

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
SETOR CIÊNCIAS DA TERRA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA

FLORENÇA NUNES BISI

**ARQUITETURA DEPOSICIONAL DA BARREIRA REGRESSIVA
HOLOCÊNICA DE PRAIA DE LESTE - PARANÁ.**

Dissertação apresentada como requisito parcial à obtenção do grau de mestre – Programa de Pós-Graduação em Geologia da Universidade Federal do Paraná, como parte das exigências para a obtenção do título de Mestre em Geologia.

Orientador: Prof. Dr. Rodolfo José Angulo.
Co-orientadora: Prof^a. Dr^a. Maria Cristina de Souza.

Área de concentração: Geologia Ambiental

Linha de Pesquisa: Evolução, Dinâmica e Recursos Costeiros

Curitiba
Agosto de 2015

B622a

Bisi, Florença Nunes

Arquitetura deposicional da barreira regressiva holocênica de Praia de Leste - Paraná/ Florença Nunes Bisi. – Curitiba, 2015.

84 f. : il. color. ; 30 cm.

Dissertação - Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências da Terra, Programa de Pós-graduação em Geologia, 2015.

Orientador: Rodolfo José Angulo – Co-orientador: Maria Cristina de Souza.

Bibliografia: p. 75-84.

1. Geologia estratigráfica - Holoceno - Paraná. 2. Facies (Geologia). 3. Baixadas costeiras - Praia de Leste, PR. I. Universidade Federal do Paraná. II. Angulo, Rodolfo José. III. Souza, Maria Cristina de . IV. Título.

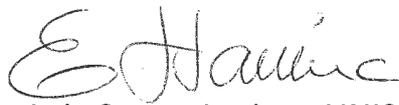
CDD: 551.786

TERMO DE APROVAÇÃO

FLORENÇA NUNES BISI

*“Associações de fácies e superfícies de
descontinuidade da barreira regressiva holocênica
de Praia de Leste - Paraná.”*

Dissertação de Mestrado aprovada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre no Programa de Pós-Graduação em Geologia, área de concentração em Geologia Ambiental, da Universidade Federal do Paraná. Comissão formada por:



Prof. Dr. Ernesto Luiz Correa Lavina - UNISINOS



Prof. Dr. Luiz Alberto Fernandes - UFPR



Prof. Dr. Rodolfo José Angulo - UFPR
Presidente

Curitiba, 01 de setembro de 2015.

“...é perfeitamente verdadeiro, como dizem os filósofos, que a vida deva ser compreendida em retrospecto, mas eles esquecem a outra proposição, de que ela deve ser vivida para a frente...”

Søren Kierkegaard

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	vi
LISTA DE QUADROS E TABELAS.....	ix
AGRADECIMENTOS	x
RESUMO.....	xi
ABSTRACT	xii
1. INTRODUÇÃO	12
1.1 OBJETIVO.....	12
1.2 A ÁREA DE ESTUDO E O ANÁLOGO ATUAL	13
2. CONTEXTUALIZAÇÃO DO ESTUDO.....	16
2.1 ESTUDOS ESTRATIGRÁFICOS EM BARREIRAS	16
2.2 A BARREIRA PARANAENSE	17
3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	18
3.1 O SISTEMA CLÁSTICO DOMINADO POR ONDAS	18
3.1.1 Barreiras Costeiras.....	19
3.1.2 Elementos morfológicos das costas atuais.....	22
3.1.3 Processos regidos por ondas e estruturas resultantes.....	23
3.2 FÁCIES	26
3.3 ASSOCIAÇÕES DE FÁCIES	28
3.4 ELEMENTOS ARQUITETÔNICOS	29
3.5 A ABORDAGEM ALOESTRATIGRÁFICA NO QUATERNÁRIO	34
4. MATERIAIS E MÉTODOS.....	36
4.1 MONTAGEM DE FOTOMOSAICOS	36
4.2 DESCRIÇÃO DE PERFIS	36

4.3 IDENTIFICAÇÃO E HIERARQUIZAÇÃO DE SUPERFÍCIES DE DESCONTINUIDADE.....	40
4.4 NIVELAMENTO TOPOGRÁFICO	42
5. RESULTADOS	44
5.1 FÁCIES	44
5.1.1 Areia com estratificação cruzada plana (fácies Sp).....	46
5.1.2 Areia com estratificação cruzada acanalada (fácies St).....	46
5.1.3 Areia com estratificação cruzada de baixo ângulo (fácies Sl)	47
5.1.4 Areia com estratificação cruzada <i>swaley</i> (fácies Ssc).....	48
5.1.5 Areia com estratificação cruzada <i>hummocky</i> (fácies Shc)	49
5.1.6 Areia com estratificação plano paralela (fácies Sh).....	50
5.1.7 Lama maciça (fácies Fm)	50
5.1.8 Areia com estratificação cruzada sigmóide (fácies Ss)	51
5.1.9 Areia com estratificação cruzada sigmóide do “pé da praia” (fácies Ss(b)).....	51
5.1.10 Areia maciça (fácies Sm).....	53
5.1.11 Areia com estratificação flaser (fácies Sf)	53
5.1.12 Areia com estruturas indeterminadas (fácies S(i))	53
5.1.13 Areia com estratificação cruzada de baixo ângulo relacionada ao depósito de barras (fácies Sl(b)).....	54
5.2. ASSOCIAÇÕES DE FÁCIES	55
5.2.1 Face litorânea média (MS)	57
5.2.2 Face litorânea superior (US)	57
5.2.3 Praia subaérea-intermaré (F)	58
5.3 SUPERFÍCIES DE DESCONTINUIDADE	58
5.3.1 Superfícies de 1ª ordem	67
5.3.2 Superfícies de 2ª ordem	67

5.3.3 Superfícies de 3ª ordem	67
5.4 PERFIS DESCRITOS E A BARREIRA.....	67
6. DISCUSSÃO	69
6.1 ESTRATIGRAFIA DA BARREIRA E INTERPRETAÇÃO PALEOAMBIENTAL	69
6.2 A RELAÇÃO DAS SUPERFÍCIES DE 3ª ORDEM COM A BARREIRA .	72
7. CONCLUSÃO.....	73
8. CONSIDERAÇÕES FINAIS	74
9. REFERÊNCIAS.....	75

LISTA DE FIGURAS

Figura 01 - Localização da área de estudo.	14
Figura 02 - Modelo básico de Barreira regressiva (progradante)	21
Figura 03 - Perfil genérico da costa até a plataforma, mostrando os principais elementos morfológicos.	23
Figura 04 - Sistema de circulação de água em uma área próxima à costa.....	24
Figura 05 - Comportamento de ondas em zona costeira.	25
Figura 06 Esquema ilustrativo mostrando as etapas para o entendimento de um sistema deposicional.	30
Figura 07 - Fotomosaicos da barreira, acima fotomosaico paralelo a linha de costa, no meio fotomosaico perpendicular a linha de costa e abaixo detalhes das estruturas.	41
Figura 08 - Levantamento realizado em campo e dados do RN-2049-L retirados do banco de dados do IBGE	43
Figura 09 - Fácies Sp. a) exemplo no Perfil02 e b) exemplo no Perfil04.....	46
Figura 10 - Fácies St. a, b) exemplos no Perfil01; c) exemplo no Perfil02; d) exemplo no Perfil04; e, f, g) exemplos no Perfil03 e h) exemplo no Perfil05. ..	47
Figura 11 - Fácies Sl. a) exemplo no Perfil01; b) exemplo no Perfil02.....	48
Figura 12 - Fácies Ssc. a, b) exemplos no Perfil01; c, d) exemplos no Perfil04 e e) exemplo no Perfil05.	49
Figura 13 - Fácies Fm no Perfil03.....	49
Figura 14 - Fácies Ssc. a) exemplo no Perfil01; b) exemplos no Perfil04 c) exemplo no Perfil04 e d) exemplo no Perfil05	50
Figura 15 - Fácies Fm no Perfil04.....	51
Figura 16 Fácies Ss. a, b, c, d) exemplos no Perfil01; e) exemplo no Perfil02; f) exemplo no Perfil03 e g, h) exemplo no Perfil05.	52

Figura 17 - Fácies Ss(b). a) exemplo no Perfil01 e b, c, d) exemplos no Perfil02..	52
Figura 18 - Fácies Sm no Perfil01	53
Figura 19 - Fácies Sf. a) exemplo no Perfil01 e b) exemplo no Perfil02.....	54
Figura 20 - Fácies S(i). a) exemplo no Perfil01 e b) exemplo no Perfil04... ..	54
Figura 21 - Aspecto geral de fácies Sl(b) no Perfil01... ..	55
Figura 22 - Esquema dos perfis descritos, associações de fácies identificadas e suas respectivas profundidades	56
Figura 23 - Associação de fácies Face litorânea média (MS).	59
Figura 24 - A Associação de fácies Face litorânea superior (US)	60
Figura 25 - Associação de fácies Praia subaérea-intermaré (F).	61
Figura 26 - Perfil01, acima seu fotomosaico e abaixo sua descrição.....	62
Figura 27 - Perfil02, acima seu fotomosaico e abaixo sua descrição3.....	63
Figura 28 - Perfil03, acima seu fotomosaico e abaixo sua descrição.....	64
Figura 29 - Perfil04, acima seu fotomosaico e abaixo sua descrição.....	65
Figura 30 - Perfil05, acima seu fotomosaico e abaixo sua descrição.....	66
Figura 31 - Exemplos de superfícies de 1ª ordem nos perfis descritos: (a) Perfil01; (b) Perfil02; (c) Perfil04; (d) Perfil03; (e) Perfil05.....	68
Figura 32 - Exemplos de superfícies de 2ª ordem nos perfis descritos: (a) Perfil01; (b) Perfil02; (c) Perfil04; (d) Perfil03; (e) Perfil05.....	68
Figura 33 - Exemplos de superfícies de 3ª ordem nos perfis descritos: (a) Perfil01; (b) Perfil02; (c) Perfil04; (d) Perfil03; (e) Perfil05.....	68

LISTA DE QUADROS E TABELAS

Quadro 01 - Perfis descritos com sua orientação, coordenadas e altitude. ...	37
Quadro 02 - As fácies e suas respectivas interpretações, descritas por Souza <i>et al.</i> (2012), para a barreira regressiva holocênica paranaense	38
Quadro 03 - Associações de fácies, características dos ambientes e as fácies encontradas por Souza <i>et al.</i> (2012) na barreira regressiva holocênica paranaense.	39
Quadro 04 - Fácies encontradas, segundo a classificação de Souza <i>et al.</i> (2012) na barreira. Em cinza as fácies que foram acrescentadas.....	44

AGRADECIMENTOS

Seria uma extrema injustiça deixar de citar uma só pessoa que contribuiu, à sua maneira, para que esses últimos dois anos pudessem ser completados com sucesso. Assim, de maneira sucinta, agradeço aos meus pais, meu irmão e toda a minha família pelo amor, pela preocupação e pelo apoio que me deram em todos os dias da minha jornada, sintam-se aqui lembrados. Agradeço ao meu namorado e companheiro de vida pela atenção, pelos conselhos e por ter sido o meu porto seguro, mesmo à distância, nesses dois longos anos longe de casa. Agradeço a todos os amigos de Vitória, que sempre estiveram na torcida para que tudo desse certo. Agradeço aos poucos, porém bons amigos que fiz em Curitiba e que levarei para toda a vida. Por fim, agradeço à natureza que, com tanta beleza e complexidade, instiga a todos nós cientistas em busca de sua compreensão, para que, quem sabe um dia, possamos conviver em mais harmonia com o nosso lar.

Ao Programa de Pós-graduação em Geologia da Universidade Federal do Paraná (UFPR); ao Laboratório de Estudos Costeiros (LECOST) pela oportunidade de trabalho a mim concedida e pelo apoio recebido. À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela bolsa cedida.

RESUMO

A barreira regressiva paranaense foi formada quando o nível relativo do mar era superior ao atual, durante o Holoceno, e é um dos sistemas que formam a planície costeira paranaense. O objetivo principal deste trabalho foi descobrir qual o significado genético de grandes superfícies de descontinuidade da barreira regressiva holocênica paranaense, as quais foram expostas em grandes afloramentos expostos em uma cava de extração de areia pela extração de areia e elevação do lençol freático, nas proximidades de Praia de Leste. Para isso, foram realizadas a caracterização e interpretação das fácies, associações de fácies e superfícies de descontinuidade a partir do levantamento e descrição de 5 perfis estratigráficos. A barreira é constituída principalmente por areia quartzosa predominantemente muito fina a fina, podendo conter minerais pesados e detritos vegetais. Foram identificadas 13 fácies correspondentes à face litorânea média, face litorânea superior e praia subaérea-intermaré. Superfícies de 1ª, 2ª e 3ª ordem foram identificadas. As superfícies de 1ª ordem se apresentaram como lâminas e separam sequências cíclicas de pequena escala, mostrando continuidade na sedimentação e ausência de erosão; as superfícies de 2ª ordem representam variações na direção ou característica do fluxo com ou sem evidência de erosão. Já as superfícies de 3ª ordem, se apresentaram de duas maneiras, podem representar mudanças nas características do fluxo/ambiente ou mudanças na forma de fundo provocada por eventos episódicos de alta energia. Na praia subaérea-intermaré e face litorânea superior, superfícies de 3ª ordem estão relacionadas a depósitos referentes à face praias, à migração de dunas subaquosas com cristas retas, sinuosas e linguóides e à migração de barras submersas. Na face litorânea média, as superfícies 3ª ordem estão relacionadas à deposição decorrente de fluxos oscilatórios e/ou combinados relacionados a eventos de alta energia. As superfícies de 3ª ordem descritas foram diretamente correlacionadas à algumas das grandes superfícies observadas na barreira, de modo que elas podem significar a delimitação de elementos arquitetônicos da barreira ou à ocorrência de eventos de alta energia (passagem de frentes frias).

Palavras-chaves: Holoceno, análise de fácies, planície costeira paranaense.

ABSTRACT

The regressive barrier of Paraná was formed when the relative sea level was higher than present during the Holocene and is one of the two systems that form the coastal plain of Paraná. This work aims to discover the genetic significance of extensive bounding surfaces presents in the Holocene regressive barrier of Paraná, which were exposed in large outcrops exposed by excavations and by the artificial lowering of the phreatic surface next Praia de Leste. For this, it was performed the description and interpretation of the sedimentary facies, the facies associations and the bounding surfaces from the description of 5 stratigraphic profiles. The barrier is composed of very fine to fine quartz sand and may contain heavy minerals and plant debris. They were identified 13 facies corresponding to middle shoreface, upper shoreface and foreshore. Surfaces of 1st, 2nd and 3rd order were identified. The 1st order surfaces presents like laminae and separate cyclical sequences of small scale, showing continuity in the sedimentation and no erosion. The 2nd order surfaces represents changes in direction or flow characteristic, with or without evidence of erosion. While the 3rd order surfaces presents in two ways, may represent changes in flow characteristics or environments and changes in bedforms caused by high energy events. On the foreshore and upper shoreface, 3rd order surfaces are related to beach face deposits, the migration of subaqueous dunes with straight, sinuous and linguoid crest and the migration of bars. On the middle shoreface, the 3rd order surfaces are related to deposits generated by oscillatory and combined flow, related to high-energy events. The 3rd order surfaces described in the profiles were directly correlated to some the extensive surfaces observed in the barrier, so that they can mean the delimitation of architectural elements of the barrier or the occurrence of high energy events (cold fronts).

Key - words: Holocene, facies analysis, coastal plain of Paraná.

1 INTRODUÇÃO

No Brasil, as variações do nível relativo do mar - durante o período Quaternário - foram consideradas como principal fator na construção das barreiras (Suguio & Martin 1976, Martin *et al.* 1979/80, Suguio *et al.* 1985, Villwock *et al.* 1986). Estudos mais recentes destacam ainda a importância do balanço sedimentar e do espaço de acomodação na configuração das barreiras (Lessa *et al.* 2000, Dillenburg *et al.* 2000, Giannini *et al.* 2003).

Embora existam trabalhos sobre as características sedimentológicas, a morfologia, a cronologia e a evolução das barreiras do litoral leste brasileiro, os modelos evolutivos e as reconstruções paleogeográficas ainda são incompletos. De acordo com Souza (2005) tal fato se deve, entre outros fatores, à dificuldade de encontrar boas exposições dos depósitos sedimentares, pois, os afloramentos normalmente estão restritos à parte superior das barreiras, e a parte média e inferior são acessíveis apenas por métodos indiretos - sondagens e métodos geofísicos. Apesar de escassos, dentre os trabalhos que apresentem caracterização das fácies sedimentares das barreiras, se destacam os de Dominguez & Wanless (1991), Lessa *et al.* (2000), Giannini *et al.* (2003) e Souza *et al.* (2012).

Na presente dissertação foram estudadas as fácies sedimentares, suas associações de fácies e as superfícies de descontinuidade de um trecho da barreira regressiva holocênica paranaense, sendo descritas em suas porções expostas devido a uma cava de extração de areia situada em Praia de Leste, litoral do estado do Paraná.

1.1 OBJETIVO

A presente dissertação tem como objetivo definir o significado genético de extensas superfícies de descontinuidade existentes na barreira regressiva holocênica paranaense. A compreensão da arquitetura deposicional da barreira é de grande importância para a discussão da evolução da planície costeira paranaense; para a compreensão de depósitos costeiros similares e para a caracterização das heterogeneidades do depósito costeiro.

Para alcançar este entendimento, foram caracterizados depósitos sedimentares de um trecho da barreira regressiva holocênica paranaense, de modo que, como objetivos específicos, buscou-se: (1) caracterizar as fácies e associações de fácies que as discontinuidades delimitam; (2) caracterizar as superfícies de discontinuidade e definir suas hierarquias.

1.2 A ÁREA DE ESTUDO E O ANÁLOGO ATUAL

A área de estudo (Figura 1) está localizada no litoral do estado do Paraná, que é caracterizado por uma costa aberta com orientação NE-SW. O litoral paranaense têm extensão de aproximadamente 126 km e suas praias são classificadas como oceânicas, oceânicas sob influência das desembocaduras estuarinas e estuarinas (Angulo 1993, Angulo & Araújo 1996); são constituídas por areias finas a médias, bem selecionadas e tendo como composição – principalmente - o quartzo, fragmentos carbonáticos e minerais pesados (Angulo 2004). São classificadas ainda como praias intermediárias e possuem inclinações entre 1° e 5°, possuindo ao menos duas barras longitudinais na zona de arrebatamento. A alta energia das ondas incidentes causa variações significativas no perfil da praia ao longo do tempo (Quadros 2002). Há ainda, no pós-praia, a presença de dunas frontais, as quais apresentam de 3 a 5 m de altura e são compostas de areia fina bem selecionada (Angulo 2004).

As ondas incidentes, de leste e de sul, na costa paranaense possuem um período máximo ($T_{máx}$) de aproximadamente 16s e altura máxima ($H_{máx}$) de 4,0 a 6,4m (Pianca *et al.* 2010). As ondas de maior energia (mais altas) ocorrem com maior frequência durante os meses de outono e inverno e estão relacionadas com a passagem de frentes frias (Pianca *et al.* 2010). A taxa líquida de sedimentos transportados pela deriva litorânea varia entre 10^4 e 10^5 metros cúbicos por ano (m^3/ano) (Sayão 1989, Lamour *et al.* 2006). Segundo Marone & Jamiyanaa (1997), a maré é semidiurna, com amplitudes variando entre 1,4 m (em região *offshore*) e 1,7 m (dentro do estuário de Paranaguá). Marés meteorológicas (de tempestade) ocorrem com magnitude que frequentemente geram altura de até 0,8m (Marone & Camargo 1995). Correntes superficiais de maré vazante nas desembocaduras do estuário podem alcançar velocidade acima de 1 m/s (Angulo *et al.* 2006a).

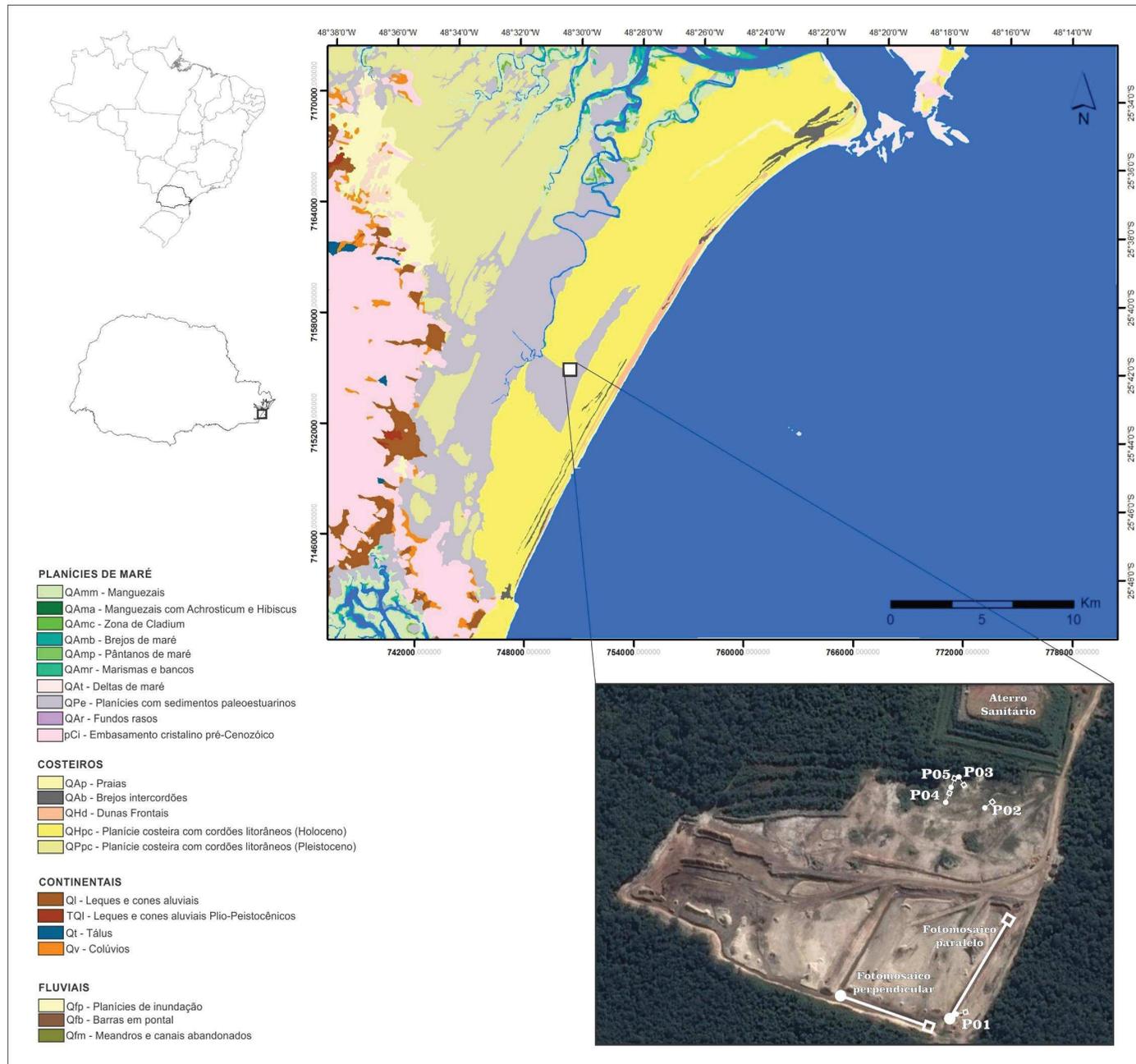


Figura 1: Localização da área de estudo.

O clima na planície costeira paranaense, de acordo com a classificação de *Köppen-Geiger*, é tipo *Cfa* (subtropical úmido mesotérmico com verão quente), a temperatura média anual estimada varia entre 20,8° C e 22° C, podendo chegar até 13,1°C nas partes mais elevadas da Serra do Mar (Ipardes 1990, 1991).

Na região sul, o regime anual de ventos apresenta variação ligada ao Anticiclone do Atlântico Sul (Alta Subtropical do Atlântico Sul - ASAS), responsável pela origem da massa tropical marítima, e ao Anticiclone Migratório Polar (Frente Polar Atlântica - FPA), responsável pela origem da Massa Polar (Iapar 1978).

Medições correspondentes à estação meteorológica de Pontal do Sul de 1982 a 1986 (Portobrás 1988) e a partir de 1996 na estação automática do Centro de Estudos do Mar (CEM), revelam que os ventos predominantes provêm de leste e sul, com intensidade média de 4 m/s.

Os ventos com velocidades maiores que 6 m/s representam 16,0% do total das medições, destes, os provenientes de S correspondem a 20,4% e os de E a 17,4 %. Esses ventos se concentram, principalmente, nas direções E-ENE (31,9%) e SSW-S-SSE (43,6%).

A predominância dos ventos provenientes do SE-SSE aumenta quando se consideram as velocidades maiores de 8 m/s e 10 m/s. Em relação a sazonalidade da velocidade e à frequência dos ventos nas direções predominantes, observa-se que os ventos com velocidades superiores a 6 m/s se concentram na primavera (37,4%) e no verão (31,6%). Quando se consideram os ventos com velocidades superiores a 12 m/s, a concentração é ainda maior na primavera (72,7%) e 22,7% no verão.

O sistema de brisa na região é bastante relevante, sendo detectadas velocidades de até 2 m/s nos meses de novembro a março (Camargo & Marone 1996). Porém, de modo geral, as maiores intensidades de ventos e maior agitação do mar estão associadas à passagem de sistemas frontais.

2 CONTEXTUALIZAÇÃO DO ESTUDO

2.1 ESTUDOS ESTRATIGRÁFICOS EM BARREIRAS

Em cenário mundial, alguns estudos são citados, como os de (Davis & Kuhn 1985, Gibbs & Davis 1991, Crowe & Davis 1985, Davis *et al.* 2003) no oeste da Flórida, em barreiras dominadas por ondas.

No sul da Costa do Golfo do Texas - um estudo das fácies internas e da arquitetura da barreira (Padre Island) foi realizado por Garrison *et al.* (2010), utilizando Ground Penetrating Radar (GPR), dados sedimentológicos obtidos por vibrotestemunhagem e dados geocronológicos por carbono 14 (¹⁴C).

Na Nova Zelândia, Dougherty & Nichol (2007) utilizaram o georradar (GPR) para produzir modelos morfoestratigráficos tridimensionais em barreiras regressivas (progradantes).

No Canadá, em Hudson Bay, estudos de morfologia e arquitetura de fácies em planície de cordões litorâneos foram realizados por Fraser *et al.* (2005). Foram feitos levantamentos *offshore*: (sísmica) e coleta de testemunhos de sedimentos; e em continente (GPR) e descrição de afloramentos.

A costa sudeste do Brasil tem sido objeto de investigações sistemáticas do paleonível marinho por mais de 35 anos, mais de 1.000 amostras foram datadas e as tendências do paleonível médio do mar foram determinadas para 14 setores costeiros (Angulo *et al.* 2006b). Durante a formação dos depósitos mais antigos, há cerca de 120.000 anos, o nível do mar teria alcançado níveis em torno de 8,0 m ± 2,0 m acima do atual (Martin *et al.* 1988) e, posteriormente, segundo Angulo & Lessa (1997) e Angulo *et al.* (2006b), o nível do mar atingiu um máximo de até 3,5 m acima do atual - entre 7.000 e 5.000 anos - durante o Holoceno. O último nível máximo atingido teria permanecido relativamente estável até 3.500 anos, quando as taxas de queda do nível do mar voltaram a aumentar (Angulo *et al.* 2009).

No Rio Grande do Sul, Lima (2008) determinou as relações estratigráficas entre as fácies dos ambientes deposicionais e suas geometrias características, do sistema de barreiras na Praia do Hermenegildo, através de técnicas de sondagem (SPT), georradar (GPR) e datações de radiocarbono. Ainda no Rio Grande do Sul,

Rosa (2012), utilizando sensoriamento remoto e o método de georradar (GPR) fez uma análise geomorfológica e estratigráfica dos sistemas laguna-barreira da planície costeira do Rio Grande do Sul.

Em Santa Catarina, Silva (2011), por meio de altimetria, perfilagem com georradar (GPR) e sondagem (SPT) reconheceu fácies/radarfácies transgressivas e regressivas, da planície costeira sul de Santa Catarina (entre o rio Mampituba e o norte da lagoa do Sombrio).

Dentre os trabalhos que estudaram as barreiras brasileiras, alguns possuíram um enfoque mais estratigráfico, como o de Lessa *et al.* (2000), que com testemunhos de sedimentos sugeriram fácies sedimentares regressivas e transgressivas para a barreira da planície costeira paranaense. Ainda na planície costeira paranaense, Souza (2005) caracterizou e interpretou as fácies e as associações de fácies, nas proximidades de Praia do Leste (barreira regressiva holocênica) a partir da descrição de perfis estratigráficos verticais, sondagens com vibrotestemunhador e datações com carbono 14. Dando continuidade a esse trabalho, Souza *et al.* (2012), utilizando os dados já obtidos e dados de GPR, reorganizaram as fácies sedimentares e as suas associações, de modo a inferir sobre os paleoambientes holocênicos e melhorar o modelo de fácies para litorais clásticos.

2.2 A BARREIRA PARANAENSE

No litoral do estado do Paraná, mais precisamente em Praia de Leste, uma cava de extração de areia permitiu a exposição de grandes afloramentos no terraço holocênico, o que permitiu a realização do estudo. A planície costeira paranaense é composta por dois terraços marinhos, um formado na fase do Pleistoceno tardio e o outro no Holoceno (Lessa *et al.* 1998).

O sistema de barreiras holocênicas na costa paranaense está relacionado com a progradação costeira durante a queda do nível relativo do mar, após o máximo nível do mar entre 7.000 e 5.000 anos (Angulo *et al.* 2009). A caracterização e interpretação das fácies e associações de fácies da barreira holocênica paranaense foi estudada por Souza (2005) e Souza *et al.* (2012),

porém, não foi dada ênfase nas relações laterais das fácies e seus limites (superfícies de descontinuidade).

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 O SISTEMA CLÁSTICO DOMINADO POR ONDAS

Cerca de 80% das costas e plataformas continentais mundiais são dominadas por processos hidrodinâmicos e sedimentares relacionados a ondas de tempestade, esses processos deram origem a uma abundância de depósitos sedimentares, as quais preservam evidências da ação de ondas e eventos episódicos erosivos e deposicionais (Plint 2010).

Dentre os fatores para a caracterização do tipo de costa cita-se: (1) gradiente do substrato; (2) energia das ondas versus variação da maré; (3) aporte de sedimentos versus espaço de acomodação; (4) taxa de variação do nível do mar (Swift & Thorne 1991). Uma costa ou uma plataforma continental é considerada dominada por onda quando os processos relacionados a ondas dominam os processos de maré, entretanto, não é a magnitude absoluta e sim a magnitude relativa de cada processo que determina a resposta sedimentar e, conseqüentemente, sua classificação (Davis & Hayes 1984).

Em costas dominadas por ondas, as ondas e correntes induzidas por elas são os mecanismos dominantes para movimentação e deposição de areia no sistema praiial, embora ventos, aportes fluviais, correntes de maré e fluxos de Ekman também atuem no transporte sedimentar em locais onde há estuários e na plataforma (Roy *et al.* 1994).

De modo sucinto, costas sedimentares dominadas por ondas compreendem em acumulações de material detrítico arenoso e cascalhoso, os quais estão submetidos a um alto grau de retrabalhamento antes de formarem os depósitos costeiros vistos atualmente (Davis & Hayes 1984). Geralmente os sedimentos ou depósitos sedimentares são compostos por areia e cascalho lavados, bem selecionados e arredondados, contendo porções relativamente

grandes de minerais e rochas mais resistentes, como o quartzo e minerais pesados (Swift & Thorne 1991).

No passado, costas dominadas por ondas eram descritas em termos de praias como o único produto de processos contemporâneos causados por ondas (King 1972, Pilkey *et al.* 1993), porém, Roy *et al.* (1994) propôs o termo “barreira arenosa costeira” como o elemento deposicional básico de costas dominadas por ondas.

3.1.1 Barreiras Costeiras

As barreiras costeiras ocorrem adjacentes e paralelamente às costas, onde a topografia é - geralmente - suave e os sedimentos são abundantes (Dillenburg & Hesp 2009). Apesar de haver grande número de definições - apresentadas por diversos autores nas décadas passadas - existe consenso de que “barreira costeira” é uma estrutura paralela à costa, formada por acumulação de areia, cascalho, conchas e pequena quantidade de matéria orgânica, devido à ação das ondas, marés e ventos (Curry (1969), Boyd *et al.* (1992), Dillenburg & Hesp 2009). Sendo uma feição mais comum em ambientes costeiros de micro e mesomarés (Hayes 1975, Hayes 1979).

Os fatores mais importantes que determinam as características de barreiras costeiras são: o comportamento do nível do mar; a morfologia do substrato; disponibilidade de sedimentos; ondas; marés e ventos. Fatores primários, tais como gradiente de substrato, sedimentos e ondas, vão produzir uma antepraia e praia (Hesp & Short 1999); e fatores secundários, como as marés e os ventos, irão apenas modificar esse modelo básico, formando canais e dunas (Dillenburg & Hesp 2009). Assim, as barreiras podem exibir diferentes dimensões e também diferentes relações físicas com o continente (Walker 1992).

De acordo com Walker (1992), os principais ambientes de uma barreira (praia, laguna, complexo de canais e deltas de maré) são constituídos de uma série de subambientes, os quais são caracterizados por distintas associações de fácies. Os ambientes da praia da barreira, dos canais e do delta são constituídos

principalmente de areia e cascalho, enquanto que as fácies lagunares consistem em areia e lama. Quanto à disposição espacial, os depósitos de praia da barreira são paralelos à linha de costa e os de canais e deltas de maré são, geralmente, orientados perpendicularmente ou obliquamente à barreira (Walker 1992).

Flutuações relativas do nível do mar resultam na preservação de depósitos lagunares transgressivos ou de sucessões regressivas (progradantes), neste a laguna normalmente é preenchida e o sistema barreira torna-se uma planície costeira progradante, de modo que, uma barreira regressiva é similar a uma planície de cordões (*strandplains*), mas a última é muito maior e conectada ao continente (Walker 1992). Em termos de estratigrafia, os tipos básicos são as transgressivas e regressivas (Kraft & Chazastowski 1985).

A estratigrafia de uma barreira transgressiva é resultante da progradação da barreira no sentido do continente, seja durante um aumento do nível do mar ou um balanço sedimentar negativo em uma condição de nível do mar estável ou quase estável (Dillenburg & Hesp, 2009).

Barreiras transgressivas normalmente tem uma estratigrafia simples, porém, isso depende da taxa da transgressão e do volume do sedimento subaéreo envolvido, no caso mais simples, com pouco sedimento envolvido, o perfil possivelmente vai incluir a praia, dunas pequenas e lateralmente descontínuas, terraços de sobrelavagem e depósitos lagunares (Ritchie & Penland 1990, Hayes 1994).

A estratigrafia de uma barreira regressiva (Figura 2) é resultante da progradação da barreira no sentido do mar, seja durante uma diminuição do nível do mar ou um balanço sedimentar positivo em uma condição de nível do mar estável ou quase estável (Dillenburg & Hesp, 2009).

Barreiras regressivas (ou progradantes) podem possuir cristas de areia ou cascalhos, formados por processos de ondas (Hesp 2006) ou por processos aéreos (de dunas frontais a campos de dunas).

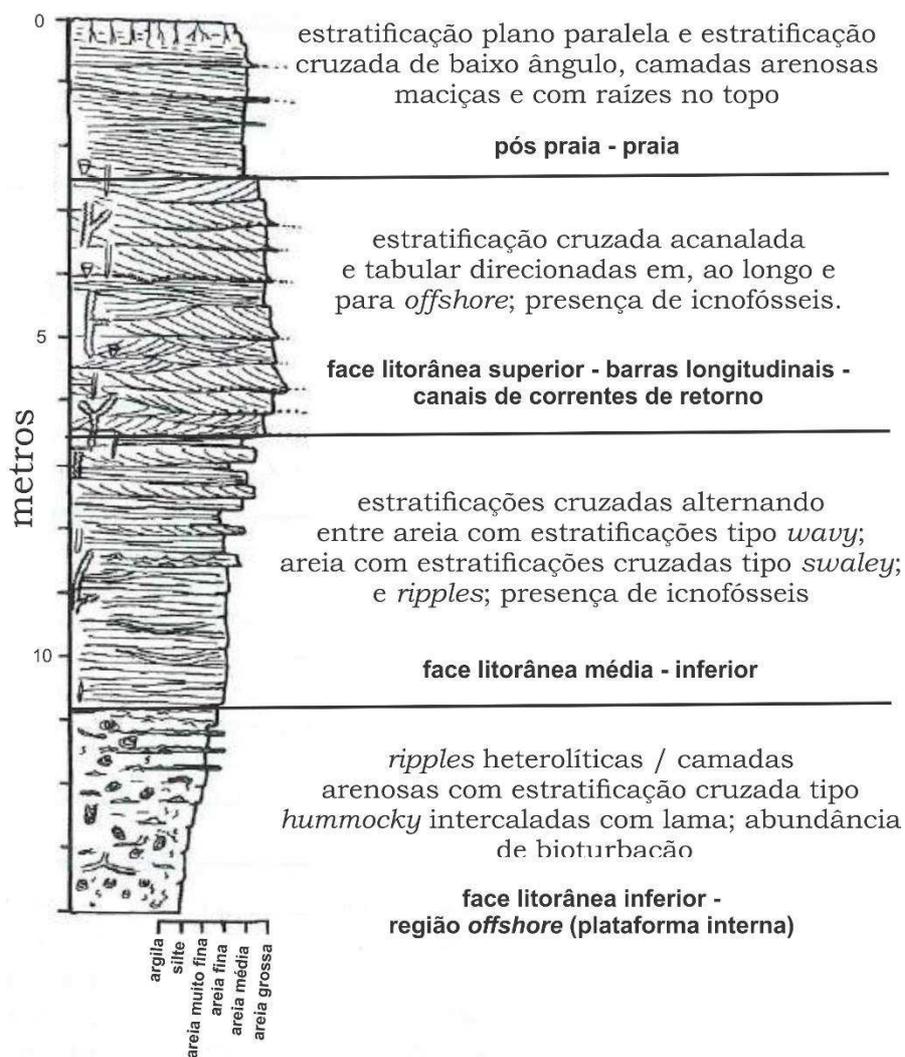


Figura 2: Modelo básico de Barreira regressiva (progradante). Traduzido de Dalrymple (2010).

A mistura de barreiras transgressivas e regressivas (barreiras estáveis ou estacionárias) pode apresentar superfícies mais complexas, especialmente quando ventos moderados a fortes soprando em direção ao continente favorecem a formação de diferentes formas de dunas na superfície da barreira (Roy *et al.* 1994).

O comprimento da barreira ao longo da costa é função, principalmente, da variação da maré, de maneira que, quanto maior a altura da maré, menor o comprimento da barreira (Davis & Hayes 1984, Boyd *et al.* 1992, Hayes 1994). Assim, barreiras formadas em ambientes de micromarés, tendem a ser mais longas, com depósitos abundantes de feições de tempestades [leques de

sobrelavagem (*washover fans*)] e poucos canais de maré e deltas de maré associados, podendo ser consideradas como de dominância de ondas. Já as barreiras de mesomaré, tendem a ser mais curtas, caracterizadas por canais de maré e deltas de maré bem desenvolvidos (Hayes 1975, Hayes 1979).

3.1.2 Elementos morfológicos das costas atuais

Os principais elementos morfológicos das costas atuais são mostrados na Figura 2, a praia subaérea-intermaré (*foreshore*) é a porção da costa que se situa acima do nível de maré baixa e que é dominada pelo processo de espraiamento (*swash* e *backwash*) após a quebra de ondas (Plint 2010). A face litorânea (*shoreface*) se situa abaixo do nível de maré baixa e é caracterizada pela presença de sedimentos arenosos e um gradiente relativamente íngreme (1:200 ou cerca de 0,3°) (Plint 2010).

À medida que entram na zona da face litorânea, as ondas tornam-se assimétricas, e a água se move em direção a costa sob a quebra de ondas, construindo barras paralelamente a linha de costa e dirigindo o sistema de circulação longitudinal. A face litorânea possui um gradiente mais acentuado (íngreme) que o da plataforma e a altura do seu perfil é dependente da granulometria dos sedimentos e do clima de ondas associados (Plint 2010).

Continuando o perfil, a região adjacente à face litorânea é a região *offshore* (plataforma interna), a qual possui menores gradientes (1:1000 a 1:2000) e tende a possuir sedimentos mais lamosos, porém, em costas de maior energia, sedimentos arenosos podem se estender quilômetros de distância da linha de costa (Plint 2010).

Leckie & Walker (1982), McCrory & Walker (1986), Plint & Walker (1987), entre outros autores, interpretam a ocorrência de areia com estratificação cruzada *hummocky* (HCS) e lama bioturbada para representar o contato entre a parte inferior da face litorânea e a região offshore.

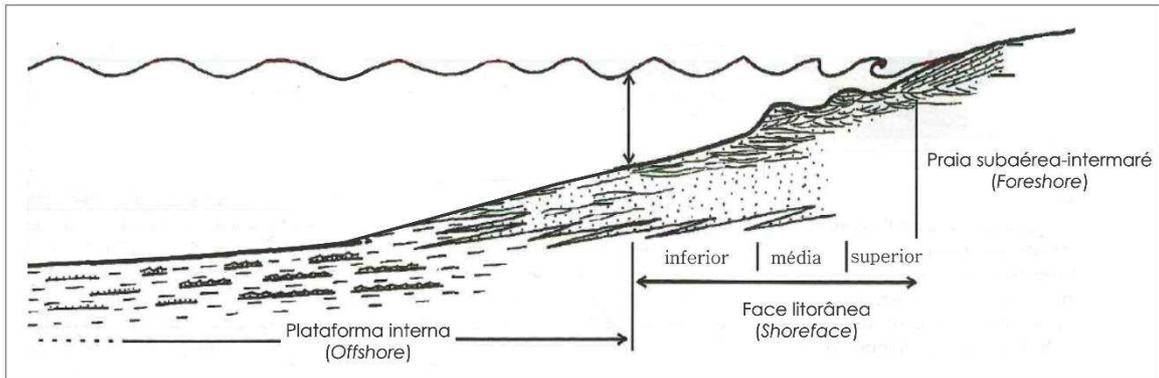


Figura 3: Perfil genérico da costa até a plataforma, mostrando os principais elementos morfológicos. Traduzido e modificado de Plint (2010).

Os gradientes da praia e da face litorânea superior são fortemente influenciados pela granulação do sedimento, de modo que as praias que possuem maior granulação, possuem maior declividade e onda quebrando mais próximo à costa, com boa parte da energia sendo refletida de volta para o mar (Wright *et al.* 1979, Plint 2010), essas praias são denominadas reflectivas. Por outro lado, praias que apresentam menor granulação, têm menor declividade e ondas dissipando energia ao longo de uma larga zona de espriamento; podem possuir barras de quebra, calhas e canais formados por corrente de retorno (Wright *et al.* 1979, Plint 2010), estas praias são denominadas dissipativas. Há ainda o estágio intermediário entre esses dois cenários, que são ditas praias intermediárias (Wright *et al.* 1979).

3.1.3 Processos regidos por ondas e estruturas sedimentares resultantes

O transporte de sedimentos na praia e na face litorânea superior é regido por: ondas (as quais geram as correntes oscilatórias devido ao movimento orbital da água abaixo delas); correntes paralelas à linha de costa (correntes longitudinais ou de deriva litorânea) e correntes perpendiculares à linha de costa (correntes de retorno) (Figura 4) (Plint 2010).

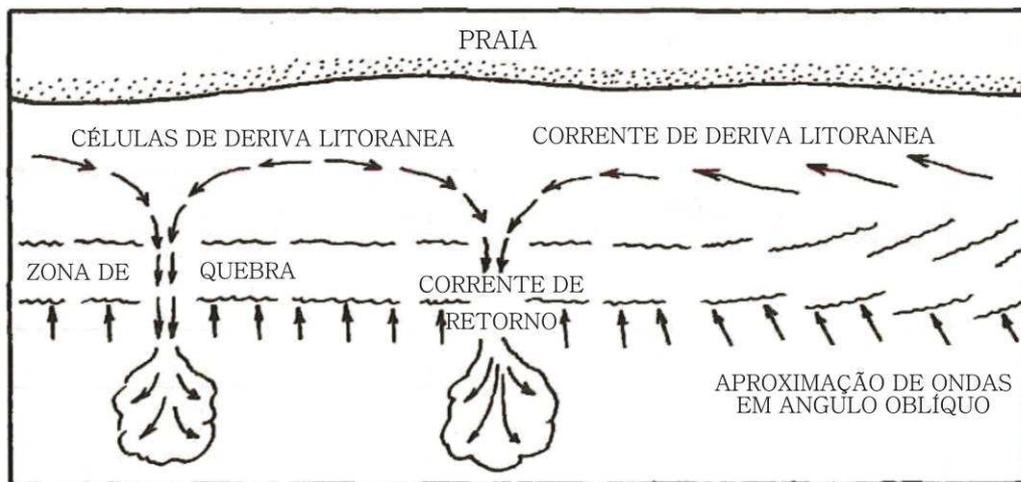


Figura 4: Sistema de circulação de água em uma área próxima à costa (Traduzido e modificado de Plint 2010).

De maneira mais detalhada, na região mais profunda (*offshore*) - onde a profundidade da coluna d'água é maior que, aproximadamente, a metade do comprimento da onda incidente - as ondas não são capazes remobilizar os sedimentos no leito e esse ponto do leito marinho é dito nível "base de ondas" (esse nível é variável e depende do comprimento da onda e da granulação do sedimento), é esse local que delimita a região inferior da face litorânea (Plint 2010). Os geólogos frequentemente escolhem os locais onde ocorre estratificação cruzada *swaley* (SCS) e *hummocky* (HCS) (estruturas formadas por ondas) como a base da face litorânea em depósitos (Plint 2010).

À medida que as ondas entram em águas rasas, acima do nível base de ondas, o movimento circular orbital das partículas é distorcido para um padrão elíptico simétrico e as partículas de água se movem para frente e para trás (transversalmente a linha de costa) junto ao leito em um padrão simétrico abaixo da onda (Plint 2010).

Mais próximo à costa, o padrão oscilatório torna-se fortemente assimétrico, com um movimento preferencial em rumo ao continente (Figura 5), esse fluxo preferencial assimétrico gera uma tendência de acumulação de sedimentos mais grossos em direção à costa e sedimentos mais finos mais longe da costa, resultando em uma sucessão de fácies granocrescente (Plint 2010).

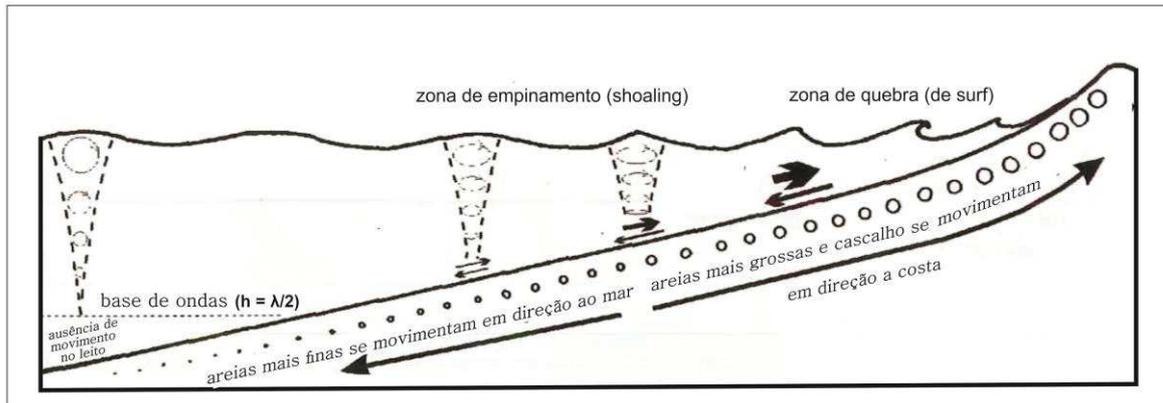


Figura 5: Comportamento de ondas em zona costeira (Modificado de Plint 2010).

Quando as ondas entram em águas que possuem, em profundidade, aproximadamente 1,3 vezes do seu comprimento de onda, a interação com a força de arrasto do leito marinho leva a crista da onda a colapsar sua parte dianteira (processo de quebra da onda) e parte da energia é transferida no processo de avanço da onda na praia (espraiamento); o espraiamento é capaz de mobilizar grãos mais grossos - os quais tendem a acumular no topo da praia - e é rápido o suficiente para gerar laminação plana na areia (pois gera um fluxo de regime superior) (Fritz & Moore 1988, Plint 2010).

O movimento resultante da água na zona de surfe dirige os sistemas de correntes de deriva longitudinal e células de circulação (formadas por correntes de deriva e correntes de retorno) (Komar 1976). De modo sucinto, à medida que as ondas ultrapassam a face litorânea e entram na zona de quebra, a água move-se em direção ao continente acumulando-se diante da praia, para balancear esse acúmulo, células de circulação carregam água e areia para fora da costa em sistemas de correntes de retorno, as quais escavam canais rasos ao longo da parte superior da face litorânea, essas correntes de retorno se dissipam rapidamente e o transporte de areia cessa fora da zona de quebra. Se as ondas se aproximam da praia obliquamente, um sistema de correntes tende a fluir em direção paralela a linha de costa (correntes de deriva litorânea), esse sistema é capaz de mover um imenso volume de sedimentos (Plint 2010).

Correntes de retorno podem ser bastante fortes e fluem para fora da costa em canais estreitos (tipicamente com 20 - 40 m comprimento e 1 - 2 m de

profundidade) os quais cortam a face litorânea superior (zona onde as ondas estão quebrando). As correntes de retorno são capazes de transportar areia e cascalho (Hunter *et al.* 1979), mas elas não se estendem fora da zona de surfe e não transportam sedimentos mais que algumas centenas de metros para fora da costa.

As estruturas sedimentares formadas em ambiente arenoso da face litorânea até a plataforma são principalmente dunas bidimensionais e tridimensionais (Clifton *et al.* 1981, Hunter *et al.* 1979) geradas por fluxos combinados, englobando tanto correntes unidirecionais de longa duração (horas-dias), como correntes oscilatórias de curta duração (segundos) (Plint 2010). A natureza desses fluxos é bem diferente, a camada limite abaixo de um fluxo unidirecional é relativamente espessa (metros a dezenas de metros) possuindo um gradiente de velocidade suave, enquanto que a camada limite sob um fluxo oscilatório é pouco espessa (<10 cm) por ser formada e destruída em escala de segundos com o movimento para frente e para trás das ondas (Swift *et al.* 1986).

Ondas de tempestade com seus diâmetros orbitais grandes podem gerar velocidades oscilatórias altas (>50 cm/s) a poucos centímetros acima do leito, em areia fina essas velocidades são capazes de gerar condições de leito plano sob dunas ou grandes *ripples* (Clifton 1976). Além dessas estruturas primárias formadas por ondas, dunas subaquosas formando estratificações cruzadas de escala decimétrica são geradas por fluxos combinados com predominância da componente unidirecional (Dumas *et al.* 2005). Assim, as estruturas sedimentares mais importantes encontradas em depósitos de plataforma (onde os fluxos oscilatórios predominam) são vários tipos de *ripples* simétricas pequenas; simétricas grandes; estratificação cruzada tipo *hummocky* e *swaley* e laminação plano paralela (Plint 2010).

3.2 FÁCIES

O termo fácies foi introduzido por Gressly (1830 *apud* Walker 1984). Até a década de 1950 o termo fácies era utilizado em sentido quase que puramente descritivo, referindo a variações laterais em unidades litoestratigráficas - a partir

do final da década de 1950 - o avanço e a popularização dos estudos sobre ambientes de sedimentação modernos permitiram associar processos sedimentares a seus respectivos produtos (Anderton 1985). Assim, o termo fácies adquiriu um significado interpretativo em termos de processos deposicionais (Walker 1984).

Discussões sobre a utilização do termo foram realizadas por Middleton (1978), Anderton (1985) e Reading (1986). Dentre as discussões, cita-se: se o termo deve se referir apenas a partes espacialmente restritas de uma unidade estratigráfica (Moore 1949 *apud* Walker 1984) ou também a corpos rochosos não confinados estratigraficamente e se o termo deve ser exclusivamente descritivo (por exemplo, fácies de arenitos A) ou também interpretativo (por exemplo, fácies fluvial). Walker (1992) utiliza o termo “fácies” no sentido apenas de um conjunto de características, além de utilizá-lo de maneira não confinada estratigraficamente.

O uso mais comum do termo é exemplificado por De Raaf *et al.* (1965 *apud* Middleton 1978), o qual subdividiu um grupo de três formações numa repetição cíclica de um número de fácies, as quais se distinguem litologicamente, estruturalmente e por aspectos orgânicos (detectáveis no campo). Podendo ser dadas designações informais ou designações descritivas, porém, entende-se que elas são unidades às quais - em seguida - será dada uma interpretação ambiental.

De acordo com Walker (1992), as fácies podem ser definidas em diferentes escalas, porém, sempre em unidades de aspecto similar, sendo o grau de subdivisão governado pelos objetivos do estudo (mais ou menos detalhados); pelo tempo disponível em campo; o grau de preservação e a abundância de estruturas físicas e biológicas nos depósitos.

Assim, a definição das fácies é baseada nos aspectos de campo das próprias rochas, de forma que, a melhor maneira para a interpretação de fácies é a combinação das relações espaciais e características internas com informações de outras unidades estratigráficas semelhantes - bem estudadas - e de estudos de ambientes de sedimentação atuais (Walker 1984).

Para Dalrymple (2010), o termo fácies é definido como um corpo de rocha caracterizado por uma combinação particular de estruturas sedimentares e biológicas que concedem um aspecto diferente aos corpos de rocha adjacentes acima, abaixo ou lateralmente; e sua caracterização é realizada em afloramentos e/ou testemunhos com base em seus atributos genéticos, tais quais: granulometria, grau de seleção, estruturas físicas, conteúdo fossilífero e composição dos minerais.

3.3 ASSOCIAÇÕES DE FÁCIES

As fácies definidas descritivamente em campo ou em testemunho podem, inicialmente, não sugerir um ambiente particular; a chave para a interpretação é analisar as fácies em conjunto e no contexto, assim, obtêm-se informações importantes, que as fácies consideradas individualmente podem não oferecer (Dalrymple 2010).

Portanto, o conceito de “associação de fácies” vem da necessidade de combinação de fácies próximas e relacionadas entre si, a qual é oriunda da dificuldade da interpretação das fácies separadamente (por possuírem diferenciação muitas vezes em pequenos detalhes) (Walker 1992). Essa diferenciação é consequência da escala que as fácies são definidas e das sutis diferenças entre as mesmas (como mudanças pequenas na porcentagem de silte e argila, abundância e diversidade de fósseis e diferenças no tipo de laminação), de modo que o trabalho de interpretação se torna difícil, pois supera a capacidade de interpretá-las (Walker 1992).

Portanto, o termo “associação de fácies” nada mais é que uma combinação de fácies intimamente relacionadas, sendo definida por Collinson (1969) como: *grupos de fácies geneticamente relacionadas que apresentem algum significado sobre o meio.*

As fácies podem ser agrupadas em associações de fácies e, em uma escala mais ampla, certas associações de fácies ocorrem de maneira suficientemente comum - ao longo do tempo e espaço - que podem ser consideradas como

elementos arquitetônicos básicos correspondentes à um ambiente deposicional particular (Walker 1992).

3.4 ELEMENTOS ARQUITETÔNICOS

Nos últimos anos, cada vez mais é demonstrado que seções verticais são inadequadas para a descrição de variações de fácies nos diversos ambientes, de modo que, técnicas envolvendo a descrição e classificação de unidades de fácies em três dimensões vem sendo desenvolvidas (Miall 2000). Os resultados são importantes para facilitar o desenvolvimento de reconstruções de antigos ambientes deposicionais, além de fornecer uma base de dados útil com a qual geólogos e engenheiros possam modelar os fluxos de fluidos em unidades de reservatórios (Miall 2000).

Ainda de acordo com Miall (2000), em superfície, as descrições podem ser realizadas pelo estudo de afloramentos grandes e extensos lateralmente, já em subsuperfície, a correlação litoestratigráfica de testemunhos de sedimentos junto a dados sísmicos de alta resolução podem servir para essa proposta.

O termo arquitetura deposicional foi originalmente utilizado para caracterizar a geometria e o arranjo tridimensional de fácies, especificamente em estudos de depósitos fluviais (Allen 1978, Galloway 1981, Friend 1983, Miall 1985, Miall 1988a). É uma proposta para modelar fácies e sua caracterização permite reconhecer o arcabouço tridimensional de fácies e suas relações (Walker 1992).

Para Miall (1985), um elemento arquitetônico corresponde a um “litossoma” caracterizado por sua geometria, composição faciológica e escala, sendo produto deposicional de um processo ou uma suíte particular dos processos que ocorre num determinado ponto do sistema deposicional. Para Walker (1992), “elementos arquitetônicos” são associações de fácies geneticamente relacionadas umas às outras e que tenham algum significado ambiental, implicando que estes são blocos (de geometria tridimensional) de construção dos sistemas deposicionais. Assim, eles são uma subdivisão morfológica de um sistema deposicional particular e são caracterizados por uma assembleia de fácies distinta e geometria de

camadas distintas, são ainda relacionados diretamente aos principais elementos do sistema deposicional original (ex: canais, barras, diques etc.) (Dalrymple 2010).

Os elementos são fisicamente separados por superfícies limitantes ou superfícies de descontinuidades, de modo que, a partir da utilização das superfícies de descontinuidades, da hierarquia de unidades sedimentológicas tridimensionais, e das associações de fácies, os elementos arquitetônicos podem ser definidos (Miall 1985, Dalrymple 2010) (Figura 6).

Uma superfície de descontinuidade pode ser definida como uma superfície de erosão e/ou não-deposição, identificáveis no registro geológico, documentando um hiato ou uma lacuna significativa em uma sucessão estratigráfica (I.S.S.C. 1987). Descontinuidades estratigráficas estão frequentemente associadas a mudanças de litologia, quebras no registro fóssilífero e angularidade estrutural (I.S.S.C. 1987).

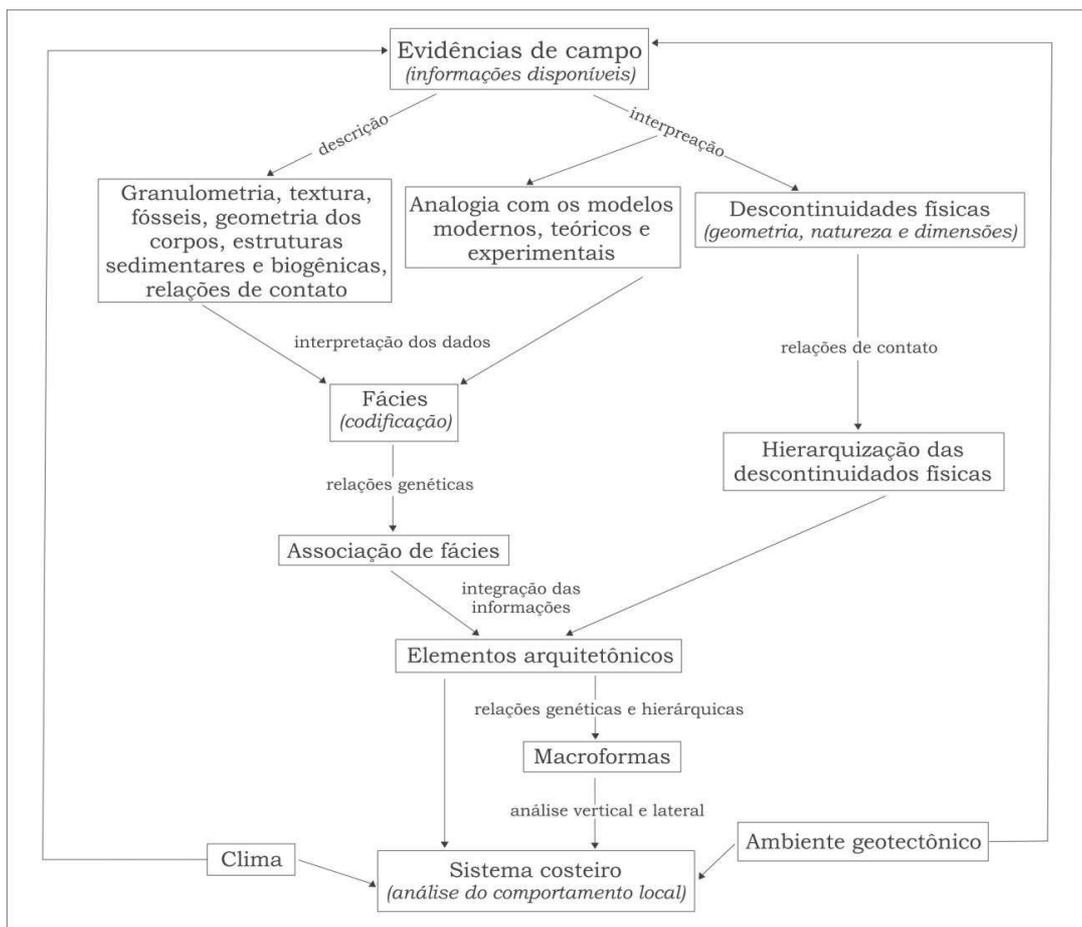


Figura 6: Esquema das etapas para o entendimento de um sistema deposicional. Modificado de Ferreira Jr. et al. 1995.

Elementos arquitetônicos, assim como suas fácies características, são passíveis de classificações descritivas e genéticas. Miall (1985) - após o trabalho pioneiro de Allen (1983) - propôs os seguintes componentes para uma classificação descritiva: (1) natureza da superfície limitante inferior e superior: erosiva ou gradacional; plana, irregular, côncava ou convexa; (2) geometria externa: em camada, lente, cunha, preenchimento em forma de U; (3) escala: espessura, extensão lateral paralela ou perpendicular à direção do fluxo; (5) litologia: conjunto de litofácies e sucessão vertical; (6) geometria interna: natureza e disposição de superfícies limitantes internas; relação de estratos com superfícies de descontinuidades físicas externas (paralela, truncada, *onlap*, *downlap*); (7) padrões de paleocorrentes: orientação de indicadores de fluxos em relação às superfícies de descontinuidade internas e em relação à forma externa do elemento.

A ideia que corpos arenosos são divisíveis internamente em “pacotes” de estratos geneticamente relacionados por ordens hierárquicas de contatos entre camadas foi explorada sedimentologicamente por muitos anos, embora nem sempre de maneira explícita (Allen 1983).

De acordo com Catuneanu (2006), a importância da hierarquização de seqüências estratigráficas e superfícies de descontinuidade vem na necessidade de estabelecer diferentes ordens com base em sua importância relativa. A necessidade de uma hierarquia torna-se evidente quando se considera que existem inúmeras superfícies de descontinuidade no registro deposicional, as quais, muitas vezes, são de diferentes origens e relevâncias para várias escalas temporais e espaciais, assim, essas superfícies precisam ser organizadas (Catuneanu 2006). Para Miall (1996), as superfícies de descontinuidades são elementos importantes no sistema deposicional, apresentando diferentes ordens de grandeza que caracterizam tipos distintos de geometrias sedimentares, que influenciam diretamente a heterogeneidade de reservatórios.

Como exemplos aplicados, McKee & Weir (1953 *apud* Miall 2000) distinguiram a hierarquia do estrato, conjunto de estratos e coconjuntos de conjuntos de estratos, sendo usados os contatos entre as camadas para separar essas entidades.

Allen (1966 *apud* Miall 2000) mostrou que os depósitos de ambientes como rios e deltas podem ser classificados em ordens hierárquicas, as quais são distinguidas através de interpretações de dados de paleocorrentes, coletados ao longo de várias escalas, de camadas individuais a grandes afloramentos ou grupos de afloramentos. Miall (1974 *apud* Miall 2000) adicionou a escala do sistema aluvial completo a essa ideia e compilou algumas ilustrações.

Allen (1983) estudou as superfícies de descontinuidade fluviais e seu conceito de “elementos arquitetônicos” e Miall (1985) aplicou o conceito de hierarquia em unidades deposicionais fluviais. Em depósitos fluviais modernos Brierley (1991a,b) e Brierley & Hickin (1991) aplicaram a análise e hierarquização de superfícies de descontinuidade.

Em ambientes não fluviais, Brookfield (1977) discutiu o conceito de hierarquia em formas de fundo eólicas e classificou as características de quatro ordens de elementos; Pickering *et al.* (1989), igualmente, estudou a hierarquia de superfícies de descontinuidade para os elementos arquitetônicos de sistemas de águas profundas.

Tentativas em descrever a hierarquia dos componentes morfológicos e arquitetônicos de sistemas marinhos-costeiros têm sido feitas, estas, são tipicamente limitadas a estudos de casos ou ambientes individuais. Nio & Yang (1991) adaptaram a técnica para análise em depósitos estuarinos dominados por maré e Surlyk & Noe-Nygaard (1991) definiram elementos arquitetônicos em depósitos de plataforma. Hampson *et al.* (2008) sugeriram uma subdivisão de três níveis em ambientes dominados por ondas, são eles: cordões de praia (*beach ridge*), conjunto de cordões de praia (*beach ridge set*) e sistema costeiro progradacional dominado por onda (*progradational wavedominated shoreline system*); nenhuma tentativa foi feita pelos autores para estender essa abordagem para outros sistemas costeiros-marinhos.

Gani & Bhattacharya (2007) tentaram aplicar uma abordagem de arquitetura de fácies para um sistema deltaico seguindo o método de estudo usado em investigações fluviais e eólicos (Brookfield 1977, Allen 1983, Miall 1985, 1996). Depois de definir uma hierarquia de superfícies de descontinuidade, os

autores definiram "elementos arquitetônicos," os quais foram definidos como um único estrato, que pode ser considerado como a menor, porém mais significativa unidade (*building block*) delimitado por superfícies distintas de um sistema de deposição. Seis elementos foram definidos e mapeados em um afloramento detalhado na área de Raptor Ridge (Wyoming, USA), mas não foram feitas tentativas para a sua integração dentro das categorias de arquitetura de maior escala. Todo o sistema regressivo foi referido como delta do Raptor. Gani & Bhattacharya (2007) apresentaram 15Km de seções transversais do delta do Raptor, o qual apresenta mudanças laterais em processos primários e secundários, conforme determinado por estruturas sedimentares.

Para fornecer uma nova classificação de arquitetura para sistemas deposicionais marinhos-costeiros (*marginal-marine*), Vakarelov & Ainsworth (2013), baseados no trabalho de Ainsworth *et al.* (2011), propuseram um esquema de classificação que utiliza sete tipos de unidades arquitetônicas, as quais estão inseridas em cinco níveis de hierarquia estratigráfica. O objetivo do trabalho foi criar uma classificação que fosse capaz de preencher a lacuna de escala entre Sedimentologia e Estratigrafia de Sequências, que pudesse ser aplicada em sistemas modernos e antigos, bem como em diferentes tipos de dados (testemunhos de sedimentos, afloramentos ou sísmica). As unidades arquitetônicas descrevem variabilidades estratigráficas da escala de litofácies individuais até a escala de sequências T-R (Embry & Johannessen 1992, Embry 1995 *apud* Vakarelov & Ainsworth 2013), integrando análise de fácies com a Estratigrafia de Sequências.

Dois caminhos distintos são reconhecidos a para caracterização hierárquica de estratos por meio da ordenação numérica e hierarquizada de suas superfícies de discontinuidades (Miall 1996). O método proposto por Brookfield (1977) caracteriza-se pela ordenação crescente para o interior do elemento arquitetônico, sendo assim, a superfície que limita os elementos possui sempre ordem 1 e à medida que se detalha o seu interior, surgem as superfícies de ordem superior (n+1, n+2 etc.). De forma oposta, o método proposto inicialmente por Allen (1983) e desenvolvido por Miall (1985, 1988a, 1988b 1991) é baseado na ordenação hierárquica crescente para o exterior do elemento arquitetônico. Porém, para a maior confiabilidade na hierarquização, a definição da hierarquia

das superfícies de descontinuidade deve começar sempre a partir das superfícies mais fáceis e seguras de serem classificadas, assim, é imprescindível traçar e classificar todas as superfícies de 1ª e 2ª ordem, as quais servirão como base para a definição das de maior ordem, que trazem considerações mais importantes à interpretação dos depósitos (Ferreira Jr & Castro 2001).

3.5 A ABORDAGEM ALOESTRATIGRÁFICA NO QUATERNÁRIO

A interpretação do registro sedimentar como produto de eventos deposicionais episódicos - opondo a uma visão gradualista de uma sedimentação continua - com breves hiatos deposicionais, constituiu uma mudança filosófica de grande significado, reformulando os modelos deposicionais existentes de forma a acomodar as muitas descontinuidades presentes (Dott 1983).

A ordenação estratigráfica do registro sedimentar através da definição de unidades limitadas por descontinuidades, sintetizada por Dott (1988), pôde fornecer um quadro estratigráfico mais próximo do "empilhamento" natural da história sedimentar, permitindo ainda um grau de refinamento (por uma hierarquização das superfícies de descontinuidades) que pode ser adequado em função dos objetivos do estudo (escalas e quantidade de informações).

De acordo com Walker (1990), baseadas nas descontinuidades surgiram as "novas estratigrafias", incluindo a Sismoestratigrafia (Vail & Mitchum Jr. 1977); a Estratigrafia de Sequências (Van Wagoner *et al.* 1990); a Estratigrafia Genética (Galloway 1989) e a Aloestratigrafia (N.A.C.S.N. 1983).

Alguns autores pontuam que a subdivisão do depósito, baseada nas superfícies de descontinuidade, se aproxima mais da Aloestratigrafia do que da Estratigrafia de Sequências, pois, a Aloestratigrafia é reconhecida como independente da escala (Walker 1990, Bhattacharya 1993, Miall 1997).

Tendo em vista a necessidade de uma classificação estratigráfica mais adequada às particularidades dos depósitos quaternários, o Código Norte Americano de Nomenclatura Estratigráfica (N.A.C.S.N. 1983) introduziu,

especialmente para a classificação de depósitos neocenozóicos (principalmente quaternários), as unidades aloestratigráficas, ressaltando, porém, que sua validade também seria assumida para o emprego a sequências sedimentares mais antigas (Mello 1994).

A Aloestratigrafia, segundo Walker (1990), surge como o melhor esquema descritivo, sendo passível de aplicação a depósitos sedimentares de qualquer idade e contexto geológico e em qualquer escala. Sua validade para a aplicação a depósitos sedimentares antigos é assim confirmada, ao lado do grande potencial que apresenta como abordagem não-convencional para a análise estratigráfica do registro sedimentar quaternário.

De acordo com Mendes (1984), a classificação aloestratigráfica poderia ser adequadamente aplicada a sedimentos modernos, que possuem similaridade litológica. Walker & James (1992) também sugeriram o emprego da metodologia aloestratigráfica nos estudos faciológicos e estratigráficos. Segundo Miall (1996), em muitos estudos os dados geológicos possibilitam uma subdivisão aloestratigráfica, embora este termo não tenha sido adotado pelos autores.

A importância das superfícies de discontinuidades para a análise dos depósitos quaternários está no fato de que o reconhecimento dessas feições documenta variações nos processos deposicionais, normalmente não evidenciadas pelo caráter litológico, comumente caracterizado por similaridades composicionais e na recorrência de fácies em um pequeno intervalo deposicional (Mello 1994). Neste contexto, a ferramenta mais adequada à reconstituição paleoambiental são os conceitos de fácies sedimentar e sistema deposicional, os quais são intimamente relacionados.

A dinâmica de um sistema deposicional é regida por um conjunto de elementos que interagem entre si, sendo as interações representadas pelos processos sedimentares (produção, transporte, deposição e erosão de sedimentos) e as fácies sedimentares produtos dessa dinâmica (Sawakuchi & Giannini 2006).

Walther (1894 *apud Walker*, 1984), em sua "lei da correlação de fácies", enfatizou o reconhecimento de sequências estratigráficas como o resultado de

ambientes deposicionais espacialmente relacionados, afirmando que somente podem ser superpostas primariamente, sem uma quebra, aquelas fácies e sequências de fácies que podem ser observadas atualmente em associação lateral umas com as outras. A lei de Walther pode ser tomada assim como a base elementar do conceito de sistemas deposicionais.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 MONTAGEM DE FOTOMOSAICOS

Em um trecho da barreira, em uma cava de extração de areia, afloramentos expostos em áreas com o mínimo de alteração permitiram a construção de dois fotomosaicos para a identificação das grandes superfícies de descontinuidades.

As fotos foram realizadas em série paralela à direção principal da parede do afloramento, de forma que cada quadro contivesse, no mínimo, 30% do anterior, para facilitar a correlação durante as montagens dos mosaicos e permitir uma menor distorção devido à paralaxe.

Foram obtidas 147 fotografias de alta resolução, destas, 70 foram selecionadas para a montagem de dois fotomosaicos. As fotografias foram justapostas e tratadas com o software *CorelDRAW Graphics Suite X6®*, gerando dois perfis, um perpendicular e outro paralelo a atual linha de costa (Figura 7).

4.2 DESCRIÇÃO DOS PERFIS

Cinco perfis (Quadro 1) foram fotografados e descritos em campo quanto as suas características sedimentológicas (composição e variações texturais); estruturas sedimentares; arquitetura (espessura, forma e contato das camadas) e icnofósseis. Posteriormente, as fotografias justapostas e tratadas com o software *CorelDRAW Graphics Suite X6®*, o qual também foi utilizado para os desenhos esquemáticos dos perfis.

Quadro 1: Perfis descritos com sua orientação, coordenadas e altitude.

Perfil	Orientação	Coordenadas	Altitude/profundidade de topo e base do perfil em relação ao nível médio do mar atual (NM)
Perfil 01	NE-SO	UTM 750536 / 7154727	2,0 m acima do NM - 2,3 m abaixo do NM
Perfil 02	NE-SO	UTM 750579 / 7154990	2,8 m acima do NM - 0,6 m abaixo do NM
Perfil 03	NE-SO	UTM 750526 / 7155010	0,5 acima do NM - 0,9 m abaixo do NM
Perfil 04	SE-NO	UTM 750526 / 7155010	0,5 acima do NM - 0,7 m abaixo do NM
Perfil 05	SE-NO	UTM 750538 / 7155025	0,3 acima do NM - 1,0 m abaixo do NM

A identificação das fácies sedimentares, suas associações, sucessões e nomenclatura para descrição dos elementos (estruturas, composição, contatos) e dos ambientes, foram baseadas nos trabalhos de Fritz & Moore (1988) e Walker & James (1992). Posteriormente, as fácies foram classificadas de acordo com o trabalho de Souza *et al.* (2012) (Quadros 2 e 3), os quais utilizaram e adaptaram o código de fácies proposto por Miall (1978, 1996) para a nomenclatura das mesmas. Nas siglas utilizadas, a letra inicial maiúscula corresponde à granulação e as letras minúsculas seguintes às estruturas dos termos em inglês.

Visando a reconstrução dos rumos dos paleofluxos locais e a identificação do sentido do transporte de sedimentos, foram realizadas medições de atitudes de estruturas sedimentares que indicam os rumos de paleocorrentes com uma bússola Clar, de modo que foram obtidos dados do rumo e ângulo do mergulho do plano (dip/dip). As medidas foram obtidas de atitudes de estratificações cruzadas tabulares e acanaladas. Visando obter uma quantidade amostral suficiente para tratamento estatístico e minimizar os erros, em uma dada estrutura, foram realizadas várias medições, as quais posteriormente foram inseridas no *software OpenStereo*® para cálculo do valor da média, que foi o utilizado no final.

Quadro 2: As fácies e suas respectivas interpretações, descritas por Souza *et al.* (2012), para a barreira regressiva holocênica paranaense.

Fácies	Interpretação
(Sp) Planar cross-stratified sand (areia com estratificação cruzada plana)	Consiste em lâminas do <i>foreset</i> de dunas subaquosas pequenas a grandes, com cristas retas a linguóides.
(St) Trough cross-stratified sand (areia com estratificação cruzada acanalada)	Consiste em lâminas do <i>foreset</i> de dunas subaquosas com cristas sinuosas e linguóides.
(Sl) Low angle cross-stratified sand (areia com estratificação cruzada de baixo ângulo)	Corresponde a estratificação cruzada de <i>swash</i> na zona de espraiamento.
(Ssc) Swaley cross-stratified sand (areia com estratificação cruzada swaley)	Formada por fluxo oscilatório gerado por ondas, provavelmente de tempestade.
(Shc) Hummocky cross-stratified sand (areia com estratificação cruzada hummocky)	Formada por fluxo oscilatório gerado por ondas, provavelmente de tempestade.
(Sh) Parallel laminated sand (areia com estratificação plano paralela)	Formada por fluxos gerados por ondas de grande energia, as quais ocorrem durante tempestades.
(Fm) Massive mud (lama maciça)	Formada por decantação, durante períodos hidrodinamicamente mais calmos.
(Ss) Sigmoidal cross-stratified sand (areia com estratificação cruzada sigmóide)	Consiste em dunas subaquosas de crista reta, as quais foram expostas a alto grau de sedimento em suspensão e carga de fundo.
(Ss(b)) Sigmoidal cross-stratified beach step sand (areia com estratificação cruzada sigmóide do “pé da praia”)	Corresponde ao “pé da praia”, o qual é o limite entre a zona de surfe e a zona de espraiamento.
(Sm) Massive sand (areia maciça)	Depósito com intensa bioturbação e sem processo de deposição aferido.
(Sr) Rippled sand	Formada por ação de ondas e correntes.

(areia com ripples)	
(Sf) Flaser sand (areia com estratificação flaser)	Formada por fluxos oscilatórios de ondas, seguido por deposição de lama e detritos vegetais durante períodos mais calmos.
(Hw) Wavy heterolitic (estratificação wavy heterolítica)	Formada por fluxos oscilatórios, unidirecionais ou uma combinação desses processos, durante períodos calmos, juntamente a um intenso retrabalhamento da fauna bentônica.
(Fm(l)) Massive mud with sand linsen (lama maciça e areia com estrutura linsen)	Formada por decantação por episódicas correntes trativas fracas, provavelmente durante tempestades.

Quadro 3: Associações de fácies, características dos ambientes e as fácies encontradas por Souza *et al.* (2012) na barreira regressiva holocênica paranaense.

Associação de fácies (ambientes deposicionais)	Características do ambiente	Fácies encontradas
Inner shelf (plataforma interna)	Esta associação indica predomínio de processos de decantação, associados com intensa atividade biológica no fundo, alternada com períodos de maior energia, com atuação de ondas de tempestade que remobilizavam o fundo	(Sp), (Fm), (Sm), (Sr), (Hw), (Fm(l))
Lower shoreface (face litorânea inferior)	Nesta associação predominam os fluxos oscilatórios e trativos de regime superior, ocasionados por eventos de tempestades e subsidiariamente processos de decantação atribuídos a períodos de calmaria.	(Ssc), (Fm), (Sm), (Sr), (Sf), (Hw)
Middle shoreface (face litorânea média)	Na deposição dos sedimentos desta associação predominaram processos de fluxos oscilatórios, subsidiariamente fluxos trativos de regime superior e de forma subordinada processos de decantação e de fluxo trativo de regime inferior.	(Sp), (St), (Ssc), (Shc), (Sh), (Fm), (Ss), (Sm), (Sr), (Sf)
Upper shoreface	Esta associação foi interpretada como formada principalmente por correntes	(Sp), (St), (Ss)

<i>(face litorânea superior)</i>	trativas de regime inferior, geradas por ondas na zona de arrebentação e surfe com a presença de bancos de areia e canais.	(Sm), (Sr)
Foreshore <i>(praia subaérea-intermaré)</i>	Nesta associação, os depósitos são de fluxos trativos de regime superior, relacionados ao espriamento das ondas sobre a face praial, de pequenos bancos e canais do pé da praia, além de pequenos canais da face praial. Observa-se também para fácies arenosas sem estrutura e pedogeneizada, que provavelmente incluem sedimentos de face praial, pós-praia e talvez dunas frontais.	(Sp), (St), (Sl) (Ss(b)), (Sr)

4.3 IDENTIFICAÇÃO E HIERARQUIZAÇÃO DE SUPERFÍCIES DE DESCONTINUIDADE.

Princípios sobre o método de análise de elemento arquitetônico desenvolvido por Miall (1985, 1988b, 1996), para ambientes fluviais, foram aplicados como guia para analisar a relação entre superfícies de descontinuidade. Assim, as superfícies foram traçadas nos fotomosaicos montados (junto à anotações de campo e fotografias de ângulos mais próximos) e seu reconhecimento foi realizado a partir de um conjunto de hipóteses derivadas do Princípio da Superposição (*Law of Superposition*) e das Relações Transversais (*Cross-Cutting Relations*), são elas: (1) cada superfície é considerada única e lateralmente contínua até ser truncada ou considerada indiscernível; (2) uma superfície pode truncar outra, mas elas não podem se cruzar; (3) embora as superfícies possam ser diacrônicas, todo ponto em uma superfície deve ser mais recente do que as superfícies e depósitos que ela trunca (abaixo) e mais antigo que as superfícies e depósitos relacionados a ela (acima).

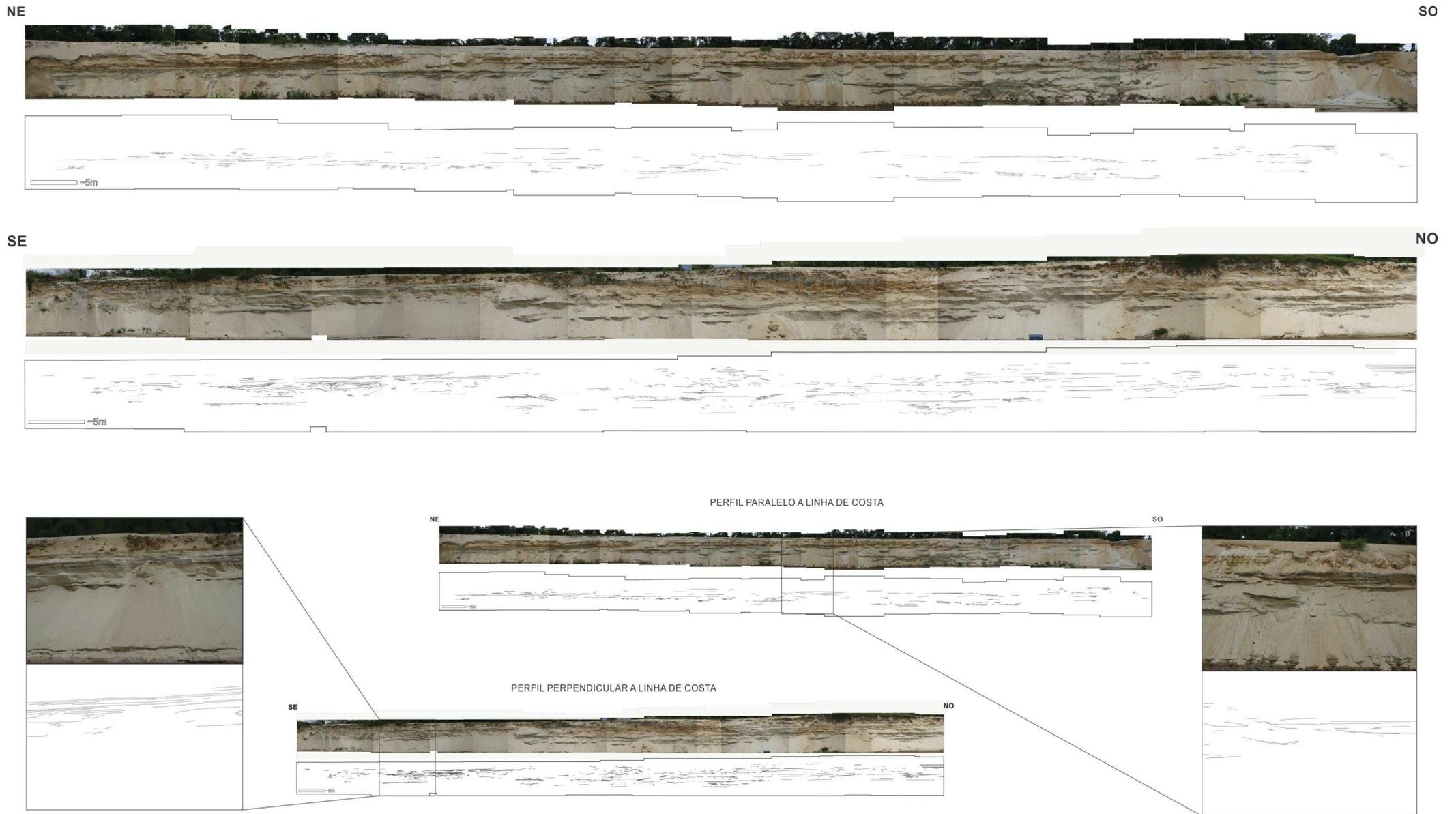


Figura 7: Fotomosaicos da barreira e abaixo sua fotointerpretação. De cima para baixo: paralelo à linha de costa, perpendicular à linha de costa e abaixo detalhes das estruturas.

Posteriormente, como tentativa de atribuir uma hierarquia às superfícies de descontinuidade, foram utilizadas as seguintes diretrizes: (1) primeiramente, as superfícies de maior continuidade lateral e que caracterizavam um único evento e/ou processo de deposição, foram tomadas como base e a elas foram atribuídas as maiores ordens do afloramento; (2) as outras superfícies foram classificadas de acordo com: (a) superfícies de menor ordem são delimitadas por superfícies de maior ordem; (b) superfícies que delimitam lâminas são consideradas de 1ª ordem; (c) caso sejam similares, um conjunto de superfícies pode ser considerado como de mesma ordem, mas o conjunto deve ser delimitado por uma superfície de ordem superior; (d) uma dada superfície pode truncar outra de igual ou menor ordem, mas nunca uma de ordem superior.

4.4 NIVELAMENTO TOPOGRÁFICO

Para auxiliar a identificação e correlação das fácies, um nivelamento geométrico sequencial foi realizado com o auxílio de nível topográfico e mira. O nivelamento foi referenciado ao RN-2049-L, o qual possui altitude de 3,33 m acima do nível médio do mar e encontra-se na rodovia PR-407, a aproximadamente 2 Km de distância da área de estudo (Figura 8).

Para inferir o paleonível holocênico médio, foi determinado como indicador espaço temporal, o contato entre as fácies (Sl) e (Ss(b)), que representam a base da face praial e o topo da face litorânea superior e que se localizam próximo ao nível médio de maré baixa. Assim, o paleonível holocênico médio de maré baixa foi obtido a partir da altitude atual (em relação ao nível médio do mar atual), no perfil, em que o contato das fácies (Sl) e (Ss(b)) se encontrava e, para a obtenção do paleonível médio holocênico, foi acrescido ao paleonível de maré baixa metade do range de maré atual ($1,5 + 0,7 = 2,2$ m). Desse modo, foi possível estimar o paleonível médio das fácies formadas (que está dentro do range de maré de $\pm 0,7$ m).



Relatório de Estação Geodésica

Estação :	8114703	Nome da Estação :	8114703	Tipo :	Estação Gravimétrica EG
Município :	PONTAL DO PARANÁ			UF :	PR
Última Visita :	20/8/2009	Situação Marco Principal :	Bom		
Conexões :	RN : 2049L				

DADOS PLANIMÉTRICOS		DADOS ALTIMÉTRICOS		DADOS GRAVIMÉTRICOS	
Latitude	25 ° 41 ' 05 " S	Altitude Ortométrica(m)	3,3311	Gravidade(mGal)	978.994,31
Longitude	48 ° 29 ' 36 " W	Fonte	Nivelamento Geométrico	Sigma Gravidade(mGal)	
Fonte	GPS Navegação	Sigma Altitude (m)	0,05	Precisão	Não Informada
Origem	Transformada	Datum	Ibituba	Datum	RGFB
S Datum	SAD-69	Data Medição	29/6/1983	Data Medição	18/6/2008
A Data Medição	20/8/2009	Data Cálculo	15/6/2011	Data Cálculo	22/11/2011
D Data Cálculo				Correção Topográfica	
6 Sigma Latitude(m)				Anomalia Bouguer	-5,10
9 Sigma Longitude(m)				Anomalia Ar-Livre	-4,73
UTM(N)	7.156.834			Densidade	2,67
UTM(E)	751.579				
MC	-51				
Latitude	25 ° 41 ' 07 " S			Gravidade(mGal)	978.994,31
S Longitude	48 ° 29 ' 38 " W			Sigma Gravidade(mGal)	
I Fonte	GPS Navegação			Precisão	Não Informada
R Origem				Datum	RGFB
G Datum	SIRGAS2000			Data Medição	18/6/2008
A Data Medição	20/8/2009			Data Cálculo	22/11/2011
S Data Cálculo				Correção Topográfica	
2 Sigma Latitude(m)				Anomalia Bouguer	-7,58
0 Sigma Longitude(m)				Anomalia Ar-Livre	-7,20
0 UTM(N)	7.156.784			Densidade	2,67
0 UTM(E)	751.521				
MC	-51				

- Ajustamento Altimétrico Simultâneo da Rede Altimétrica em 15/06/2011 - Relatório em <ftp://geofp.ibge.gov.br/documentos/geodesia/relatorioajustamento.pdf>
- Ajustamento Planimétrico SIRGAS2000 em 23/11/2004 e 06/03/2006 - Relatório em ftp://geofp.ibge.gov.br/documentos/geodesia/rel_sirgas2000.pdf
- Ajustamento Planimétrico Global SAD-69 em 15/09/1996 - Relatório em ftp://geofp.ibge.gov.br/documentos/geodesia/rel_sad69.pdf
- Dados Planimétricos para Fonte carta nas escalas menores ou igual a 1:250000, valores SIRGAS2000 = SAD-69

Localização

A 24 m margem direita da Rodovia PR-407, parte interna da propriedade da Sra. Antônia Felipe, junto a cerca de arame, além 0,20 km do posto da Polícia Rodoviária, aquém 0,40 km do Rio Pery, aquém 2,20 km do trevo de acesso a Curitiba, Paranaguá e Pontal do Sul. A 2,30 km da RN 2049-J.

Descrição

Pilar de concreto piramidal medindo 0,16 m de altura, sobre uma base medindo 0,45 m x 0,45 m, no seu topo 0,15 m x 0,15 m com uma chapa de metal.

Figura 8: Levantamento realizado em campo e dados do RN-2049-L retirados do banco de dados do IBGE.

5 RESULTADOS

5.1 FÁCIES

Foram encontradas 11 das 14 fácies descritas por Souza *et al.* (2012) para a barreira, são elas: areia com estratificação cruzada plana (Sp); areia com estratificação cruzada acanalada (St); areia com estratificação cruzada de baixo ângulo (SI); areia com estratificação cruzada *swaley* (Ssc); areia com estratificação cruzada *hummocky* (Shc); areia com estratificação plano paralela (Sh); areia com estratificação cruzada sigmóide (Ss); areia com estratificação cruzada sigmóide do "pé da praia" (Ss(b)); areia maciça (Sm); areia com estratificação *flaser* (Sf); Lama maciça (Lm). Além dessas fácies, foram acrescentadas outras 2 para descrever as fácies encontradas que não se enquadravam nas descritas pelos autores (Quadro 4), são elas: areias com estruturas indeterminadas (Si) e areia com estratificação cruzada de baixo ângulo relacionada ao depósito de barras (SI(b)).

Quadro 4: Fácies identificadas, segundo a classificação de Souza *et al.* (2012) na barreira. Em cinza as fácies que foram acrescentadas.

Fácies	Interpretação
(Sp) areia com estratificação cruzada plana	Consiste em lâminas do <i>foreset</i> de dunas subaquosas pequenas a grandes, com cristas retas a linguóides.
(St) areia com estratificação cruzada acanalada	Consiste em lâminas do <i>foreset</i> de dunas subaquosas com cristas sinuosas e linguóides.
(SI) areia com estratificação cruzada de baixo ângulo	Corresponde a estratificação cruzada de <i>swash</i> na zona de espraiamento.
(Ssc) areia com estratificação cruzada <i>swaley</i>	Formada por fluxo oscilatório gerado por ondas, provavelmente de tempestade.
(Shc) areia com estratificação cruzada <i>hummocky</i>	Formada por fluxo oscilatório gerado por ondas, provavelmente de tempestade.

(Sh) areia com estratificação plano paralela	Formada por fluxos gerados por ondas de grande energia, as quais ocorrem durante tempestades.
(Fm) lama maciça	Formada por decantação, durante períodos hidrodinamicamente mais calmos.
(Ss) areia com estratificação cruzada sigmóide	Consiste em dunas subaquosas de crista reta, as quais foram expostas a alto grau de sedimento em suspensão e carga de fundo.
(Ss(b)) areia com estratificação cruzada sigmóide do “pé da praia”	Corresponde ao “pé da praia”, o qual é o limite entre a zona de surfe e a zona de espraiamento.
(Sm) areia maciça	Depósito com intensa bioturbação e sem processo de deposição aferido.
(Sf) areia com estratificação flaser	Formada por fluxos oscilatórios de ondas, seguido por deposição de lama e detritos vegetais durante períodos mais calmos.
(S(i)) Areia com estruturas indeterminadas	Depósito de areia com estruturas que não puderam ser determinadas
SI(b) Areia com estratificação cruzada de baixo ângulo relacionada ao depósito de barras	Depósitos de estratificação cruzada de baixo ângulo, relacionadas a barras submersas

5.1.1 Areia com estratificação cruzada plana (fácies Sp)

A fácies Sp é formada por estratos em cunha, com espessura de 3-40 cm de areia muito fina a fina, muito bem a mal selecionada, podendo conter minerais pesados e com estratificação cruzada plana. Lâminas migram com rumo de mergulho para SW e NE. Pode conter tubo de *Ophiomorpha*. O contato inferior é gradacional (Figura 9).

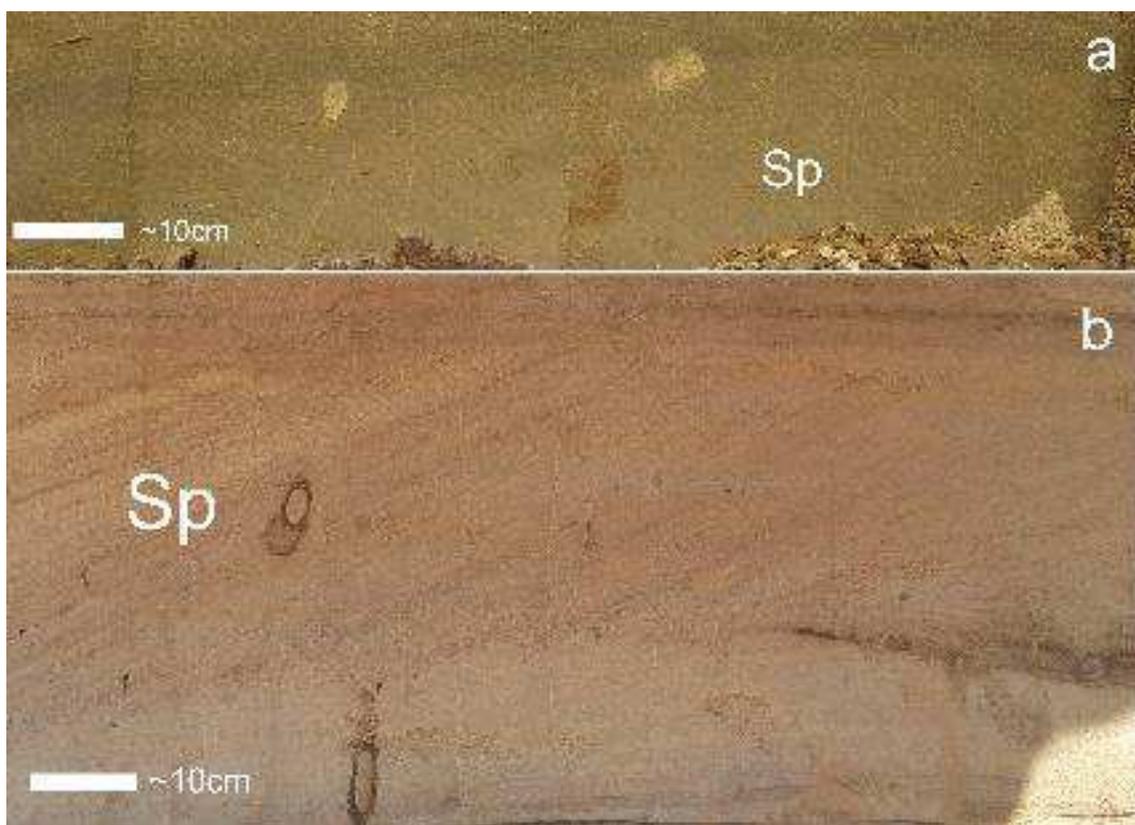


Figura 9: Fácies Sp. a) exemplo no Perfil02 e b) exemplo no Perfil04.

5.1.2 Areia com estratificação cruzada acanalada (fácies St)

A fácies St é formada por estratos lenticulares e em cunha, de espessura de 2-40 cm de areia fina a grossa, muito bem a mal selecionada, podendo conter minerais pesados e traços de matéria orgânica, apresenta estratificação cruzada acanalada com rumo de mergulho para SE, NW, NE e E. Pode conter tubo de

Ophiomorpha e lâminas internas deformadas (bioturbação). O contato inferior é erosivo (Figura 10).

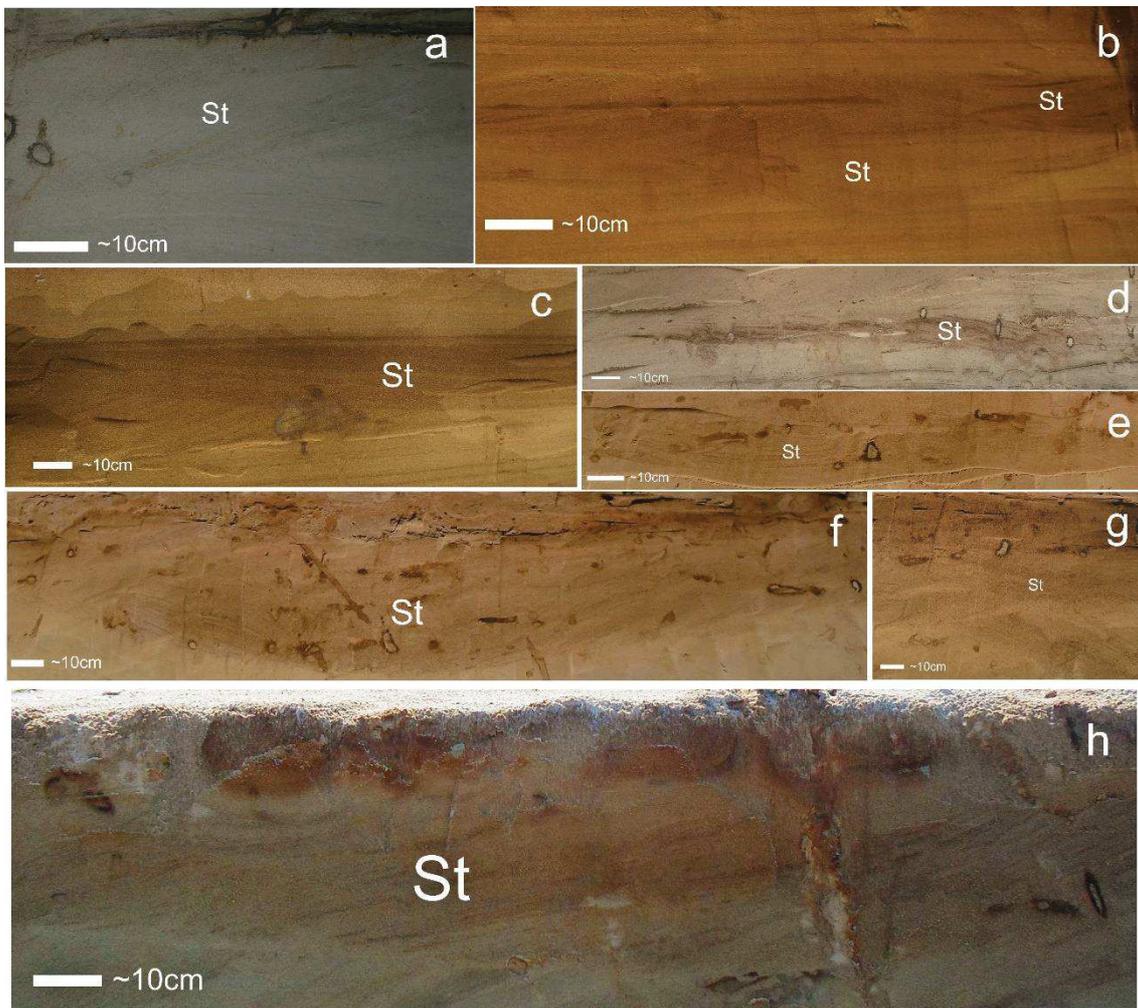


Figura 10: Fácies St. a, b) exemplos no Perfil01; c) exemplo no Perfil02; d) exemplo no Perfil04; e, f, g) exemplos no Perfil03 e h) exemplo no Perfil05.

5.1.3 Areia com estratificação cruzada de baixo ângulo (fácies SI)

A fácies SI é formada por estratos tabulares de espessura de 5-95 cm de areia muito fina a fina, muito bem a bem selecionada, podendo conter minerais pesados e apresenta estratificação cruzada de baixo ângulo, com rumo de mergulho para E e SE. O contato inferior é erosivo (Figura11).

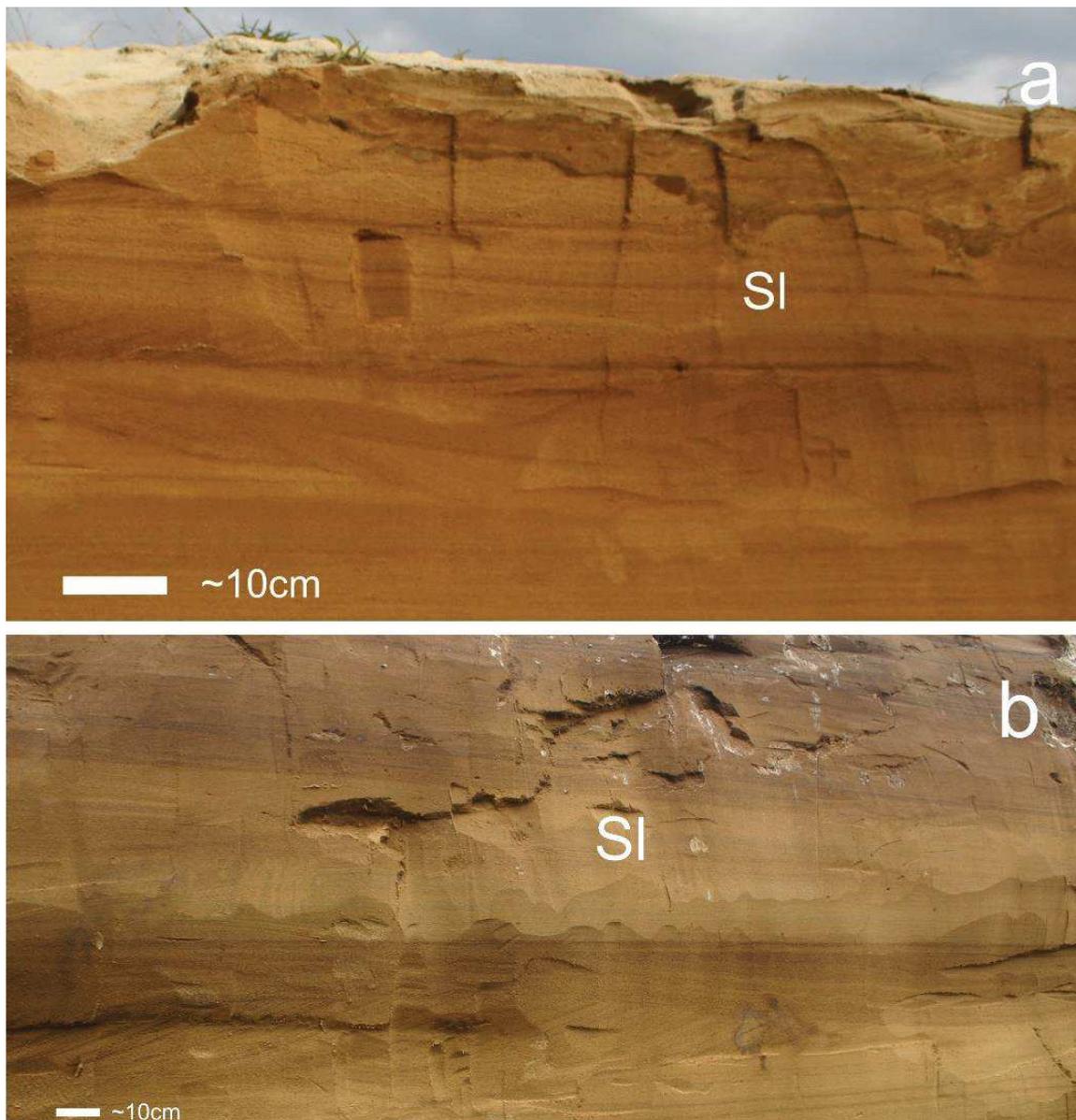


Figura 11: Fácies SI. a) exemplo no Perfil01; b) exemplo no Perfil02.

5.1.4 Areia com estratificação cruzada *swaley* (fácies Ssc)

A fácies Ssc é formada por depósitos lenticulares de espessura de 2-30 cm de areia muito fina a fina, muito bem a mal selecionada, podendo conter minerais pesados, intercaladas por lentes contendo mica e detritos vegetais (que pode se apresentar como fragmentos grandes de troncos), apresenta estratificação cruzada *swaley* com rumo preferencial para NE e NW. Presença de tubos de

Ophiomorpha e lâminas internas deformadas (bioturbação). O contato inferior é erosivo, algumas vezes com superfícies *wavy* (Figura 12).

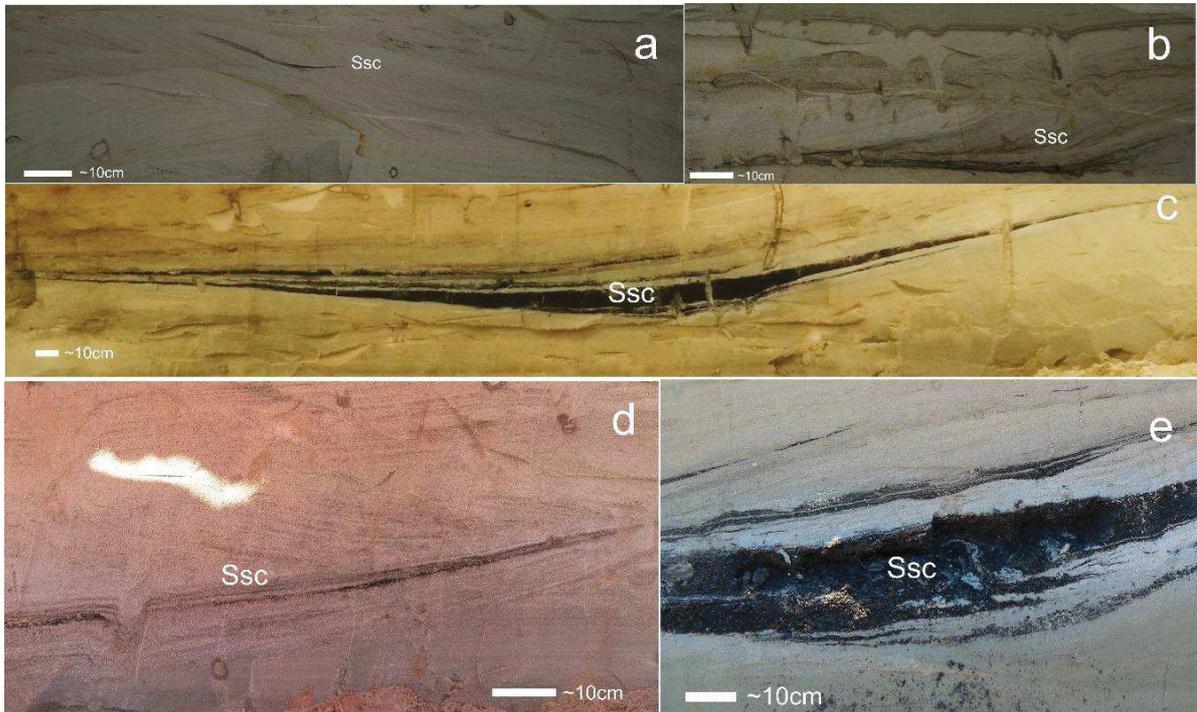


Figura 12: Fácies Ssc. a, b) exemplos no Perfil01; c, d) exemplos no Perfil04 e e) exemplo no Perfil05.

5.1.5 Areia com estratificação cruzada *hummocky* (fácies Shc)

A fácies Shc é formada por estrato de espessura de 1-15 cm com lentes de areia muito fina a fina, bem selecionada e com presença de minerais pesados, intercalados com lentes de matéria orgânica e mica. Presença de tubos de *Ophiomorpha* e lâminas internas deformadas (bioturbação) (Figura 13).



Figura 13: Fácies Shc no Perfil03.

5.1.6 Areia com estratificação plano paralela (fácies Sh)

A fácies Sh é formada por estratos de espessura de 5-50 cm de areia muito fina a fina, muito bem selecionada, podendo conter minerais pesados, mica e matéria orgânica, possuem estratificação plano paralela. Pode possuir tubos de *Ophiomorpha* e lâminas deformadas (bioturbação) (Figura 14).

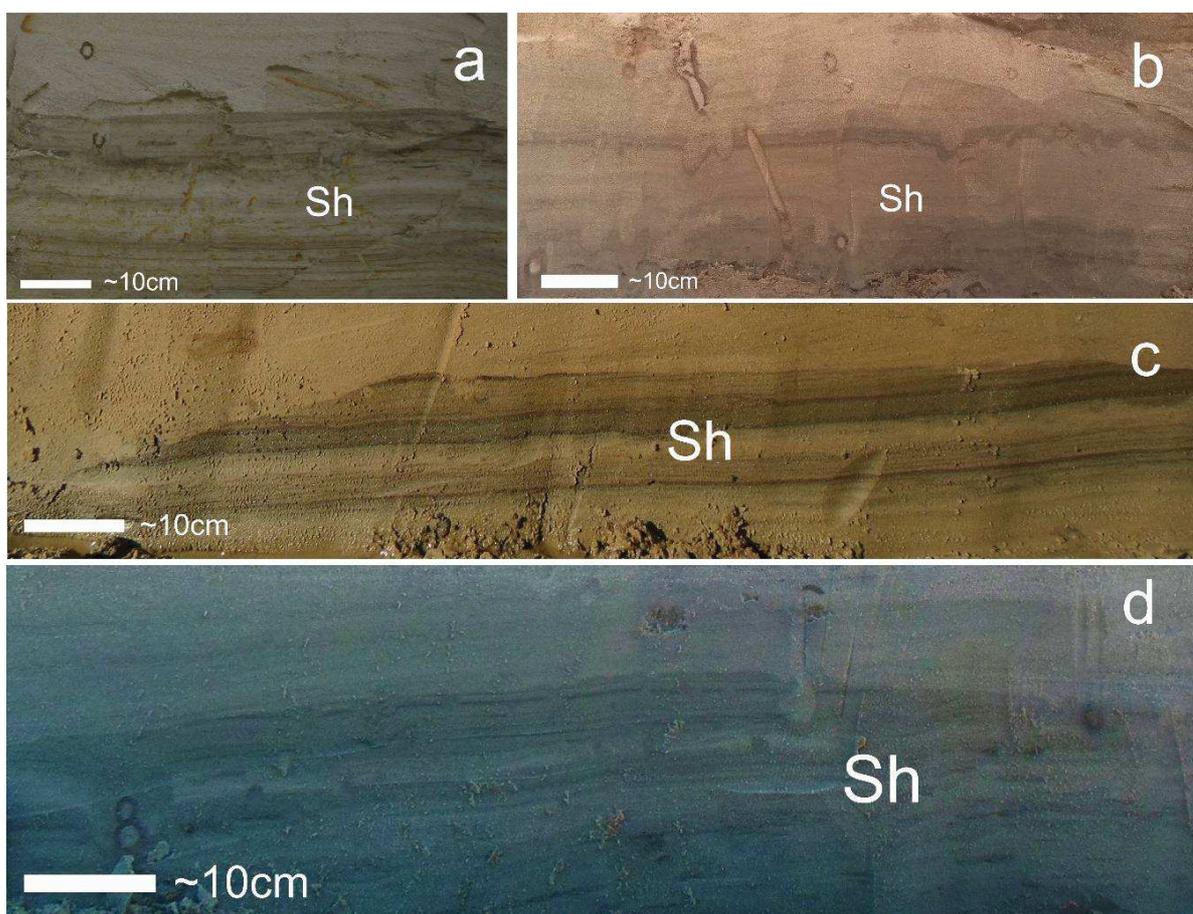


Figura 14: Fácies Ssc. a) exemplo no Perfil01; b) exemplos no Perfil04 c) exemplo no Perfil04 e d) exemplo no Perfil05.

5.1.7 Lama maciça (fácies Fm)

A fácies Fm é formada por *drapes* de lama de 1-3 cm, podendo conter mica. As estruturas são bastante deformadas devido a bioturbação e presença de tubos de *Ophiomorpha* (Figura 15).

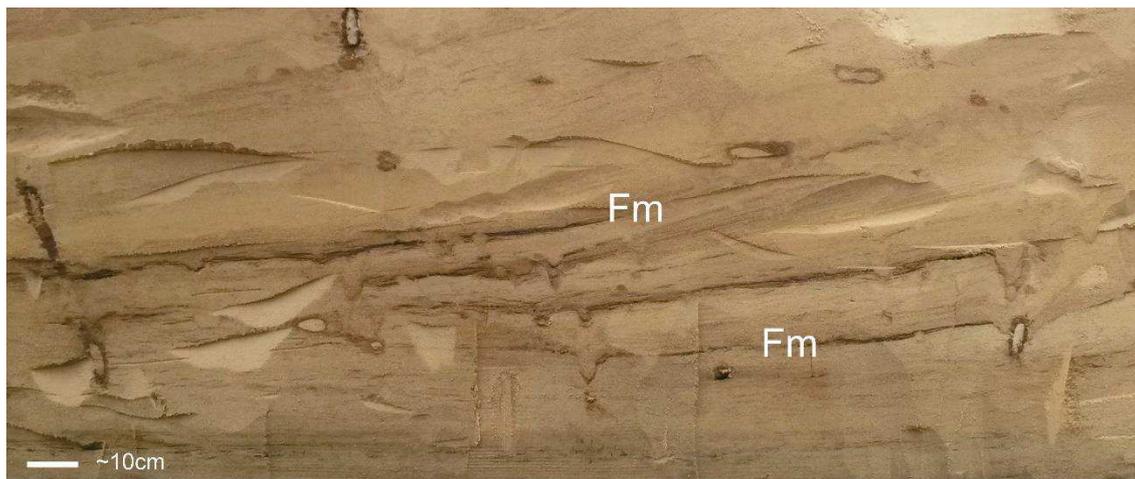


Figura 15: Fácies Fm no Perfil04.

5.1.8 Areia com estratificação cruzada sigmóide (fácies Ss)

A fácies Ss é formada por estratos tabulares e em cunha, com espessura de 2-90 cm, de areia muito fina a média, muito bem a mal selecionada, podendo conter minerais pesados. Pode possuir *drapes* de lama e matéria orgânica associados a suas lâminas de *foreset*. Possui estratificação cruzada sigmóide, algumas vezes representada como estratificação cruzada tangencial na base ou como estratificação aparentemente plano paralelas (relacionadas à preservação das suas lâminas basais e/ou mudanças no fluxo). Podem apresentar deformação de lâminas por fluidificação e bioturbação (quando há presença de tubos de *Ophiomorpha*). Lâminas migram com rumo de mergulho para NW, SW, SE e NE. O contato inferior é erosivo (Figura 16).

5.1.9 Areia com estratificação cruzada sigmóide do “pé da praia” (fácies Ss(b))

A fácies Ss(b) é formada por estratos tabulares e em cunha, com espessura de 1-15 cm de areia fina a grossa, moderadamente a mal selecionada, com estratificação cruzada sigmóide. Lâminas migram com rumo de mergulho para NE e SE. O contato inferior é gradacional (Figura 17).

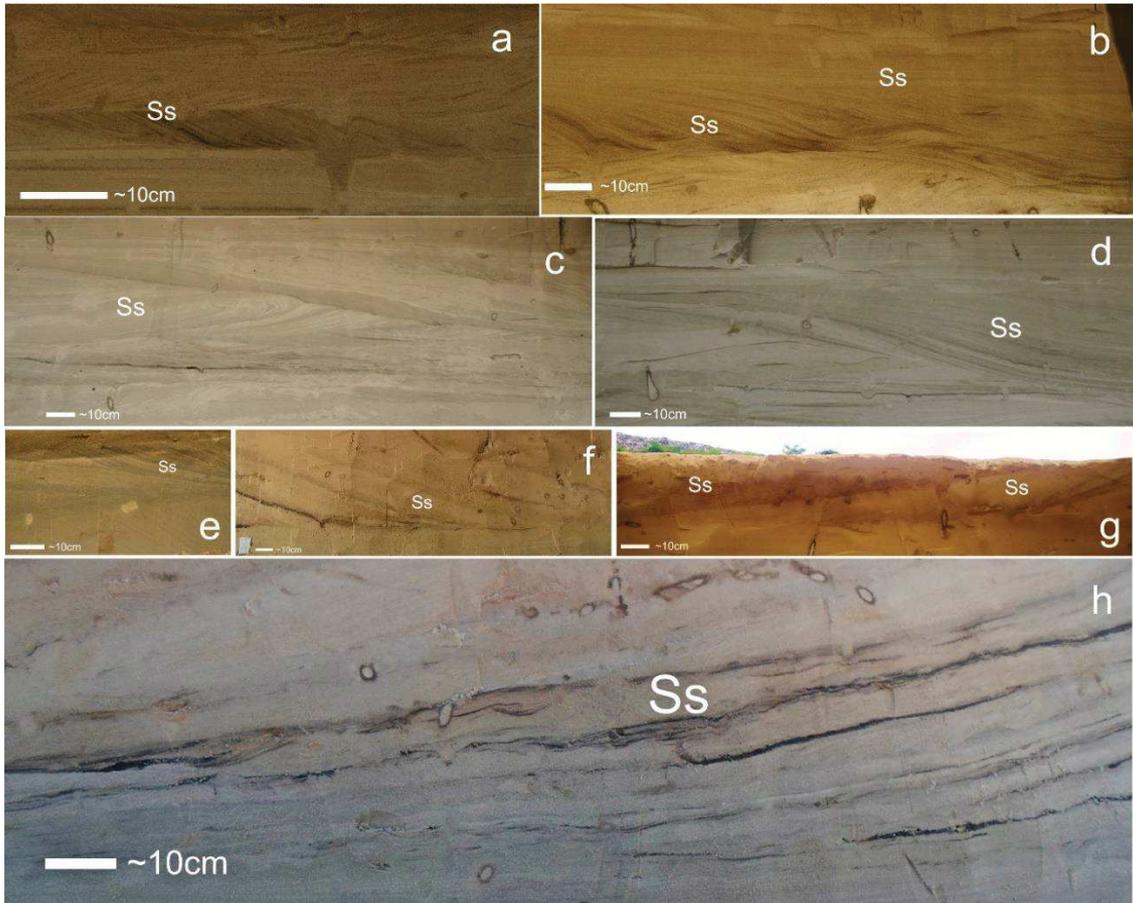


Figura 16: Fácies Ss. a, b, c, d) exemplos no Perfil01; e) exemplo no Perfil02; f) exemplo no Perfil03 e g, h) exemplo no Perfil05.

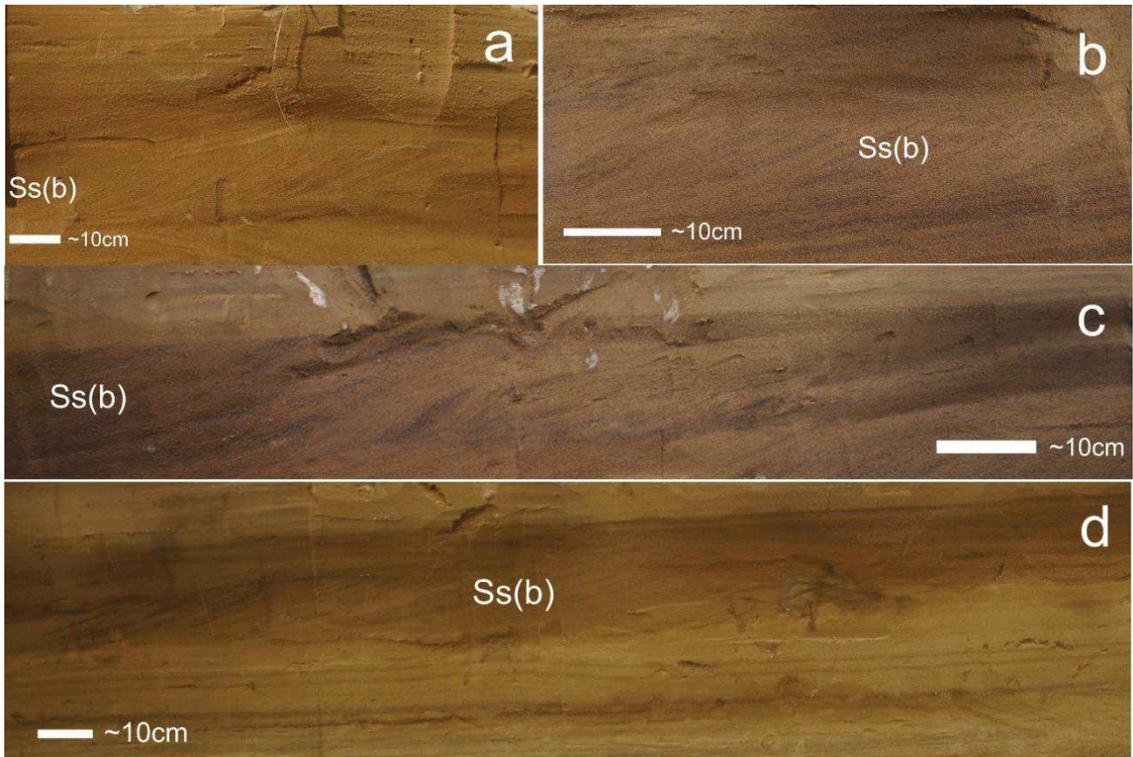


Figura 17: Fácies Ss(b). a) exemplo no Perfil01 e b, c, d) exemplos no Perfil02.

5.1.10 Areia maciça (fácies Sm)

A fácies Sm é formada por estrato de espessura de 5-30cm de lentes areia muito fina a fina e muito bem selecionada. Ausência de estratificação aparente devido à presença abundante de bioturbação. O contato inferior é gradacional (Figura 18).

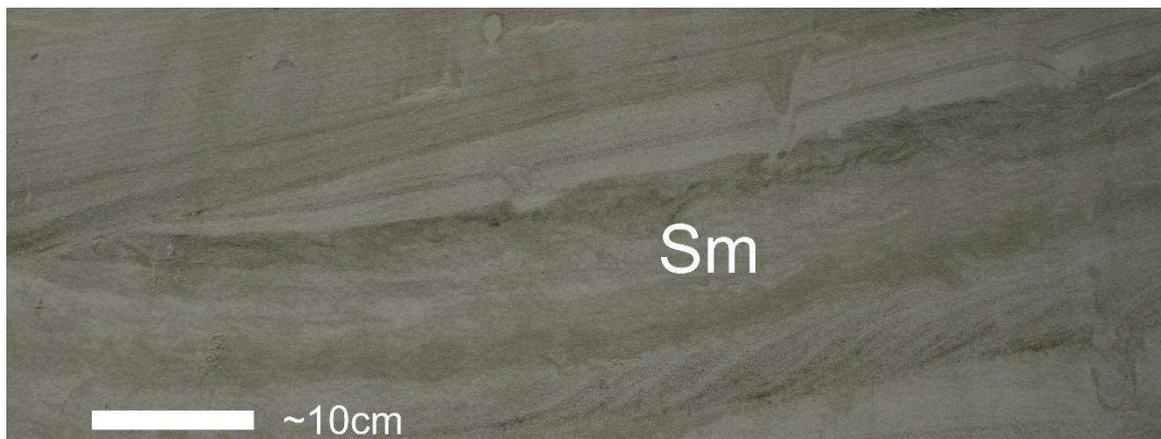


Figura 18: Fácies Sm no Perfil01.

5.1.11 Areia com estratificação *flaser* (fácies Sf)

A fácies Sf é formada por estratos com espessura de 10-40 cm de areia muito fina a fina, muito bem a mal selecionada, podendo conter minerais pesados, nas depressões é observada a presença de matéria orgânica e mica. Presença de tubos de *Ophiomorpha* e lâminas deformadas (bioturbação). O contato inferior é gradacional (Figura 19).

5.1.12 Fácies S(i) - Areia com estruturas indeterminadas

A fácies S(i) é formada por estratos de espessura de 5-30 cm de areia muito fina a fina, muito bem a bem selecionada, podendo conter minerais pesados e matéria orgânica. As estruturas não puderam ser identificadas. O contato inferior é gradacional (Figura 20).

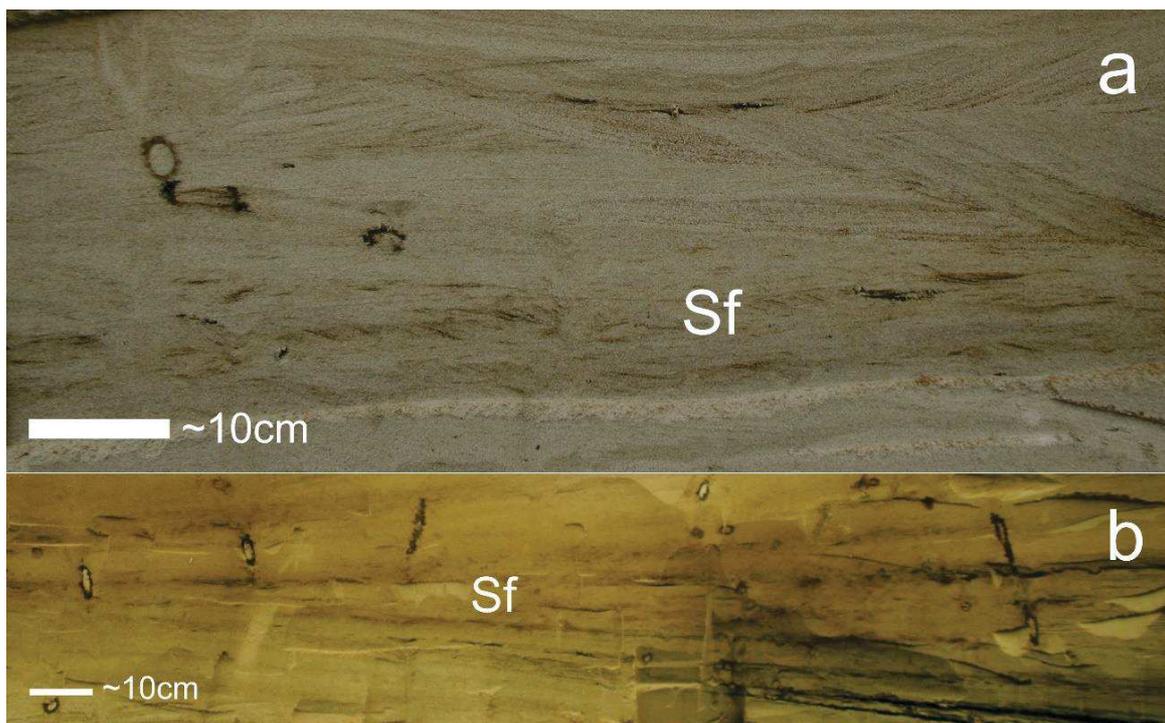


Figura 19: Fácies Sf. a) exemplo no Perfil01 e b) exemplo no Perfil02.

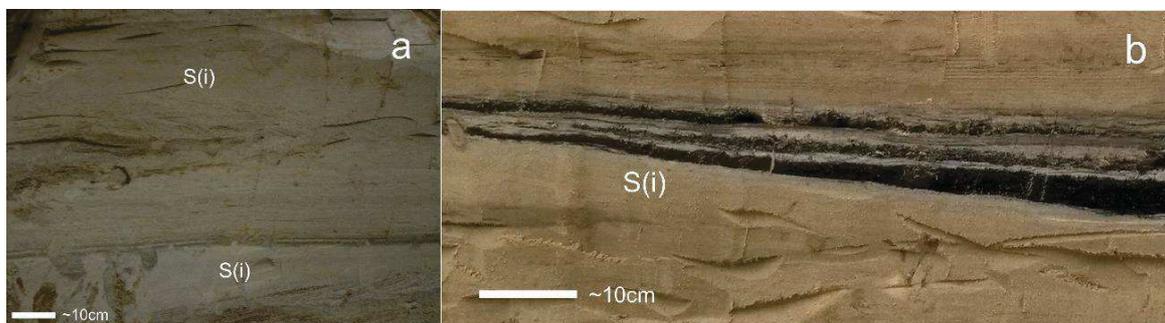


Figura 20 Fácies S(i). a) exemplo no Perfil01 e b) exemplo no Perfil04.

5.1.13 Areia com estratificação cruzada de baixo ângulo relacionada ao depósito de barras (fácies SI(b))

A fácies SI(b) é formada por estratos tabulares com espessura de 10-20 cm de areia fina, bem selecionada, com abundância de minerais pesados, de estratificação cruzada de baixo ângulo. Presença de tubos de *Ophiomorpha* e

lâminas bastante deformadas por bioturbação. O contato inferior é erosivo (Figura 21).



Figura 21: Aspecto geral de fácies SI(b) no Perfil01.

5.2 ASSOCIAÇÕES DE FÁCIES

A partir das fácies descritas, foram identificadas três das cinco associações de fácies propostas por Souza *et al.* (2012), são elas: face litorânea média; face litorânea superior e praia subaérea-intermaré (Figura 22).

Algumas fácies descritas dentro das três associações encontradas no presente trabalho, se apresentaram distintas das descritas pelo trabalho de Souza *et al.* (2012) nas mesmas associações de fácies, pelos seguintes motivos: (a) o presente trabalho definiu duas fácies que não foram utilizadas pelos autores e (b) algumas fácies descritas no presente trabalho (Shc e Fm) apresentaram-se em paleoprodutividades menores, o que é abordado na discussão com maior detalhamento. Entretanto, para o reconhecimento das associações de fácies, foram tomadas como base a predominância das fácies e os processos e características deposicionais das associações definidos pelos autores.

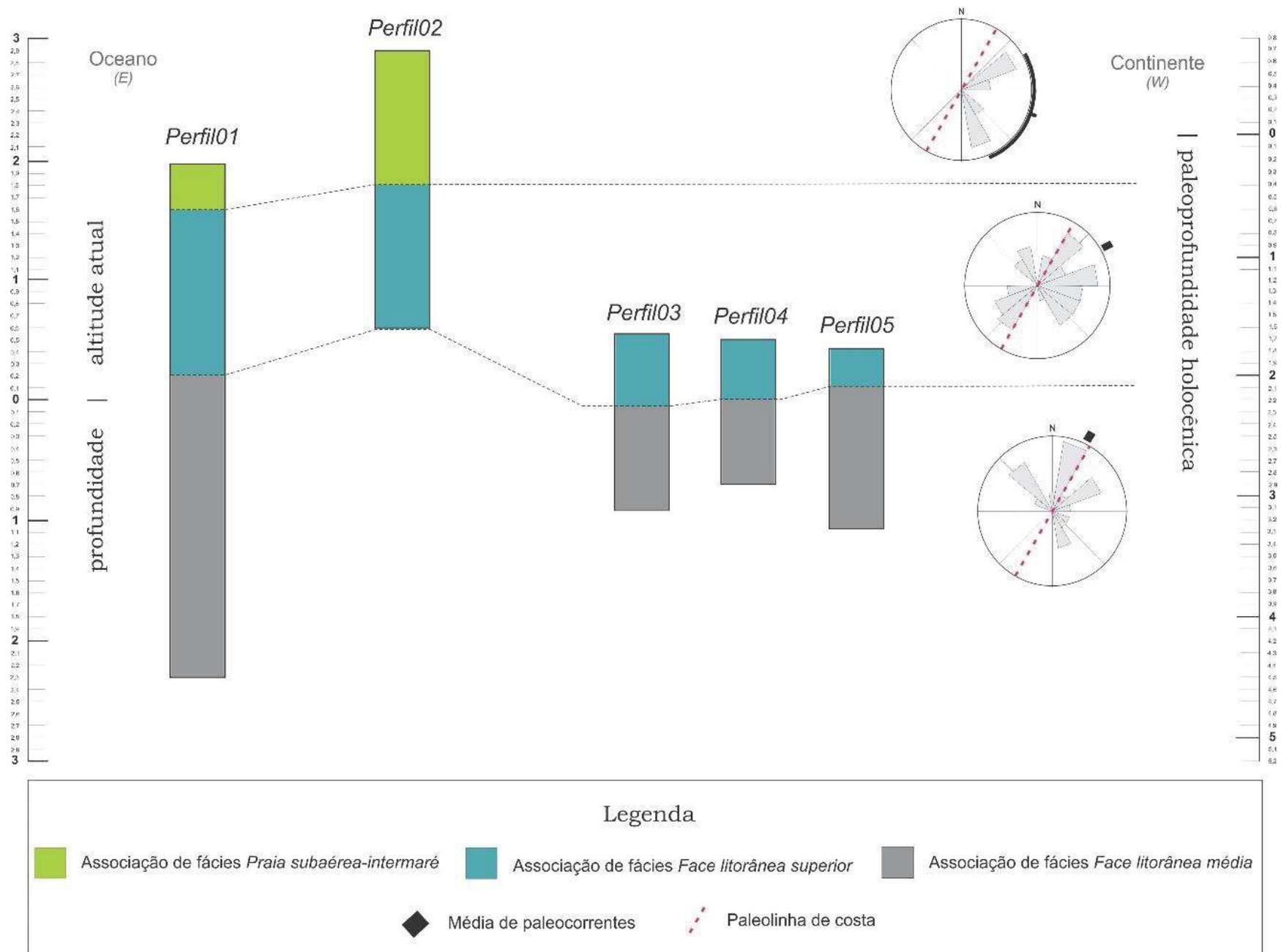


Figura 22: Esquema dos perfis descritos, associações de fácies identificadas e suas respectivas profundidades.

5.2.1 Face litorânea média (MS)

A associação de Face Litorânea Média (MS), corresponde à deposição de sedimento, principalmente, por fluxos oscilatórios, mas também por fluxos trativos de regime superior, fluxos trativos de regime inferior e decantação; que ocorrem na zona de empinamento (*shoalling zone*), próximo a zona de quebra de onda.

Possui alto grau de bioturbação, o que sugere períodos de tempo bom, e é caracterizada, principalmente, pelas fácies (Ssc), (Sh), (Fm) e (Sf). É caracterizada pela fácies (Ssc) que possui direção de mergulho para onshore e é composta de areia muito fina a fina, matéria orgânica e fragmentos de madeira, que indicam transporte por longa distância.

Esta associação ocorre entre 2,2 e 4,5 m de paleopropriedade foi identificada no Perfil01b, na parte inferior do Perfil03, Perfil04 e do Perfil05. Além das fácies mencionadas, outras fácies foram descritas, como: (Si), (Sp), (St), (Ss) e (Shc) (Figura 23).

5.2.2 Face litorânea superior (US)

A associação de fácies Face Litorânea Superior (US), corresponde à deposição de sedimentos por fluxos trativos de regime inferior gerados por ondas na zona de quebra e de surfe em uma face litorânea com barras e canais. É caracterizada, na sua parte superior, por (St) e Ss(b) que mudam lateralmente para (Sl) e por fácies (Sp) e (Ss).

A ciclicidade observada nas lâminas dos foresets da fácies (Ss) é atribuída a correntes de maré. Observa-se lâminas deformadas indicando processos de fluidificações, intensa bioturbação e tubos de *Ophiomorpha*.

Esta associação ocorre entre 0,6 e 2,2 m de paleopropriedade e foi identificada no Perfil01a, no Perfil02 e no topo do Perfil03, Perfil04 e Perfil05. Além das fácies mencionadas, cita-se a fácies (Sl(b)) (Figura 24).

5.2.3 Praia subaérea-intermaré (F)

A associação de fácies Praia Subaérea-intermaré (F) corresponde à deposição de sedimento por fluxos trativos de regime superior na zona de espraiamento (face praial), além de sedimentos depositados no pós-praia. É caracterizada principalmente pela deposição de (SI), podendo possuir (Ss(b)) e (St) truncadas por (SI) e algumas (Sp) oriundas de pequenos canais. Possui pouca bioturbação.

Esta associação ocorre entre 0,6 m de paleopropundidade e 0,8 m de paleoaltitude e é representada no topo do Perfil01a e no topo do Perfil02, por fácies (SI) (Figura 25).

5.3 SUPERFÍCIES DE DESCONTINUIDADE

A partir da análise das superfícies traçadas nos dois fotomosaicos (Figura 7), nos locais que permitiram a exposição do depósito, no topo da barreira foram identificadas superfícies tabulares com ampla continuidade lateral.

Padrões de superfícies de menor continuidade lateral também foram observadas na parte média da barreira, como no fotomosaico paralelo a linha de costa atual, onde estas apresentam-se lenticulares e com a presença de matéria orgânica.

Para os cinco perfis descritos (Figuras 26, 27, 28, 29 e 30) foram identificadas superfícies de 1ª, 2ª e 3ª ordem, as quais são descritas a seguir.

FACE LITORÂNEA MÉDIA

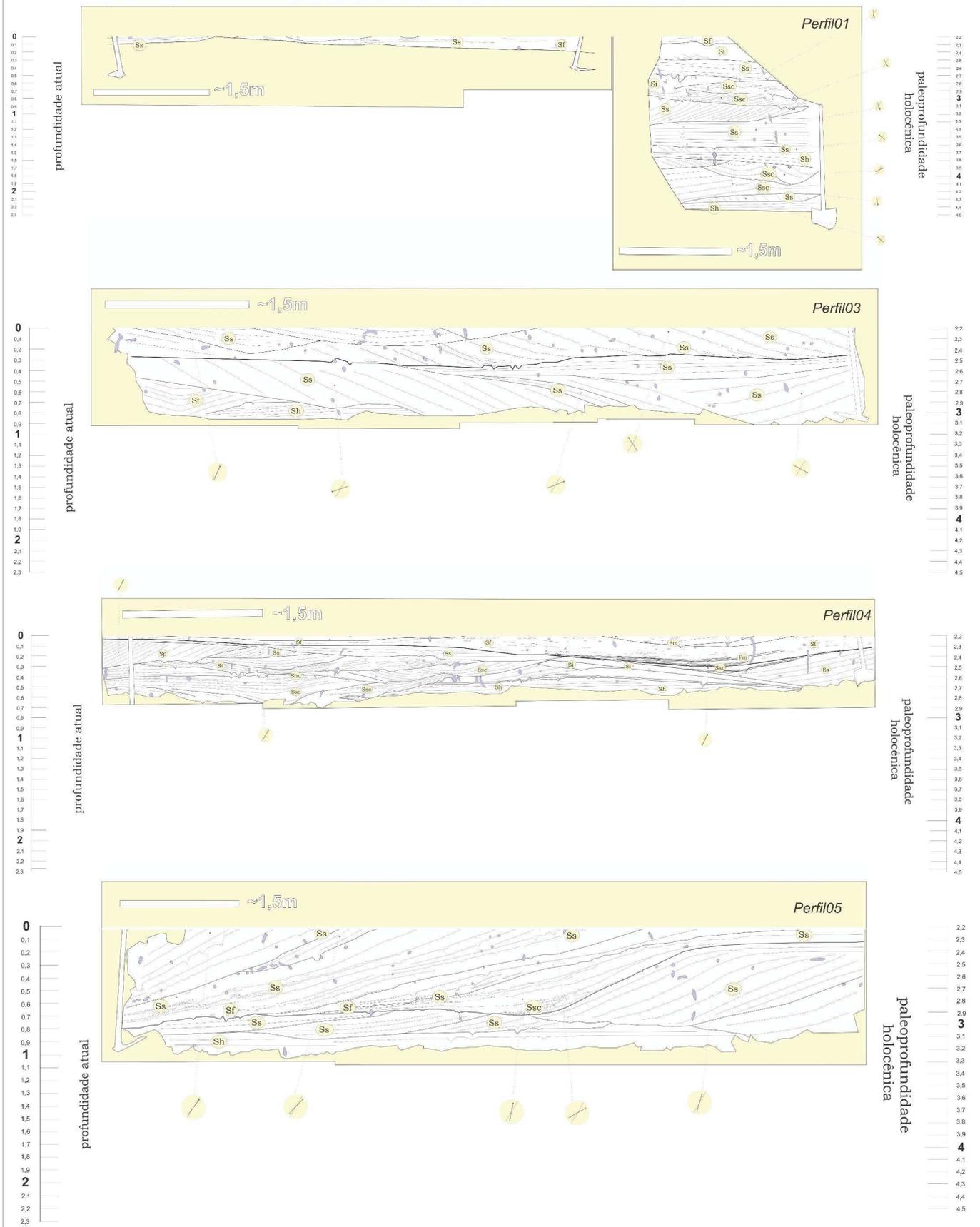


Figura 23: Associação de fácies Face litorânea média (MS).

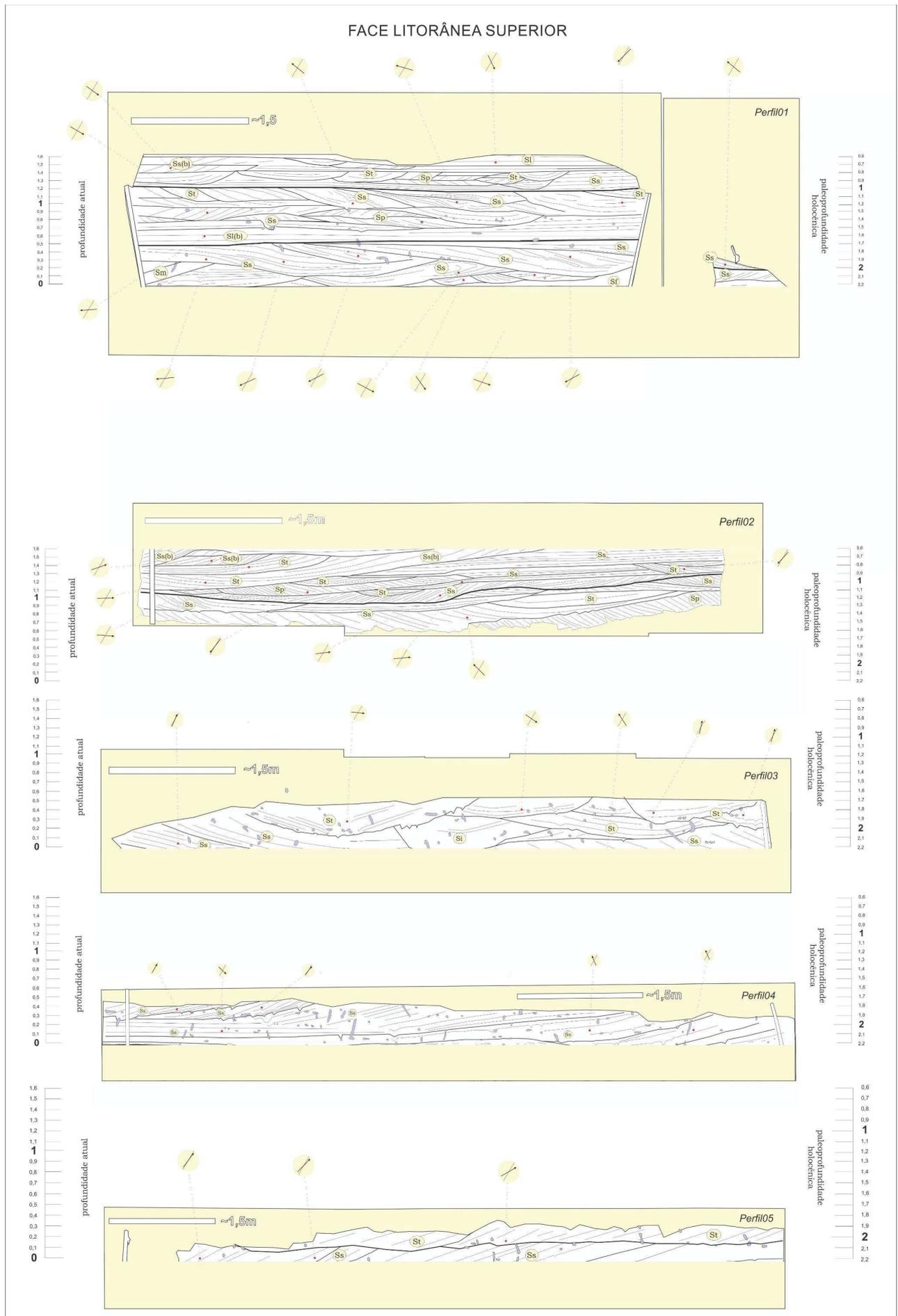


Figura 24: Associação de fácies Face litorânea superior (US).

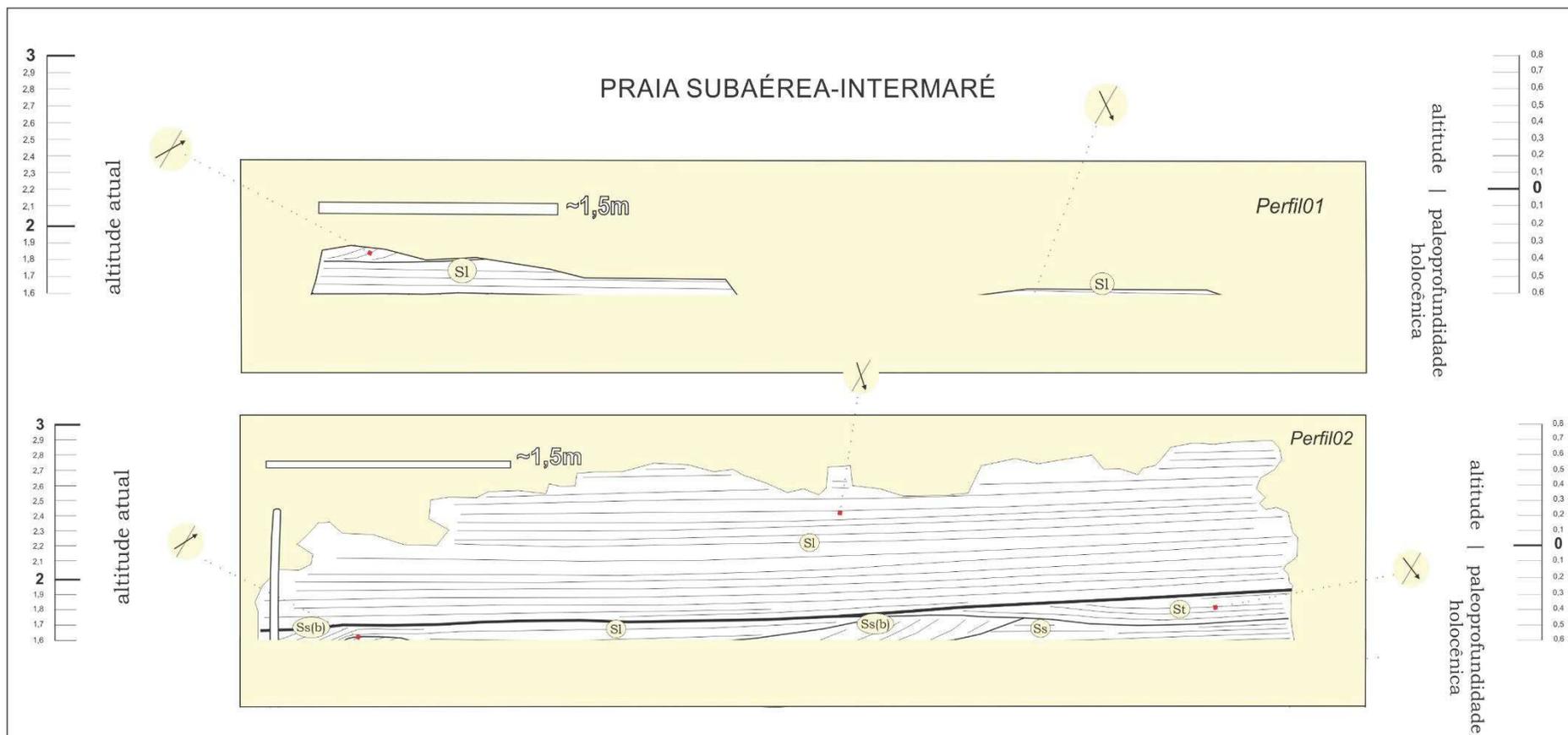


Figura 25: Associação de fácies Praia subaérea-intermaré (

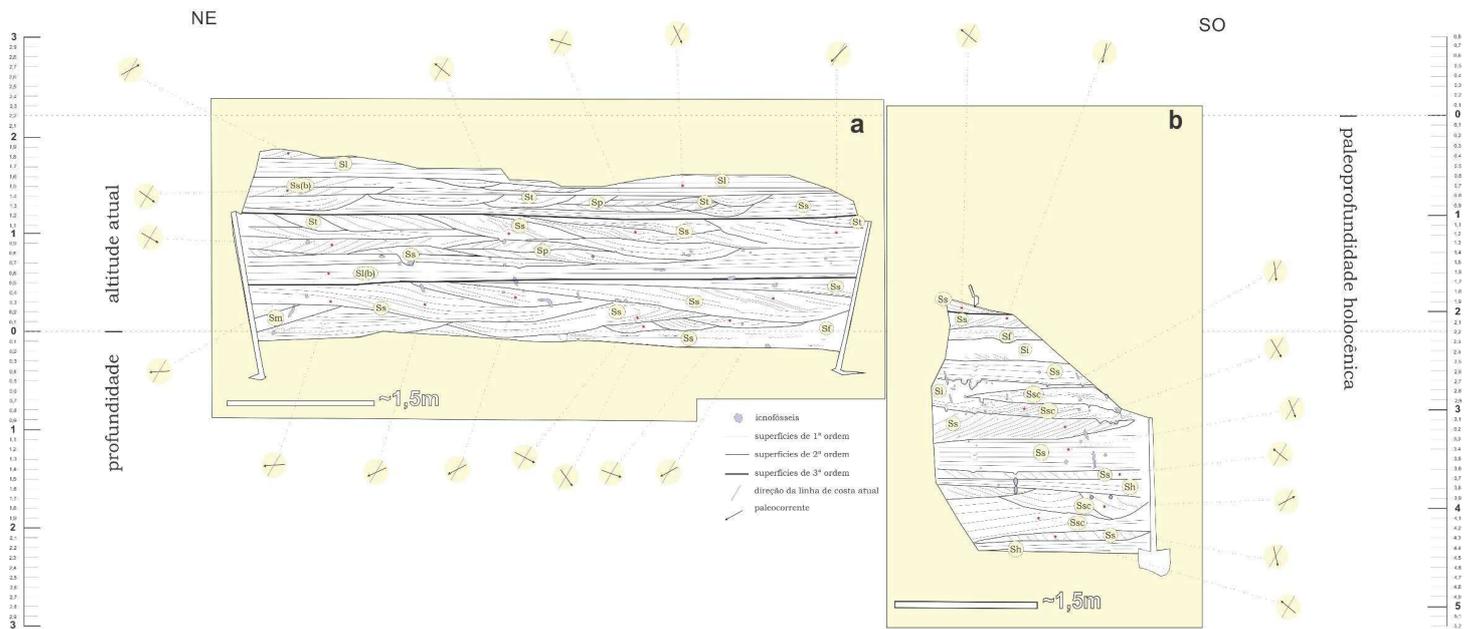
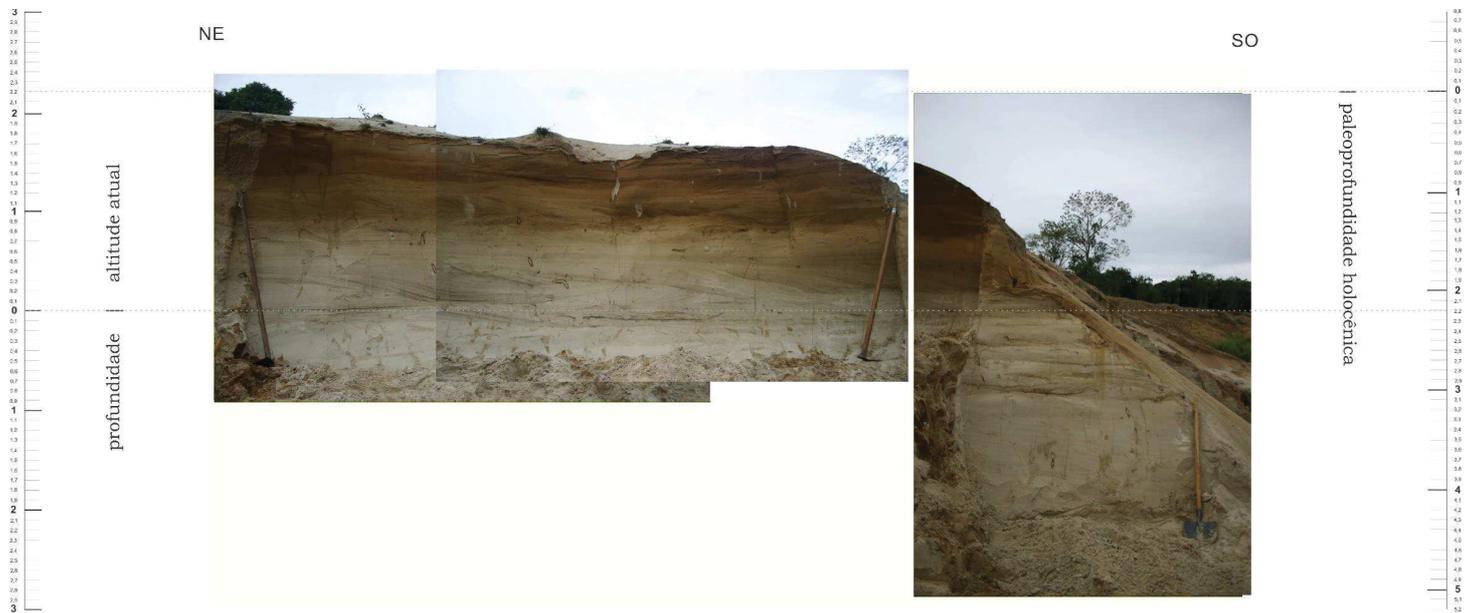


Figura 26: Perfil01, acima seu fotomosaico e abaixo sua descrição: areia com estratificação cruzada plana (Sp); areia com estratificação cruzada acanalada (St); areia com estratificação cruzada plana de baixo ângulo relacionada ao depósito de barras (SI(b)); areia maciça (Sm); areia com estratificação cruzada de baixo ângulo (SI); areia com estratificação cruzada sigmóide (Ss); areia com estratificação cruzada sigmóide do "pé da praia" (Ss(b)); areia com estratificação cruzada *swaley* (Ssc); areia com estratificação flaser (Sf); areia com estruturas indeterminadas (S(i)); areia com estratificação plano paralela (Sh).

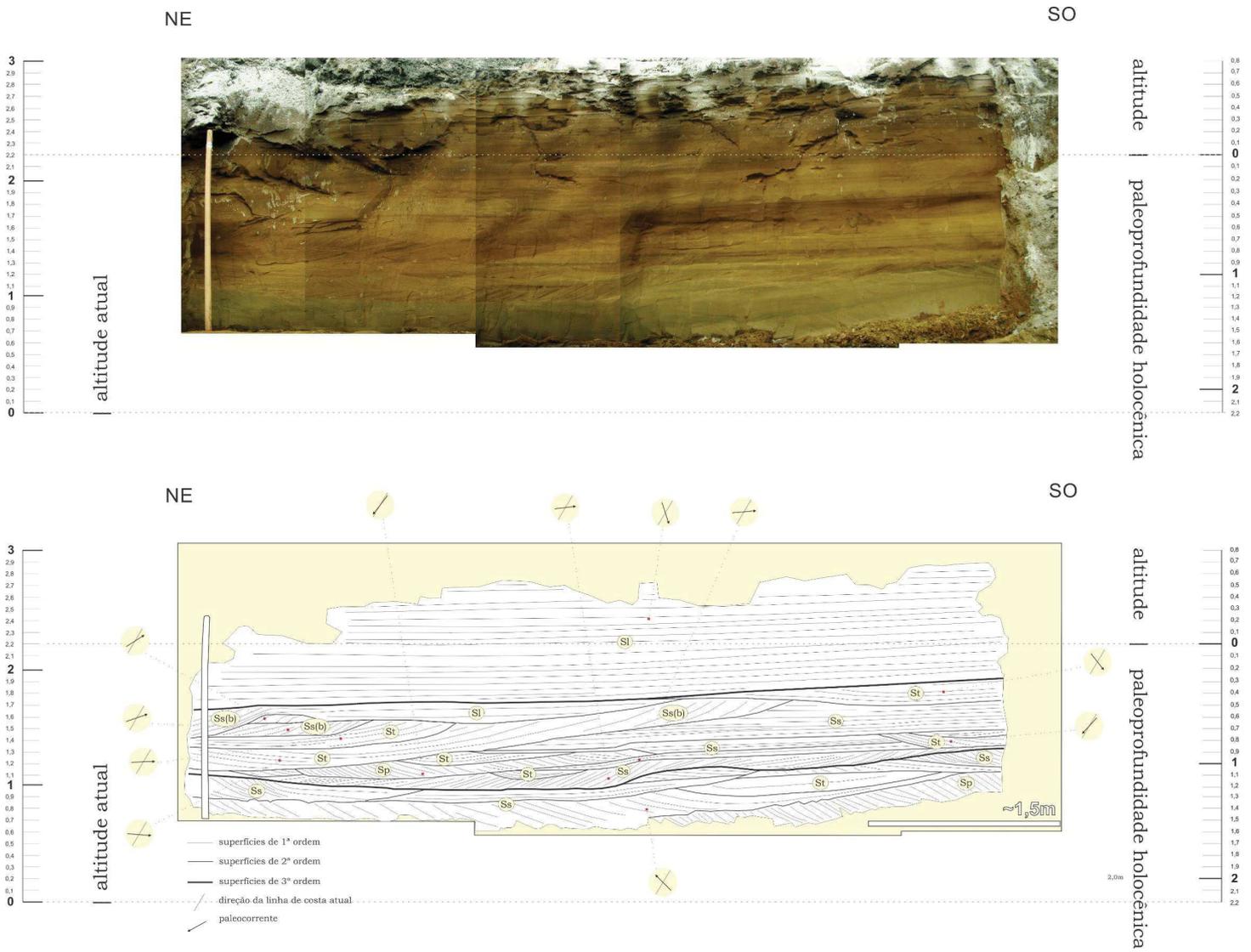


Figura 27: Perfil02, acima seu fotomosaico e abaixo sua descrição: areia com estratificação cruzada plana (Sp); areia com estratificação cruzada acanalada (St); areia com estratificação cruzada de baixo ângulo (Sl); areia com estratificação cruzada sigmóide (Ss); areia com estratificação cruzada sigmóide do "pé da praia" (Ss(b)).

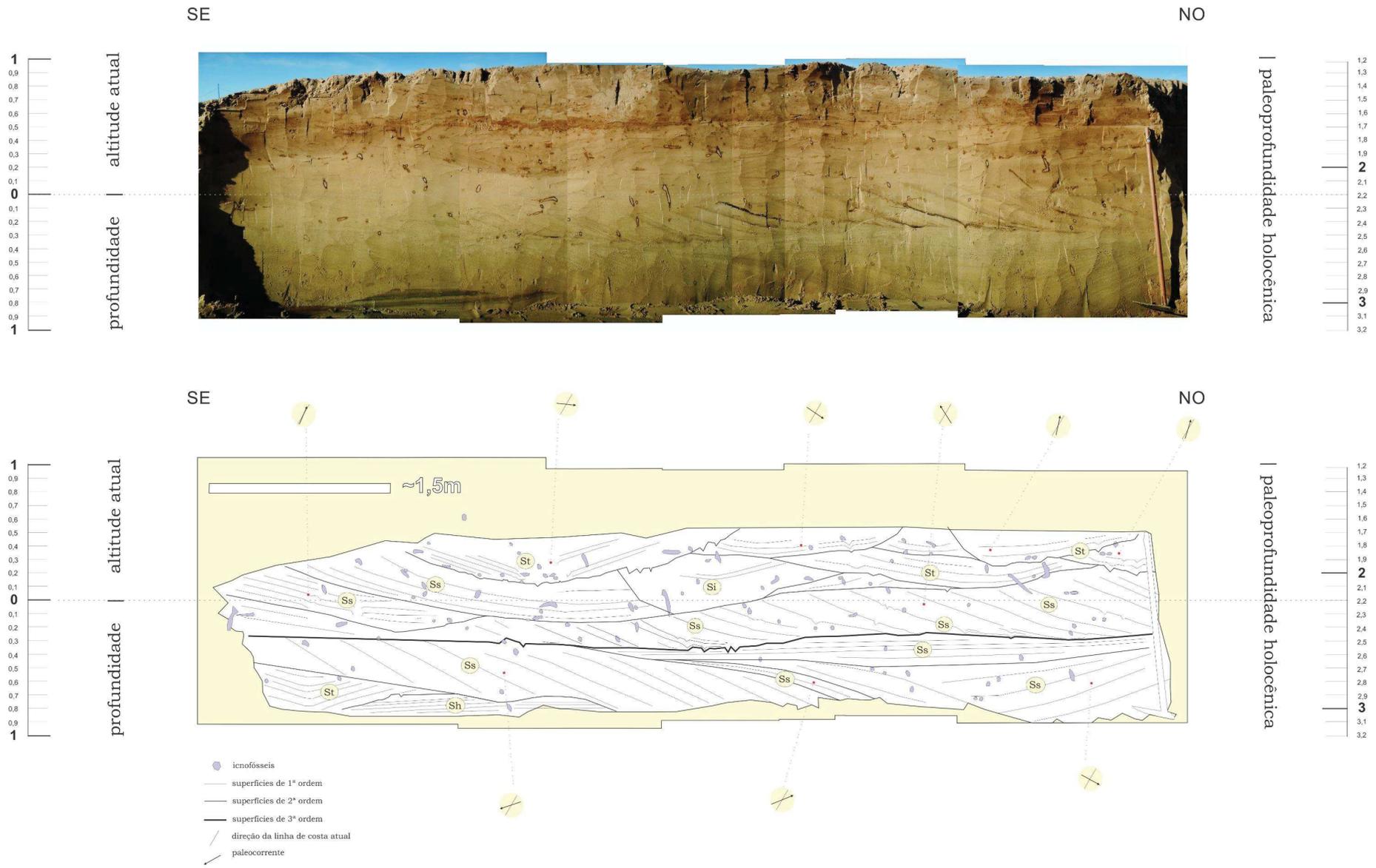


Figura 28: Perfil03, acima seu fotomosaico e abaixo sua descrição: areia com estratificação cruzada acanalada (St); areia com estratificação plano paralela (Sh); areia com estratificação cruzada sigmóide (Ss) e areia com estruturas indeterminadas (S(i)).

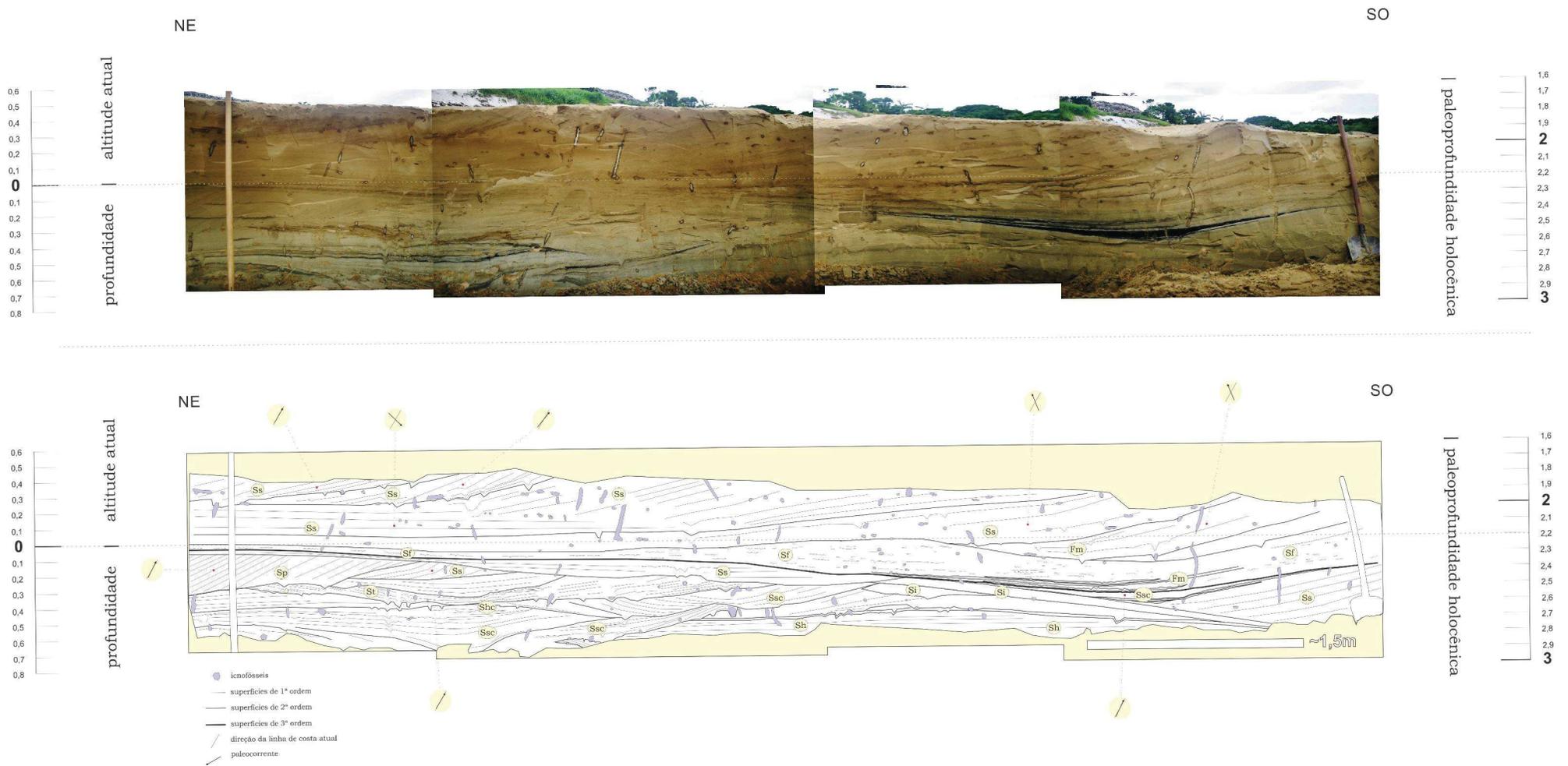


Figura 29: Perfil04, acima seu fotomosaico e abaixo sua descrição: areia com estratificação cruzada plana (Sp); areia com estratificação cruzada acanalada (St); areia com estratificação cruzada *swaley* (Ssc); areia com estratificação plano paralela (Sh); areia com estruturas indeterminadas (S(i)); areia com estratificação cruzada sigmóide (Ss); areia com estratificação flaser (Sf) e areia com estratificação cruzada *hummocky* (Shc).

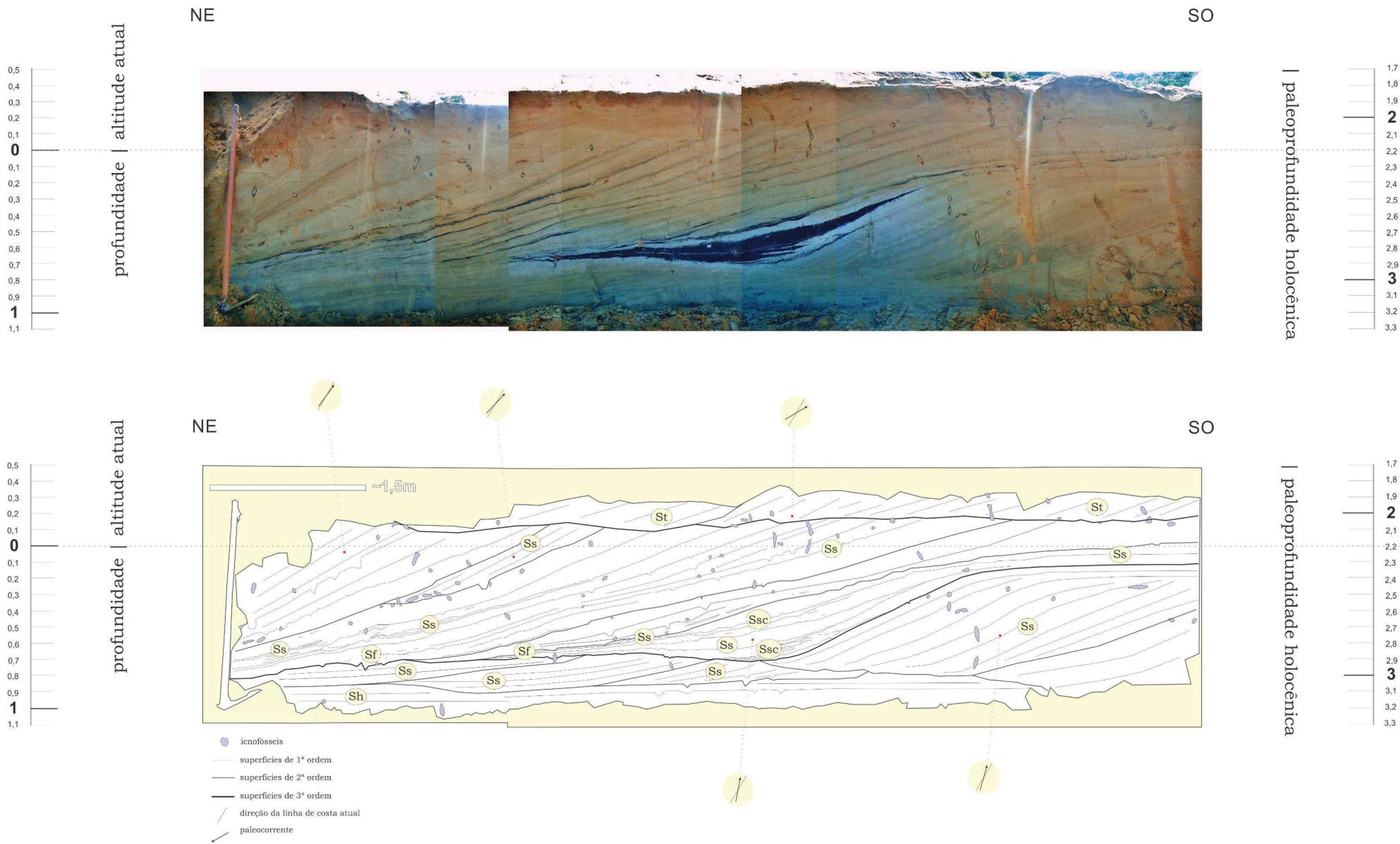


Figura 30: Perfil05, acima seu fotomosaico e abaixo sua descrição: areia com estratificação cruzada acanalada (St); areia com estratificação plano paralela (Sh); areia com estratificação cruzada sigmóide (Ss); areia com estratificação cruzada swaley (Ssc) e areia com estratificação flaser (Sf).

5.3.1 Superfícies de 1ª ordem

Limitam estratos cruzados individuais do mesmo tipo, com pouca ou nenhuma erosão interna associada, estas superfícies separam sequências cíclicas de pequena escala, mostrando continuidade na sedimentação (Figura 31).

5.3.2 Superfícies de 2ª ordem

Limitam erosivamente distintas estruturas físicas, as quais podem, ou não, estarem associadas ao mesmo processo de deposição. Representam variações na direção ou característica do fluxo (Figura 32).

5.3.3 Superfícies de 3ª ordem

Limitam depósitos oriundos de distintos processos de deposição ou eventos de maior energia. Representam mudanças nas características do fluxo (ambiente) ou mudanças na forma de fundo provocadas por eventos sazonais de alta energia (Figura 33).

5.4 PERFIS DESCRITOS E A BARREIRA

A barreira é constituída principalmente por areia quartzosa com predominância das frações muito fina e fina, possuindo também, em menor quantidade, as frações de areia média a grossa e deposições de matéria orgânica e detritos vegetais (que podem chegar até fragmentos grandes de troncos). A parte média da barreira é composta de areia quartzosa muito fina a fina, podendo conter ainda a presença de minerais pesados, fragmentos de madeira e lama, além disso, é observada abundância de icnofósseis (tubos de *Ophiomorpha*) e bioturbação. Na parte superior da barreira é observada a predominância de areia quartzosa fina a grossa, bem a mal selecionada e com traços de bioclastos e minerais pesados.

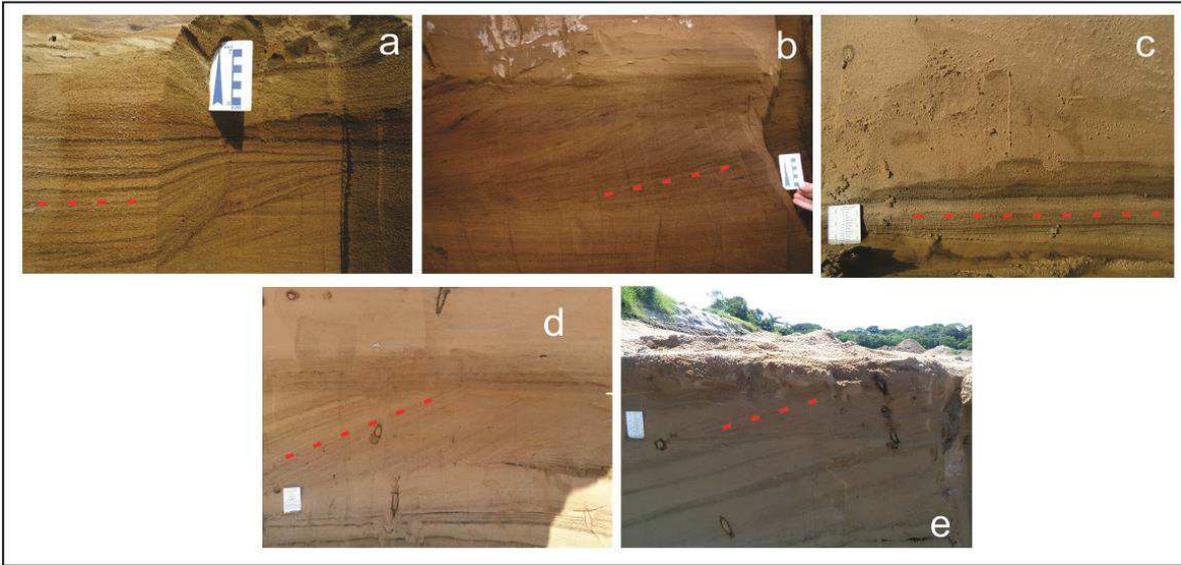


Figura 31: Exemplos de superfícies de 1ª ordem nos perfis descritos: (a) Perfil01; (b) Perfil02; (c) Perfil03; (d) Perfil04; (e) Perfil05.

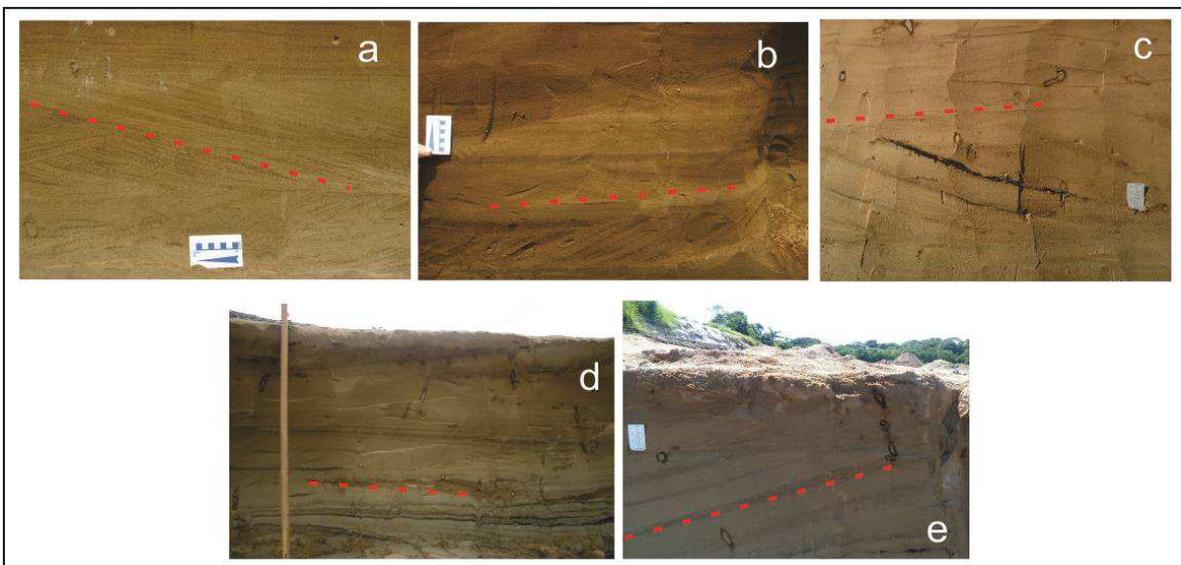


Figura 32: Exemplos de superfícies de 2ª ordem nos perfis descritos: (a) Perfil01; (b) Perfil02; (c) Perfil03; (d) Perfil04; (e) Perfil05.

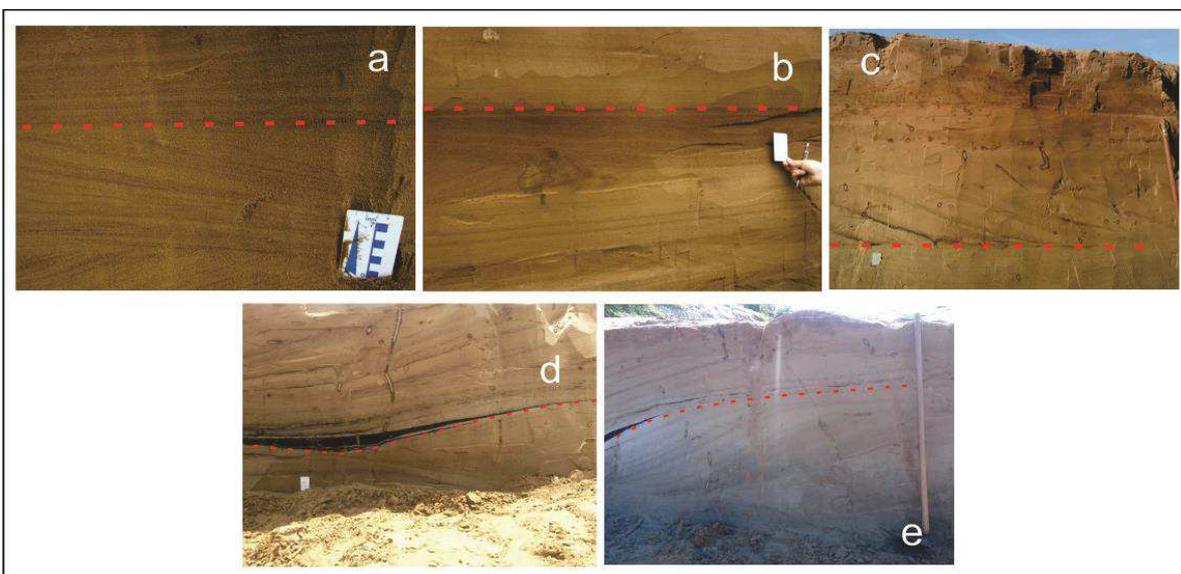


Figura 33: Exemplos de superfícies de 3ª ordem nos perfis descritos: (a) Perfil01; (b) Perfil02; (c) Perfil03; (d) Perfil04; (e) Perfil05.

Dentre as superfícies classificadas como de 3ª ordem, algumas se apresentam tabulares no topo da barreira (Perfil01a e Perfil02) (Figura 29 e 30), estas, estão associadas às fácies (Sl), (Ss) e Sl(b) e estão contidas nas associações de fácies (F) e (US). Outras superfícies de 3ª ordem, se apresentam lenticulares na parte média da barreira (Perfil03, Perfil04 e Perfil05) (Figura 31, 32 e 33), estão associadas às fácies (Ss), (Ssc) e (Sf) e estão contidas na associação de fácies (MS).

6 DISCUSSÃO

6.1 ESTRATIGRAFIA DA BARREIRA E INTERPRETAÇÃO PALEOAMBIENTAL

Baseado na curva no nível relativo do mar proposta por Angulo *et al.* (2006b) para a costa paranaense, o mar teria alcançado um nível máximo em torno de $3,5 \pm 1,0$ m entre 7.000 e 5.000 anos. Deste modo, a paleopropriedade média holocênica encontrada para o presente trabalho ($2,2 \text{ m} \pm 0,7 \text{ m}$) está contida na curva proposta por Angulo *et al.* (2006b) e, se aproxima ainda mais, à sugerida por Souza (2005) ($2,0 \text{ m} \pm 1,0 \text{ m}$) para o período de construção da barreira, estipulado através de datações ^{14}C por Souza (2005) como sendo entre 4.400 e 2.750 anos ^{14}C cal.

De modo geral, para toda a barreira foi observada uma distinção no tamanho do grão e nos padrões de estruturas sedimentares entre a parte média (areia mais fina, lama, matéria orgânica e detritos vegetais com maior influência de fluxos oscilatórios depositada na face litorânea média) e a parte superior (areia de maior fração depositada na face litorânea superior e na praia subaérea-intermaré), formando uma arquitetura com dois níveis de clinofórmulas progradantes: o primeiro, inferior, com *sets* de deposição maiores (estruturas deposicionais maiores) e o segundo, o superior, com *sets* de deposição menores (estruturas deposicionais menores), em conformidade com resultados encontrados por Fraser *et al.* (2005) para uma barreira regressiva (progradante).

Corroborando com o trabalho de Souza (2005) e Souza *et al.* (2012) para a mesma região, a barreira é constituída principalmente por areia quartzosa fina e muito fina, com menor porcentagem de outras frações de areia, possuindo ainda minerais pesados, matéria orgânica e detritos vegetais. As fácies e associações de fácies identificadas no presente estudo sugerem sua formação em ambiente costeiro de média a alta energia de ondas, sob influência de eventos de alta energia (tempestades), assim como descrito por Souza (2005) Souza *et al.* (2012).

A fácies (Sl(b)), contida na associação (US), está associada às barras submersas do sistema praial, de acordo com Aagaard & Masselink (1999), depósitos relativos à migração de barras submersas geram estruturas plano paralelas. Tendo em vista que a fácies (Sl(b)) encontra-se em uma paleopropriedade aproximada de $1,6 \text{ m} \pm 0,7 \text{ m}$, tal depósito seria possível na barreira, pois, no atual litoral paranaense, Quadros *et al.* (2007) descreveram a ocorrência da primeira barra submersa a uma profundidade de 1,5 m de lâmina d'água.

Em relação às fácies descritas por Souza *et al.* (2012) e identificadas no presente trabalho, duas (Fm e Shc) foram encontradas ligeiramente mais rasas do que no trabalho dos autores. A fácies (Fm) é formada por decantação, durante períodos hidrodinamicamente mais calmos, enquanto que a fácies (Shc) é formada por fluxos oscilatórios gerado por ondas (Souza *et al.* 2012).

Estruturas tipo *hummockies* (*hummocky* e *swaley*) são consideradas estruturas de tração e decantação. Do ponto de vista hidrodinâmico, estruturas sedimentares tipo *hummockies* podem ser depositadas por fluxos puramente oscilatórios; fluxos combinados lineares e com periodicidade; fluxos combinados aleatórios multidirecionais e até mesmo fluxos unidirecionais (Tinterri 2011). Fluxos puramente oscilatórios e fluxos combinados podem produzir estruturas *hummocky* quando a componente oscilatória é caracterizada por uma velocidade orbital relativamente alta ($U_o > 40 \text{ cm/s}$) e os períodos são de 8 a 10s. Os fluxos puramente unidirecionais podem produzir estruturas do tipo *hummocky* de diferentes maneiras: antidunas (Alexander *et al.* 2001, Fielding 2006); por tipos

particulares de dunas produzidas sob altas taxas de decantação, na transição entre dunas e leitos planos (Allen & Underhill, 1989) e por dunas tipo *climbing*, dunas geradas na base de fluxo com altas taxas de decantação (Mutti *et al.* 1996).

Assim, supõe-se que as fácies (Fm) e (Shc), encontradas no presente trabalho (Perfil03, na Figura 28) possam estar associadas a região praial de *megaripples* lunadas sob influência de fluxos oscilatórios de alta energia, alternados por altas taxas de decantação com periodicidade (correntes de maré). Segundo Aagaard & Masselink (1999), estruturas de megarripples lunadas ocorrem após a região das barras submersas, o que corrobora com a paleopropriedade encontrada para o depósito, uma vez que (Fm) e (Shc) foram encontradas entre 2,0-3,0 m \pm 0,7m de paleopropriedade.

Sabendo que as estruturas sedimentares geradas por fluxos combinados tendem a ser caracterizadas por uma assimetria cada vez mais marcada com aumento da componente unidirecional sobre a oscilatória (Harms *et al.* 1982, Dott & Bourgeois 1982, Southard *et al.* 1990, Arnott & Southard 1990, Dumas *et al.* 2005), a diferença de simetria das estruturas (Ssc) no Perfil04 e Perfil05 (passando de relativamente simétrica para assimétrica) (Figura 29 e 30), poderia ser explicada por um aumento na componente unidirecional do fluxo. Os detritos vegetais (fragmentos de troncos) associado ao depósito destas duas grandes estruturas (Ssc), como sugeriram Souza (2005) e Souza *et al.* (2012) através de datações de ^{14}C , foram depositados centenas a milhares de anos após a morte dos vegetais que lhe deram origem, estes foram transportados por correntes de maré vazante, através dos complexos estuarinos de Paranaguá e Guaratuba, do continente para a plataforma interna, quando o mar possuía níveis semelhantes ou superiores ao atual - entre 8.000 e 5.000 anos A.P - durante o máximo de elevação do nível do mar no Holoceno. Os detritos vegetais foram depositados na plataforma interna, além do limite de ação de ondas de tempestade (durante o período de nível de mar alto) e com a descida progressiva do nível do mar começaram a ser retrabalhados por ondas de tempestade e carreados em direção ao continente até atingirem a face litorânea inferior e média (Souza 2005, Souza *et al.* 2012).

6.2 A RELAÇÃO DAS SUPERFÍCIES DE 3ª ORDEM COM A BARREIRA

As superfícies de descontinuidade de 1ª ordem se apresentam como lâminas, dentro das estruturas sedimentares, que separam sequências cíclicas de pequena escala, mostrando continuidade na sedimentação e ausência de erosão. As superfícies de descontinuidade de 2ª ordem se apresentam como os limites das de 1ª ordem e representam variações na direção ou características do fluxo com ou sem evidência de erosão. Já as superfícies de 3ª ordem, se apresentaram de duas maneiras: representam mudanças nas características do fluxo/ambiente e no segundo representam mudança na forma de fundo provocada por eventos episódicos de alta energia.

Nas associações de fácies (F) e (US), as superfícies de maior continuidade lateral (3ª ordem) estão relacionadas a depósitos referentes à face praial (SI); à migração de dunas subaquosas com cristas retas (Ss) e com cristas sinuosas a linguóides (St) e à migração de barras submersas (SI(b)) (Figura 24 e 25) .

Na associação de fácies (MS), as superfícies de maior continuidade lateral (3ª ordem) estão relacionadas à deposição decorrente de fluxos oscilatórios e/ou combinados (Ssc) e (Sf). Estas superfícies, juntamente a seus depósitos (Figura 23, 29 e 30), sugerem eventos de alta energia, os quais estão associados a formação de estruturas tipo *swaley* (estruturas de tração e decantação) e que podem ter sido preservados em ambientes mais rasos devido à alta taxa de decantação do meio, alta o suficiente para suprimir a turbulência necessária para a formação de ripples e dunas (Leclair & Arnott 2005, Dumas & Arnott 2006).

No Perfil03 (Figura 28) há uma visão lateral da estrutura sigmóide descrita no Perfil05 (Figura 30) e, devido a sua menor espessura, se comparada a estrutura vista no Perfil05, é possível aferir que a estrutura é pontual na barreira, ou ao menos não possui ampla continuidade lateral.

Ao observarmos o fotomosaico paralelo a linha de costa (Figura 7), vemos que este padrão de superfície lensoidal com presença de matéria orgânica se

repete ao longo da barreira. Aproximadamente na mesma profundidade, no fotomosaico perpendicular à linha de costa, é possível observar superfícies migrando em direção (aparente) ao continente. Uma vez que as superfícies lensoidais, relacionadas a grandes estruturas sigmóides (Ss) e com depósito de matéria orgânica (Ssc) observadas no Perfil05 e que as superfícies migrando para o continente (Ss) no Perfil04 possam estar relacionadas às superfícies observadas ao longo da barreira (fotomosaicos), sugere-se que os depósitos relacionados a elas, discutidos anteriormente como megaripples lunadas sob influência de eventos de alta energia, possam se tratar de um elemento deposicional da barreira oriundo de eventos episódicos como a passagem de frentes frias e tempestades, as quais, podem gerar marés meteorológicas de 0,6 até 0,8 m superior do nível de maré previsto (astronômica) (Angulo 1992, Marone & Camargo 1995). As ondas são provenientes de SSE/SE e possuem característica não linear de propagação, implicando maior poder energético na ressuspensão e no transporte de sedimentos Marone *et. al.* (1997).

Ao observar o fotomosaico perpendicular e o fotomosaico paralelo a linha de costa (Figura 7), são observadas grandes superfícies plano paralelas no topo da barreira, as quais podem estar relacionadas aos depósitos de face praial ou de barras submersas, descritas no Perfil01a e Perfil02, de modo que estes também possam se tratar de elementos arquitetônicos da barreira.

7 CONCLUSÃO

A partir dos perfis descritos, superfícies de ampla continuidade lateral puderam ser identificadas na (F), (US) e (MS). Destas superfícies, algumas possuem como significado a mudança das características do fluxo, diretamente associada a mudança do ambiente de deposição, como no caso das superfícies observadas na praia subaérea-intermaré e na face litorânea superior; já na face litorânea média, as superfícies estão associadas a eventos de alta energia, relacionados a passagens de frentes frias, as quais são frequentes no análogo atual.

Assim, conclui-se que as grandes discontinuidades observadas na barreira estão relacionadas tanto a possíveis elementos arquitetônicos da barreira (face praial e barras submersas) como a eventos de alta energia (passagem de frentes frias).

8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise de fácies e das discontinuidades estratigráficas permite uma reconstituição paleoambiental mais detalhada, de modo que, a análise dos depósitos quaternários (registro de eventos atuais e de um passado geológico recente) é fundamental para a avaliação dos eventos deposicionais, podendo fornecer informações mais completas em termos de magnitude, frequência e preservação.

O grande desafio em estudos de estratigrafia no Quaternário é superar dificuldades metodológicas, relacionadas ao seu caráter interdisciplinar e ao nível de precisão exigido para estes estudos. O desenvolvimento de estudos no âmbito da arquitetura deposicional e das superfícies de discontinuidade resulta no conhecimento das relações laterais das fácies e na identificação das variações locais na deposição, o que os estudos de fácies e associações de fácies convencionais dificilmente conseguem mostrar.

O trabalho apresentado demonstra que a utilização do método de análise de elementos arquitetônicos fornece informações importantes em relação aos contatos laterais das fácies e complementa as informações de fácies e associação de fácies, além disso, demonstra que o método é aplicável também ao ambiente costeiro, o qual possui grande preservação das estruturas sedimentares. As dificuldades observadas na aplicação do método são comuns a todas as novas técnicas devido ao pouco conhecimento e ao pequeno acúmulo de exemplos estudados. Para o melhor entendimento das superfícies de discontinuidade são necessárias mais descrições em afloramentos costeiros quaternários mais extensos, os quais raramente estão expostos para estudos por métodos diretos, o que acarreta na obtenção de dados por métodos indiretos (geofísicos) na maioria dos estudos.

9 REFERÊNCIAS

- AAGAARD T. & MASSELINK G. 1999. The Surf Zone. In: SHORT A. D. 1999. Handbook of Beach and Shoreface Morphodynamics. Book Ed. John Wiley 7 Sons Ltd, Inglaterra. Pp 101.
- AINSWORTH R.B., VAKARELOV B.V., NANSON R.A. 2011. Dynamic spatial and temporal prediction of changes in depositional processes on clastic shorelines: Towards improved subsurface uncertainty reduction and management. *AAPG Bulletin*. v. 95, pp. 267–297.
- ALEXANDER J., BRIDGE J.S., CHEEL R. J., LECLAIR S.F. 2001. Bedforms and associated sedimentary structures formed under supercritical water flow over aggradating beds. *Sedimentology*. v.48, pp.133-152.
- ALLEN, J.R.L. 1978. Studies in fluvial sedimentation: an exploratory quantitative model for the architecture of avulsion controlled alluvial suites. *Sedimentary Geology*, Amsterdam, v. 21. pp.129-147.
- ALLEN J.R.L. 1983. Studies in fluvial sedimentation: bars, bar-complexes and sandstone sheets (low-sinuosity braided streams) in the Brownstones (L. Devonian), Welsh Borders. *Sedimentary Geology*, v.33, pp.237-293
- ALLEN P.A. & UNDERHILL J.R. 1989. Swaley cross-stratification produced by unidirectional flow, Bencliff Grit (Upper Jurassic), Dorset, UK. *Jour. Geol. Soc. London*. v.146, pp-241-252.
- ANDERTON R. 1985. Clastic facies models and facies analysis. In: P.J. Brenchley & B.P.J. Williams, (eds.) Recent Developments and Applied Aspects., Oxford, Blackwell Scientific Publ. *The Geol. Soc.* pp.31-47.
- ANGULO R.J. 1992. Geologia da planície costeira do Estado do Paraná. São Paulo, Instituto de Geociências - USP. *Tese de doutoramento*. pp. -334.
- ANGULO R.J. 1993. Morfologia e gênese das dunas frontais do Litoral do Estado do Paraná. *Revista Brasileira de Geociências*. v.23(1), pp.68-80.
- ANGULO R.J., 2004. Mapa do Cenozóico do litoral do Estado do Paraná. *Boletim Paranaense de geociências*, Curitiba, 55, 25–42 (CD-Rom com mapa).
- ANGULO, R. J. & ARAÚJO, A. D. 1996. Classificação da Costa Paranaense Com Base Na Sua Dinâmica, Como Subsídio À Ocupação da Orla Litorânea. *Boletim Paranaense de Geociências*, Curitiba, v. 44, pp. 7-17.
- ANGULO R.J. & LESSA G.C. 1997. The Brazilian sea level curves: a critical review with emphasis on the curves from Paranaguá and Cananeia regions. *Marine Geology*, v.140, pp.141-166.
- ANGULO R.J., LESSA G.C., SOUZA M.C. 2006b. A Critical Review of Mid- to Late Holocene Sea-level Fluctuations on the Eastern Brazilian Coastline. *Quaternary Science Reviews*, v.25, pp 486-506.
- ANGULO R.J., LESSA G.C., SOUZA M.C. 2009. The Holocene Barrier Systems of Paranaguá and Northern Santa Catarina Coasts, Southern Brazil. Lecture Notes in Earth Sciences. *Geology and Geomorphology of Holocene Coastal Barriers of Brazil*, 107. SpringerVerlag (Orgs. Dillenburg S.R & Hesp P.A.) pp. 135–176.

- ANGULO R.J., SOUZA M.C., LAMOUR M.R., 2006a. Coastal erosion problems induced by dredging activities in the navigation channel of Paranaguá and São Francisco do sul harbor, southern Brazil. *Journal of Coastal Research* SI-39, 1801–1803.
- ARNOTT R.W. & SOUTHARD J.B., 1990. Exploratory flow-duct experiments on combined-flow bed configurations, and some implications for interpreting storm event stratification. *Journal of Sedimentary Petrology*. v.60, pp.211-219.
- BHATTACHARYA J.P. 1993. The expression and interpretation of marine flooding surfaces and erosional surfaces in core: examples from the upper Cretaceous Dunvegan formation, Alberta foreland basin, Canada. In: POSAMANTIER H.W., SUMMERHAYES C.P., HAQ B.U., ALLEN G.P. Sequence Stratigraphy and Facies Associations. *Special Publication. International Association of Sedimentology*. v.18, pp.125-160.
- BOYD R., DALRYMPLE R., ZAITLIN B.A. 1992. Classification of clastic coastal depositional environments. *Sedimentary Geology*. v. 80, pp.139–150.
- BRIERLEY G.J. 1991a. Bar sedimentology of the Squamish River, British Columbia: definition and application of morphostratigraphic units. *Journal of Sedimentary Petrology*. v. 61. pp-211-225
- BRIERLEY G.J. 1991b. Floodplain sedimentology of the Squamish River, British Columbia: relevance of element analysis. *Sedimentology*. v. 38. pp-753-750
- BRIERLEY G.J. & HICKIN E.J. 1991. Channel planform as a non-controlling factor in fluvial sedimentology: the case of the Squamish River floodplain, British Columbia. *Sedimentary Geology*. v. 75. pp. 67-83
- BROOKFIELD M.E. 1977. The origin of boundaries in ancient aeolian sandstones: *Sedimentology*, v. 24, pp. 303-332.
- CAMARGO R. & MARONE E. 1996. Vento e variação do nível do mar: Observações na Baía de Paranaguá, PR. In: Simpósio Sobre Oceanografia, III, IO-USP. São Paulo - SP.
- CATUNEANU O. 2006. *Principles of Sequence Stratigraphy*. University of Alberta, Edmonton, Canada. pp. 327-332.
- CLIFTON H.E. 1976. Wave formed sedimentary structures – a conceptual model. In: Davies R. A. & Ethington R. L. (eds). Beach and Nearshore sedimentation : *SEPM Special Publication*. v.24. pp 126-148.
- CLIFTON H.E. 1981. Progradational sequences in Miocene shoreline deposits, southeastern Caliente Range, California. *Journal of Sedimentary Petrology*, v.51, pp.165-184.
- COLLINSON J.D. 1969. The sedimentology of the Grindslow Shales and the Kinderscout Grit: a deltaic complex in the Namurian of northern England: *Journal of Sedimentary Petrology*, v. 39, pp.194-221.
- CROWE D.E. & DAVIS R.A. 1985. Stratigraphy and Geologic History, Bunces Key, Pinellas County, Florida. Geol. Soc. Am. Annu. Mtg. Guidebook, Orlando, FL.

- CURRAY J.R. 1969. History of continental shelves. In: New concepts of continental margin sedimentation, ed: Stanley D.J., Washington DC. American Geological Institute. pp.1-7.
- DALRYMPLE W.R. 2010. Interpreting sedimentary successions: Facies, Facies Analysis and Facies Models, In Facies Models 4. (Eds. Noel P. James & Robert W. Dalrymple). Department of Geological Sciences and Geological Engineering Queen's University, Canada.
- DAVIS Jr.R.A. & HAYES M.O. 1984. What is a wave dominated coast? *Marine Geology*. v.60, pp.313–329.
- DAVIS Jr.R.A. & KUHN B.J. 1985. Origin and development of Anclote Key, west peninsular Florida. *Marine Geology*. v.63, pp.153-171.
- DAVIS Jr.R.A., YALE K.E., PEKALA J.M., HAMILTON M.V. 2003. Barrier island stratigraphy and Holocene history of west-central Florida. *Marine Geology* v.200, 103–123.
- DILLENBURG S.R., HESP P.A. 2009. Coastal Barriers – An Introduction. Geology and Geomorphology of Holocene Coastal Barriers of Brazil Lecture Notes in Earth Sciences. Springer. Berlin. v.107, pp 1-15.
- DILENBURG S.R., ROY P.S., COWELL P.J., TOMAZELLI L.J. 2000. Influence of antecedent topography on coastal evolution as tested by the shoreface translation-barrier model (STM). *Journal of Coastal Research*, v.16(1), pp.71-81.
- DOMINGUEZ J.M.L. & WANLESS H.R. 1991. Facies architecture of falling sea-level strandplain, Doce river coast, Brazil. In. SWIFT D.J.P, OERTEL G.F., TILLMAN R.W., THORNE J.A. (eds). *Shelf sand and sandstone bodies: geometry, facies and sequence stratigraphy*. Special publications no 14 of the International Association of Sedimentologists. Oxford Blackwell Scientific Publications, pp.259-281.
- DOTT Jr. R.H. 1983. Episodic sedimentation - how normal is average? How rare is rare? Does it matter? *Journal of Sedimentary Petrologist*, Tulsa, 53(1) :5-23.
- DOTT Jr. R.H. 1988. Something old, something new, something borrowed, something blue - a hindsight and foresight of sedimentary geology. *Journal of Sedimentary Petrologist*. , Tulsa, 58(2):358-64.
- DOTT Jr. R.H. & BOURGEOIS J. 1982. Hummocky stratification: Significance Significance of its variable bedding sequences. *Geol. Soc. Am. Bull.* v.93, 663-680.
- DOUGHERTY A.J & NICHOL S.L. 2007. Detailed 3-D models of New Zealand barrier stratigraphy provide insight into coastal evolution in various spatial and temporal settings. *Coastal Sediments* v.07.
- DUMAS S. & ARNOTT R.C.W. 2006. Origin of hummocky and swaley cross-stratification. The controlling influence of unidirectional current strength and aggradation rate. *Geology*, v.34, pp.1073-1076.
- DUMAS S., ARNOTT R.C.W., SOUTHARD J.B. 2005. Experiments on oscillatory flow and combined flow bed forms: implications for interpreting parts of the

- shallow-marine sedimentary record. *Journal of Sedimentary Research*. v.75, pp.501-513.
- FERREIRA Jr. P.D., CASTRO P.T.A., GUERRA W.J. 1995. Aplicação de elementos arquiteturais na prospecção de diamantes nos conglomerados polimíticos de Romaria no Triângulo Mineiro. In: SBG/Núcleo Minas Gerais. *Simpósio de Geologia de Minas Gerais*. 8, Diamantina, *Anais*. v.13, pp.125-127.
- FIELDING C.R. 2006. Upper flow regime sheets, lenses and scour fills: extending the range of architectural elements for fluvial sediment bodies. *Sedimentary Geology*. v.190, pp.227-240.
- FRASER C., HILL P.R., ALLARD M. 2005. Morphology and facies architecture of a falling sea level strandplain, Umiujaq, Hudson Bay, Canada. *Sedimentology*. v.52, pp.141–160.
- FRIEND P.F. 1983. Towards the field classification of alluvial architecture of sequence. In: COLLINSON J.D. & LEWIN J. (eds.) *Modern and Ancient Fluvial Systems*. Oxford, Blackwell Scientific, *Int. Assoc. Sediment. Spec. Publ.*, v.6, pp.345-354.
- FRITZ W.J., MOORE J.N. 1988. *Basics of physical stratigraphy and sedimentology*. John Wiley & Sons Inc.
- GALLOWAY W.E. 1981. Depositional architecture of Cenozoic gulf coastal plain fluvial system. In: ETHRIDGE F.G. & FLORES R.M. (Eds.). *Recent and ancient nonmarine depositional environments*. Tulsa: *Society of Economic Paleontologists and Mineralogists. Special Publication*, v.31. pp.127-156.
- GALLOWAY W.E. 1989. Genetic stratigraphic sequences in basin analysis I; architecture and genesis of a flooding-surface bounded depositional units. *AAPG Bull*, Tulsa, v.73, pp-125-142.
- GANI M.R. & BHATTACHARYA J.P. 2007. Basic building blocks and process variability of a Cretaceous delta: Internal facies architecture reveals a more dynamic interaction of river, wave, and tidal processes than is indicated by external shape. *Journal of Sedimentary Research*, v. 77, pp. 284-302.
- GIBBS A.E. & DAVIS R. A. 1991. Development and stratigraphy Three Rooker Bar: a recently emergent barrier island, Pinellas County, Florida. 12th Annu. Res. Conf. *SEPM Gulf Coast Section*, pp.17.
- GARRINSON Jr. J. R., WILLIAMS J., MILLER S.P., WEBER II E.T., MCMECHAN G., Zeng, X. 2010. Ground-penetrating radar study of North Padre Island: implications for barrier island. internal architecture, model for growth of progradational microtidal barrier islands, and Gulf of Mexico sea-level cyclicity. *Journal of Sedimentary Research*, v.80 (4), pp.303–319.
- GIANNINI P.C.F., GUEDES C. C. F., ANGULO R.J., ASSINE M. L., SOUZA M. C., MORI E. K. 2003. Geometria de cordões litorâneos e espaço de acomodação sedimentar na Ilha Comprida, litoral sul paulista. IX Congresso da associação brasileira de estudos do Quaternário, II Congresso do Quaternário de países de línguas ibéricas, II Congresso sobre planejamento e gestão da zona costeira dos países de expressão portuguesa, *Anais...*, Recife, ABEQUA/ABRH, 1:1-1 CD-Rom.

- HAMPSON G.J., RODRIGUEZ A.B., STORMS J. E.A., JOHNSON H.D., MEYER C. 2008. Geomorphology and high-resolution stratigraphy of progradational wave-dominated shoreline deposits: Impact on reservoir-scale architecture. In: HAMPSON G.J., STEEL R.J., BURGESS P.M., DALRYMPLE R.W. (eds). Recent advances in models of siliciclastic shallow-marine stratigraphy. *SEPM Special Publication*. v.90, pp. 117–142.
- HARMS J.C., SOUTHARD J.B., WALKER R.G. 1982. Structures and sequences in clastic rocks. *SEPM Short Course*, n. 9.
- HAYES M.O. 1975. Morphology of sand accumulations in estuaries, in Cronin, L. E, ed., *Estuarine Research*, v.2, *Geology and engineering: New York, Academic Press*, pp. 3-22.
- HAYES M.O. 1979, Barrier-island morphology as a function of tidal and wave regime, in Leatherman, S. P., ed., *Barrier islands – from the Gulf of St. Lawrence to the Gulf of Mexico: New York, Academic Press*, pp. 1-28
- HAYES M.O. 1994. The Georgia Bight barrier system. In: Davis RA (ed) *Geology of Holocene barrier island systems*. Springer-Verlag, New York, pp.233–304.
- HESP P.A. 2006. Sand beach ridges: definition and re-definition. *Journal of Coastal Research*. v.39, pp.72 75.
- HESP P.A., SHORT A.D. 1999. Barrier morphodynamics. In: SHORT AD (ed) *Handbook of beach and shoreface morphodynamics*. John Wiley & Sons, Chichester, pp.307-333.
- HOLBROOK J. 2001. Origin, genetic interrelationships, and stratigraphy over the continuum of fluvial channel-form bounding surfaces: an illustration from middle Cretaceous strata, southeastern Colorado. *Sedimentary Geology*. v.144. pp-179-222.
- HUNTER R.E., CLIFTON H.E., PHILLIPS R.L. 1979. Depositional processes, sedimentary structures and predicted vertical sequences in barred nearshore systems, southern Oregon coast: *Journal of Sedimentary Petrology*, v.49. pp 711-726.
- IAPAR - INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ. 1978. Cartas climáticas básicas do Estado do Paraná. Londrina. pp.38.
- INTERNATIONAL SUBCOMMISSION ON STRATIGRAPHIC CLASSIFICATION - I.S.S.C. 1987. Unconformity bounded stratigraphic units. *Geol. Soc. Am. Bull.*, Boulder, v.98(2), pp.232-37.
- IPARDES - INSTITUTO PARANAENSE DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL. 1990. Macrozoneamento da APA de Guaraqueçaba. Curitiba. v.2, pp.257.
- IPARDES - INSTITUTO PARANAENSE DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL 1991. Diagnóstico físico-ambiental da Serra do Mar - área sul. Curitiba. v.2, pp.107.
- KOMAR P.D. 1976. *Beach Processes and Sedimentation: Englewood Cliffs, New Jersey, Prentice Hall*, pp.429.

- KRAFT J.C., CHAZASTOWSKI M.J. 1985. Coastal stratigraphic sequences. In: Davis RA (ed) *Coastal sedimentary environments*. Springer-Verlag, New York, pp.625–663.
- LAMOUR M.R., ANGULO R.J., SOARES C.R. 2006. Bathymetric evolution of critical silting sectors on Galheta channel, access way to Paranaguá port, Paraná state — Brazil. *Journal of Coastal Research*. v.23, pp.49–58.
- LECLAIR S.F. & ARNOTT R.W.C., 2005. Parallel lamination formed under high-density turbidity currents. *Journal of Sedimentary Research*, v. 75, pp.1-5.
- LESSA G.C., ANGULO R.J., GIANNINI P.C.F., ARAÚJO A.D. 2000. Stratigraphy and Holocene evolution of a regressive barrier in south Brazil. *Marine Geology*, Amsterdam. v.165 (1-4), pp.87-108.
- LESSA G.C., MYERS S.R., MARONE E. 1998. Holocene stratigraphy in the Paranaguá Bay estuary, southern Brazil. *Journal of Sedimentary Research*. v.68(6), pp.87-108.
- LIMA L.G. 2008. Estratigrafia e evolução da barreira holocênica na praia do Hermenegildo (RS). *Dissertação de Mestrado*. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre.
- MARONE E. & CAMARGO R. 1995. Efeitos da maré meteorológica na baía de Paranaguá, PR. *Nerítica*, Curitiba v.8, pp.71–81.
- MARONE E. & JAMIYANAA D. 1997. Tidal characteristics and a variable boundary numerical model for the M2 tide for the estuarine complex of the Bay of Paranaguá, PR, Brazil. *Nerítica*, Curitiba. V.11 (1–2), pp.95–107.
- MARONE E., MANTOVANELLI A., KLINGENFUSS M. S., LAUTERT L.F.C., PRATA Jr V.P. 1997. Transporte de Água, Sal, Material Particulado em Suspensão e Calor na Gamboa do Perequê num Evento de Maré de Sizígia. In. Colacmar, VII, Santos, Brasil
- MARTIN L., SUGUIO K., FLEXOR J.M., AZEVEDO A.E.G. 1988. Mapa geológico do Quaternário costeiro dos Estados do Paraná e Santa Catarina. *Série Geol. DNPM*. Brasília, 28/18, pp.40.
- MARTIN L., SUGUIO K., FLEXOR J.M., BITTENCOURT A.C.S.P., VILAS-BOAS G.S. 1979/80. Le quaternaire marin brésilien (littoral pauliste, sud fluminense et bahia). Cah. O.R.S.T.O.M Série Géologie. v.11, pp.95-124.
- MCCRORY V.L.C. & WALKER R.G. 1986. A storm and tidally influenced prograding shoreline – Upper Cretaceous Milk River Formation of southern Alberta, Canada: *Sedimentology*, v.33. pp.47-60.
- MELLO C. L. 1994. Aloestratigrafia e análise de fácies: "revoluções" na geologia sedimentar e o estudo do quaternário. *Anu. Inst. Geocienc.* [online]., vol.17, pp. 93-108. ISSN 0101-9759.
- MENDES J.C. 1984. *Elementos de estratigrafia*. São Paulo. EDUSP. pp.566.
- MIALL A.D. 1978. Lithofacies types and vertical profile models in braided river deposits: a summary. In. Miall A.D. (ed). *Fluvial Sedimentology*. Can. Soc. Petrol. Geol. Mem. v.5, pp.597-604

- MIALL A.D. 1985. Architectural-element analysis: a new method of facies analysis applied to fluvial deposits. *Earth-Science Reviews*. Amsterdam, v. 22, pp.261-308.
- MIALL A.D. 1988a. Architectural elements and bounding surfaces in fluvial deposits: anatomy of the Kayenta Formation (Lower Jurassic) Southwest Colorado. *Sedimentary Geology*. v.55(2), pp.233-262.
- MIALL A.D. 1988b. Reservoir heterogeneities in fluvial sandstones: lessons from outcrop studies. *American Association Petroleum Geologists Bulletin*, 72(6), pp.682-697.
- MIALL A.D. 1996. Methods of architectural-element analysis. In: MIALL. A. D. MIALL A.D. & TYLER N. 1991. *The Three-Dimensional Facies Architecture of Terrigenous Clastic Sediments and Its Implications for Hydrocarbon Discovery and Recovery*. Tulsa, *SEPM, Concepts in Sedimentology and Paleontology*.
- MIALL A.D. 1997. *The Geology of Stratigraphic Sequences*. Springer, Berlin. pp. 433.
- MIALL A.D. 2000. Facies analysis. In: MIALL, A. D. *Principles of sedimentary basin analysis*. Berlin: Springer-Verlag, pp.141-248.
- MIDDLETON G.V. 1978. Facies. *Encyclopedia of sedimentology*: Stroudsburg, Pennsylvania, Dowden, Hutchinson e Ross. (Fairbridge R.W & Bourgeois J.)
- MUTTI E., DAVOLI G, TINTERRI R., ZAVALA C. 1996. The importance of fluvio-deltaic systems dominated by catastrophic flooding in tectonically active basins. *Mem. Scien. Geol.* v.48, pp-233-291.
- NIO S.D. & YANG C.S. 1991 Sea-level fluctuations and the geometric variability of tide-dominated sand-bodies. *Sedimentary Geology*. v.70. pp. 161-193.
- NORTH AMERICAN COMMISSION ON STRATIGRAPHIC NOMENCLATURE - N.A.C.S.N. 1983. North American Stratigraphic Code. *AAPG Bull.*, Tulsa, v.67(5), pp.841-875.
- PIANCA C., MAZZINI P.L.F., SIEGLE E. 2010. Brazilian offshore wave climate based on NWW3 reanalysis. *Brazilian Journal of Oceanography*. v.58 (1), pp.53–70.
- PICKERING K.T., HISCOTT R., HEIN F.J., 1989. *Deep-marine Environments: Clastic Sedimentation and Tectonics*: London (Unwin Hyman).
- PILKEY O.H., YOUNG R.S., RIGGS S.R., SMITH A.W., WU H., PILKEY W.D. 1993. The concept of shoreface profile equilibrium: a critical review. *Journal of Coastal Research*. v.9, pp.78-225.
- PLINT A.G. 2010. Wave and storm – dominated shoreline and shallow-marine systems. In *Facies Models 4*. ed.: NOEL P. J & ROBERT W. D.). Department of Geological Sciences and Geological Engineering Queen's University, Canada.
- PLINT A.G. & WALKER R.G. 1987. Cardium Formation 8. Facies and environments of the Cardium shoreline and coastal plain in the Kakwa field and adjacent areas, northwestern Alberta. *Bulletin of Canadian Petroleum Geology*. v.35, pp. 48-64.

- PORTOBRAS - EMPRESA DE PORTOS DO BRASIL S.A. 1988. Relatório de apresentação das medições meteorológicas observadas em Pontal do Sul, Paranaçuá-PR, período set. 1982 a dez. 1986. Rio de Janeiro, Inst. Pesq. Hidr. (INPH). pp.168.
- QUADROS C.J.L. 2002. Variações morfológicas e volumétricas associadas à incidência de sistemas frontais em duas praias arenosas do litoral paranaense. *Dissertação de mestrado*. Universidade Federal do Paraná. pp.57.
- QUADROS C.J.L., MARONE E., ANGULO R.J., MARTINS G.J., NETO Jr. J.P.B. 2007. Dinâmica morfosedimentar associada à incidência de sistemas frontais em duas praias do litoral paranaense. *Boletim Paranaense de Geociências*, v.60-61, pp.65-74.
- READING H.G. 1986. Sedimentary environments and facies. ed.2. Oxford, Blackwell Scientific Publications.
- RITCHIE W. & PENLAND S. 1990 Aeolian sand bodies of the south Louisiana coast. In: Nordstrom KF, Psuty NP, Carter RWG (eds) Coastal dunes, form and process. John Wiley & Sons, London, pp.105–127.
- ROY P.S., COWELL P. J., FERLAND M. A., THOM B. G. 1994. Wave dominated coasts. ed: Carter R. W. G., Woodroffe C. D. In: Coastal evolution, Late quaternary shoreline morphodynamics. Cambridge University Press, Cambridge, pp.121–186.
- ROSA M.L.C.C. 2012. Geomorfologia, estratigrafia de sequências e potencial de preservação dos sistemas laguna-barreira do Quaternário costeiro do Rio Grande do Sul. *Tese de doutorado*. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre.
- SAWAKUCHI A.O. & GIANNINI P.C.F. 2006. Complexidade em Sistemas Depositionais. *Revista Brasileira de Geociências*. v.36 (2), pp.347-358.
- SAYÃO O.J., 1989. Littoral drift along some beaches in Brazil. In: MAGOON O.T., CONVERSE H., MINER D., TOBIN L.T., CLARK D. (Eds.), Proc. Sixth Symp. Coast. Ocean Manag, 4. American Society of Engineers, Charleston, USA, pp. 3638-3746.
- SILVA A.B. 2011. Análise estratigráfica da barreira transgressiva holocênica na região da Lagoa do Sombrio – SC. *Dissertação de Mestrado*. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre.
- SOUTHARD J.B., LAMBIE J.M., FEDERICO D.C., PILE H. T., WEIDMAN C.R. 1990. Experiments on bed configuration in fine sands under bidirectional purely oscillatory flow, and the origin of hummockycross stratification. *Journal of Sedimentary Petrology*. v.60, pp.1-17.
- SOUZA M. C. 2005. Estratigrafia e evolução das barreiras holocênicas paranaenses, Sul do Brasil. *Tese de Doutorado*. Universidade Federal do Paraná.
- SOUZA M.C., ANGULO R.J., ASSINE M.L., CASTRO D.L. 2012. Sequence of facies at a Holocene storm-dominated regressive barrier at Praia de Leste, southern Brazil. *Marine Geology*. v.291-294 (2012) pp.49–62.

- SUGUIO K., MARTIN L. 1976. Brazilian coastline quaternary formations: the States of São Paulo and Bahia littoral zone evolutive schemes. *Anais Academia Brasileira Ciências*. v.48, pp.325–334.
- SUGUIO K., MARTIN L., BITTENCOURT A.C.S.P., DOMINGUEZ J.M.L., FLEXOR J.M., AZEVEDO A.E.G. 1985. Flutuações do nível relativo do mar durante o Quaternário Superior ao longo do litoral brasileiro e suas implicações na sedimentação costeira. *Revista Brasileira de Geociências*. v.15(4), pp.273-286.
- SURLYK F. & NOE-NYGAARD N. 1991. Sand bank and dune facies architecture of a wide intracraonic seaway: Late Jurassic-Early Cretaceous Ranklev Formation, Jameson Land, East Greenland. In: MIAL A.D & TYLER N. (eds.). *The Three-Dimensional Facies Architecture of Terrigenous Clastic Sediments and its Implications for Hydrocarbon Discovery and Recovery*. Society of Economic Paleontologists and Mineralogists, Concepts in Sedimentology and Paleontology. V.3. pp- 261-276.
- SWIFT D.J.P, HAN G., VICENT C.E. 1986. Fluid processes and sea-floor response on a modern storm-dominated shelf: Middle Atlantic shelf of North America. Part I: the storm-current regime, In: KNIGHT R.J. & MCLEAN J.R., eds., *Shelf Sands and Sandstones: Canadian Society of Petroleum Geologists, Memoir 11*, pp. 99-119.
- SWIFT D.J.P. & THORNE J. A. 1991. Sedimentation on continental margins, I: a general model for shelf sedimentation. In. SWIFT D.J.P, OERTEL G.F., TILLMAN R.W., THORNE J.A. (eds). *Shelf sand and sandstone bodies: geometry, facies and sequence stratigraphy*. Special publications no 14 of the International Association of Sedimentologists. Oxford Blackwell Scientific Publications, pp.3-31.
- TINTERRI R. 2011. Combined flow sedimentary structures and the genetic link between sigmoidal- and hummocky-cross stratification. *GeoActa*, v.10, pp. 43-85.
- VAIL, P.R. & MITCHUM, R.M. 1977. Seismic stratigraphy and global changes of sea level. parte I: overview. In: PAYTON C.E. cd. *Seismic stratigraphy - applications to hydrocarbon exploration*. AAPG. Mem., Tulsa, v.26, pp. 51-52.
- VAN WAGONER J.C., MITCHUM R.M., CAMPION K.M., RAHMANIAN V.D. 1990. Siliciclastic sequence stratigraphy in well logs, cores, and outcrops: concepts for high-resolution correlation of time and facies. AAPG Methods in Exploration Series, n. 7.
- VAKARELOV B.K. & AINSWORTH R.B. 2013. A hierarchical approach to architectural classification in marginal-marine systems: Bridging the gap between sedimentology and sequence stratigraphy. *AAPG Bulletin*, v. 97, no. 7. pp. 1121–1161.
- VILLWOCK J.A., TOMAZELLI L.J., LOSS E.L., DEHNHARDT E.A., HORN FILHO N.O., BACHI F.A., DEHNHARDT B.A. 1986. Geology of the Rio Grande do Sul coastal province. *Quaternary of South America and Antarctic Peninsula*. Balkema. v.4, pp.79-97.
- WALKER R.G. 1984. *Facies Models*. Geoscience Canada Reprint Ser., 2^a ed.

- WALKER, R.G. 1990. Facies modeling and sequence stratigraphy. *1. Sediment. Petrol.*, Tulsa, 60(5):777-86, sep.
- WALKER R.G. 1992. Facies, facies models and modern stratigraphic concepts. In: WALKER, R. G.; JAMES, N. P. (eds.). *Facies models: response to sea level change*. St. John's: *Geological Association of Canada*. pp.1-14.
- WALKER, R.G. & JAMES, N.P. 1992. *Facies models: response to sea level change*. St. John, Newfoundland. *Geological Association of Canada*
- WRIGHT L. D., CHAPPEL J., THOM B. G, BRADSHAW M.P, COWELL P. 1979. Morphodynamics of Reflective and Dissipative Beach and Inshore Systems: Southeastern Australia. *Marine Geology*. England. v. 32, pp.105-140.