento, um novo limite inferior para o perfil praiial é definido e a simulação se repete com base nesta nova limitação, que pode ser alterada, progressivamente, entre os estágios (b) a (f), conforme for necessário (Figura 1.2). Se ainda assim nenhuma praia for capaz de se desenvolver, o limite superior do perfil praiial é alterado entre os níveis de maré e as simulações são reiniciadas considerando o novo limite. Esse padrão prossegue até serem determinadas as condições adequadas para o desenvolvimento de uma praia em particular ou que nenhuma praia será formada.

A partir dos resultados do modelo de Trenhaile (2004), observa-se que em plataformas lineares com inclinação inferior a inclinação da face da praia, o desenvolvimento do perfil praiial inicia-se na base da falésia e, de acordo com a quantidade de sedimento disponível, prograda em direção a antepraia (Figura 1.3 a). Em relação às plataformas côncavas e convexas, a praia forma-se primeiramente na porção da plataforma com menor inclinação. Assim, em plataformas côncavas, as praias formam-se nas porções mais próximas ao mar e, com o aumento da quantidade de sedimento, se estendem

em direção ao continente (Figura 1.3 b). Em plataformas convexas, por sua vez, as praias formam-se nas porções mais próximas à costa e, de acordo com a quantidade de sedimento disponível, se estendem em direção a antepraia (Figura 1.3 c).

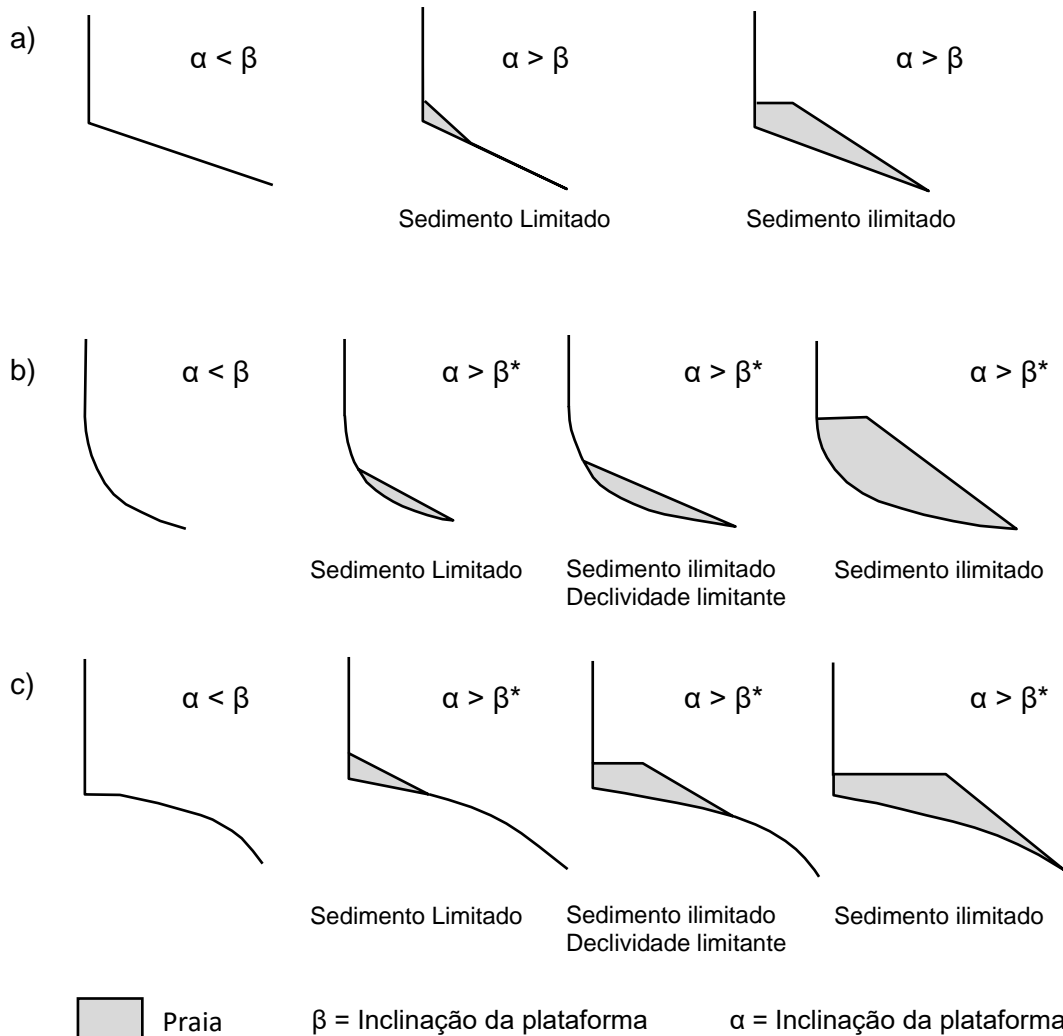


Figura 1.3 - Desenvolvimento de praias considerando a relação entre as inclinações da face da praia e da plataforma de abrasão e a disponibilidade de sedimento em perfis lineares (a), côncavos (b) e convexas (c). Praias com “Sedimento limitado” ou “Declividade limitante” apresentam suas áreas limitadas pela quantidade de sedimento e pela inclinação da plataforma de abrasão, respectivamente. Praias com “Sedimento ilimitado” acomodam a máxima quantidade de sedimento possível, quando não são limitadas pela inclinação da plataforma. \*Em plataformas côncavas  $\alpha > \beta$  somente nas porções inferiores da plataforma, enquanto que em plataformas convexas  $\alpha > \beta$  somente nas porções superiores da plataforma. Fonte: Trenhaile (2004), adaptado.

### 1.2.2 Modelo de Trenhaile (2004) previamente aplicado a um litoral de micromaré

Os valores atribuídos por Trenhaile (2004) às variáveis consideradas em seu modelo não correspondem a uma área de estudo em particular. Além disso, até onde se tem conhecimento, o modelo não havia sido verificado ou testado em campo.

Neste sentido, este modelo foi aplicado previamente à praia de Maimbá, localizada no município de Anchieta, litoral do Espírito Santo. Embora este litoral seja classificado

como um litoral de micromaré e o modelo de Trenhaile (2004) tenha sido desenvolvido para litorais de meso e macromaré, este foi aplicado à área de estudo da forma mais fidedigna possível, a partir da obtenção em campo dos parâmetros necessários.

Após determinado o diâmetro médio do grão, a partir da coleta e posterior análise de amostras sedimentares da face da praia ( $D=0,525\text{ mm}$ ), a inclinação deste trecho do perfil praiial foi calculada através da equação de Sunamura (1989) (Equação 1) para a onda mais recorrente na região ( $H_0= 1,32\text{ m}$ ;  $T= 10\text{ s}$ ;  $H_b= 1,90\text{ m}$ ). O valor calculado ( $0,073$ ) subestimou o valor médio obtido em campo ( $0,128$ ), porém, ainda se mostrou superior a inclinação da plataforma de abrasão ( $0,051$ ) que não representou, portanto, um fator limitante a formação da praia de Maimbá. Desta forma, ao considerar uma quantidade ilimitada de sedimento, o perfil modelado foi construído do nível médio das baixa-mares de sizígia até 1 m acima do nível médio das preamares de sizígia (Figura 1.4).

A representatividade do perfil modelado em relação a área de estudo foi analisada comparando-o aos perfis obtidos em campo. A partir desta comparação foi observado que o perfil modelado subestimou, em altura, os perfis levantados nas campanhas amostrais (Figura 1.4). Esta não adequação dos resultados pode ser justificada pelas condições hidrodinâmicas particulares de litorais de micromaré, não consideradas no modelo de Trenhaile (2004).

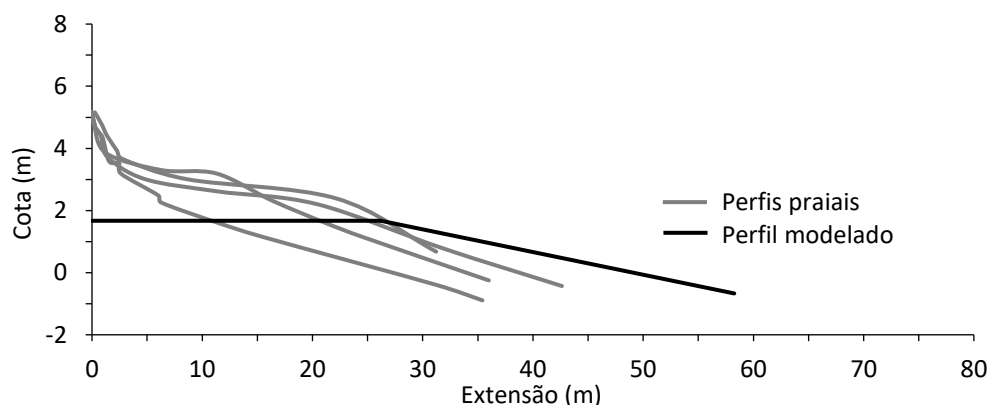


Figura 1.4 - Comparação entre os perfis praiiais obtidos em campo através do levantamento topográfico (linhas cinzas) e o perfil obtido por meio da aplicação do modelo de Trenhaile (2004) (linha preta). Praia de Maimbá, Anchieta (ES).

Litorais de micromaré são frequentemente definidos como dominados por ondas, nos quais a morfologia praiial é, basicamente, determinada por processos hidrodinâmicos da zona de espraiamento e da zona de surfe, com menor influência dos processos relacionados a maré (MASSELINK & TURNER, 1999). Desta forma, para a utilização

do modelo de Trenhaile (2004) nestes litorais, entende-se que seja necessário incluir a influência das ondas, com maior propriedade, na limitação vertical do perfil praial.

A altura do perfil praial é geralmente associada à altura da berma, que corresponde, por sua vez, ao máximo alcance vertical do espraiamento das ondas sobre a face da praia (*run up*) (HUGHES & TURNER, 1999). Estudos laboratoriais e observações em campo destacam que o crescimento vertical da berma é proporcionado pelo *run up* das maiores ondas que chegam a praia, durante as preamares de sizígia, visto que, nesta condição, o espraiamento das ondas ultrapassa a crista da berma e deposita sedimento acima desta feição (BASCUM, 1953; WEIR et al., 2006).

Neste sentido, com o intuito de considerar o papel das ondas na morfologia das praias em litorais de micromaré, o presente estudo, em adaptação ao modelo de Trenhaile (2004), fundamenta-se na hipótese de que, nestes litorais, o limite superior do perfil praial emerso é determinado pelo *run up* das maiores ondas que chegam a praia nas preamares de sizígia.

## 2 OBJETIVOS

Os objetivos do presente estudo, portanto, consistem em:

- Propor um modelo de desenvolvimento de praias sobre plataformas de abrasão em litorais de micromaré dominados por ondas, a partir da inclusão do processo de *run up* na delimitação vertical do perfil praiado emerso, em adaptação ao modelo proposto por Trenhaile (2004);
- Avaliar a influência das plataformas de abrasão sobre os processos morfodinâmicos de praias do litoral do Espírito Santo.

### 3 ÁREA DE ESTUDO

#### 3.1 LOCALIZAÇÃO

A área de estudo compreende três praias precedidas por plataformas de abrasão localizadas no litoral do estado do Espírito Santo: as praias de Barra do Sahy e dos Padres, localizadas no município de Aracruz, litoral norte do estado, e a praia de Maimbá, localizada no município de Anchieta, litoral sul do estado (Figura 3.1).

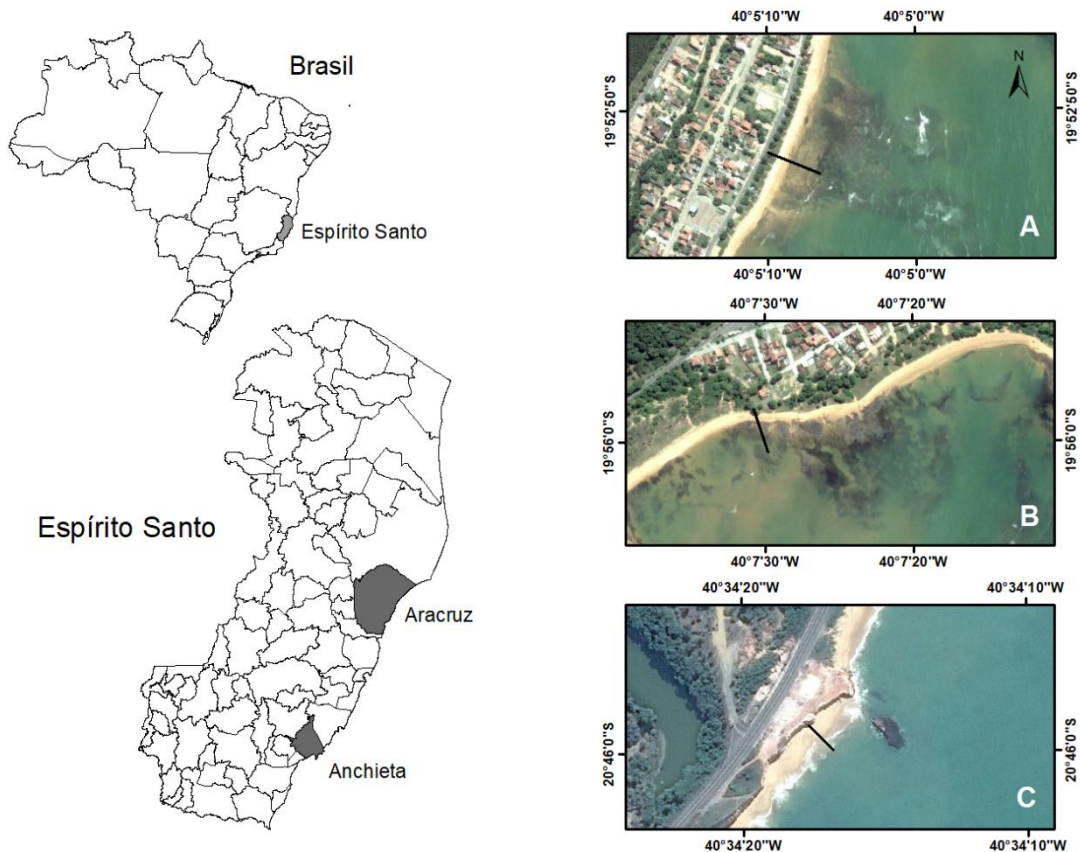


Figura 3.1 - Localização da área de estudo: (A) Praia de Barra do Sahy e (B) Praia dos Padres, Aracruz; (C) Praia de Maimbá, Anchieta, ES. Transectos em preto indicam a localização das estações amostrais. Fonte: IBGE e Google Earth, 2017.

#### 3.2 ASPECTOS GEOLÓGICOS E GEOMORFOLÓGICOS

Ao longo do litoral do Espírito Santo são reconhecidas três unidades geomorfológicas: os afloramentos e promontórios cristalinos pré-cambrianos, os tabuleiros neogênicos da Formação Barreiras e as planícies flúvio-marinhas quaternárias (MARTIN et al., 1996; ALBINO et al., 2006).

Os depósitos da Formação Barreiras se estendem ao longo do litoral e correspondem a sedimentos terrígenos depositados sobre a plataforma continental interna, quando o nível do mar estava abaixo do nível atual (MORAIS, 2007). Episódios subsequentes

de aumento relativo do nível do mar, durante o Quaternário, combinados à ação abrasiva das ondas resultaram nas falésias e plataformas de abrasão que recobrem a atual antepraia e plataforma continental interna (Figura 3.2) (ALBINO et al., 2016a).

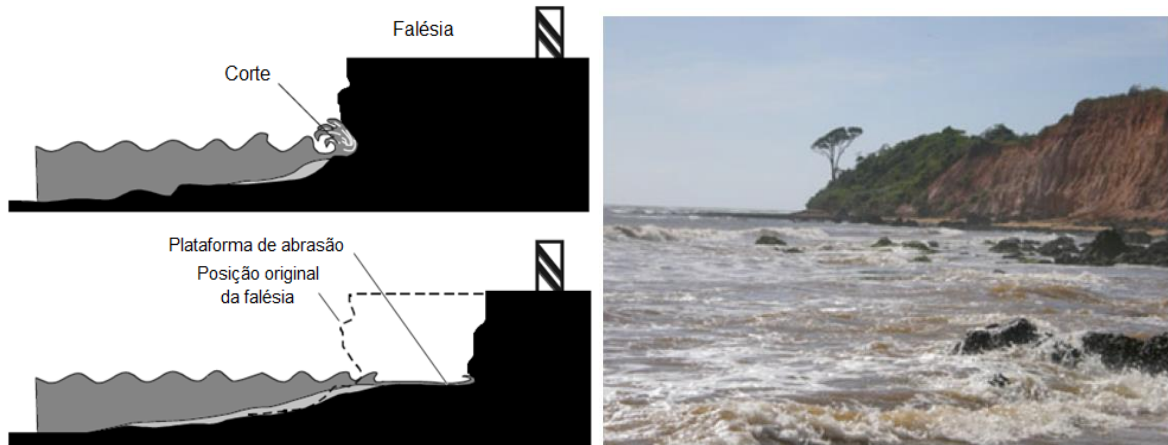


Figura 3.2 - Desenvolvimento da plataforma de abrasão associada à ação abrasiva das ondas. A ação das ondas próximo a base da falésia produz pequenos entalhes (cortes), cuja evolução promove a desestabilização e o consequente colapso da falésia, que ao ser retrabalhada pelas ondas resulta nas plataformas de abrasão. Fonte: Albino et al. (2016a), adaptado.

Com base na distribuição e contato entre as três unidades geomorfológicas Martin *et al.* (1996, 1997) propuseram uma subdivisão fisiográfica da costa capixaba em cinco setores. Segundo esta subdivisão, as praias de Barra do Sahy e dos Padres estão localizadas no setor 3, que compreende o litoral entre Barra do Riacho e Ponta de Tubarão, Baía do Espírito Santo. Neste setor, as falésias estão em contato direto com a praia ou são precedidas por planícies costeiras estreitas, em função do reduzido desenvolvimento dos depósitos quaternários.

A praia de Maimbá está localizada no setor 4, que se estende da Baía do Espírito Santo a foz do rio Itapemirim. Este setor é caracterizado por afloramentos de rochas cristalinas intercalados por falésias da Formação Barreiras. Em alguns trechos do litoral, a presença de obstáculos, como promontórios e ilhas, associada aos aportes fluviais localizados favorecem o desenvolvimento das planícies costeiras. Em outros trechos, as falésias estão em contato direto com a praia.

### 3.3 ASPECTOS CLIMÁTICOS E OCEANOGRÁFICOS

O clima do Espírito Santo é, predominantemente, do tipo tropical quente úmido, com temperatura média anual de 22° C e precipitação média anual inferior a 1 500 mm, concentrada, especialmente durante o verão (NIMER, 1979).



Os ventos predominantes na região são provenientes do quadrante E-NE, gerados pelo anticiclone subtropical do Atlântico Sul, e do quadrante S-SE, associados ao avanço semiperiódico de anticiclones polares (NIMER, 1979). Geradas pelo sistema de ventos, as ondas procedem de duas principais direções NE e SE, com altura significativa variando entre 1 e 2 m e período entre 6 e 8 s (PIANCA et al., 2010).

Segundo classificação proposta por Davis (1964), o litoral do estado é caracterizado por um regime de micromaré, isto é, apresenta amplitude inferior a 2 m (DHN, 2017).

### 3.4 MORFODINÂMICA PRAIAL

#### 3.4.1 Praia de Barra do Sahy e dos Padres

As praias de Barra do Sahy e dos Padres são caracterizadas por apresentarem perfis íngremes e estreitos limitados a retroterra por dunas frontais e em direção a antepraia pela superfície quase-horizontal das plataformas de abrasão (Figura 3.3).



Figura 3.3 – (a e b) Praia de Barra do Sahy e (c e d) Praia dos Padres, Aracruz (ES). (b e c) Perfil praias emerso limitado a retroterra por dunas frontais. (a e d) Plataformas de abrasão parcialmente expostas durante a baixa-mar. Destaque para a presença de quiosques sobre as dunas frontais na praia de Barra do Sahy. Fotos: agosto, 2017 e janeiro, 2018.

Em termos morfodinâmicos, estas praias são classificadas como intermediárias do tipo terraço de baixa-mar, segundo classificação proposta por Wright & Short (1984) (ALBINO et al., 2016 a). Há o predomínio de arrebatção do tipo ascendente na face da praia e mergulhante na antepraia inferior, durante a preamar, e deslizante ao longo da plataforma de abrasão, durante a baixa-mar, assim como observado por Masselink & Short (1993) em praias de classificação semelhante (ALBINO et al., 2016 a).

Nestas praias, as plataformas de abrasão se estendem pela antepraia e plataforma continental interna e promovem a dissipação da energia das ondas, o que reduz a amplitude e variação da altura das ondas que chegam a praia e, por conseguinte, a variação morfológica dos perfis praias (ALBINO et al., 2016a). No entanto, em alguns trechos do litoral, a disposição irregular das plataformas de abrasão proporciona a convergência das ortogonais das ondas, promovendo o aumento da energia praias e a consequente erosão de dunas frontais (ALBINO et al., 2001; 2006).

As plataformas de abrasão promovem ainda a fixação de organismos carbonáticos que, quando fragmentados, constituem o principal componente das areias das praias, classificadas, em termos de diâmetro médio do grão, como areias médias a grossas, com bom a moderado grau de seleção (ALBINO et al., 2016a).

#### 3.4.2 Praia de Maimbá

A praia de Maimbá é caracterizada por uma estreita faixa de areia limitada em alguns trechos por falésias e plataformas de abrasão (Figura 3.4). Assim como nas praias de Aracruz, as plataformas de abrasão se estendem ao longo da antepraia e plataforma continental interna. Entretanto, em Maimbá, este substrato se estende ao longo do litoral de forma descontínua.



Figura 3.4 - Praia de Maimbá, Anchieta (ES). (a) Trecho da praia limitado por falésias e plataformas de abrasão. (b) Plataforma de abrasão parcialmente exposta durante a baixa-mar. Fotos: julho, 2015.

De acordo com a caracterização realizada recentemente por Albino et al. (2016b), a praia de Maimbá é composta, predominantemente, por areias siliciclásticas e minerais pesados, com pequena contribuição carbonática. Em termos de diâmetro médio do grão, o sedimento é classificado como areias médias, com bom a moderado grau de seleção e distribuição simétrica ao longo da praia.

Segundo classificação morfodinâmica proposta por Wright & Short (1984), a praia de Maimbá é classificada como intermediária a refletiva e caracterizada, portanto, por perfis íngremes e estreitos com arrebentação do tipo ascendente e mergulhante. As ondas que incidem sobre a costa sofrem o processo de difração ao norte, nas ilhas e promontórios, e ao sul, no quebra-mar do porto de Ubu. Em função deste processo, as extremidades do embaimento correspondem aos trechos da praia de maior mobilidade em contraste com a região central, que se apresenta mais estável com predominância do transporte transversal, que controla a morfologia da praia nesta região (ALBINO et al., 2016b).

Albino et al. (2016b) ainda destacam a atuação de processos rotacionais e oscilatórios ao longo da praia de Maimbá, evidenciados pelo comportamento alternado de recuo e progradação nas extremidades do embaimento, e pela mobilidade dos perfis e variação granulométrica do sedimento na região central, respectivamente.

## 4 MATERIAIS E MÉTODOS

### 4.1 CONSIDERAÇÕES METODOLÓGICAS

#### 4.1.1 Terminologia

Ao considerar as várias nomenclaturas existentes na caracterização de um sistema praiar, no presente trabalho foi adotada a terminologia proposta por Komar (1998) para descrição das feições morfológicas e subdivisão morfológica e hidrodinâmica do perfil praiar (Figura 4.1 e Tabela 4.1).

Tabela 4.1 - Terminologia e subdivisão morfológica e hidrodinâmica do perfil praiar.

Feição/Limite	Definição
<u>Pós-praia</u>	Porção do perfil praiar que se estende, em direção ao continente, do limite superior da face da praia até o ponto de desenvolvimento da vegetação ou de mudança na fisiografia (falésia, campo de dunas, etc.).
<u>Antepraia superior</u>	Porção do perfil praiar disposta entre a crista da berma (ou na ausência da berma, entre o máximo alcance do espraiamento das ondas na preamar) e a zona de arrebenção das ondas.
<u>Antepraia inferior</u>	Porção do perfil praiar que se estende, em direção ao oceano, da antepraia superior até a plataforma continental interna.
<u>Zona de espraiamento</u>	Porção da antepraia superior onde a face da praia é alternadamente coberta pelo <i>run up</i> da onda e exposta pelo refluxo desta.
<u>Zona de surfe</u>	Porção da antepraia superior, onde a dissipação das ondas ocorre após a quebra. Se estende, em direção ao continente, da zona de arrebenção até a zona de espraiamento.
<u>Zona de arrebenção</u>	Porção da antepraia superior, onde as ondas provenientes da região oceânica tornam-se instáveis e sofrem o processo de quebra. Em praias extensas e planas é comum a ocorrência de uma zona de arrebenção secundária, onde as ondas, após se reestruturarem, sofrem um segundo processo de quebra.
<u>Berma</u>	Feição do pós-praia com suave inclinação em direção ao continente formada pela deposição de sedimento no limite de influência das ondas. A <i>crista da berma</i> marca o ponto mais alto do perfil. Algumas praias possuem mais de uma berma em diferentes níveis, separadas por uma escarpa.
<u>Escarpa praiar</u>	Entalhe abrupto do perfil praiar formado pela ação erosiva das ondas. A escarpa pode estar localizada na parte superior da face da praia, quando a erosão está em curso, ou em uma porção do perfil protegida da ação das ondas, tendo sido formada em função de antigos episódios de erosão.
<u>Face da praia</u>	Porção íngreme do perfil praiar exposta ao espraiamento das ondas.
<u>Calha</u>	Depressão alongada que se estende paralela à linha de costa.
<u>Barra longitudinal</u>	Barra arenosa submersa paralela à linha de costa. Frequentemente, associada a profundidade de fechamento do perfil praiar.

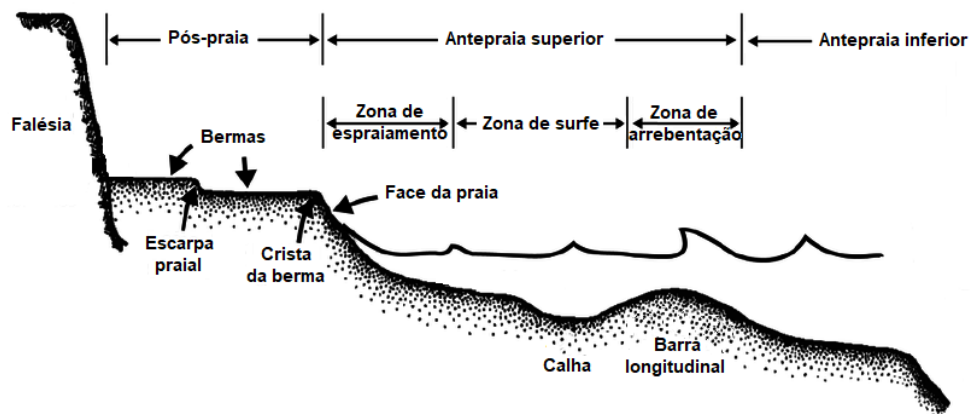


Figura 4.1 - Terminologia e subdivisão morfológica e hidrodinâmica do perfil praiado. Fonte: Komar (1998), adaptado.

#### 4.1.2 Litorais de micromaré dominados por ondas

Litorais de micromaré são, comumente, definidos como litorais dominados por ondas, isto é, onde os processos físicos são dominados pela energia das ondas com menor influência da maré. Entretanto, segundo Davis & Hayes (1984), é incorreto relacionar o processo físico dominante em um litoral a uma amplitude de maré ou a um parâmetro de onda em particular.

Neste contexto, Masselink (1993) propôs um simples parâmetro para quantificar os efeitos da maré em relação as ondas, o qual consiste na amplitude relativa de maré (*Relative tide range - RTR*):

$$RTR = \frac{TR}{H_b} \quad (\text{Equação 3})$$

Onde  $TR$  (*tide range*) é a amplitude de maré e  $H_b$  é altura de quebra da onda.

Segundo classificação proposta por Masselink & Short (1993), litorais, onde  $RTR < 3$ , são dominados por ondas, enquanto que litorais, onde  $RTR > 15$ , são dominados pela maré. Litorais, onde  $3 < RTR < 15$ , são, por sua vez, influenciados por ondas e marés.

O litoral do estado do Espírito Santo é caracterizado por um regime de micromaré, isto é, a amplitude de maré apresenta valor inferior a 2 m (DAVIS, 1964; DHN, 2017). Nas praias limitadas por plataformas de abrasão distribuídas ao longo deste litoral, a altura de quebra das ondas varia em torno de 1 m, em função da dissipação das ondas por este substrato (ALBINO et al., 2016a). Com base nestes valores, a partir do cálculo da amplitude relativa de maré, o litoral do estado pode ser classificado como um litoral de micromaré dominado por ondas.

#### 4.1.3 Novo modelo proposto para litorais de micromaré dominados por ondas

No novo modelo proposto as principais premissas assumidas por Trenhaile (2004) são mantidas. Contudo, uma nova limitação vertical para o perfil praiado emerso é proposta, com o intuito de considerar o papel das ondas na morfologia e nos processos costeiros em litorais de micromaré dominados por ondas. Neste sentido, propõe-se que, nestes litorais, a altura do perfil praiado emerso é determinada pelo *run up* das maiores ondas que chegam a praia nas preamares de sizígia (Tabela 4.2).

Tabela 4.2 - Limitação vertical do perfil praiado emerso para litorais de micromaré dominados por ondas, proposta em substituição aos limites considerados por Trenhaile (2004).

Limitação vertical do perfil praiado emerso	Modelo de Trenhaile (2004)	Proposta atual
Limite superior	NMPS + 1 m	<i>run up</i> + NMPS
Limite inferior	NMBS	NMM

Propõe-se ainda a obtenção dos parâmetros morfológicos do perfil praiado, isto é, a inclinação da face da praia, a partir de levantamentos topográficos em campo, visto que a metodologia considerada por Trenhaile (2004) mostrou subestimar esta variável na área de estudo (*Subitem 1.2.2*).

Desta forma, o modelo considera as variáveis inclinação da face da praia, inclinação do segmento da plataforma de abrasão recoberto pelo perfil praiado emerso, amplitude de maré e o *run up* de 2% das ondas mais altas que chegam a costa.

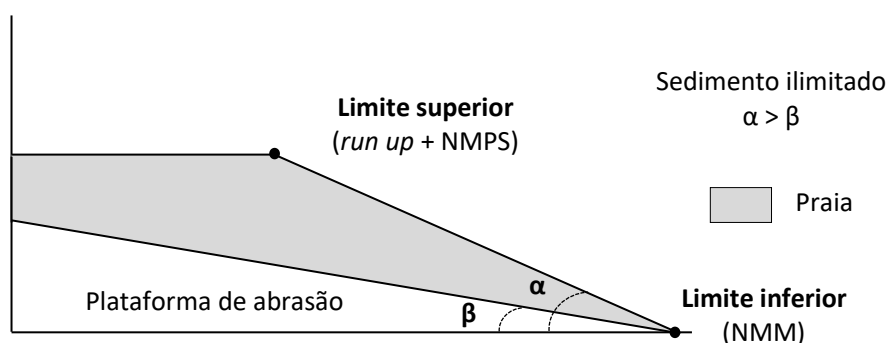


Figura 4.2 – Desenvolvimento do perfil praiado emerso em litorais de micromaré dominados por ondas. Na condição em que a formação da praia não é limitada pela inclinação da plataforma de abrasão, o perfil praiado modelado é confeccionado para uma quantidade ilimitada de sedimento, a partir dos novos limites propostos. Limite vertical superior: *run up* + NMPS; Limite vertical inferior: NMM. NMPS: nível médio das preamares de sizígia; NMM: nível médio do mar;  $\alpha$ : inclinação da face da praia;  $\beta$ : inclinação da plataforma de abrasão.

Inicialmente, a inclinação da face da praia é comparada a inclinação da plataforma de abrasão, com o intuito de avaliar a primeira premissa do modelo. Na condição em que

a formação da praia não é limitada pela inclinação da plataforma de abrasão, o perfil praiado modelado é confeccionado para uma quantidade ilimitada de sedimento, a partir dos novos limites propostos (Figura 4.2). Posteriormente, o perfil modelado é plotado por meio do programa *Excel* da *Microsoft*.

## 4.2 OBTENÇÃO DOS DADOS PARA APLICAÇÃO E VALIDAÇÃO DO NOVO MODELO

### 4.2.1 Morfologia e mobilidade do perfil praiado

O levantamento topográfico do perfil praiado foi realizado em três estações amostrais correspondentes às três praias da área de estudo. A localização destas estações foi definida com base na presença da plataforma de abrasão precedendo a praia (Figura 3.1). Ao considerar a adaptação morfológica do perfil praiado em resposta às variações na hidrodinâmica, foram consideradas dez campanhas de campo mensais/bimestrais, realizadas entre os meses de dezembro de 2014 e outubro de 2016 (Tabela 4.3).

Tabela 4.3 – Data de realização das campanhas de campo nas praias de Barra do Sahy e dos Padres (Aracruz) e na praia de Maimbá (Anchieta).

Data	
Aracruz	Anchieta
08/05/2015	19/12/2014
15/07/2015	20/01/2015
28/09/2015	06/03/2015
14/12/2015	17/04/2015
29/02/2016	22/05/2015
09/04/2016	03/07/2015
25/06/2016	08/04/2016
20/08/2016	06/06/2016
15/10/2016	19/08/2016
	14/10/2016

A aquisição dos perfis foi realizada em condições de baixa-mar de sizígia por meio de nível de precisão, mira graduada e trena (Figura 4.3 a). Os perfis tinham início em pontos fixos, determinados localmente, e se estendiam transversalmente a praia até o ponto de máximo recuo das ondas (ANEXO A). No caso específico das praias de Barra do Sahy e dos Padres, os perfis se estendiam sobre as plataformas de abrasão, que permaneciam parcialmente expostas durante a baixa-mar (Figura 4.3 b). Anotado o horário do término de cada levantamento, foi realizado o ajuste altimétrico de cada perfil ao nível médio do mar local, segundo técnica sugerida por Bigarella et al. (1961).



Figura 4.3 - (a) Levantamento topográfico do perfil praiado emerso e (b) da porção das plataformas de abrasão emersa durante a baixa-mar, por meio de nível de precisão, mira graduada e trena. Fotos: setembro, 2015.

A partir dos dados topográficos foram calculados os parâmetros morfológicos do perfil praiado emerso para avaliação da morfologia e mobilidade dos perfis praiados, aplicação e validação do novo modelo. A confecção gráfica dos perfis foi realizada através do programa *Excel* da *Microsoft*.

#### 4.2.2 Morfologia da plataforma de abrasão

A caracterização morfológica do segmento da plataforma de abrasão recoberto pelo perfil praiado emerso foi realizada por meio da sondagem a trado, em conjunto com os dados obtidos por meio do levantamento topográfico, durante as campanhas em que este segmento se encontrava eventualmente exposto (Figura 4.4).



Figura 4.4 - Segmento da plataforma de abrasão frequentemente recoberto pelo perfil praiado emerso, porém exposto durante a campanha de campo realizada em abril de 2016 – Praia de Maimbá, Anchieta.

A sondagem a trado consistiu na escavação do pacote sedimentar, que se estendia da superfície da praia até a camada de material semi-consolidado relativo a Formação



Barreiras (Figura 4.5). O procedimento foi realizado no mesmo alinhamento do perfil topográfico. Após a escavação, a espessura do depósito sedimentar praial foi medida e, a partir das cotas do perfil topográfico emerso, foi possível traçar a morfologia da plataforma de abrasão e determinar sua inclinação.



Figura 4.5 - (a) Sondagem a trado para caracterização morfológica das plataformas de abrasão. (b) Material recuperado referente a plataforma de abrasão. Fotos: março, 2017.

### 4.2.3 Ondas

#### 4.2.3.1 Validação do modelo Wavewatch III

Os dados de onda utilizados no presente estudo correspondem aos resultados gerados pelo modelo Wavewatch III (WW3) para a região oceânica adjacente aos municípios de Aracruz e Anchieta disponíveis em [www.surfguru.com.br](http://www.surfguru.com.br). O modelo utiliza uma grade global com resolução espacial de  $0,5^\circ$  de latitude por  $0,5^\circ$  de longitude e uma resolução temporal de 3 horas. Para as localidades de Aracruz e Anchieta os dados são coletados, respectivamente, nas coordenadas  $20^\circ\text{S}$  e  $39^\circ 45'\text{O}$  e  $20^\circ 30'\text{S}$  e  $39^\circ 52'\text{O}$ .

Com o propósito de validar a capacidade do modelo de representar as condições de onda na área de estudo, os parâmetros modelados para a região de Aracruz foram comparados aos medidos *in situ* pela boia Vitória pertencente ao Programa Nacional de Boias (PNBOIA) da Marinha do Brasil (GOOS-Brasil, 2017), posicionada nas coordenadas  $19^\circ 56'\text{S}$  e  $39^\circ 42'\text{O}$ . A comparação foi realizada a partir dos parâmetros altura significativa ( $H_s$ ), período ( $T$ ) e direção de propagação da onda ( $D$ ), para os períodos: 01/04/16 a 31/05/16, 01/07/16 a 30/11/16 e 01/01/17 a 28/01/17 (Figura 4.6).

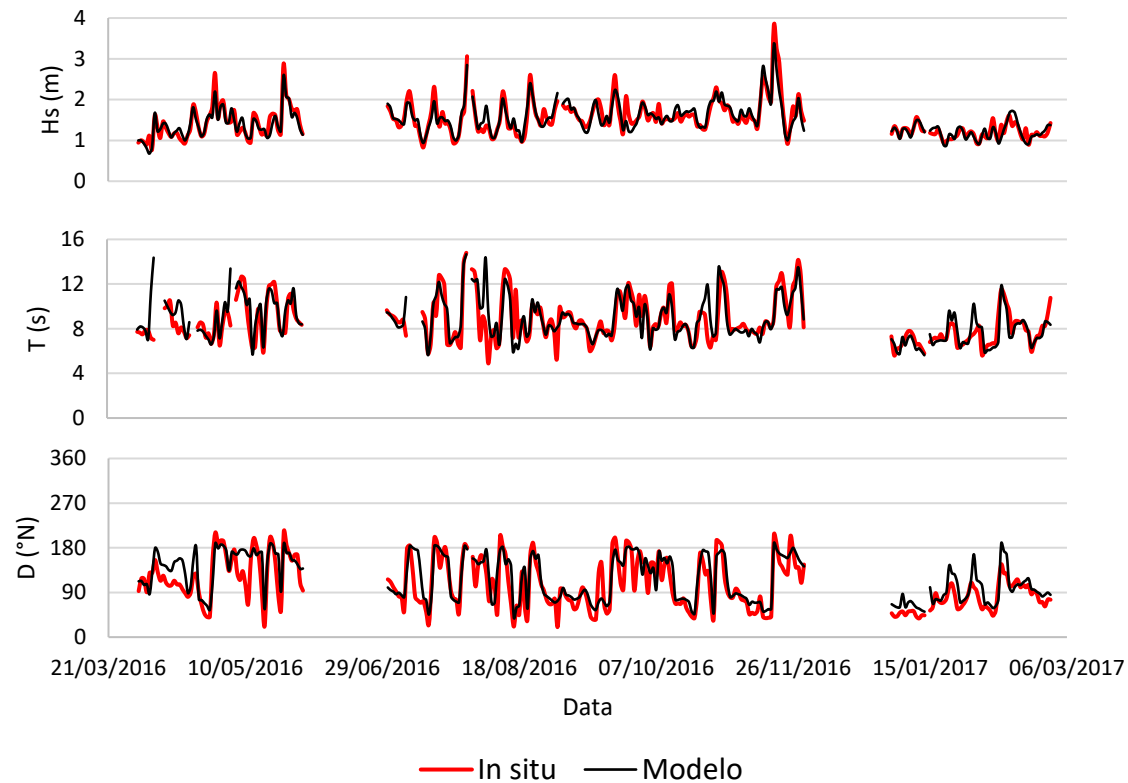


Figura 4.6 - Comparação entre os parâmetros altura significativa ( $H_s$ ), período ( $T$ ) e direção de propagação da onda ( $D$ ) obtidos por meio do modelo Wavewatch III e medidos *in situ* pela boia Vitória pertencente ao Programa Nacional de Boias da Marinha do Brasil.

De forma complementar, a fim de avaliar o grau de ajuste dos parâmetros modelados em relação aos medidos *in situ* pela boia, foram calculados o coeficiente de correlação de Pearson ( $r$ ), o viés e a raiz do erro médio quadrático ( $RMSE$  - *Root mean square error*) (Tabela 4.4).

Tabela 4.4 – Coeficiente de correlação de Pearson ( $r$ ), viés e raiz do erro médio quadrático ( $RMSE$ ) para os parâmetros altura significativa ( $H_s$ ), período ( $T$ ) e direção de propagação das ondas ( $D$ ).

Período	$H_s$ (m)			$T$ (s)			$D$ (°N)		
	$r$	Viés	$RMSE$	$r$	Viés	$RMSE$	$r$	Viés	$RMSE$
01/04/16 a 31/05/16	0,92	- 0,02	0,16	0,60	0,57	1,66	0,75	17,29	34,70
01/07/16 a 30/11/16	0,91	0,00	0,18	0,77	0,04	1,33	0,83	9,68	29,69
01/01/17 a 28/02/17	0,78	0,01	0,12	0,77	- 0,09	0,89	0,82	15,65	23,49

Os parâmetros de onda analisados apresentaram correlação moderada a forte (0,60 a 0,92) e, dentre esses, o período e a direção de propagação da onda foram os mais superestimados pelo modelo (em 0,57 s e 17,29 °N, respectivamente). Para os três parâmetros, a diferença média entre os valores estimados pelo modelo e os medidos pela boia foi contemplada pelo desvio padrão das variáveis observado *in situ* ( $H_s = \pm 0,42$  m;  $T = \pm 1,91$  s;  $D = \pm 48,24$  °N).

A partir das comparações e dos parâmetros estatísticos calculados, constatou-se que, de uma forma geral, os resultados do modelo WW3 reproduziram de forma satisfatória o padrão e a magnitude dos parâmetros de onda analisados.

#### 4.2.3.2 Cálculo dos parâmetros de ondas

Após validados os dados gerados pelo modelo Wavewatch III, foram calculados os valores mensais de altura significativa, período e direção de propagação das ondas para o período de levantamento de dados em campo, a partir do mês anterior ao início das campanhas. De forma complementar, a energia total da onda por unidade de área ( $E$ ) foi calculada de acordo com a teoria linear proposta por Airy (1841), para o mesmo período:

$$E = \frac{1}{8} \rho g H^2 \quad (\text{Equação 4})$$

Onde  $\rho$  é a massa específica da água,  $g$  é a gravidade e  $H$  é a altura da onda.

Também foram calculados a altura e o período médio de 2% das ondas mais altas registradas pelo modelo Wavewatch III durante 15 dias anteriores aos campos. Este intervalo foi definido com o intuito de contemplar um período completo de sizígia, visto que os levantamentos foram realizados em sua maioria no início deste período.

#### 4.2.4 Maré

Para determinação do nível médio do mar e dos níveis médios das preamares de sizígia, foi adotada a tábua de maré do Terminal de Barra do Riacho, para as praias de Barra do Sahy e dos Padres, e a tábua de maré do Terminal da Ponta de Ubu, para a praia de Maimbá (DHN, 2017).

#### 4.2.5 Run up

Para o cálculo do *run up* foi utilizada a equação empírica proposta por Stockdon et al. (2006), aplicada para uma gama de condições praias:

$$R_2 = 1,1 \left( 0,35\beta_f (H_0 L_0)^{1/2} + \frac{[H_0 L_0 (0,563\beta_f^2 + 0,004)]^{1/2}}{2} \right) \quad (\text{Equação 5})$$

Onde  $R_2$  é o valor de *run up* excedido apenas por 2% dos eventos,  $H_0$  e  $L_0$  são, respectivamente, a altura e o comprimento da onda em águas profundas e  $\beta_f$  é a inclinação da face da praia.

O *run up* foi calculado a partir da altura e período médio de 2% das ondas mais altas, registradas pelo modelo Wavewatch III durante 15 dias anteriores as campanhas de campo. Após calculado o *run up* para cada perfil praias, foi calculado o *run up* médio para cada estação amostral.

## 5 RESULTADOS

### 5.1 MORFOLOGIA E MOBILIDADE DOS PERFIS PRAIAIS

#### 5.1.1 Condições de onda no período de amostragem

##### 5.1.1.1 Aracruz

Segundo resultados gerados pelo modelo WW3 para a região oceânica adjacente ao município de Aracruz, durante o período de realização das campanhas de campo, os maiores valores mensais de altura significativa e período da onda foram observados nos meses de maio e setembro de 2015 e junho e outubro de 2016 (Figura 5.1). Estas ondas, provenientes, predominantemente, do quadrante SE, caracterizam um período de maior agitação marítima, associado a passagem de sistemas frontais na região (Figuras 5.1 e 5.2).

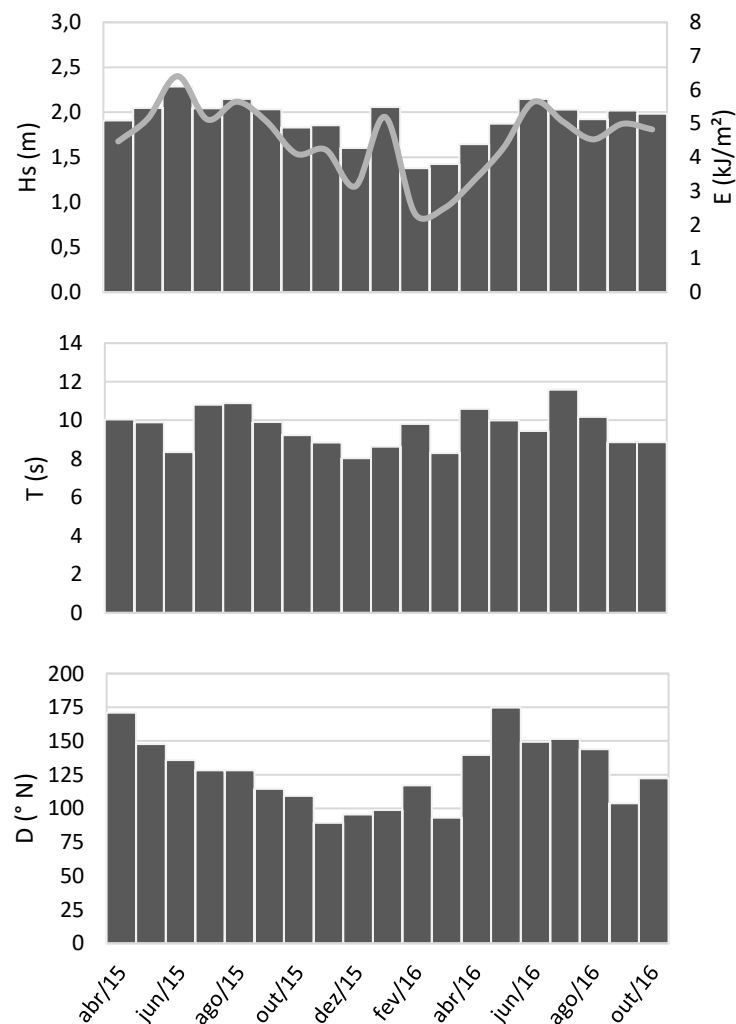


Figura 5.1 - Valores mensais de altura significativa (Hs), energia (E), período (T) e direção de propagação da onda (D) na região oceânica adjacente ao município de Aracruz (ES), calculados com base nos resultados gerados pelo modelo WW3.

As menores alturas significativas e períodos de onda, por sua vez, foram registrados durante os meses de outubro de 2015 a maio de 2016 (Figura 5.1). Provenientes, principalmente, de NE, estas ondas são formadas pelo sistema de ventos associado ao anticiclone subtropical do Atlântico Sul e caracterizam períodos de menor energia (Figuras 5.1 e 5.2).

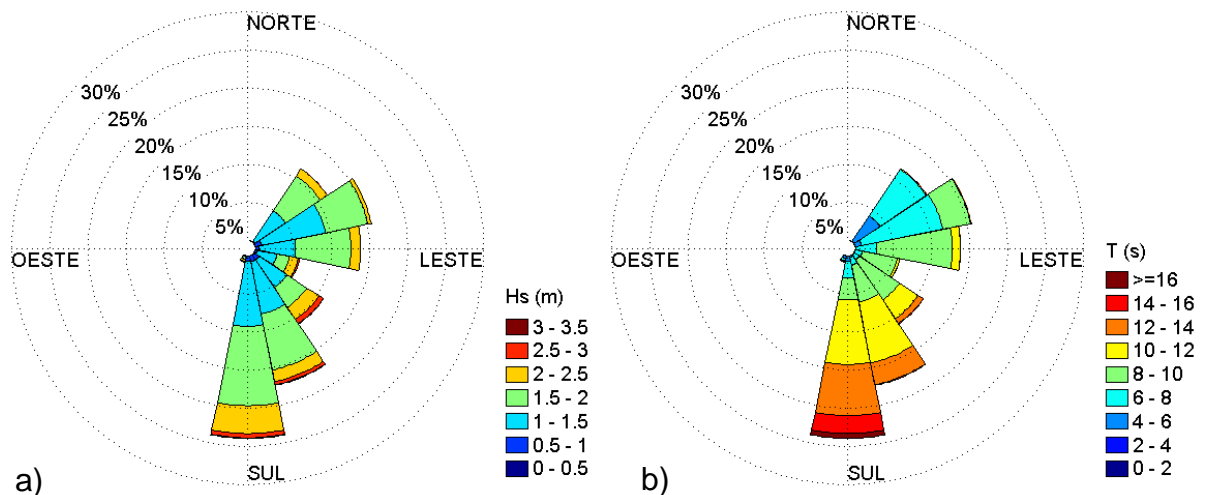


Figura 5.2 - Rosa direcional de ondas para a região oceânica adjacente ao município de Aracruz (ES), com base nos resultados gerados pelo modelo WW3 para o período de realização das campanhas de campo (abril de 2015 a outubro de 2016). (a) Distribuição direcional da altura significativa da onda (Hs) e (b) respectivo período (T).

#### 5.1.1.2 Anchieta

Os resultados gerados para a região oceânica adjacente ao município de Anchieta foram similares aos resultados obtidos para o município de Aracruz. Durante o período de realização das campanhas de campo, os maiores valores de altura significativa e período da onda, característicos de eventos de maior energia, foram observados entre os meses de maio e setembro de 2015 e junho e outubro de 2016, provenientes, predominantemente, do quadrante SE (Figuras 5.3 e 5.4).

As menores alturas e períodos, por sua vez, característicos de condições de menor energia, foram registradas nos meses de dezembro a março de 2015 e dezembro a abril de 2016, provenientes principalmente do quadrante NE (Figuras 5.3 e 5.4). Assim como o observado para a região oceânica adjacente a Aracruz, a codominância de ondas provenientes destes dois quadrantes, NE e SE (Figura 5.4), está relacionada ao sistema de ventos característico da região.

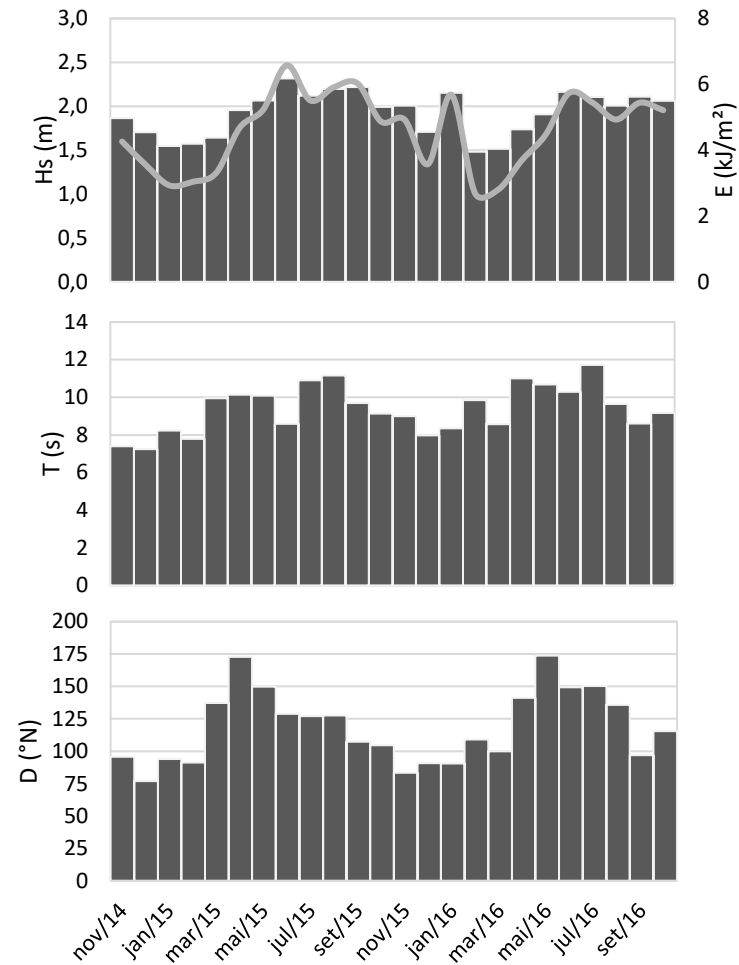


Figura 5.3 - Valores mensais de altura significativa (Hs), energia (E), período (T) e direção de propagação da onda (D) na região oceânica adjacente ao município de Anchieta (ES), calculados com base nos resultados gerados pelo modelo WW3.

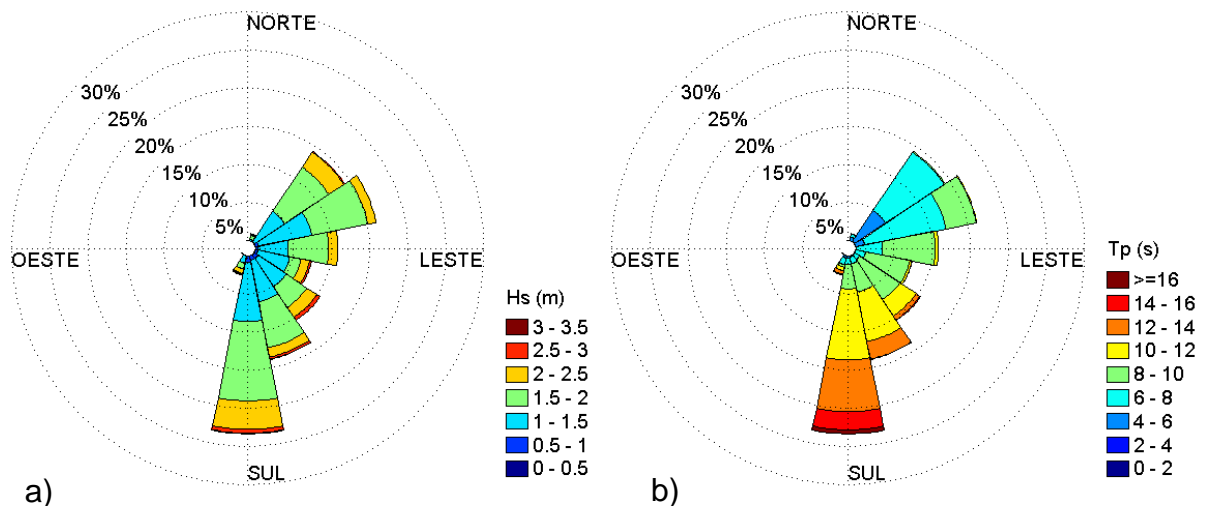


Figura 5.4 - Rosa direcional de ondas para a região oceânica adjacente ao município de Anchieta (ES), segundo resultados gerados pelo modelo WW3 para o período de realização das campanhas de campo (novembro de 2014 a outubro de 2016). (a) Distribuição direcional da altura significativa da onda (Hs) e (b) respectivo período (T).

## 5.1.2 Topografia e variabilidade topográfica dos perfis praiais

### 5.1.2.1 Praia de Barra do Sahy

A praia de Barra do Sahy é limitada por dunas frontais evidentemente alteradas pela ocupação urbana (Figura 3.2 b). A artificialização destas feições pode ser observada pela condição aplainada das dunas, que correspondem ao início do perfil topográfico (Figura 5.5). Ademais, as dunas são fixadas por uma vegetação exótica e limitadas em direção ao continente por quiosques e calçadões (Figura 3.2 b). A praia apresentou perfis estreitos, com elevada inclinação (1:7) e altura média superior a 3 m (Tabela 5.1). Ao longo do monitoramento, os perfis apresentaram pequena mobilidade (Figura 5.5).

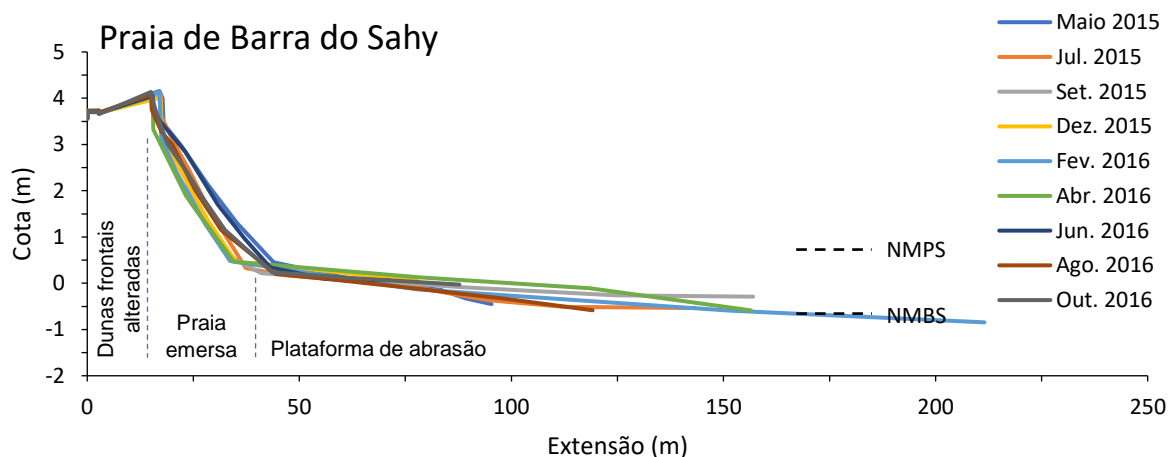


Figura 5.5 - Morfologia e mobilidade da praia de Barra do Sahy, Aracruz, ES, limitada a retroterra por dunas frontais alteradas e em direção a antepraia pelas plataformas de abrasão. Segmento 'plataforma de abrasão' refere-se ao trecho desta superfície exposto durante a baixa-mar. NMPS: nível médio das preamares de sizígia; NMBS: nível médio das baixa-mares de sizígia.

O perfil praiial apresentou maior acreção no mês de maio de 2015. Nos meses de julho e setembro de 2015, foi observado um progressivo recuo do perfil, o qual se manteve recuado e estável durante os meses de dezembro de 2015 e fevereiro de 2016 (Figura 5.5). O maior recuo do perfil praiial foi registrado no mês de abril de 2016, quando foi observado um recuo de cerca de 1,5 m da escarpa praiial, que limita as dunas frontais em direção à praia (Tabela 5.1). Na campanha de junho de 2016, o perfil apresentou tendência construtiva e alcançou condição topográfica semelhante à registrada em maio de 2015. No mês de agosto de 2016 foi observado novamente um recuo do perfil praiial, que se manteve estável no mês de outubro de 2016 (Figura 5.5). Nestas últimas campanhas, a acumulação de sedimento na porção superior da praia suavizou o limite entre a escarpa praiial e a face da praia.



### 5.1.2.2 Praia dos Padres

A praia dos Padres é limitada a retroterra por dunas frontais fixadas por vegetação (Figura 3.2 c). A praia apresentou perfis estreitos, com elevada inclinação (1:7) e altura média de cerca de 3 m (Tabela 5.1). Os perfis caracterizaram-se ainda por reduzida mobilidade (Figura 5.6).

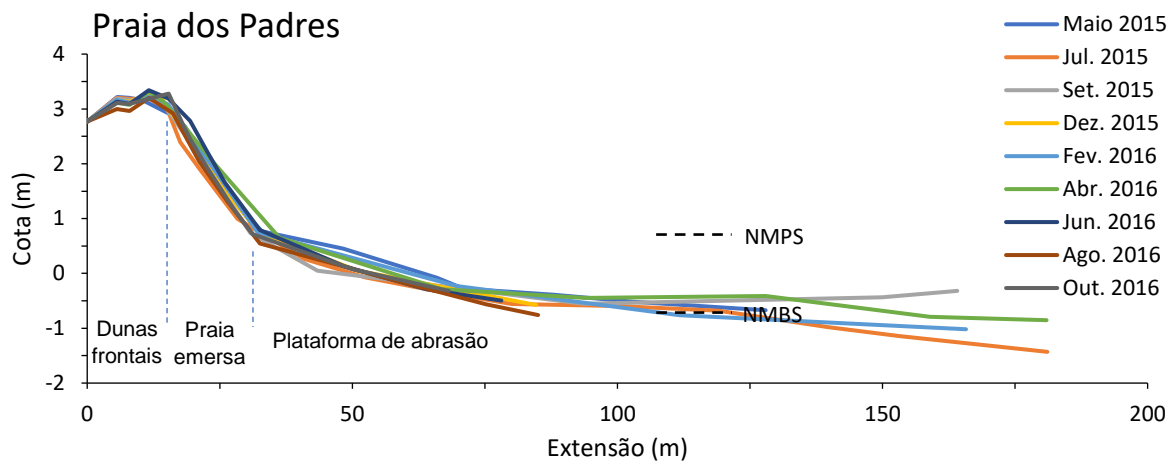


Figura 5.6 - Morfologia e mobilidade dos perfis praias da praia dos Padres, Aracruz, ES. Segmento plataforma de abrasão refere-se ao trecho desta superfície exposto durante a baixa-mar. NMPS: nível médio das preamares de sizígia; NMBS: nível médio das baixa-mares de sizígia.

O maior recuo do perfil praias foi registrado no mês de julho de 2015. Durante os meses de setembro de 2015 a junho de 2016, os perfis praias se mantiveram estáveis ou apresentaram tendência construtiva, com deposição de sedimento sobre a plataforma de abrasão e na porção inferior da face da praia (Figuras 5.6). No mês de agosto de 2016, observou-se o recuo do perfil praias, que permaneceu estável no mês de outubro de 2016 (Figuras 5.6).

Ao longo do monitoramento, o recuo do perfil emerso foi seguido pelo recuo das dunas frontais e exposição das raízes da vegetação, enquanto que os períodos de acreção ou estabilidade permitiram a recuperação destas feições (Tabela 5.1).

### 5.1.2.3 Praia de Maimbá

A praia de Maimbá, limitada a retroterra por falésias (Figura 3.3 a), apresentou perfis estreitos, com inclinação moderadamente alta (1:8) e altura média em torno de 2,5 m (Tabela 5.1). Os perfis praias apresentaram alta mobilidade e se caracterizaram, de uma forma geral, pela ausência de bermas, com exceção do perfil registrado no mês agosto de 2016 (Figura 5.7).

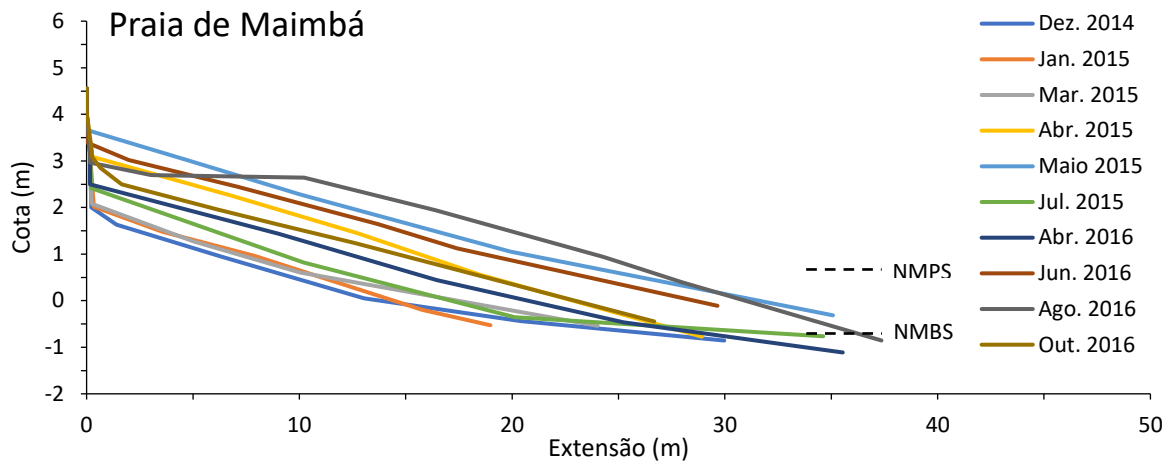


Figura 5.7 - Morfologia e mobilidade dos perfis praias da praia de Maimbá, Anchieta, ES. NMPS: nível médio das preamares de sizígia; NMBS: nível médio das baixa-mares de sizígia.

Os perfis apresentaram o menor desenvolvimento nos meses de dezembro de 2014, janeiro e março de 2015 (Figura 5.7). Durante as campanhas de abril e maio de 2015 o perfil praias apresentou tendência construtiva, com posterior recuo no mês de julho de 2015. Nos meses de abril a agosto de 2016, foi observado o crescimento do perfil praias, seguido pelo seu recuo em outubro de 2016 (Figura 5.7).

Tabela 5.1 - Parâmetros morfológicos dos perfis praias obtidos no levantamento topográfico.

Estação amostral	Campanhas	Extensão das dunas frontais (m)	Altura da praia emersa (m)	Extensão da praia emersa* (m)	Inclinação da face praial (tan $\alpha$ )	Volume do perfil emerso** (m <sup>3</sup> )
<i>Praia de Barra do Sahy</i>	Maio 15	14,93	3,45	25,94	0,118	118,73
	Jul. 15	14,57	3,58	19,83	0,164	104,75
	Set. 15	14,38	3,11	15,58	0,159	94,53
	Dez. 15	14,46	3,16	17,40	0,157	97,80
	Fev. 16	14,28	3,15	16,23	0,163	95,24
	Abr. 16	12,70	3,32	18,95	0,149	92,94
	Jun. 16	12,70	3,68	27,60	0,124	114,19
	Ago. 16	12,28	3,76	29,22	0,156	106,43
	Out. 16	12,30	3,79	27,63	0,138	107,62
<i>Média</i>		<i>13,62</i>	<i>3,44</i>	<i>22,04</i>	<i>0,148</i>	<i>103,58</i>
<i>Praia dos Padres</i>	Maio 15	15,98	2,88	16,98	0,133	79,86
	Jul. 15	14,69	3,09	13,63	0,148	71,57
	Set. 15	13,89	3,12	16,90	0,141	76,18
	Dez. 15	14,15	3,17	18,15	0,134	79,14
	Fev. 16	15,33	3,08	16,82	0,138	79,60
	Abr. 16	14,43	3,13	21,80	0,114	85,33
	Jun. 16	15,33	3,19	17,24	0,144	82,53
	Ago. 16	16,13	2,92	16,47	0,143	75,31
	Out. 16	15,37	3,28	15,88	0,150	77,15
<i>Média</i>		<i>15,03</i>	<i>3,10</i>	<i>17,10</i>	<i>0,138</i>	<i>78,52</i>
<i>Praia de Maimbá</i>	Dez. 14	Ausente	1,63	12,39	0,110	12,61
	Jan. 15	Ausente	2,01	14,44	0,137	15,10
	Mar. 15	Ausente	2,09	17,43	0,106	15,75
	Abr. 15	Ausente	3,08	22,85	0,136	36,31
	Mai. 15	Ausente	3,67	31,58	0,114	52,44
	Jul. 15	Ausente	2,41	17,14	0,139	19,74
	Abr. 16	Ausente	2,50	20,76	0,119	25,94
	Jun. 16	Ausente	3,40	28,56	0,114	45,20
	Ago. 16	Ausente	2,64	30,96	0,130	56,45
	Out. 16	Ausente	3,19	22,94	0,117	31,46
<i>Média</i>		<i>-</i>	<i>2,66</i>	<i>21,91</i>	<i>0,122</i>	<i>31,10</i>

\*Contabilizado a partir do fim das dunas frontais até o início das plataformas de abrasão, nos casos das praias de Barra do Sahy e dos Padres, e a partir do sopé da falésia até o nível médio do mar, no caso da praia de Maimbá.

\*\*Contabiliza as dunas frontais nas praias de Barra do Sahy e dos Padres, por estas participarem ativamente das trocas sedimentares com a praia.

## 5.2 APLICAÇÃO E VALIDAÇÃO DO NOVO MODELO PROPOSTO

Nas praias em estudo, a inclinação média da face da praia apresentou valor superior à inclinação das plataformas de abrasão, conforme o pressuposto nas premissas do modelo (Tabela 5.2). A partir da confecção dos perfis modelados, pôde-se observar que o modelo foi capaz de representar a morfologia e a capacidade de acomodação das praias de Barra do Sahy, dos Padres e de Maimbá (Figuras 5.8, 5.9 e 5.10).

Na praia de Barra do Sahy, apesar de não haver bermas bem desenvolvidas, como sugerido pelos resultados do modelo, este foi capaz de representar, por meio desta feição, a área dinamizada do sistema praial correspondente as dunas frontais. A altura (3,21 m) e a extensão da face do perfil modelado até o início da plataforma de abrasão (18,44 m) apresentaram valores similares à altura (3,44 m) e a extensão média da praia emersa (22,04 m) (Figura 5.8).

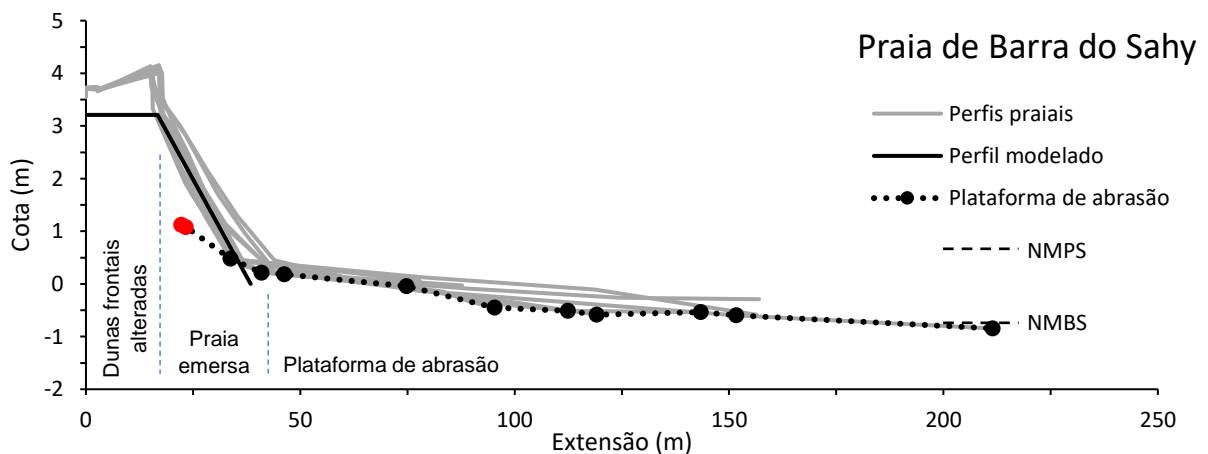


Figura 5.8 - Comparação entre os perfis praias obtidos por meio do levantamento topográfico e o perfil modelado para a praia de Barra do Sahy, Aracruz (ES). Os pontos vermelhos na linha referente à plataforma de abrasão correspondem aos dados obtidos por meio da sondagem a trado, enquanto que os pontos pretos correspondem aos dados obtidos por meio do levantamento topográfico. NMPS: nível médio das preamares de sizígia; NMBS: nível médio das baixa-mares de sizígia.

Na praia dos Padres, a altura (3,05 m) e a extensão da face do perfil modelado até o início da plataforma de abrasão (18,12 m) apresentaram valores ainda mais similares à altura (3,10 m) e a extensão média da praia emersa (17,10 m) (Figura 5.9). Assim como observado para a praia de Barra do Sahy, nesta estação não há formação de bermas, como sugerido pelos resultados do modelo. No entanto, o perfil modelado se mostrou capaz de representar, por meio desta feição, a área dinamizada da praia referente as dunas frontais (Figura 5.9).

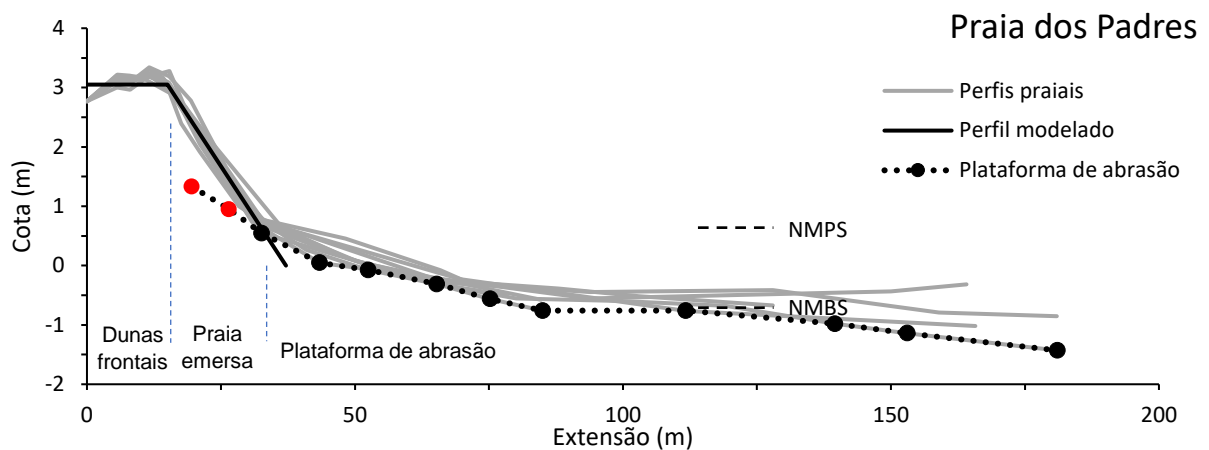


Figura 5.9 - Comparação entre os perfis praias obtidos por meio do levantamento topográfico e o perfil modelado para a praia dos Padres, Aracruz (ES). Os pontos vermelhos na linha referente à plataforma de abrasão correspondem aos dados obtidos por meio da sondagem a trado, enquanto que os pontos pretos correspondem aos dados obtidos por meio do levantamento topográfico. NMPS: nível médio das preamares de sizígia; NMBS: nível médio das baixa-mares de sizígia.

No caso da praia de Maimbá, o perfil modelado foi capaz de representar a condição morfológica típica do trecho da praia em estudo, caracterizado por não apresentar bermas. O perfil apresentou ainda altura (2,62 m) e extensão (21,48 m) muito similares à altura (2,66 m) e à extensão média (21,91 m), em relação ao nível médio do mar, dos perfis levantados em campo (Figuras 5.10).

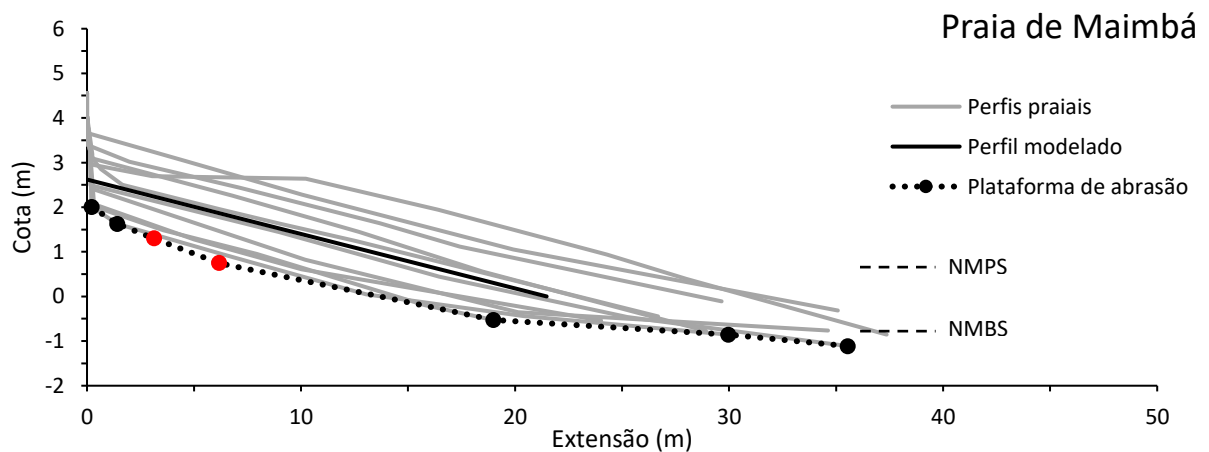


Figura 5.10 - Comparação entre os perfis praias obtidos por meio do levantamento topográfico e os perfis modelados para a praia de Maimbá, Anchieta (ES). Os pontos vermelhos na linha referente à plataforma de abrasão correspondem aos dados obtidos por meio da sondagem a trado, enquanto que os pontos pretos correspondem aos dados obtidos por meio do levantamento topográfico. NMPS: nível médio das preamares de sizígia; NMBS: nível médio das baixa-mares de sizígia.

Tabela 5.2 - Síntese dos dados obtidos para proposta do novo modelo.

Estação amostral	Campanhas	tan $\alpha$	tan $\beta$	H <sub>2%</sub> (m)	T (s)	run up (m)	NMM* (cm)	NMPS* (cm)
<i>Praia de Barra do Sahy</i>	Mai. 15	0,118		2,13	11,27	2,16		
	Jul. 15	0,164		2,17	8,37	2,15		
	Set. 15	0,159		2,20	11,37	2,85		
	Dez. 15	0,157		2,23	13,97	3,49		
	Fev. 16	0,163	0,057	1,60	13,83	3,03	0,78	1,42
	Abr. 16	0,149		1,83	14,13	3,06		
	Jun. 16	0,124		2,47	9,27	2,00		
	Ago. 16	0,156		2,27	8,40	2,11		
	Out. 16	0,138		2,10	10,50	2,28		
<i>Média</i>		<i>0,148</i>	-	-	-	<i>2,57</i>	-	-
<i>Praia dos Padres</i>	Mai. 15	0,133		2,13	11,27	2,39		
	Jul. 15	0,148		2,17	8,37	1,96		
	Set. 15	0,141		2,20	11,37	2,57		
	Dez. 15	0,134		2,23	13,97	3,05		
	Fev. 16	0,138	0,060	1,60	13,83	2,62	0,78	1,42
	Abr. 16	0,114		1,83	14,13	2,45		
	Jun. 16	0,144		2,47	9,27	2,26		
	Ago. 16	0,143		2,27	8,40	1,95		
	Out. 16	0,150		2,10	10,50	2,45		
<i>Média</i>		<i>0,138</i>	-	-	-	<i>2,41</i>	-	-
<i>Praia de Maimbá</i>	Dez. 14	0,110		2,07	7,20	1,29		
	Jan. 15	0,137		1,93	6,83	1,41		
	Mar. 15	0,106		2,00	12,57	2,15		
	Abr. 15	0,136		2,67	8,77	2,12		
	Mai. 15	0,114	0,094	2,47	9,50	1,91	0,82	1,47
	Jul. 15	0,139		3,23	8,27	2,24		
	Abr. 16	0,119		1,90	14,50	2,65		
	Jun. 16	0,114		2,90	8,50	1,85		
	Ago. 16	0,130		2,33	8,63	1,88		
Out. 16	0,117		2,07	11,67	2,19			
<i>Média</i>		<i>0,122</i>	-	-	-	<i>1,97</i>	-	-

\* Nível médio do mar (NMM) e nível médio das preamares de sizígia (NMPS). Valores acima do nível de redução (NR).

## 6 DISCUSSÃO

### 6.1 DESENVOLVIMENTO DE PRAIAS SOBRE PLATAFORMAS DE ABRASÃO EM LITORAIS DE MICROMARÉ DOMINADOS POR ONDAS

#### 6.1.1 Morfologia e capacidade de acomodação do perfil praial

##### 6.1.1.1 Altura do perfil praial e inclinação da face da praia

A berma é uma feição de acreção do pós-praia formada pela deposição de sedimentos no limite de influência das ondas e sua altura, comumente associada a elevação do perfil praial, corresponde ao máximo alcance vertical do espraçamento sobre a face da praia (*run up*) (HUGHES & TURNER, 1999). O alcance do espraçamento, no entanto, é função de uma série de variáveis dentre as quais pode-se destacar a altura e período das ondas, as flutuações do nível do mar devido a maré e a rugosidade e inclinação da face da praia (BASCOM, 1953; OKAZAKI & SUNAMURA, 1994; AUSTIN & MASSELINK, 2006).

Ao considerar tais variáveis, Trenhaile (2004) assumiu em seu modelo que, em litorais de meso e macromaré, a berma poderia se desenvolver até 1 m acima do NMPS, de acordo com a quantidade de sedimento disponível. Conseqüentemente, a partir desta simplificação, assume-se que, nestes litorais, a maré representa a variável de maior influência na delimitação da altura da berma e, portanto, na altura do perfil praial, uma vez que nestes ambientes a amplitude de maré apresenta valores superiores a 2 m (DAVIS, 1964).

No entanto, o grau de influência da maré em relação a morfodinâmica costeira diminui progressivamente com a redução da amplitude relativa de maré (*Relative tide range - RTR*) (DAVIS & HAYES, 1984; MASSELINK, 1993). Litorais nos quais este parâmetro apresenta valor inferior a 3, frequentemente, sujeitos ao regime de micromaré, são definidos como litorais dominados por ondas (MASSELINK & SHORT, 1993). Nestes ambientes, as ondas constituem o principal agente condicionante da morfologia e dos processos costeiros, seguido pela maré (MASSELINK & TURNER, 1999).

Desta forma, a simplificação assumida por Trenhaile (2004) torna a aplicação de seu modelo inadequada para a representação morfológica de perfis praias em litorais de micromaré dominados por ondas, assim como constatado a partir da aplicação prévia deste modelo à praia de Maimbá. De acordo com os resultados encontrados, os perfis

modelados subestimaram, em altura, os perfis obtidos em campo, exigindo, assim, adaptações do modelo às características hidrodinâmicas da região (Figura 1.4).

Estudos laboratoriais e observações em campo destacam que o crescimento vertical da berma é proporcionado pelo *run up* das maiores ondas que chegam a praia durante as preamares de sizígia, visto que nesta condição o espraiamento ultrapassa a crista da berma e deposita sedimento acima desta feição (BASCUM, 1953; WEIR et al., 2006; AUSTIN & MASSELINK, 2006). Neste sentido, foi proposta, no presente estudo, uma nova limitação vertical para os perfis praias em litorais de micromaré dominados por ondas, com base no *run up* de 2% das ondas mais altas que chegam a praia no período de sizígia.

Os perfis modelados para as praias de Aracruz apresentaram alturas similares, em função da resolução espacial do modelo de ondas utilizado (WW3). Ao considerar as diferenças morfológicas entre estas praias, os resultados do modelo para a praia dos Padres se ajustaram melhor a condição observada em campo, em comparação aos resultados gerados para a praia de Barra do Sahy. Ainda assim, os perfis modelados para ambas as estações amostrais apresentaram altura similar à altura média dos perfis levantados em campo. Em Maimbá, o modelo também foi capaz de caracterizar a condição média da praia, apesar da alta mobilidade e consequente variação da altura do perfil praial durante o monitoramento.

Em comparação aos resultados da aplicação prévia do modelo de Trenhaile (2004), os resultados do novo modelo corroboraram a necessidade de incorporar, com maior precisão, o papel das ondas na limitação vertical do perfil praial emerso, em litorais de micromaré dominados por ondas. A adequação dos resultados às praias em estudo validou ainda a nova proposta de modelo para estes litorais, que considera as ondas como principal agente condicionante da morfologia e dos processos costeiros, seguido pela maré.

O modelo ainda sugere que a influência da dissipação das ondas na limitação vertical do perfil praial deve ser compensada por outro fator, uma vez que os resultados foram gerados a partir de dados de onda em águas profundas e não consideraram, portanto, suas transformações ao longo da antepraia. Neste sentido, sugere-se que a redução da altura das ondas, em função da sua dissipação pelas plataformas de abrasão, pode



ser compensada pelo aumento relativo do nível mar junto a costa, proporcionado pelo empilhamento das ondas devido a impermeabilidade deste substrato.

A atenuação das ondas reduz ainda a quantidade total de energia que chega a face da praia, favorecendo a formação de perfis com elevada inclinação (MUÑOZ-PÉRES et al., 1999). Simultaneamente, o limitado espaço de acomodação determinado pelas plataformas de abrasão contribui para a maior inclinação destas praias, que tendem a ser depositadas mais verticalmente junto a costa, favorecendo a formação de perfis altos, estreitos e, portanto, mais íngremes (ALBINO et al., 2016a).

Segundo Albino et al. (2016 a), a inclinação da face da praia pode estar relacionada também à distribuição das plataformas de abrasão ao longo do litoral, o que justifica as diferenças observadas entre as praias em estudo. De acordo com as observações destes autores, praias limitadas de forma contínua pelas plataformas de abrasão são mais abrigadas e apresentam perfis com maior inclinação, como no caso das praias de Barra do Sahy e dos Padres (Figura 3.1 a e b e Tabela 5.1). Em contrapartida, a disposição descontínua das plataformas de abrasão ao longo do litoral torna a praia mais exposta e favorece o desenvolvimento de perfis com menor inclinação, como no caso da praia de Maimbá (Figuras 3.1 c e Tabela 5.1).

No modelo de Trenhaile (2004), a inclinação da face da praia é calculada através da equação de Sunamura (1989). Para o cálculo, a altura de quebra da onda é estimada a partir da expressão de Komar e Gaughan (1972). Esta expressão foi proposta com base na conservação do fluxo de energia e não considera, portanto, a dissipação da energia das ondas pelas plataformas de abrasão e a consequente redução da altura das ondas. Como resultado da utilização desta metodologia, a altura de quebra da onda calculado apresentou valor superior ao valor médio de 1 m, observado por Albino et al. (2016a) para a área de estudo. Desta forma, o perfil modelado apresentou maior aplainamento, com inclinação da face da praia inferior às condições observadas em campo (Figura 1.4).

Em substituição a esta metodologia, foi proposta a obtenção da inclinação da face da praia através do levantamento topográfico do perfil praial. Por meio desta adaptação combinada à nova limitação vertical proposta para o perfil praial emerso, o modelo foi capaz de representar os perfis tipicamente altos e íngremes de praias limitadas por plataformas de abrasão.

#### 6.1.1.2 Capacidade de acomodação e largura do perfil praial

Praias limitadas por plataformas de abrasão são capazes de acomodar apenas uma pequena proporção do sedimento disponível devido à similaridade entre a inclinação da plataforma de abrasão e a inclinação da face da praia (TRENHAILE, 2004). Neste sentido, quanto maior a similaridade entre estes parâmetros, menor é a acomodação de sedimentos pela praia. E, na condição em que a esbeltez da onda e a granulometria do sedimento resulte em uma praia, cuja face apresente inclinação inferior à inclinação da plataforma de abrasão, esta praia não será formada (Figura 1.1).

Na área de estudo, apesar de não limitarem a formação das praias, a relação entre a inclinação das plataformas de abrasão e da face da praia influenciam na capacidade de acomodação e, por conseguinte, na morfologia dos perfis praias (Tabelas 5.1 e 5.2). Ao considerar a relação entre estas variáveis, o modelo foi capaz de representar as praias em estudo através da ausência ou presença de bermas, para praias com menor ou maior capacidade de acomodação de sedimentos, respectivamente.

O perfil modelado para a praia de Maimbá não apresentou berma, condição frequente desta praia, cuja baixa capacidade de acomodação de sedimentos pode ser justificada ainda pela presença das falésias que limitam a praia a retroterra e contribuem para o limitado espaço de acomodação do perfil praial. O perfil modelado para a praia dos Padres, por sua vez, apresentou berma com o suprimento de sedimento necessário para o desenvolvimento das dunas frontais presentes nesta estação amostral. Assim como a berma, as dunas frontais interagem com as praias e se comportam como um estoque de sedimentos para as trocas sedimentares do perfil praial (BIRD, 2008).

No caso da praia de Barra do Sahy, o perfil modelado também apresentou berma, no entanto, com suprimento de sedimento inferior ao necessário para o desenvolvimento das dunas frontais observadas em campo. Esta diferença pode estar relacionada à artificialização destas feições, visto que parte do sedimento que as compõe difere das areias da praia, indicando que as dunas foram possivelmente aterradas.

Kennedy & Milkins (2015), destacam ainda a elevação e extensão das plataformas de abrasão como parâmetros que influenciam na acomodação de sedimentos por estas praias. Segundo os autores, para que o sedimento seja acomodado sobre o substrato, a elevação de sua superfície deve ser inferior à altura média anual das ondas somado ao nível médio das preamares de sizígia. Satisfeita esta condição, quanto maior a

extensão das plataformas de abrasão, contabilizada da base das falésias ou dunas frontais até o nível médio das baixa-mares de sizígia, maior é a acomodação de sedimentos pela praia.

No caso específico das praias de Aracruz, onde a plataforma de abrasão se encontra acima do nível médio do mar, a superfície deste substrato é ultrapassada pelas ondas durante a premar, permitindo a acumulação de sedimentos. Contudo, a disposição e morfologia das plataformas de abrasão nestas praias limitam a extensão da face praial em direção a antepraia (Figuras 3.3, 5.8 e 5.9). Por conseguinte, o perfil praial emerso das praias de Aracruz apresentam extensão semelhante ao da praia de Maimbá, onde apesar da menor acomodação de sedimentos, a face praial se estende em direção à antepraia (Figuras 3.4 e 5.10 e Tabela 5.1).

A extensão das plataformas de abrasão, entretanto, parece ter pouca influência sobre o desenvolvimento das praias da área de estudo. Neste sentido, os resultados do novo modelo sugerem que a capacidade de acomodação e extensão dos perfis praias são mais influenciadas pela relação entre a inclinação da plataforma de abrasão e da face da praia (Figuras 5.8, 5.9 e 5.10).

## 6.2 MORFODINÂMICA DE PRAIAS LIMITADAS POR PLATAFORMAS DE ABRASÃO

As praias respondem as variações nas condições de onda com variações topográficas de seu perfil, a partir do transporte longitudinal e transversal de sedimento (MUEHE & CORREA, 1989). Em praias limitadas por plataformas de abrasão, os processos de transformação das ondas ao longo da antepraia dificultam o transporte longitudinal de sedimento (ALBINO et al., 1999). Nestes ambientes, as variações topográficas do perfil praial são, portanto, controladas principalmente pelas trocas transversais entre a praia emersa e a submersa (ALBINO et al., 2016a).

Em praias limitadas por plataformas de abrasão, a impermeabilidade deste substrato reduz a infiltração do espraiamento, tornando a praia mais propensa ao empilhamento das ondas e ao transporte transversal em direção a antepraia, durante eventos de alta energia (JACKSON & COOPER, 2009). A atenuação das ondas por este substrato, entretanto, reduz a perda de sedimento para a região oceânica, o qual permanece na célula de balanço sedimentar e pode ser novamente incorporado ao perfil emerso (ALBINO et al., 2016a).

Nas praias de Barra do Sahy e dos Padres, o recuo da praia emersa foi observado durante o período de maior agitação marítima registrado pelo modelo WW3 (Figura 5.1 e Tabela 5.1). Neste período, o empilhamento das ondas junto a costa somado a atuação de ondas mais altas proporcionou o crescimento vertical do perfil praiial, em função dos maiores valores de *run up*. Este maior alcance do espraiamento das ondas foi evidenciado pela erosão das dunas frontais e exposição das raízes da vegetação.

A atuação de ondas mais energéticas, contudo, favoreceu a erosão da face da praia e o consequente recuo do perfil praiial emerso. Neste contexto, vale destacar que o maior recuo da escarpa praiial observado na praia de Barra do Sahy, durante o mês de abril de 2016, pode estar associado ao aumento relativo da energia das ondas combinado a condição recuada do perfil praiial observado neste período.

Diferente do comportamento observado em praias arenosas, que se caracterizam pela redução de sua declividade durante eventos de maior energia, os perfis das praias de Barra do Sahy e dos Padres foram caracterizados por apresentarem maior inclinação, durante o período de maior agitação marítima, em função de sua maior altura, porém reduzida extensão (Tabela 5.1).

Os perfis praiiais mantiveram-se estáveis ou apresentaram tendência construtiva, com recuperação das dunas frontais, no período de atuação de ondas menos energéticas (Figuras 5.1, 5.5 e 5.6). Os períodos de acreção foram caracterizados pela deposição de sedimentos sobre as plataformas de abrasão, na região entremarés, e na parte inferior da face praiial, o que proporcionou a diminuição da inclinação do perfil praiial durante este período (Tabela 5.1).

Na praia de Barra do Sahy, apesar de não ter sido observado a construção das dunas frontais durante o monitoramento (Tabela 5.1), o sedimento disponibilizado no período de acreção do perfil praiial foi retrabalhado nos meses subsequentes, durante a ação de ondas mais energéticas. Nestas condições, o sedimento foi depositado na porção superior da praia, possivelmente em função dos maiores valores de *run up*, o que suavizou o limite entre a escarpa praiial e a face da praia (Figuras 5.5 5.6).

Na praia de Maimbá, o perfil praiial apresentou variação topográfica que evidencia a ação combinada dos processos rotacionais e oscilatórios observados por Albino et al. (2016b) para a região. O perfil praiial apresentou tendência construtiva após a ação de ondas do quadrante S-SSE, que favorecem o transporte longitudinal de sedimento em

direção a porção norte do embaiamento. Nessas condições, a retenção do sedimento pelo promontório da Formação Barreiras, localizado próximo à estação amostral, pode justificar o crescimento dos perfis (Figura 3.1 c).

O recuo do perfil praial foi observado após a atuação de ondas mais energéticas com aproximação normal à linha de costa (ESE), que favorecem o transporte transversal de sedimentos em direção a antepraia. No caso da praia de Maimbá, particularmente, o recuo do perfil praial é acompanhado pela desestabilização e conseqüente colapso das falésias, seguido pelo recuo da linha de costa, visto que estas feições não podem ser recuperadas. No trecho da praia em estudo, o alcance das ondas sobre a face das falésias é facilitado ainda pela morfologia do perfil praial caracterizada pela reduzida extensão e ausência de bermas.

Ao comparar as praias em estudo, a diferença observada com relação a variabilidade topográfica dos perfis praiais pode ser justificada pela disposição das plataformas de abrasão na antepraia, que promovem diferentes níveis de dissipação da energia das ondas. Segundo Albino et al. (2016a), praias cuja porção emersa é continuamente limitada por este substrato, como nas praias de Barra do Sahy e dos Padres (Figuras 3.1 a e b), a dissipação da energia das ondas reduz a amplitude de variação da altura das ondas que chegam a praia e, por conseqüente, a variação morfológica do perfil praial. Em contrapartida, a disposição descontínua das plataformas de abrasão na antepraia, como na praia de Maimbá (Figuras 3.1 c), favorece uma menor dissipação da energia das ondas e, portanto, uma maior mobilidade do perfil praial.

## 7 CONCLUSÕES

O modelo proposto para o desenvolvimento de praias sobre plataformas de abrasão em litorais de micromaré dominados por ondas foi capaz de representar a morfologia e a capacidade de acomodação das praias da área de estudo.

A partir da nova proposta para a limitação vertical do perfil praial emerso combinada a obtenção da inclinação da face da praia por meio de levantamentos topográficos em campo, os perfis modelados foram capazes de representar a condição típica de praias limitadas por plataformas de abrasão, caracterizadas por apresentarem perfis altos e com elevada declividade.

A adequação dos resultados do modelo comprovou, portanto, a hipótese base deste trabalho que propõe que, em litorais de micromaré dominados por ondas, o limite superior do perfil praial emerso é determinado pelo *run up* das mais altas ondas que chegam a praia durante as preamares de sizígia.

Na área de estudo, apesar da inclinação e elevação da superfície das plataformas de abrasão não impedirem a acumulação de sedimentos e, por conseguinte, a formação das praias, estas variáveis exercem significativa influência na limitação do espaço de acomodação e na morfologia do perfil praial.

Os resultados do modelo ainda sugerem que a inclinação das plataformas de abrasão é o fator com maior influência no desenvolvimento das praias em comparação a altura e a extensão deste substrato. Ao considerar a influência desta variável, o modelo foi capaz de representar a capacidade de acomodação das praias em estudo através da ausência ou presença de bermas.

Na avaliação da influência das plataformas de abrasão na morfodinâmica das praias, observou-se que, as variações topográficas do perfil praial em resposta as variações hidrodinâmicas estão associadas principalmente às trocas transversais entre a praia emersa e a submersa.

De uma forma geral, o recuo do perfil praial foi observado durante períodos de maior agitação marítima. Nestas condições, a atuação de ondas mais altas e, portanto, mais energéticas, combinada ao empilhamento das ondas junto a costa proporcionaram o crescimento vertical do perfil praial emerso, em função dos maiores valores de *run up*.

Simultaneamente, no entanto, as ondas favoreceram a erosão e recuo da face praial, com conseqüente aumento da inclinação do perfil praial emerso.

A estabilidade ou crescimento dos perfis praias estiveram associados aos períodos de menor agitação marítima. Estes períodos foram caracterizados pela deposição de sedimentos sobre as plataformas de abrasão, na região entremarés, e na parte inferior da face praial, o que proporcionou a diminuição da inclinação do perfil praial emerso.

As plataformas de abrasão parecem ainda exercer um importante papel no bloqueio do transporte longitudinal de sedimento ao longo da praia, proporcionando, a retenção de parte do sedimento mobilizado e, em condições adequadas, o crescimento do perfil praial.

Considerar a mobilidade das praias em estudo se mostrou essencial para avaliar a adequação do modelo às condições observadas em campo, principalmente, no caso da praia de Maimbá, que apresentou elevada mobilidade, em função da distribuição descontínua das plataformas de abrasão ao longo da antepraia.

## 8 REFERÊNCIAS

- Airy, G. B., 1841. Tides and waves. In: Rose, H. J. Smedley, E. (Eds), *Encyclopaedia Metropolitana*. Mixed Sciences, London, pp. 241-396.
- Albino, J., Conti Neto, N., Oliveira, T. C. A., 2016 (a). The beaches of Espírito Santo. In: Short, A. D., Klein, A. H. F. (Eds), *Brazilian beach systems*. Springer, Sydney, pp. 333-361.
- Albino, J., Jimenez, J., Oliveira, T. C. A., 2016 (b). Planform and mobility in the Meaípe-Maimbá embayed beach on the South East coast of Brazil. *Geomorphology*, 253, 110-122.
- Albino, J., Girardi, G., Nascimento, A. K., 2006. Atlas de Erosão e Progradação Costeira do Litoral do Espírito Santo. In: Muehe, D. (Org), *Atlas de erosão e progradação do litoral brasileiro*. MMA, Brasília-DF, pp. 227-264.
- Albino, J., Paiva, D. S., Machado, G. M., 2001. Geomorfologia, tipologia, vulnerabilidade erosiva e ocupação urbana das praias do litoral do Espírito Santo, Brasil. *Geografares*, 2, 63-69.
- Albino, J., 1999. Processos de sedimentação atual e morfodinâmica das praias de Bicanga à Povoação, ES. Tese de doutorado, Universidade de São Paulo.
- Anfuso, G., Martínez Del Pozo, J.A., Gracia, F.J., López-Aguayo, F., 2003. Long-shore distribution of morphodynamic beach states along an apparently homogeneous coast in SW Spain. *Journal of Coastal Conservation*, 9 (1), 49-56.
- Austin, M. J., Masselink, G., 2006. Observations of morphological change and transport on a steep gravel beach. *Marine Geology*, 229 (1), 59-77.
- Bascom, W. N., 1953. Characteristics of natural beaches. *Coastal Engineering Proceedings*, 1 (4), 10.
- Bird, E., 2008. *Coastal Geomorphology: an Introduction*, second ed. John Wiley & Sons, Chichester.
- Bigarella, J.J., Salamuni, R., Marques Filho, P.L., 1961. Método para avaliação do nível oceânico à época da formação dos terraços de construção marinha. *Boletim Paranaense de Geografia*, 4 (5).
- Bernabeu-Tello, A. M.; Muñoz-Pérez, J.J.Y; Medina, R., 2002. Influence of rocky platform in the beach profile morphology: Victoria beach, Cádiz (Spain). *Ciencias Marinas, Ensenada*, 28 (2), 181-192.
- Bruun, P., 1962. Sea-level rise as a cause of shore erosion. *J. Waterw. Harb. Div.* 88, 117-130.



- Davidson-Arnott, R. 2010. Introduction to coastal processes and geomorphology. Cambridge University Press, Cambridge, pp. 129-135.
- Davis, R. A., Hayes, M. O., 1984. What is a wave-dominated coast? *Marine Geology*, 60, 313-329.
- Davis, J. L., 1964. A morphogenic approach to world shorelines. *Zeitschrift für Geomorphologie*, 8, 127-142.
- Dean, R. G., 1977. Equilibrium beach profiles: U.S. Atlantic and Gulf coasts. Department of Civil Engineering, Ocean Engineering Report, 12, University of Delaware, Newark, Delaware.
- DHN - Diretoria de Hidrologia e Navegação, 2017. Tábua de Marés. Terminal de Barra do Riacho - Estado do Espírito Santo. Marinha do Brasil.
- DHN - Diretoria de Hidrologia e Navegação, 2017. Tábua de Marés. Terminal da Ponta de Ubu - Estado do Espírito Santo. Marinha do Brasil.
- GOOS-BRASIL - Sistema Brasileiro de Observação dos Oceanos e Estudos do Clima, 2017. Programa Nacional de Boias (PNBOIA), Boia Vitória, Espírito Santo.
- Hughes, M., Turner, I., 1999. The beachface. In: Short, A. D. (Ed.). *Handbook of beach and shoreface morphodynamics*. Wiley & Sons Ltd, Chichester, pp. 119-144.
- Jackson, D. W. T., Cooper, J. A. G., 2009. Geological control on beach form: accommodation space and contemporary dynamics. *Journal of Coastal Research*, 69-72.
- Kennedy, D. M., Milkins, J., 2015. The formation of beaches on shore platforms in microtidal environments. *Earth surface processes and landforms*, 40 (1), 34-46.
- Komar, P. D., 1998. *Beach processes and sedimentation*, second ed. Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey.
- Komar, P.D., Gaughan, M.K., 1972. Airy wave theory and breaker height prediction. *Proc. 13th Coastal Engineering. Conf. ASCE*, New York, pp. 405– 418.
- Marshall, R. J., Stephenson, W. J., 2011. The morphodynamics of shore platforms in a micro-tidal setting: Interactions between waves and morphology. *Marine Geology*, 288 (1), 18-31.
- Martin, L., Suguio, K., Dominguez, J.M.L, Flexor, J.M., 1997. *Geologia do Quaternário Costeiro do Litoral Norte do Rio de Janeiro e do Espírito Santo*. CPRM, Belo Horizonte, 2.

- Martin, L., Suguio, K., Flexor, J.M., Archanjo, J.D. 1996. Coastal Quaternary formations of the Southern part of the State of Espírito Santo (Brazil). *An. Acad. bras. Cien.* 68 (3), 389-404.
- Masselink, G., 1993. Simulating the effects of tides on beach morphodynamics. *Journal of Coastal Research*, 15, 180-197.
- Masselink, G., Hughes, M. G., 2003. *Introduction to coastal processes and geomorphology*. Hodder Arnold, London.
- Masselink, G., Short, A. D., 1993. The effect of tide range on beach morphodynamics and morphology: a conceptual beach model. *Journal of Coastal Research*, 9, 785-800.
- Masselink, G., Turner, I. L., 1999. The effect of tides on beach morphodynamics. In: Short, A. D. (Ed.). *Handbook of beach and shoreface morphodynamics*. Wiley & Sons Ltd, Chichester, pp. 204-229.
- Morais, R. M. O., 2007. *Sistemas fluviais terciários na área emersa da Bacia do Espírito Santo (Formações Rio Doce e Barreiras)*. Tese de doutorado, Universidade Federal do Rio de Janeiro.
- Muehe, D., Corrêa, C. H. T., 1989. Dinâmica de praia e transporte de sedimentos na restinga de Maçambaba, RJ, 19 (3), 387-392.
- Muñoz-Perez, J. J., Medina, R., 2010. Comparison of long-, medium-and short-term variations of beach profiles with and without submerged geological control. *Coastal Engineering*, 57, 3, 241-251.
- Muñoz-Perez, J. J., Tejedor, L., Medina, R., 1999. Equilibrium beach profile model for reef-protected beaches. *Journal of Coastal Research*, 950-957.
- Nimer, E., 1979. *Climatologia do Brasil*, second ed. IBGE, Rio de Janeiro, 421p.
- Ogawa, H., Dickson, M. E., Kench, P. S., 2015. Hydrodynamic constraints and storm wave characteristics on a sub-horizontal shore platform. *Earth Surface Processes and Landforms*, 40 (1), 65-77.
- Okazaki, S., Sunamura, T., 1994. Quantitative predictions for the position and height of berms. *Geographical Review of Japan*, 67 (2), 101-116.
- Pianca, C., Mazzini, P.L.F., Siegle, E., 2010. Brazilian offshore wave climate base don NWW3 reanalysis. *Brailian. Journal of Oceanography*, 58 (1), 53–70.
- Stockdon, H. F., Holman, R. A., Howd, P. A., And Sallenger, A. H., 2006. Empirical parameterization of setup, swash, and runup, *Coastal Engineering*, 53, 573–588.

Sunamura, T., 1992. *Geomorphology of rocky coasts*. Wiley, New York.

Sunamura, T., 1989. Sandy beach geomorphology elucidated by laboratory modeling. In: Lathan, V.C., Trenhaile, A.S. (Eds.), *Coastal Modeling: Techniques and Applications*. Elsevier, Amsterdam, pp. 159–213.

Taborda, R., Ribeiro, M. A., 2015. A simple model to estimate the impact of sea-level rise on platform beaches. *Geomorphology*, 234, 204-210.

Trenhaile, A. S., 2004. Modeling the accumulation and dynamics of beaches on shore platforms. *Marine Geology*, 206 (1), p 55-72.

Weir, F. M., Hughes, M. G., Baldock, T. E., 2006. Beach face and berm morphodynamics fronting a coastal lagoon. *Geomorphology*, 82 (3), 331-346.

Wright, L.D., Short, A.D., 1984. Morphodynamic variability of surf zones and beaches: a synthesis. *Marine Geology*, 56, 93–118.

## **ANEXOS**

**ANEXO A – Coordenadas iniciais e orientação dos perfis topográficos.**

<b>Estação amostral</b>	<b>Coordenadas</b>	<b>Referencial</b>	<b>Azimute</b>
Praia de Barra do Sahy	19°52'53" 40°05'00"	Rua Oribes Passos	136°
Praia dos Padres	19°55'57" 40°07'30"	Rua Padre Pedro Albertini	168°
Praia de Maimbá	20°45'58" 40°34'18"	Promontório da Formação Barreiras	122°

**ANEXO B** - Dados obtidos a partir do levantamento topográfico nas três estações amostrais.

Estação amostral 1 – Praia de Barra do Sahy									
08/05/2015		15/07/2015		28/09/2015		14/12/2015		29/02/2016	
Ext. (m)	Cota (m)	Ext. (m)	Cota (m)	Ext. (m)	Cota (m)	Ext. (m)	Cota (m)	Ext. (m)	Cota (m)
0,00	3,56	0,00	3,56	0,00	3,56	0,00	3,56	0,00	3,56
0,00	3,72	0,00	3,72	0,00	3,72	0,00	3,71	0,00	3,73
2,81	3,73	2,75	3,72	2,60	3,72	2,75	3,73	2,74	3,74
2,81	3,68	2,75	3,67	2,60	3,67	2,75	3,68	2,74	3,68
16,98	4,16	17,32	4,09	16,98	4,07	17,21	4,01	17,02	4,14
17,74	4,00	17,56	3,58	17,68	3,11	17,62	3,16	17,47	3,15
17,98	3,45	20,98	2,94	24,48	1,73	20,74	2,68	20,98	2,39
22,08	2,99	23,85	2,47	33,26	0,61	24,44	2,01	23,51	2,01
28,40	2,14	28,29	1,66	40,99	0,21	28,46	1,35	27,81	1,28
35,31	1,29	37,39	0,33	88,78	-0,09	35,02	0,47	33,70	0,48
43,92	0,45	46,25	0,18	124,48	-0,26	77,82	0,06	77,51	-0,13
63,31	0,07	74,79	-0,04	156,98	-0,29			151,70	-0,60
83,31	-0,15	94,39	-0,37					211,51	-0,85
89,31	-0,33	112,39	-0,51						
95,31	-0,45	143,39	-0,54						

Legenda:

	Calçada
	Dunas frontais alteradas
	Praia
	Plataforma de abrasão

Estação amostral 1 – Praia de Barra do Sahy							
09/04/2016		25/06/2016		20/08/2016		15/10/2016	
Ext. (m)	Cota (m)	Ext. (m)	Cota (m)	Ext. (m)	Cota (m)	Ext. (m)	Cota (m)
0,00	3,56	0,00	3,56	0,00	3,56	0,00	3,56
0,00	3,72	0,00	3,71	0,00	3,72	0,00	3,70
2,74	3,71	2,74	3,73	2,74	3,73	2,74	3,70
2,74	3,68	2,74	3,68	2,74	3,69	2,74	3,66
15,44	4,03	15,44	4,05	15,02	4,07	15,04	4,14
15,57	3,32	15,59	3,68	15,17	3,76	15,94	3,79
23,27	1,89	23,19	2,83	17,56	3,27	18,84	3,03
34,52	0,46	30,74	1,71	20,00	3,00	23,34	2,42
78,47	0,13	37,14	0,96	25,35	2,02	26,73	1,91
118,47	-0,11	43,19	0,34	31,54	1,15	32,48	1,15
156,47	-0,59	56,15	0,09	44,39	0,20	43,57	0,24
		71,15	0,06	56,69	0,10	62,39	0,11
				78,19	-0,12	87,74	-0,03
				98,69	-0,33		
				119,14	-0,58		

Legenda:

	Calçada
	Dunas frontais alteradas
	Praia
	Plataforma de abrasão

Estação amostral 2 – Praia dos Padres									
08/05/2015		15/07/2015		28/09/2015		14/12/2015		29/02/2016	
Dist.	Alt.	Dist.	Alt.	Dist.	Alt.	Dist.	Alt.	Dist.	Alt.
0,00	2,77	0,00	2,77	0,00	2,77	0,00	2,77	0,00	2,77
5,64	3,22	5,61	3,20	5,61	3,19	5,61	3,16	5,60	3,17
7,96	3,20	8,04	3,18	8,04	3,16	7,93	3,13	8,03	3,12
10,56	3,15	11,71	3,18	11,63	3,19	11,36	3,25	12,13	3,23
15,98	2,88	14,69	3,09	13,89	3,12	14,15	3,17	15,33	3,08
18,36	2,68	17,57	2,39	16,10	2,85	17,79	2,66	17,95	2,69
28,56	1,22	21,09	1,92	23,53	1,82	22,04	2,14	20,49	2,36
32,96	0,77	28,32	1,00	30,79	0,74	27,48	1,33	23,78	1,93
48,26	0,45	40,89	0,27	43,44	0,05	32,30	0,76	32,15	0,75
65,96	-0,08	52,49	-0,08	93,60	-0,55	51,00	0,05	69,75	-0,23
70,96	-0,28	65,29	-0,31	150,00	-0,44	84,70	-0,58	111,75	-0,76
87,96	-0,39	80,09	-0,56	164,10	-0,32			165,75	-1,02
102,96	-0,52	99,59	-0,60						
127,96	-0,67	119,09	-0,68						
		139,59	-0,98						
		153,09	-1,14						
		181,09	-1,43						

Legenda:

	Muro (Residência de veraneio)
	Dunas frontais fixadas por vegetação
	Praia
	Plataforma de abrasão



Estação amostral 2 – Praia dos Padres							
09/04/2016		25/06/2016		20/08/2016		15/10/2016	
Ext. (m)	Cota (m)	Ext. (m)	Cota (m)	Ext. (m)	Cota (m)	Ext. (m)	Cota (m)
0,00	2,77	0,00	2,77	0,00	2,77	0,00	2,77
5,60	3,11	5,60	3,13	5,60	3,00	5,64	3,11
8,03	3,07	8,03	3,09	8,03	2,96	7,94	3,09
11,63	3,31	11,63	3,34	11,63	3,20	15,37	3,28
14,43	3,13	15,33	3,19	16,13	2,92	18,42	2,64
17,66	2,76	19,40	2,78	21,09	2,05	19,56	2,43
23,83	2,02	22,50	2,24	26,49	1,31	22,72	1,91
36,23	0,65	25,95	1,66	32,60	0,55	27,83	1,15
66,95	-0,29	32,57	0,79	54,71	-0,04	31,25	0,72
93,95	-0,45	48,47	0,13	75,24	-0,56	50,01	0,08
127,95	-0,41	63,97	-0,29	85,04	-0,76	68,20	-0,32
158,95	-0,79	78,12	-0,50				
180,95	-0,85						

Legenda:

	Muro (Residência de veraneio)
	Dunas frontais fixadas por vegetação
	Praia
	Plataforma de abrasão

Estação amostral 3 - Praia de Maimbá									
19/12/2014		20/01/2015		06/03/2015		17/04/2015		22/05/2015	
Ext. (m)	Cota (m)	Ext. (m)	Cota (m)	Ext. (m)	Cota (m)	Ext. (m)	Cota (m)	Ext. (m)	Cota (m)
0,00	4,56	0,00	4,56	0,00	4,56	0,00	4,56	0,00	4,56
0,00	4,05	0,00	4,05	0,00	4,05	0,00	4,05	0,00	4,05
0,16	3,16	0,16	3,17	0,16	3,17	0,16	3,17	0,00	3,67
0,22	2,00	0,34	2,01	0,22	2,09	0,32	3,08	4,61	3,03
1,41	1,63	3,56	1,48	5,02	1,28	6,79	2,26	10,06	2,28
6,34	0,95	7,93	0,96	10,02	0,61	12,71	1,45	19,91	1,05
13,04	0,05	15,78	-0,20	24,02	-0,54	18,47	0,56	35,08	-0,32
20,39	-0,44	18,98	-0,53			28,92	-0,77		
29,97	-0,86								

Estação amostral 3 - Praia de Maimbá									
03/07/2015		08/04/2016		06/06/2016		19/08/2016		14/10/2016	
Ext. (m)	Cota (m)	Ext. (m)	Cota (m)	Ext. (m)	Cota (m)	Ext. (m)	Cota (m)	Ext. (m)	Cota (m)
0,00	4,56	0,00	4,56	0,00	4,56	0,00	4,56	0,00	4,56
0,00	4,05	0,00	4,05	0,00	4,05	0,00	4,05	0,00	4,05
0,16	3,17	0,16	3,17	0,00	3,40	0,16	3,17	0,25	3,19
0,22	2,41	0,16	2,50	1,98	3,02	0,16	2,96	0,25	3,09
10,19	0,82	9,00	1,44	7,13	2,44	3,04	2,70	0,65	2,85
20,13	-0,35	16,46	0,44	13,68	1,64	10,22	2,64	1,65	2,50
34,62	-0,76	25,24	-0,46	17,42	1,12	16,41	1,94	6,18	1,96
		35,54	-1,11	29,65	-0,11	24,30	0,94	8,98	1,64
						28,00	0,40	12,58	1,24
						37,36	-0,86	26,68	-0,45

Legenda:

	Face da falésia
	Plataforma de abrasão
	Praia