



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
INSTITUTO DE CIÊNCIAS DO MAR
CURSO DE OCEANOGRAFIA
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

THOMAS RAVELLY SILVA DO NASCIMENTO

**ESTRUTURAS SEDIMENTARES ASSOCIADAS A EVOLUÇÃO DA PRAIA DE
PARAJURU ADJACENTE AO ESTUÁRIO DO PIRANGI-CE**

**FORTALEZA
2017**

THOMAS RAVELLY SILVA DO NASCIMENTO

ESTRUTURAS SEDIMENTARES ASSOCIADAS A EVOLUÇÃO DA PRAIA DE
PARAJURU ADJACENTE AO ESTUÁRIO DO PIRANGI-CE

TCC submetido à Coordenação do Curso de Graduação em Oceanografia, da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Oceanografia.

Orientador: Prof. Dra. Lidriana de Souza Pinheiro

Co-orientador: Me. Renan Gonçalves Pinheiro Guerra

Fortaleza
2017

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca Universitária

Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

- N199 Nascimento, Thomas Ravelly Silva do.
ESTRUTURAS SEDIMENTARES ASSOCIADAS A EVOLUÇÃO DA PRAIA DE PARAJURU
ADJACENTE AO ESTUÁRIO DO PIRANGI-CE / Thomas Ravelly Silva do Nascimento. – 2017.
41 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Instituto de Ciências do
Mar, Curso de Oceanografia, Fortaleza, 2017.

Orientação: Profa. Dra. Lidriana de Souza Pinheiro .

Coorientação: Prof. Me. Renan Gonçalves Pinheiro Guerra.

1. Feições de Fundo . 2. Dinâmica Sedimentar. 3. Agentes Formadores. I. Título.

CDD 551.46

FOLHA DE APROVAÇÃO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso do Curso de Graduação em Oceanografia, da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para a obtenção do grau de Bacharel em Oceanografia.

Aprovada em ____/____/____.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dra. Lidriana de Souza Pinheiro (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Me. Renan Gonçalves Pinheiro Guerra – Doutorando do PPGCMT (Co-orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Paulo Roberto Silva Pessoa
Universidade Estadual do Ceará (UECE)

Dra. Mônica Pimenta de Novaes Castelo Branco
Universidade Federal do Ceará (UFC)

AGRADECIMENTOS

À Deus, por tudo que Ele é, e por tudo que Ele representa para mim. Sem sua graça e misericórdia eu não teria chegado onde cheguei.

Aos meus pais, por toda força e apoio em meio a todas as dificuldades durante esses anos, sem o amor e cuidado de vocês nada disso teria sido possível. Às minhas irmãs Talita e Thaís, por todo companheirismo, amor e sempre apoiar e acreditar em todas as minhas escolhas.

Aos maiores amores da minha vida Isadora e Isabella, que me fazem esquecer de tudo que ruim que há em meio a esse mundo mau, me fazendo crer num futuro melhor.

Aos meus familiares que sempre estão na torcida e orando por mim, suas palavras de incentivo me dão forças. Em especial a prima mais amada e querida Jojó, que foi a pessoa que mais acreditou em mim.

Aos meus amigos, por compartilharem comigo momentos únicos dessa vida e desses anos, vocês me dão ânimo para continuar a jornada.

Aos meus amigos do Grupo Certo que ganhei na graduação, Arruda, Felipe (Guigo), Naluzinha, Bbia Leitte, Melzinha, Débora (Elza), Karina, Orçar e Davi (Ptzão). Em especial ao Lucas Arruda, que se tornou um irmão que pude contar para todas as horas. Esses anos sem vocês não teria sido tão inesquecível, amo vocês.

À minha Orientadora, Professora Lidriana de Souza Pinheiro, pelo aprendizado e todas as oportunidades que me foram dadas no meio acadêmico. Agradeço pela confiança e credibilidade que me foi dada, você é exemplo para mim.

Ao meu co-orientador, Renan Gonçalves Pinheiro Guerra, por todo suporte e atenção que me foi dado durante todos esses meses. Agradeço toda pela paciência, aprendizado e pela amizade construída nesse tempo.

Ao Laboratório de Geologia e Geomorfologia Costeira e Oceânica da Universidade Estadual do Ceará, pelo suporte necessário para realização desta pesquisa, nos intensos trabalhos de campos e processamento de dados em nome do Tião, Ana e Dudu. E ao Laboratório de Oceanografia Geológica do Instituto de Ciências do Mar, por toda a experiência e aprendizado nele adquirida durante a graduação.

À todos os professores e funcionários do Instituto de Ciências do Mar – LABOMAR.

À todos que me ajudaram de forma direta e indireta na realização deste trabalho.

RESUMO

As feições de fundo, têm sido investigadas em variados contextos aplicados, tais como: geológicos sedimentares e marinhos, hidrológicos, hidráulicos e hidrodinâmicos. Porém, poucos esforços foram desenvolvidos no sentido de que resultados de suas observações sistemáticas virem a ser usadas como elementos auxiliares aos levantamentos de ondas e correntes em ambientes costeiros, com agentes transformadores do local. O estudo deste tipo de feições de fundo permite inferir grande parte dos processos envolvidos no ambiente tais como o momento da maré, o transporte líquido de sedimento, regiões de maior erosão/acresção, entre outros. O devido trabalho objetiva exemplificar a classificação e mapeamento das feições de fundo presentes próximos à desembocadura do rio Pirangi. Assim também como identificar os padrões direcionais do fluxo hidrodinâmico local relacionados com a orientação das feições de fundo, determinando assim seus agentes formadores a partir de índices de *ripple* e índice de simetria. A partir dos dados obtidos foi possível aferir sobre como as estruturas sedimentares (dunas subaquosas e *ripples*) possuem influência direta dos padrões de dinâmica sedimentar do ambiente em que se formam e por isso apresentam em seu registro indícios das características dos mesmos.

Palavras-chave: feições de fundo, dinâmica sedimentar, agentes formadores.

ABSTRACT

The bedforms have been investigated in various applied contexts such as, sedimentary and marine, hydrological, hydraulic and hydrodynamic. However, few efforts have been made to use these results from their systematic observations as auxiliary elements to surveys of waves and currents in coastal environments with local transforming agents. The study of this kind of bedforms allows us to infer most of the processes involved in the environment such as tide moment, liquid sediment transport, regions of higher erosion / accretion, among others. The aim of this work are regions of higher erosion / accretion, among others. The aim of this work are exemplifies the classification and mapping of the present background features near the thus determining its forming agents from ripples indexes and symmetry index. From the obtained data it was possible to observe how the sedimentary structures such as subaquatic dunes and ripples have direct influence of the patterns of sedimentary dynamics on the environment in which they are formed and for that reason they present in their record indications of the characteristics of the same ones.

Keywords : Bedforms, sedimentary dynamics, forming agents.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	– Localização da área de estudo.....	14
Figura 2	– Compartimentação geomorfológica da praia.....	15
Figura 3	– Limite da área onde foram realizados os experimentos de classificação das feições de fundo.....	24
Figura 4	– Diagrama esquemático mostrando <i>wave ripples</i> assimétricas e <i>curent ripples</i> em uma superfície.....	25
Figura 5	– Digrama de Classificação de <i>Current Ripples</i>	26
Figura 6	– Escala mostrando a faixa de variação do índice <i>ripple</i> (IR) com base na ação de ondas, correntes e combinada.....	27
Figura 7	– Escala mostrando a faixa de variação do índice de simetria (IS) segundo a ação de ondas e correntes.....	27
Figura 8	– Aferição da direção das feições de fundo com o auxílio de uma bússola e coleta de amostra de sedimentos.....	27
Figura 9	– Fluxograma das etapas do processo de análise granulométrica.....	28
Figura 10	– Mapa com a classificação dos grupos de feições de fundo.....	31
Figura 11	– <i>Current Ripples</i>	33
Figura 12	– Dunas 2-D e 3-D.....	33
Figura 13	– Campo de ripples: <i>Current Ripples</i>	34
Figura 14	– Mapa com vetores de direção de fluxo das cristas dos grupos de feições.....	35

–

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Teor de Carbonato de Cálcio nas amostras (%).....	30
---	----

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Classificação de Dunas Subaquosas.	24
Tabela 2 – Classificação granulométrica das amostras coletadas.....	30
Tabela 3 – Especificidades das feições.....	32
Tabela 4 – Índices de Ripple e Índice de Simetria das Feições.....	36

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
1.1 OBJETIVOS	13
1.1.1 Objetivo Geral.....	13
1.1.2 Objetivos Específicos	13
1.2 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	14
2 REFERENCIAL TEÓRICO.....	14
2.1 Sistema Praial	14
2.2 Processos Atuantes no Litoral	16
2.2.1 Marés	16
2.2.2 Ondas.....	16
2.2.3 Ventos	17
2.3 Feições de Fundo: Fluxos e agentes formadores	18
3 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	21
3.1Clima.....	21
3.2 Hidrologia.....	22
3.3 Oceanografia.....	22
4 METODOLOGIA	23
4.1 Levantamento bibliográfico e Cartográfico.....	23
4.2 Aquisição de dados	23
4.3 Processamento e integralização de dados.....	28
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES	29
6 CONCLUSÃO	37
REFERÊNCIAS	38

1. INTRODUÇÃO

As zonas costeiras estão incluídas entre as áreas mais dinâmicas existentes em nosso planeta. Essas áreas de interface entre continente–oceano–atmosfera, apresentam um equilíbrio dinâmico coordenado pelas variações energéticas dos processos naturais de diferentes escalas espaciais e temporais (MARINO; FREIRE, 2013).

Segundo Tessle & Souza (1998), o crescimento populacional verificado nas últimas décadas, ao longo de quase todo o litoral brasileiro, tem induzido a um progressivo interesse científico e técnico sobre estes ambientes costeiros, seja pela premência da ordenação de uso e ocupação do solo, como pela necessidade do conhecimento do seu funcionamento natural. Um dos processos mais importantes na modificação desses sistemas é o transporte de sedimentos longitudinal e transversal à linha de costa sendo, a variabilidade desses processos relativa ao tamanho dos sedimentos e mudança das ondas (BERNABEU *et al.*, 2003).

Nesse sentido, o sistema praiial é definido como sendo uma zona de sedimentos inconsolidados que compreende os limites, superior e inferior, de ação das ondas no perfil praiial (DAVIS JR., 1985). Suguio (2003) define que, as praias arenosas se desenvolvem em trechos de costa com abundante suprimento arenoso como, por exemplo, nas adjacências de desembocaduras fluviais com predominância da ação das ondas ou marés. Quando adjacentes a áreas estuarinas, esse sistema é exposto a dinâmica dos processos fluviais que interferem na configuração da morfologia da praia.

Os estuários são amplamente reconhecidos como um dos sistemas naturais mais produtivos e dinâmicos. Esse ambiente transicional desempenha uma série de serviços ecossistêmicos e ambientais como: local de desova, alimentação e habitats para comunidades biológicas, efetuando a ciclagem biogeoquímica e circulação de nutrientes, protegendo a linha de costa, e atuando muitas vezes como um filtro a materiais particulados e dissolvidos no fluxo sentido ao mar (SCHUBEL; CARTER, 1984) executando uma função determinante no transporte e distribuição de propriedades (D'AQUINO, 2011).

Segundo Zanella (2005), as características climáticas representadas pela sazonalidade das precipitações mantêm uma relação direta com o comportamento fluvial. A distribuição das chuvas no tempo e no espaço, aliada às formações geológicas existentes, são fatores condicionantes do regime fluvial e, portanto, da disponibilidade de aporte sedimentar na costa.

Outro aspecto importante são as correntes de maré que atuam diretamente na circulação estuarina e influenciam a formação de feições submersas adjacentes a praias arenosas.

Importantes evidências e apontamentos a respeito da hidrodinâmica de ambientes aquáticos podem ser realizados através da investigação das formas do fundo sedimentar inconsolidado. A determinação dos processos relacionados ao desenvolvimento de formas de fundo constitui um objeto de grande importância no estudo do ambiente uma vez que a complexidade deste ambiente o torna vulnerável à ação do homem (MIRANDA *et al.*, 2002).

O comportamento dessas estruturas sedimentares é dinâmico, ou seja, quando as condições do ambiente se alteram, a morfologia das dunas existentes irá ser modificada a fim de se restabelecer o equilíbrio (DALRYMPLE; RHODES, 1995). São vários os processos que induzem variações nas dimensões das formas de fundo, reduzindo ou ampliando suas alturas e comprimentos. Dentre eles podemos citar: a relação altura/espacamento das dunas, a influência da profundidade, a influência da granulometria e o efeito da velocidade do escoamento (FLEMMING, 2000).

O estudo dessas estruturas possibilita controlar problemas de ordem prática relacionados à região em que se encontram (HULSHER; VAN DEN BRINK, 2001). A presença de bancos de areia próximos à linha de costa, por exemplo, diminui o impacto de ondas de tempestade ao mesmo tempo em que agregam riscos a canais de navegação (HULSHER; VAN DEN BRINK, 2001). Dessa maneira, estudos que visam identificar as feições de fundo em praias arenosas próximas a desembocaduras fluviais são importantes para o conhecimento dos fluxos dominantes e determinar seu papel na alteração do comportamento da morfologia praial.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

Analisar as feições de fundo adjacente a desembocadura do Rio Pirangi na Praia de Parajuru, considerando os fluxos e agentes formadores.

Objetivos Específicos

- Classificar as feições de fundo de acordo com seu tamanho e geometria.
- Realizar o mapeamento da distribuição das feições na zona de intermaré.

- Identificar os padrões direcionais do fluxo hidrodinâmico local relacionando-os a orientação das feições de fundo.

1.2 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A praia de Parajuru localiza-se no litoral leste do estado de Ceará distante cerca de 120 km da capital Fortaleza, com acesso realizado através da rodovia CE 040. A praia está situada no município de Beberibe fazendo fronteira com município de Fortim, sendo delimitada pelas coordenadas 9512415,00 (N) / 627452,00 (E) UTM-WGS84 (figura 1).

Figura 1. Localização da área de estudo.

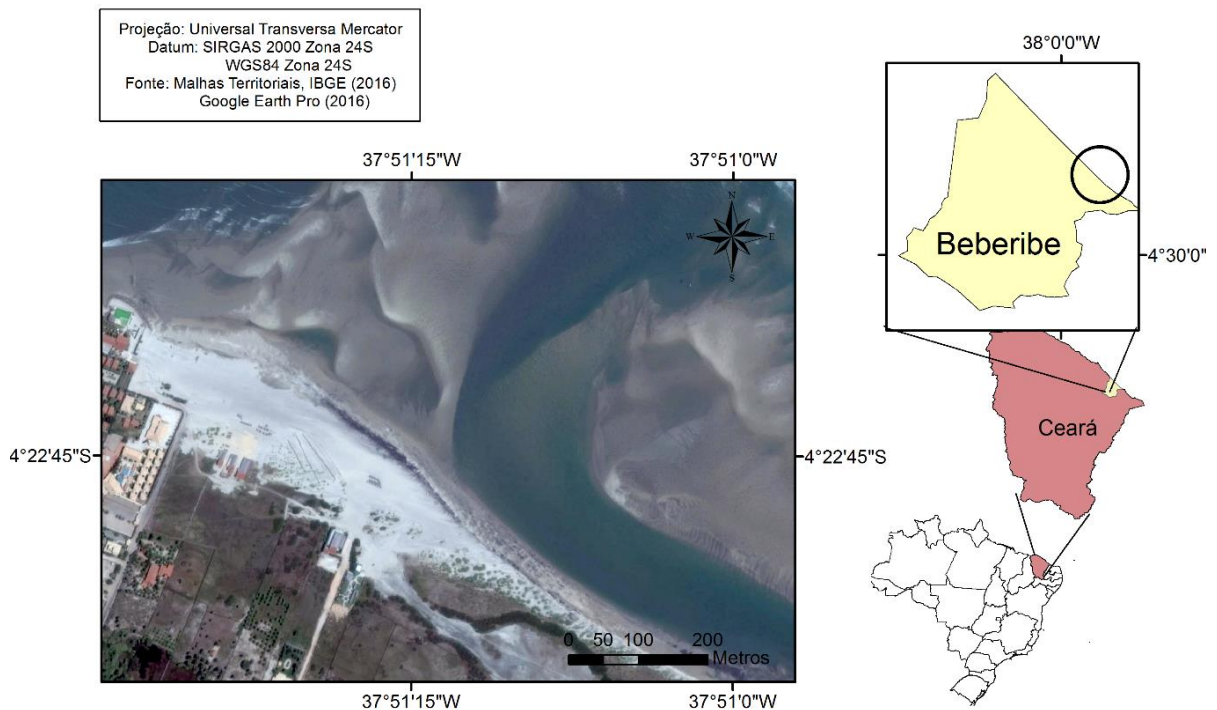


Imagem: Google Earth

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Sistema Praial

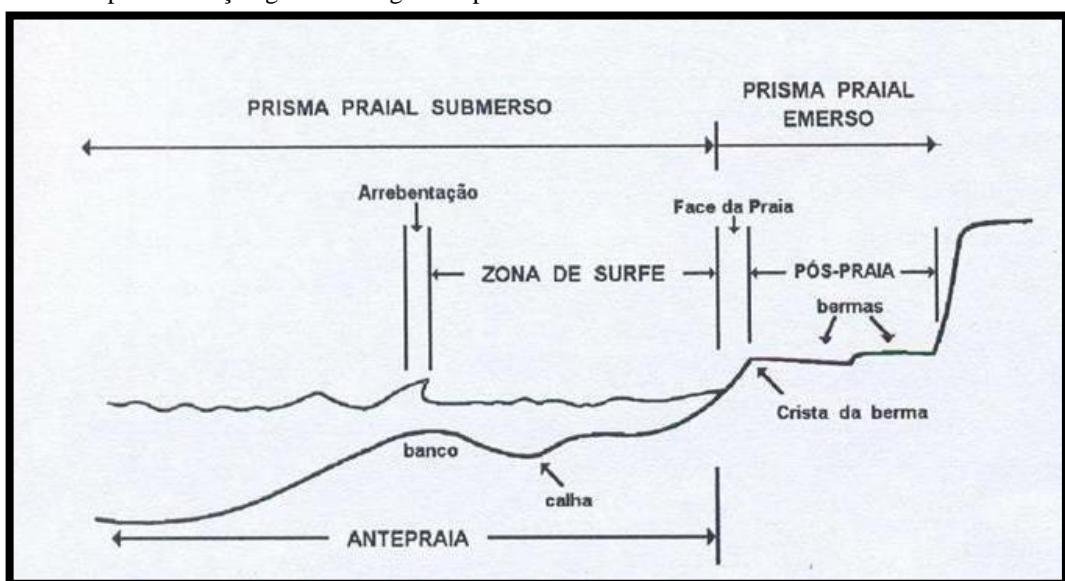
As praias são as feições mais comuns em costas deposicionais, sendo caracterizadas por partículas inconsolidadas que cobrem parte ou todo o litoral. (GARRISON, 2010). Segundo Davis (2012), a praia é limitada pelo alcance máximo da onda no seu limite superior e na porção inferior, pela marca de maré baixa ou onde há bancos e calhas na antepraia. Conforme Muehe *et al.* (2006), praias são ambientes deposicionais no limite entre a terra emersa e a água, geralmente constituídas por sedimentos arenosos, podendo ser formadas por seixos e

sedimentos lamosos acumulados por ações das ondas. Por apresentar mobilidade, as praias se adequam às condições oceanográficas de forma a tender ao equilíbrio (MUEHE *et al.* 2006).

King (1959) define praia como um ambiente sedimentar costeiro condicionado por um sistema de ondas incidentes, e geralmente formado por areia. As praias são delimitadas pelo limite superior do espraiamento até a profundidade de base da onda, sendo assim, o limite em que as ondas ainda atuam ativamente sobre o fundo marinho promovendo o transporte de sedimentos (SHORT, 1984).

Esse sistema pode ser compartimentado em função dos seus aspectos hidrodinâmicos e morfológicos. Considerando a atuação dos processos costeiros, a pós-praia é a porção sub-horizontal (terraço), formada por sedimentação de areia por ação das ondas (SUGUIO, 1992) em ocasiões de tempestade ou marés excepcionais (MENDES, 1984). A zona intermaré ou estirâncio é a área sazonalmente coberta e descoberta pela ação das marés. A antepraia, segundo Muhue *et al.* (2001), pode ser desfragmentada em três partes: a superior, denominada a zona de surfe, limitada externamente pela arrebentação da onda; a média, que separa a zona de transporte de sedimentos e a zona com baixa taxa de sedimentação, e que envolve o trecho até a profundidade de fechamento; e a inferior, que corresponde ao dobro do comprimento da antepraia média permanecendo coberta pelas águas permanentemente (figura 2).

Figura 2. Compartimentação geomorfológica da praia.



Fonte: Adaptado de Muehe (1994).

2.2 Processos Atuantes no Litoral

O sistema praia-oceano não apresenta equilíbrio estático morfodinâmico, pois as praias não se qualificam como sistemas fechados, já que o sedimento que as compõem é constantemente transportado (MENDES; PINHO, 2008). Esse ambiente sofre ação de diversos agentes, como marés, ondas e ventos que provocam transporte e deposição sedimentar, causando modificações na linha de costa (KING, 1972; KOMAR, 1983; GARRISON, 2010).

2.2.1 Marés

As marés são formadas pela ação combinada de forças de atração gravitacional entre a terra, lua e sol, e por forças centrífugas que se localizam no interior da terra (SILVA, *et al.* 2004). Elas são elementos importantes no processo de transporte sedimentar, pois suas oscilações alteram a morfologia da praia (HOEFEL, 1998).

As marés são elementos importantes a serem considerados no que tange ao transporte de sedimentos, além disso, sua oscilação interfere na morfologia da costa, pois transferem as zonas de arrebentação, surfe e espriamento sobre o perfil da praia (HOEFEL, 1998). Segundo Davis (1964) e USACE (1992), as marés se classificam como micro (<2m), meso (2 – 4m) e macro (>4m).

Quando os três astros (Terra, Lua e Sol) estão alinhados nas luas nova e cheia ocorrem maiores amplitudes de maré, denominadas de sizígia. Nas luas crescente e minguante os astros formam um ângulo reto, originando as marés de amplitude e alcance inferiores, denominadas de quadratura.

Segundo Morais (1996) as marés podem ser classificadas de acordo com seu tempo de ocorrência, sendo do tipo maré diurna com regularidade de preamar e baixa-mar em um dia (24hs), maré semidiurna que apresenta duas preamares e duas baixa-mares em um dia; e maré mista que também apresenta duas preamares e baixa-mares, entretanto com significativa diferença na altura e duração do ciclo.

2.2.2 Ondas

Ondas são movimentos que influenciam na morfologia e morfodinâmica praial, formando diversas feições devido à remobilização de sedimentos na plataforma continental (MAIA, 2014). Como a onda é a energia da massa de água e possui capacidade modeladora de

perfis sazonais em espaço curto de tempo, a determinação de seus parâmetros é fundamental para um planejamento de construções e infraestruturas costeiras (USACE, *op. cit.* 1992).

Segundo Morais (1996), são três os tipos de ondas que podem entrar em contato com a costa, ondas do tipo *swell*, *sea* e de tempestade. As ondas *swell*, cujo o período é longo e possui crista arredondada são geradas fora do sistema das ondas locais. As ondas *sea* são ondas irregulares de período mais curto e que são resultantes da ação de ventos locais. Já as ondas de tempestade apresentam maior energia e são resultantes da ação de ventos fortes associados a tempestades. Essas ondas provocam intensos processos erosivos em curto prazo e considerável movimentação de material sedimentar junto à praia, causando grandes impactos na costa.

No litoral leste cearense há uma predominância de ondas que apresentam uma forte componente de E com direções variando entre os quadrantes E, E-NE e E-SE mantendo uma estreita relação com as direções predominantes dos ventos (LIMA, 2014).

2.2.3 Ventos

Atuando como grandes responsáveis pela dinâmica costeira, os ventos têm um papel importante na sedimentação litorânea e nas formações das ondas, na geração das correntes litorâneas, contribuindo, também na formação das dunas e migração das mesmas (MAIA, 1998). Estes contribuem ainda para o processo de erosão e deposição localizada através do transporte de grãos, que varia em função da sua velocidade (LIMA, 2014).

A intensidade e direção dos ventos são determinadas por fatores como: a pressão atmosférica, umidade do ar e evaporação. De acordo com Pinheiro (2000), os ventos são importantes na manutenção do equilíbrio e da paisagem das praias e regiões associadas.

A ação eólica é fator determinante no transporte de sedimentos para outros pontos deposicionais, formando dunas frontais ou dunas semifixas; na geração de ondas; e na modelagem da linha de costa (PINHEIRO, 2000).

Para o litoral do Ceará, nos meses de março e abril, ápices do período chuvosos, predominam ventos de SE (120° - 150°) ao longo do dia, passando a SSE-S (150° - 180°) durante a noite. O período entre maio e agosto é de transição, onde o ciclo térmico diurno terra-oceano passa a alternar brisas marinhas e terrestres, resultando em ventos de ENE-E (60° - 90°) durante

o dia, e E-SE (90°- 150°). Entre agosto e dezembro a direção predominante varia de E a SE, com predomínio dos ventos alísios de E (PINHEIRO, 2003).

2.3 Feições de Fundo: fluxos e agentes formadores

O deslocamento e o transporte do sedimento dependem principalmente da forma, do tamanho, do peso da partícula e das forças exercidas pela ação do escoamento. Quando essas forças se reduzem até a condição de não poderem mais continuar a deslocar a partícula, ocorre o processo de deposição (CUNHA, 1998). O transporte e deposição dessas partículas geram uma diversidade de feições de fundo que são encontradas em diversos ambientes arenosos modernos, onde as profundidades da coluna d'água são maiores que 1m aproximadamente e onde o fundo possui sedimentos de granulometria superior a 0,15 mm (areia muito fina) (ASHLEY, *et.al.* 1990).

Em sistemas que estão condicionados tanto aos processos marinhos quanto fluviais, as feições de fundo podem apresentar-se de maneira diversificada em relação ao seu tipo e dimensão. Nesse contexto, as correntes de maré são importantes agentes na configuração dessas formas. Essas correntes são instáveis, sendo aceleradas e desaceleradas durante os ciclos de vazante e enchente, mesmo que o escoamento inverta sua direção regularmente, os padrões de enchente e vazante geralmente não coincidem. Essa característica gera um sistema com variação espacial que permite dominâncias de enchente ou vazante em trechos distintos em um mesmo estuário. A variabilidade temporal e espacial do escoamento e do transporte de sedimento, aliado às flutuações do nível da água, criam a variedade de morfologia de formas de fundo (ASHLEY, *op.cit.* 1990).

As correntes costeiras são consequências de parte da energia dissipada pelas ondas incidentes na zona de surfe e dos ventos. Logo, as correntes longitudinais (*longshore currents*) e correntes de retorno (*rip currents*) atuam na zona de surfe como ferramentas primordiais no transporte de sedimentos ao longo da costa e como agentes funcionais na modificação da morfodinâmica praias (SOUSA, 2007).

Entre os elementos do clima, a pluviometria assume um papel importante para a caracterização climática de uma determinada área. Para se compreender o clima de uma área é necessário caracterizar parâmetros como temperatura, pluviosidade, umidade, velocidade dos

ventos, pressão atmosférica dentre outros. Neste trabalho fica evidente a necessidade de se caracterizar a pluviometria.

Segundo Zanella (2005) as características climáticas representadas pela sazonalidade das precipitações mantêm uma relação direta com o comportamento fluvial. A distribuição das chuvas no tempo e no espaço, aliada às formações geológicas existentes, são fatores condicionantes do regime dos rios e, portanto, da disponibilidade de recursos hídricos em uma determinada região.

A morfologia da superfície sedimentar da crista de dunas subaquosas varia em resposta às condições de maré e onda. Quando as velocidades de escoamento da maré excedem sensivelmente a velocidade crítica de movimento da areia, grandes volumes de sedimento são erodidos e acrescidos pelas sucessivas marés enchente e vazante as quais causam oscilações na crista (LANGHORNE, 1982).

Dunas e ripples sobrepostas são as melhores indicadoras da movimentação do sedimento (MCCAVE, LANGHORNE; 1982). Dunas pequenas, com reduzida capacidade de estocar sedimento, podem mudar sua orientação continuamente ao longo de um único ciclo de maré. Um ciclo de maré curto não é capaz de retrabalhar inteiramente todo o volume de sedimentos estocado em dunas maiores, entretanto, seu perfil é continuamente modificado por correntes com direções opostas (ASHLEY, *et.al.*, 1990).

A presença de dunas subaquosas pode revelar características sobre a hidrodinâmica do ambiente. Dalrymple e Rhodes (1995) definem que o formato e inclinação destas dependem de fatores como i) a força relativa das correntes dominante e subordinada; ii) a taxa de transporte de sedimento; iii) a orientação da duna; iv) a presença ou ausência de dunas sobrepostas; e v) o comportamento da duna num ciclo de maré.

O aporte sedimentar em estuários possui fontes distintas concentrando materiais escoados pela bacia de drenagem, pela plataforma continental, biogênicos e de origem no próprio estuário (erosão do canal, aporte antropogênico, entre outros). A natureza das fácies sedimentares em um estuário varia com a quantidade de sedimentos disponíveis, com a interação dos processos hidrodinâmicos e com a morfologia do fundo (SILVA *et al*, 2004).

Pequenas feições submersas relacionadas a movimentos de curto período da água sobre o leito, consideradas feições de pequena escala, são comumente chamadas de marcas onduladas

(*ripple marks*). Feições com comprimento e altura maiores que as marcas onduladas e diretamente relacionadas com a interação entre os fluxos de fundo dominantes e o leito são denominadas feições de grande escala e podem ser classificadas como: megaondulações (*megaripples*), ondas de areia (*sand waves*) ou dunas submersas (*subaqueous dunes*).

2.3.1 Classificação das formas de fundo

A classificação das estruturas sedimentares de maneira universal permite o entendimento entre os pesquisadores de modo que formas semelhantes sejam classificadas em um mesmo grupo. Uma das classificações mais empregadas atualmente é a proposta por Ashley (1990) em que são consideradas as características hidrodinâmicas das estruturas para que assim seja feita uma conexão entre a estrutura interna, a morfologia e o escoamento que gerou a forma de fundo. A fim de se generalizar a nomenclatura das estruturas, é assumida um único termo: *dunas*; utilizando-se o termo *subaquosa* quando for necessário distingui-las daquelas formadas pelo vento em superfície (*eólicas*).

Para distinguir suas características é utilizada uma hierarquia de outras descrições (ASHLEY, *et.al.* 1990). A primeira ordem de descrição se refere à forma e ao tamanho da duna, tendo essa caracterização que separar as classes de dunas e ser parte integrante do nome da forma de fundo. Para classificação segundo o tamanho é admitido uma divisão arbitrária em 5, 10, 100 e 1000 m de comprimento no sentido de diferenciar formas “pequenas”, “médias”, “grandes” e “muito grandes” respectivamente (ASHLEY, *op.cit.* 1990). Para dunas regulares, o comprimento da onda (ou espaçamento) é calculado pela determinação da distância de crista a crista entre as estruturas (FISH; CARR, 1990). O intervalo de espaçamento e as alturas médias calculadas para cada grupo de tamanho são: i) $0,6 > L > 5$ m e $0,075 > H > 0,4$ m, *pequenas*; ii) $5 > L > 10$ m e $0,4 > H > 0,75$ m, *médias*; iii) $1 > L > 100$ m e $0,75 > H > 5$ m, *grandes*; e iv) $L > 100$ m e $H > 5$ m, *muito grandes* (ASHLEY, 1990).

Ainda na primeira ordem de descrição, as formas são classificadas segundo sua estrutura sedimentar, sendo as dunas separadas em dois grupos: bidimensionais (2D) ou tridimensionais (3D). As primeiras são formas que ocorrem em correntes de baixa velocidade de escoamento e cujas superfícies de estratificação são planas, enquanto as últimas estão relacionadas a altas velocidades e formam superfícies com *scour* ou com calhas. Ambas são admitidas com uma mesma granulometria (ASHLEY, 1990).

A segunda ordem de descrição refere-se à presença ou não de formas de fundo sobrepostas, que irá identificar as estruturas maiores como compostas ou simples, respectivamente, e ainda à granulometria e distribuição do sedimento que compõe a forma de fundo (ASHLEY, 1990). A última ordem de classificação identifica detalhes da morfologia e comportamento das formas de fundo bem como das características do escoamento. No entanto, entre as ordens de hierarquia anteriormente mencionadas apenas a primeira ordem integra a nomenclatura da duna (ASHLEY, 1990).

As marcas onduladas são restritas a sedimentos com diâmetro médio inferior a 0,17 mm ($2,5 \phi$) e a correntes cuja estrutura de velocidade não se estende consideravelmente além da camada limite de fundo (ALLEN, 1968). Essas feições possuem comprimentos de onda menores que 0,6 m e alturas abaixo de 0,1 m. Já as megaondulações caracterizam-se por uma granulometria da ordem de duas ou três ordens de magnitude maior, com comprimentos de onda e alturas características acima de 0,6 m e 0,1 m respectivamente (ALLEN, 1968). Ondas de areia, por sua vez, são transversais aos fluxos oscilantes relacionados a maré onde, tanto na enchente como na vazante, estes fluxos são efetivos no transporte de material de fundo. Os comprimentos de onda variam entre 25 e 1000 m com alturas entre 1 e 25 m, dependendo das intensidades dos fluxos e profundidades em questão.

3. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

3.1 Clima

Segundo a classificação de Köppen (1948), a área está contida numa zona tropical úmida do tipo “Aw”, caracterizada por um clima quente e úmido, com precipitações médias anuais irregulares e deficiência hídrica moderada a baixa. Ainda segundo dados do IPECE (2015) a região de estudo possui clima tropical quente semiárido brando e tropical quente semiárido, o município de Beberibe possui pluviosidade média de 914,1 mm e temperatura média de 26 a 28°C, sendo assim se período chuvoso de janeiro a abril.

A faixa de movimentação da zona de convergência intertropical (ZCIT) é marcada pela convergência dos ventos alísios de nordeste e de sudeste e tem grandes atuações nas variações climáticas na região. Durante os meses de dezembro a abril seu deslocamento ocorre na direção sul, provocando um aumento nas precipitações. Neste período, verifica-se a presença de alísios de NE, que também se aproximam da costa.

Da mesma forma, a ocorrência de ondas provenientes de NE/NW é verificada com maior intensidade neste período. De julho a novembro a ZCIT desloca-se gradativamente para norte, afastando-se do Equador. Neste período as chuvas começam a diminuir até caracterizar-se o período de estiagem. Ao mesmo tempo, os alísios de sudeste/este tornam-se mais efetivos, aumentando sua predominância em relação aos de nordeste e as ondas de SE/E dominam a faixa costeira (RADAMBRASIL, 1981).

3.2 Hidrologia

Fisiograficamente, a Bacia do rio Pirangi, apresenta uma forma retangular alongada de largura quase constante com área de 4374,1 km² e perímetro de 360 km; o talvegue do rio principal se estende por 177,5 km e largura média variando de 35 km, no alto e médio curso, a 55 km no baixo curso (DOS SANTOS, 2011). A bacia abrange os municípios de Quixadá, Ibaretama, Morada Nova, Ocara, Aracoiaba, Chorozinho, Cascavel, Beberibe, Aracati, Russas, Palhano e Fortim. (SILVA & da SILVA, 2016)

De modo geral, o clima das Bacias Metropolitanas se apresenta bastante homogêneo; as variações climáticas registradas são diretamente associadas ao regime pluviométrico e decorrem, fundamentalmente, das seguintes condições: proximidade do litoral, quando os índices pluviométricos são mais elevados e as temperaturas mais estáveis; e do relevo acidentado, onde ocorrem precipitações orográficas que se somam às temperaturas mais baixas em decorrência da altitude (FUNCEME, 2007). Próximo ao litoral, o rio Pirangi torna-se perene e sofre inclusive a influência das marés, apresentando um regime de salinidade eurihalino. Esse rio não apresenta afluentes importantes e sua rede hidrográfica apresenta um padrão subparalelo da região de baixo curso (GOMES; BARRETO, 1995).

3.3 Oceanografia

3.3.1 Maré

Baseando-se nos dados da Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN), o estado de Ceará é atingido por mesomarés segundo a classificação de Davies (1964) do tipo semi-diurno com amplitude média de aproximadamente 2,1 m e máxima de 3,4 m, período de 12,4 horas e defasagem média de 50 minutos de um dia para outro.

Maia (1998) indica uma influência temporal de longo prazo das forças astronômicas sobre a maré, relatando que durante os meses de junho e dezembro aumentam a amplitude das marés de quadratura e sizígia, enquanto que o inverso ocorre durante os meses de setembro e março, quando verificou diferenças temporais de amplitude de marés de sizígia de 0,30-0,40 m e de 0,40-0,50 m nas de quadratura.

3.3.2 Onda

Maia (1998) analisou dados de ondas oriundos das proximidades do porto do Mucuripe (Fortaleza), obtidos pelo Instituto de Pesquisas Hidroviárias (INPH) por um período de 4 anos. Sua análise determina uma média de altura de onda de 1,15 m e moda de 1,14 m, apresentando período médio mais frequente de 5,70 segundos (associado à altura significativa) e média de 5,89 segundos. O levantamento indicou o predomínio de ondas do tipo *sea*, representando 94,2% em relação às *swell*, as quais correspondem a 0,28% e as restantes correspondentes a 5,2% não puderam ser definidas por estarem situadas entre os dois limites.

4. METODOLOGIA

A pesquisa foi realizada em três etapas, divididas em: levantamento bibliográfico e cartográfico, aquisição de dados e tratamento e integralização de dados (processamento e interpretação).

4.1 Levantamento bibliográfico e cartográfico

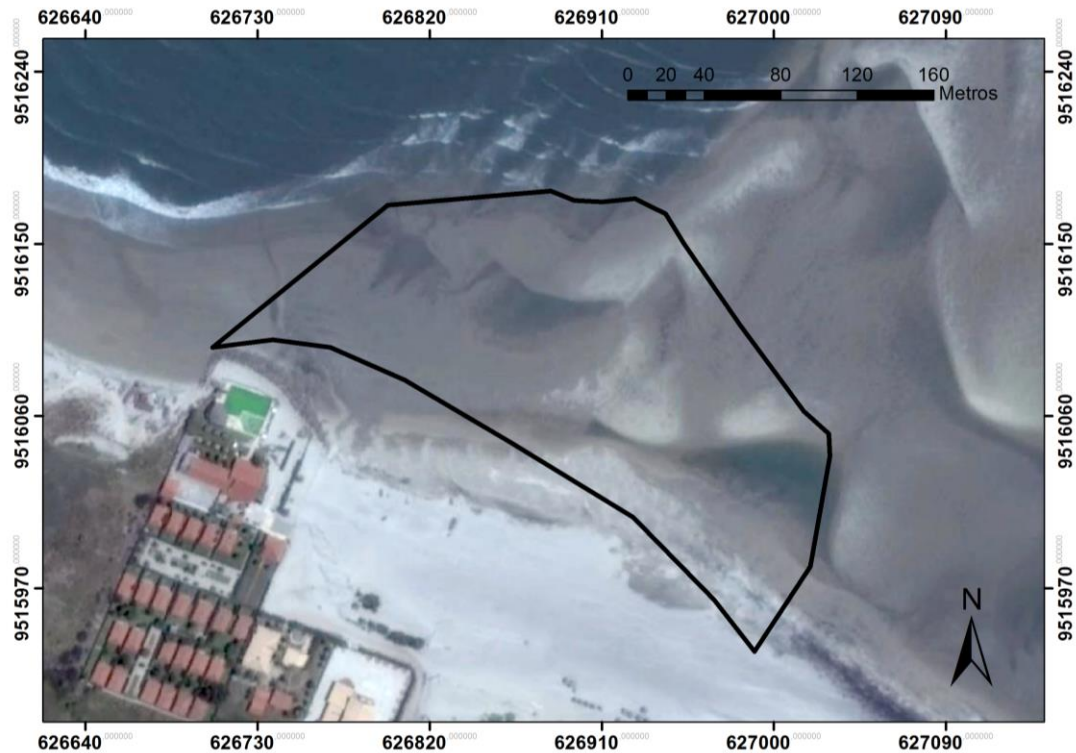
Essa etapa constou no levantamento bibliográfico dos processos costeiros e de dinâmica litoral, das feições sedimentares, dos processos de formação das feições de fundo e de transporte de sedimentos no litoral de Parajuru. Também foram definidos a área de trabalho e os pontos de monitoramento e amostragem; reconhecimento prévio da área de estudo, análise da maré e de condições do tempo. A obtenção das imagens de satélite para construção do mapa de fluxos e distribuição das feições foram realizadas através do *software* google Earth pro.

4.2 Aquisição de dados

A coleta de dados foi realizada durante o ciclo de baixamar em maré de sizígia no mês de dezembro/2016 consistindo no levantamento e registro fotográfico da geometria das feições de fundo, profundidade local, parâmetros e direção das feições e coleta de sedimentos. A área

amostrada totalizou 18.037 m² (figura 3) onde foram classificadas 15 feições de fundo de acordo com proposta metodológica de Allen (1968) e Asheley, *et.al*, (1990).

Figura 3. Limite da área onde foram realizados os experimentos de classificação das feições de fundo.



Fonte: autor (2016).

4.2.1 Classificação das feições pelo tamanho e geometria

A classificação da geometria e dimensão das feições de fundo foi realizada considerando as ordens de hierarquia propostas por Ashley (1990). Seguindo essa classificação, foi assumido os intervalos de comprimento para diferenciar as dunas e ripples (Tabela 1).

Tabela 1. Classificação de Dunas Subaquosas.

DUNAS SUBAQUOSAS		
Primeira ordem de classificação		
Tamanho	Comprimento	Altura
Pequena	0,6 – 5 m	0,075-0,4 m
Média	5 – 10 m	0,4-0,75 m
Grande	10 – 100 m	0,75-5 m
Muito grande	> 100 m	> 5 m
Tipo		
2-Dimensional (2D)		

 3-Dimensional (3D)

Segunda ordem de classificação

Sobreposição: Simples ou Compostas

Características do sedimento: granulometria, distribuição, etc.

Terceira ordem de classificação

Perfil da forma de fundo;

Cobertura do fundo por formas de fundo;

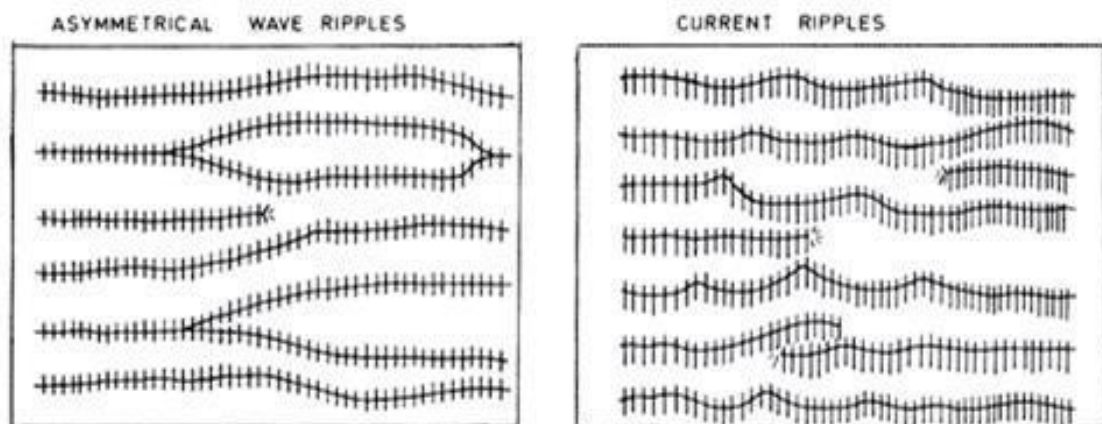
Estrutura do escoamento;

Força relativa de escoamentos opostos;

Histórico do comportamento de migração da duna.

Fonte: Adaptado de ASHLEY (1990).

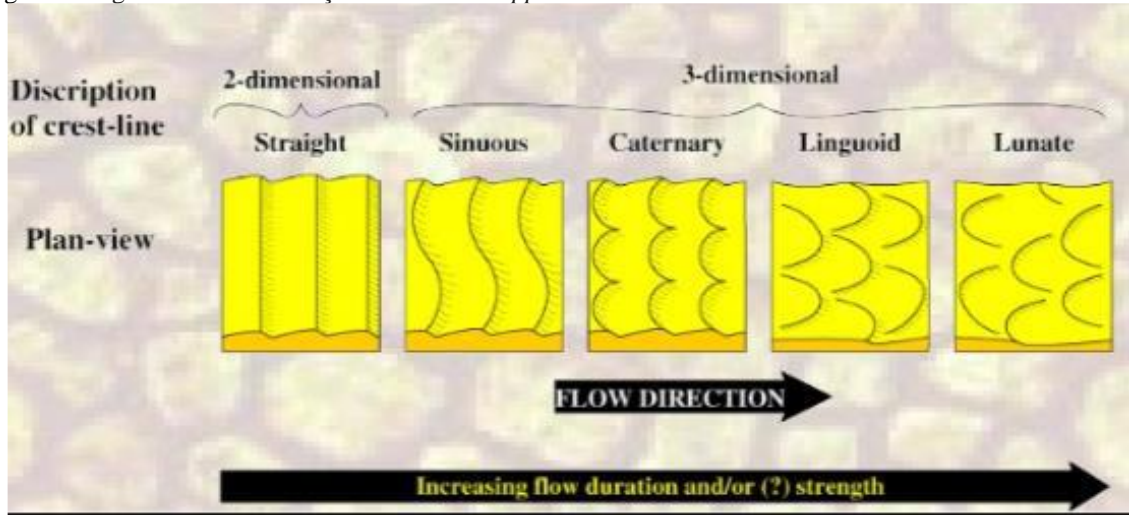
A classificação das *ripples*, feições que possuem comprimentos de onda menores que 0,6 m e alturas abaixo de 0,1 m, foram realizadas de acordo com dimensões proposta por Allen (1968). Essas feições podem ser classificadas de acordo com o seu agente formador em *wave ripples* assimétricas e *current ripples* (REINECK; SINGH, 1975). As *wave ripples* mostram uma bifurcação bem desenvolvida com cristas bastante regulares. As cristas de *current ripples*, por outro lado, não são tão regulares onde a bifurcação é ausente e as cristas terminam e são substituídas por outras cristas (figura 4).

 Figura 4. Diagrama esquemático mostrando *wave ripples* assimétricas e *current ripples* em uma superfície.


Fonte: REINECK e SINGH (1975)

Segundo Allen (1968) há uma tendência para que as cristas se tornem mais descontínuas ou lobadas com um aumento na energia do ambiente nas *current ripples*. Através do esquema de direção de fluxo proposto Allen (*p cit.*), houve a classificação dessas feições (Figura 5).

Figura 5. Digrama de Classificação de *Current Ripples*.



Fonte: ALLEN (1968).

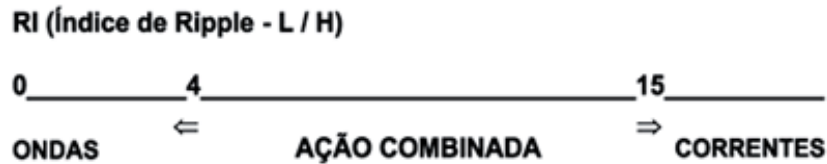
Outras classificações foram realizadas considerando as *Ripples* combinadas. Essas foram qualificadas em *current* e *wave ripples* combinadas. As *Ripples* com interferência foram classificadas em campo como *ripples* com fluxos secundários que quebram as estruturas de cristas alinhadas das *ripples*.

4.2.2 Classificação pelo agente formador

As feições de fundo observadas em campo foram classificadas de acordo com seu(s) agente(s) formador(es) a partir de proposta de Tanner (1967). Para essa classificação foram aferidas as medidas das feições de fundo com o uso de uma trena manual. Foram coletados o comprimento de ondulação (L) que consiste na distância horizontal entre duas cavas consecutivas, a altura (h) distância vertical entre a cava e a crista e as projeções das faces das estruturas no fundo marinho.

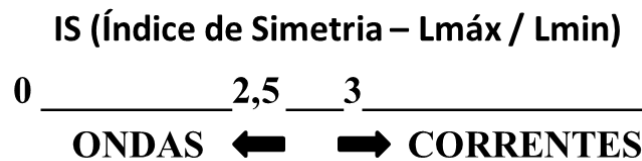
Com base nesses parâmetros, foram obtidos o *índice de ripple* (IR) e o índice de simetria (IS) onde se verificou o comprimento ($L_{\text{máx}}$) do lado suave e o comprimento (L_{min}) do lado íngreme, usados como critérios na classificação segundo o agente gerador principal das formas de fundo. Para interpretar as estruturas e estimar os parâmetros (L e h) utilizados nos cálculos dos índices. A faixa de variação dos índices utilizados em função do agente formador principal é apresentada nas figuras 6 e 7.

Figura 6. Escala mostrando a faixa de variação do índice *ripple* (IR) com base na ação de ondas, correntes e combinada.



Fonte: TANNER (1967)

Figura 7. Escala mostrando a faixa de variação do índice de simetria (IS) segundo a ação de ondas e correntes.



Fonte: TANNER (1967)

4.2.3 Direção de propagação e coleta de amostras

A direção de propagação do fluxo foi aferida com auxílio de uma bússola onde a cada grupo de feição identificado foram realizadas duas leituras aleatórias (figura 8). Posteriormente as orientações obtidas foram especializadas em um mapa integrado as feições classificadas. Associado a coleta das direções, também foram coletadas amostras do sedimento superficial, da crista e cava da feição que apresentava características texturais aparentemente diferente, para análise da granulometria e teor de carbonato de cálcio.

Figura 8. Aferição da direção das feições de fundo com o auxílio de uma bússola e coleta de amostra de sedimentos.



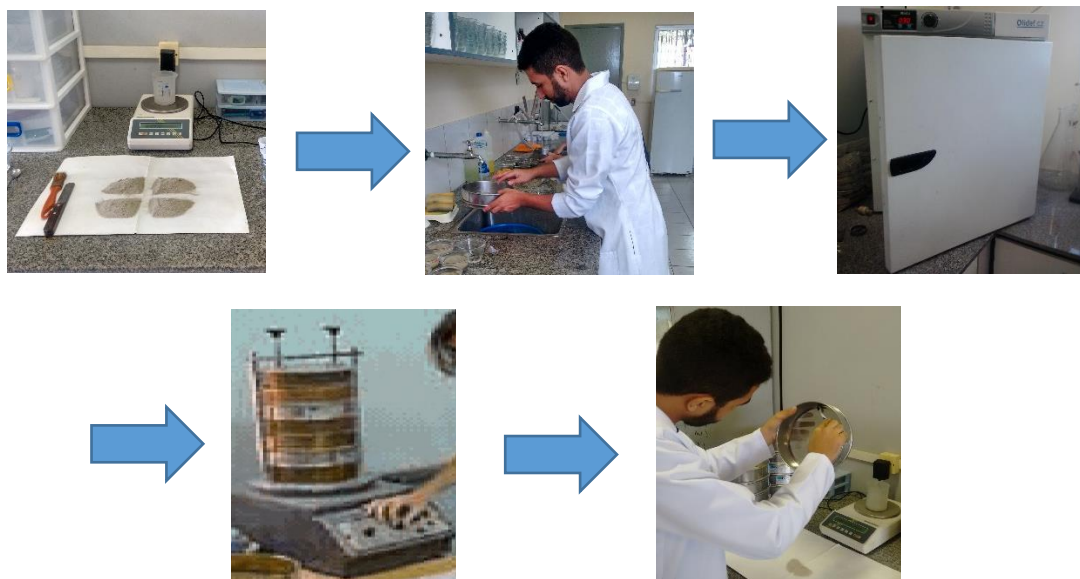
Fonte: autor (2016).

4.3 Processamento e integralização de dados

4.3.1 Análise granulométrica

Para a análise granulométrica observada na figura 9, adotou-se a metodologia de Suguio (1973) que consiste basicamente em quatro etapas: o quarteamento da amostra e separação de uma alíquota de 100g; peneiramento úmido dessa alíquota com peneiras de malha de 2,000 mm (-1Φ) e 0,062 mm (4Φ) para separação das frações cascalho, areia e finos (silte + argila); secagem em estufa à temperatura de 60° C, durante 24 h; e peneiramento seco da fração areia em agitador mecânico *Rot up* por 10 minutos utilizando conjunto de peneiras sedimentológicas de aberturas de malha de $\frac{1}{2} \Phi$ correspondentes aos limites de Wentworth (1922, modificado por Krumbein, 1934). A análise foi realizada segundo o método sugerido por Folk & Ward (Suguio, 1973) obtido pelo programa Sistema de Análise Granulométrica - SAG.

Figura 9. Fluxograma das etapas do processo de análise granulométrica.



Fonte: autor (2016).

4.3.2 Carbonato de Cálcio

Para a determinação do teor de carbonato de cálcio (CaCO_3) das amostras utilizou-se do método do Calcímetro de Bernard (modificado) como visto em (Lamas et al. 2005), no qual o teor de carbonato é medido de forma indireta, através do volume de uma solução salina deslocado pelo gás carbônico produzido da reação do ácido clorídrico (HCL) com o carbonato de cálcio.



Balanceando a reação, devido à instabilidade do ácido carbônico, temos que:



Inicialmente mede-se o volume padrão ($V_{\text{padrão}}$) deslocado pela reação salina para uma amostra de concentração conhecida de carbonato de cálcio ($C_{\text{padrão}}$). Nas análises realizadas em laboratório foram separadas de 0,500 g de amostra de CaCO_3 a 99% ($C_{\text{padrão}}$) sendo elas adicionadas a kitassatos com tubos de ensaio, acoplados a cada kitassato foram adicionados 2,0 ml de HCL, diluído a 10%, com cautela para que não haja o ataque da amostra de forma prematura. No Calcímetro de Bernard acoplou-se cautelosamente o kitassato a uma coluna de água na bureta graduada (100 ml), evitando-se ainda que o HCL atingisse a amostra.

O Nível de água na bureta é zerado, atingindo a marca desejada e de forma cuidadosa entorna-se o kitassato para que o HCL presente no tubo acoplado entre em contato com a amostra, para que ocorra a reação que produz o gás carbônico que por sua vez desloca a solução salina até atingirmos o valor padrão. O percentual final de carbonato de cálcio medido nas mesmas é feito usando-se uma regra de três simples.

$$C_{\text{amostra}} (\% \text{CaCO}_3) = (V_{\text{amostra}} \times C_{\text{padrão}}) / V_{\text{padrão}}$$

4.3.3 Geoprocessamento

A integralização dos dados referente à classificação das feições de fundo foi realizada com o auxílio do *software* QuantumGis (versão 2.18). Inicialmente os dados obtidos foram tabulados e inseridos em um banco de dados (*Personal Geodatabase*). Após essa etapa foram gerados os *shapefiles* contendo as informações de cada grupo de feições, sendo possível especializar a distribuição das feições na área amostrada. Dessa maneira, foi possível gerar o mapa temático com os grupos de feições de fundo e com os fluxos relacionados a sua formação.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A composição sedimentar do ambiente e sua distribuição ao longo do mesmo estão entre os fatores responsáveis pelo aparecimento das formas de fundo. Na área amostrada, a composição granulométrica constituiu-se em quantidade considerável das amostras analisadas em areia fina a média. O resultado corrobora com as constatações realizadas em trabalhos anteriores que definem que os bancos arenosos estão associados à deposição de areia fina. Os

sedimentos das cristas apresentaram granulometria semelhante ao da calha, e o teor de carbonato de cálcio baixo (Gráfico 1), com máxima de 19% em duas amostras, F1 e F8 em função da presença de sedimentos cascalhosos biodetríticos relacionados à produtividade biológica local (SILVA *et al.*, 2010).

Gráfico 1. Teor de Carbonato de Cálcio nas amostras (%)

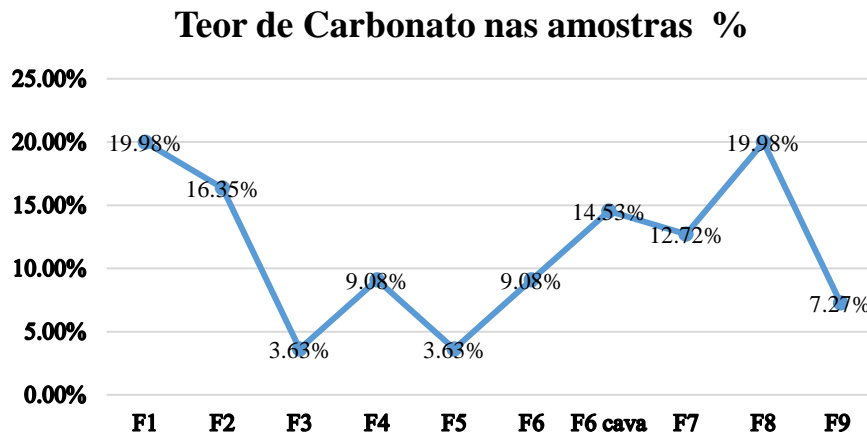


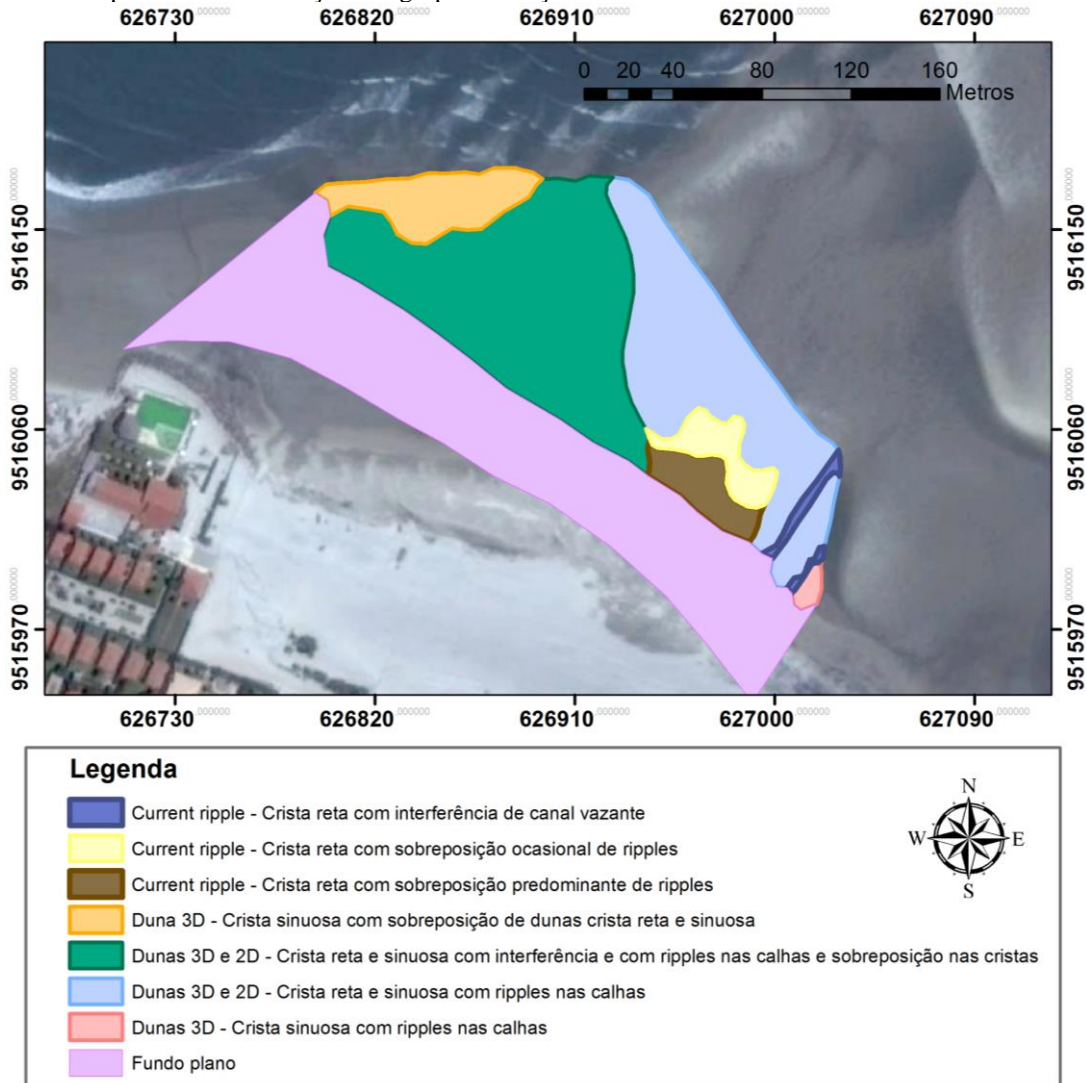
Tabela 2. Classificação granulométrica das amostras coletadas

Amostras	Classificação pela média	Classificação textural de Folk
Amostra Crista F1	Areia Fina	Areia com cascalho esparsa moderadamente selecionada.
Amostra Crista F2	Areia Fina	Areia moderadamente selecionada.
Amostra Crista F3	Areia Fina	Areia moderadamente selecionada.
Amostra Crista F4	Areia Média	Areia com cascalho esparsa moderadamente selecionada.
Amostra Crista F5	Areia Média	Areia moderadamente selecionada.
Amostra Crista F6	Areia Fina	Areia com cascalho esparsa moderadamente selecionada.
Amostra Calha F6	Areia Média	Areia com cascalho esparsa moderadamente selecionada.
Amostra Crista F7	Areia Média	Areia moderadamente selecionada.
Amostra Crista F8	Areia Fina	Areia bem selecionada
Amostra Crista F9	Areia Média	Areia com cascalho esparsa bem selecionada.

Com base nos descritores morfológicos de Ashley (1990), Allen (1968) e Tanner (1967) apresentados anteriormente, foram identificados distintos padrões de feições de fundo na área de estudo. As formas de fundo encontradas foram dunas e current *ripples*, essas formas

permitem inferir uma forte característica sedimentar ao ambiente, com predominância de sedimento arenoso, a presença de correntes de magnitudes capazes de mobilizar e transportar a carga sedimentar dando origem as estruturas sobre o fundo. As principais estruturas encontradas foram especializadas na figura 10.

Figura 10. Mapa com a classificação dos grupos de feições de fundo.



Fonte: autor (2016).

No total, 8 grupos de feições foram classificados. Cada grupo possui uma ou mais feições que foram identificados e classificadas individualmente em função das suas especificidades (altura, comprimento, tipo, nomenclatura, ordem, dentre outras). Apresentados na tabela 3:

Tabela 3: Especificidades das feições.

GRUPO	L (Comprimento)	H (Altura)	Tipo	Duna (>0,60 m)	Ripples (<0,60 m)	Lmáx - reverso	Lmín- escarpa	Orientação
1	2,5m	0,035m	Duna	3D Sinuosa		2,2m	0,5m	S 240° W
1	1,8m	0,025m	Duna	3D Sinuosa		1,7m	0,1m	S 240° W
2	0,20m	0,02m	Ripple		2D Straight Current ripple	0,18m	0,03m	N 60° E
2	0,18m	0,02m	Ripple		2D Straight Current ripple	0,12m	0,035m	N 60° E
3	1,5m	0,11m	Duna	2D Straight		1,53m	0,16m	S 240° W
3	1,9m	0,08m	Duna	3D Sinuosa		1,8m	0,1m	N 240° W
4	0,19m	0,15m	Ripple		2D Straight Current ripple	0,1m	0,03m	N 60° E
5	2,37m	0,06m	Duna	3D Sinuosa		1,12m	0,05m	N 285° W
5	2,5m	0,11	Duna	3D Straight		1,65m	0,28	S 220° W
6	0,26m	0,02	Ripple		2D Straight Current ripple	0,21m	0,07m	S 245° W
7	0,38m	0,02m	Ripple		2D Straight Current ripple	0,26m	0,06m	S 260° W
8	0,12m	0,02m	Ripple		2D Straight Current ripple	0,2m	0,04m	N 250° W
8	1,31m	0,08m	Dunas	3D Sinuosa		0,83m	0,15	S 240° W
8	1,39m	0,07m	Dunas	3D Straight		1,02m	0,3m	S 240° W
8	1,7m	0,15m	Dunas	3D Sinuosa		2,22m	0,01m	S 220° W

➤ *Current Ripples*

As formas de fundo presentes correspondem a *ripples* e dunas 2-D pequenas de até 30 cm de comprimento e aproximadamente 5 cm de altura. As cristas são retas, e apresentam orientação voltada para *offshore* corroborando com a direção das correntes de maré que no momento da amostragem eram de vazante (figura 11).

As *currentes ripples* que possuem crista reta sofrem interferência de canal vazante, por onde podem ser transportados sedimentos da parte superior da praia para área submersa.

Figura 11. *Current Ripples*: (A) Crista reta com interferência de canal de maré vazante; (B) Crista reta com sobreposição ocasional de ripple; e (C) Crista reta com sobreposição predominante de ripple.

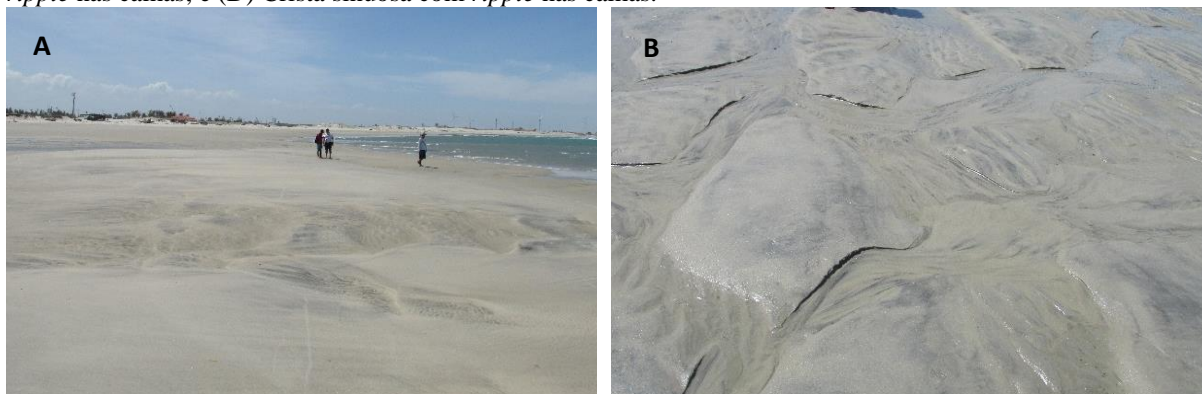


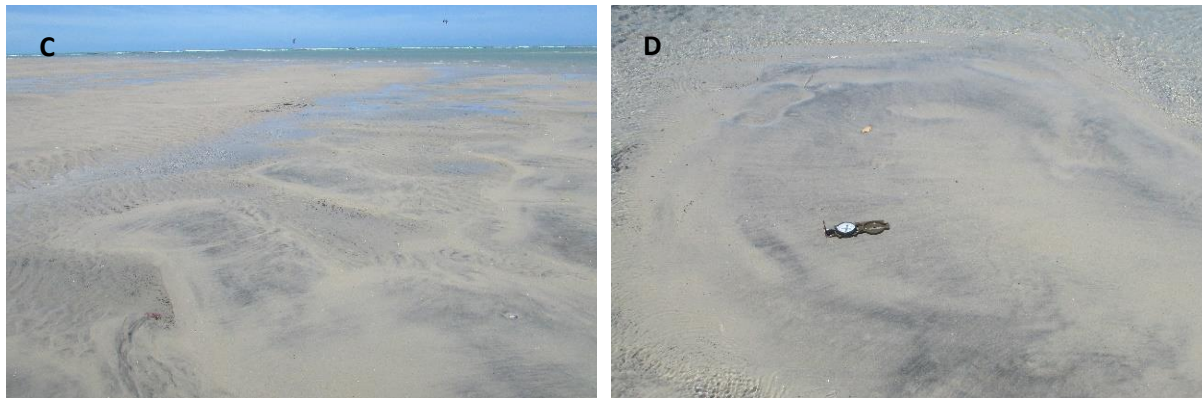
Fonte: autor (2016).

➤ *Dunas 2-D e 3-D com interferência e/ou sobrepostas de ripples*

As formas de fundo desta região equivalem a dunas 2-D médias com comprimento de até 2 m e altura de cerca de 8 cm com interferência de *ripples* nas calhas e sobreposição de *ripples* nas cristas (figura 12). As cristas são retas e sinuosas apresentando orientação voltada para *onshore*, pois ao contrário das estruturas *ripples* as dunas possuem maior estabilidade com relação às correntes de marés que interferem no local.

Figura 12. Dunas 2-D e 3-D: (A) Crista sinuosa com sobreposição de dunas com crista reta e sinuosa; (B) Crista reta e sinuosa com interferência de *ripple* nas calhas e sobreposição nas cristas; (C) Crista reta e sinuosa com *ripple* nas calhas; e (D) Crista sinuosa com *ripple* nas calhas.





Fonte: autor (2016).

A sobreposição de *ripples* em dunas indica uma relação complexa. Dalrymple e Rhodes (1995) propõem duas teorias para formação dessas estruturas: i) a formação das *ripples* devido ao aparecimento de uma camada de contorno interna próxima à superfície das dunas maiores; e ii) mudanças temporais na profundidade da água as quais permitiria, após a formação das dunas, o aparecimento de *ripples* em profundidades menores, sendo que as dunas maiores permaneceriam devido a sua maior estabilidade. No caso da região da praia de Parajuru, a teoria de formação mais compatível seria a primeira, justamente por ser a área dinâmica que está sujeita ao aprofundamento ou assoreamento de canais, que pode ocorrer variações na coluna d'água.

Campo de ripples

O grupo é dominado por *ripples* mas apresenta também faixas com ausência de formas de fundo. As *ripples* começam a adquirir características de estruturas 3-D, evidenciando ainda mais a intensificação da ação das correntes (figura 13).

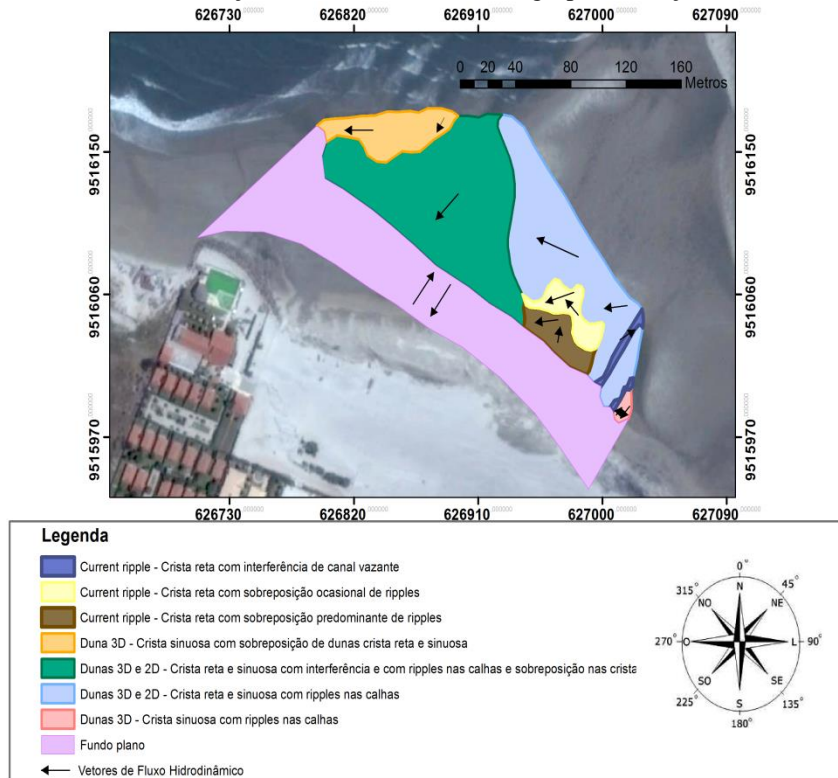
Figura 13. Campo de *Ripples- Current Ripples*: (A) Crista reta com interferência de canal de maré vazante; (B) Crista reta com sobreposição ocasional de *ripple*; e (C) Crista reta com sobreposição predominante de *ripple*.



Fonte: autor (2016).

A análise das direções das cristas das dunas e *ripples* próximas a estas permitem observação de diferentes padrões de instabilidades das estruturas. A maré no período de amostragem estava iniciando o seu ciclo vazante, ou seja, a direção das correntes no estuário começava a se inverter. As dunas, por possuírem maior estabilidade devido à maior capacidade de estocagem do sedimento ainda mostravam uma direção de crista voltada para o interior continente no sentido da foz do estuário sentido corrente de enchente. Ao passo que as *ripples* encontradas próximas a elas, já apresentavam uma direção da crista voltada para *offshore*, seguindo o sentido das correntes de vazante. As representações das direções dos fluxos das cristas das feições podem ser observadas na figura 14.

Figura 14. Mapa com vetores de direção de fluxo das cristas dos grupos de feições.



Fonte: autor (2016).

Análise realizada por Flemming (2000) estabelece que a diferença na morfologia das dunas é devido à influência da profundidade, distribuição da granulometria, disponibilidade de sedimento e efeito da velocidade do escoamento. Uma vez que as características hidrodinâmicas tenham características parecidas em todo o ambiente, as feições resultantes de sua ação também serão semelhantes. *Ripples* e dunas de menor porte estocam menor volume de sedimento e por isso são passíveis de modificações ao longo de um mesmo ciclo de maré.

No estuário foi identificado um campo de dunas já observado em outros trabalhos (BARROSO, 2009; ANDRADE e DOMINGUEZ, 2002) onde se encontram dunas 2-D sobrepostas de *ripples* que podem caracterizar grande disponibilidade de sedimento não consolidado, provavelmente areia média, suficientes para manter as estruturas. Também foram identificados campos de *ripples* que se desenvolvem provavelmente em regiões de menores profundidades. Em certas regiões dos campos de *ripples* encontramos locais com faixas planas, sem a formação de formas de fundo, que podem se estabelecer devido a um aumento na intensidade das correntes ao longo do ciclo de maré ou a um maior aporte de sedimento.

Vários estudos vêm tentando distinguir as formas de fundo e entender como são geradas. Seus resultados ressaltam a dificuldade em se estabelecer normas gerais de investigação dessas estruturas, pois envolvem processos sujeitos a interações de variáveis sem comportamento linear em diferentes condições de fundo e de fluido (MILLER et al., 1977; LARSEN et al., 1981).

A partir da classificação de Tanner (1967) para a determinação do índice de ripple, e para a determinação do índice de simetria, foi possível estabelecer que todas as feições de fundo da região estudada na praia de Parajuru têm como agente formador em comum as correntes (tabela 4).

Tabela 4 – Índices de *Ripple* e Índice de Simetria das Feições.

	RI (índice de ripple)	Agente Formador	IS (índice de simetria)	Agente Formador
Feição 1	RI = 71,4	Corrente	IS = 4,4	Corrente
Feição 2	RI = 10	Combinada	IS = 6	Corrente
Feição 3	RI = 23,7	Corrente	IS = 9,5	Corrente
Feição 4	RI = 12,6	Corrente	IS = 3,3	Corrente
Feição 5	RI = 39,6	Corrente	IS = 22,4	Corrente
Feição 6	RI = 13	Corrente	IS = 3	Corrente
Feição 7	RI = 19	Corrente	IS = 4,3	Corrente
Feição 8	RI = 35,7	Corrente	IS = 8	Corrente
Feição 9	RI = 19,8	Corrente	IS = 3,5	Corrente

6. CONCLUSÃO

Estruturas sedimentares como dunas subaquosas e *ripples* possuem influência direta dos padrões de dinâmica sedimentar do ambiente em que se formam e por isso apresentam em seu registro indícios das características dos mesmos. O estudo deste tipo de feições de fundo permite inferir grande parte dos processos envolvidos no ambiente tais como o momento da maré, o transporte líquido de sedimento, regiões de maior erosão/acresção, entre outros.

A área apresenta padrões como a predominância de areia fina entre as feições, e nas devidas áreas a presença dos bancos de areia presentes se dão pela deposição dessas areias finas presentes no local. Tais formações precisam ser melhores estudadas por serem capazes de estarem formando correntes de contorno no local apresentando assim, risco a balneabilidade.

A presença de fluxos bidirecionais que formam as feições confirmam a hipótese de que uma feição pode sofrer alterações em suas formas por mais de um agente. Sendo que na maioria dos resultados encontrados os índices indicaram que o principal fluxo formador das formas, são as correntes do local. Estudos mais aprofundados sobre a ação das correntes sobre o local são de grande importância, para a avaliação de riscos de erosão.

A análise dos dados retrata as condições direcionais da hidrodinâmica local. Assim, é possível através dos índices estudados definir o agente formador das feições de fundo.

REFERÊNCIAS

- ALLEN, John RL. **Physical processes of sedimentation**. American Elsevier Pub. Co., 1968.
- ANDRADE, Ana Cláudia da Silva; DOMINGUEZ, José Maria Landim. **Informações geológico-geomorfológicas como subsídios à análise ambiental: o exemplo da planície costeira de Caravelas–Bahia**. 2002.
- ASHLEY, Gail M. et al. Classification of large-scale subaqueous bedforms: a new look at an old problem-SEPM bedforms and bedding structures. **Journal of Sedimentary Research**, v. 60, n. 1, 1990.
- BARROSO, C. P. Dinâmica de bancos e pontais arenosos associados à desembocadura do estuário de Caravelas, BA. **BA, Universidade de São Paulo**, v. 134, 2009.
- BERNABEU, A. M.; MEDINA, R.; VIDAL, C. A morphological model of the beach profile integrating wave and tidal influences. **Marine Geology**, v. 197, n. 1, p. 95-116, 2003.
- CUNHA, KJO. Variações espaciais e temporais da biomassa fitoplantônica nos trechos finais dos rios Piraquê-açu e Piraquê-Mirim, Aracruz-ES. 2004. 76f. **Monografia-Curso de Graduação em Oceanografia, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória**, 2004.
- DALRYMPLE, Robert W.; RHODES, Robert N. Estuarine dunes and bars. **Developments in sedimentology**, v. 53, p. 359-422, 1995.
- DAVIES, J. L.; MOSES, Cherith A. **A morphogenic approach to world shorelines**. 1964.
- DAVIS. **Coastal Sedimentary Environments**. New York: Springer-Verlag, 2ª ed. 716 p. 1985.
- DAVIS, RA Jr (Ed.). **Coastal sedimentary environments**. Springer Science & Business Media, 2012.
- DOS SANTOS, Cíntia Lins. Gerenciamento dos recursos hídricos do estado do Ceará: Princípios e Práticas. **Periódico Eletrônico Fórum Ambiental da Alta Paulista**, v. 7, n. 2, 2011.
- D'AQUINO, Carla de Abreu et al. Caracterização oceanográfica e do transporte de sedimentos em suspensão no estuário do Rio Mampituba, SC. **Revista Brasileira de Geofísica**, v. 29, n. 2, p. 217-230, 2011.
- FISH, John Perry; CARR, H. Arnold. **Sound underwater images: a guide to the generation and interpretation of side scan sonar data**. Lower Cape Pub Co, 1990.
- FLEMMING, B. W. The role of grain size, water depth and flow velocity as scaling factors controlling the size of subaqueous dunes. In: **Marine Sandwave Dynamics, International Workshop**, p 23-24, 2000.

FUNCEME (Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos). **Monitoramento hidroambiental (chuvas)**. Disponível em <<http://www.funceme.com.br>>. Acesso em 20 de junho de 2007.

GARRISON, Tom. **Fundamentos de oceanografia**. Cengage Learning, 2010.

GOMES, D. F.; BARRETO, F. M. S. Mapeamento geológico e geoambiental do distrito de Parajuru, município de Beberibe/CE. **Monografia de Graduação, Departamento de Geologia, Universidade Federal do Ceará**, 1995.

HOEFEL, Fernanda Gemael. **Morfodinâmica de praias arenosas oceânicas: uma revisão bibliográfica**. Editora da Universidade do Vale do Itajaí, 1998.

HULSCHER, Suzanne JMH; DEN BRINK, G. Matthijs. Comparison between predicted and observed sand waves and sand banks in the North Sea. **Journal of Geophysical Research: Oceans**, v. 106, n. C5, p. 9327-9338, 2001.

IPECE. **Avaliação do uso potencial de áreas estuarinas a partir da identificação e caracterização do comportamento de variáveis hidro-climáticas, oceanográficas e ambientais**- Estudo de Caso: Rio Pirangi-Ce. 2015

KING, Cuchlaine AM. **Beaches and coasts**. Arnold, London, 403 p., 1959.

KING, Cuchlaine AM. **Beaches and coasts**. London, 1972.

KOMAR, Paul D. Beach processes and erosion-an introduction. **CRC Handbook of coastal processes and erosion**, p. 1-20, 1983.

KÖPPEN, William. **Climatologia**. México. Fundo de Cultura Econômica, 1948

LANGHORNE, D. N. A study of the dynamics of a marine sandwave. **Sedimentology**, v. 29, n. 4, p. 571-594, 1982.

LAMAS, F.; IRIGARAY, C.; OTEO, C.; CHACON, J. (2005) **Selection of the most appropriate method to determine the carbonate content for engineering purposes with particular regard to marls**. Engineer. geol., v. 81, p. 32-41.

LIMA, Renan Silva de. **Vulnerabilidade da linha de costa a eventos de alta energia na Praia da Caponga-Cascavel, Ceará**. 2014. Tese de Doutorado.

MCCAIVE, I. N.; LANGHORNE, D. N. Sand waves and sediment transport around the end of a tidal sand bank. **Sedimentology**, v. 29, n. 1, p. 95-110, 1982.

MAIA, Luis Parente. **Procesos costeros y balance sedimentario ao lo largo de Fortaleza (NE-Brasil): implicaciones para una gestión adecuada de la zona litoral**. 1998.

MAIA, Glacianne Gonçalves de Oliveira. **Vulnerabilidade e riscos naturais a eventos de alta energia nas praias semi-urbanas e naturais do litoral de Aquiraz, Ceará**. Tese de Doutorado. 2014.

MARINO, Márcia Thelma Rios Donato; FREIRE, George Satander Sá. Análise da evolução da linha de costa entre as Praias do Futuro e Porto das Dunas, Região Metropolitana de Fortaleza

(RMF), estado do Ceará, Brasil. **Revista de Gestão Costeira Integrada**, v. 13, n. 1, p. 113-129, 2013.

MENDES, Josué Camargo. **Elementos de estratigrafia**. TA Queiroz, 1984.

MENDES, João NV; PINHO, José LS. Erosão Costeira–Metodologias para a sua Quantificação. **Engenharia Civil da Universidade do Minho**, n. 33, p. 139-150, 2008.

MIRANDA, LB de; CASTRO, BM de; KJERFVE, Björn. Princípios de oceanografia física de estuários. **São Paulo: EDUSP**, v. 414, 2002.

MORAIS, Jäder Onofre de; Geologia do Planejamento Ambiental: Processos e impactos ambientais em zonas costeiras. **Revista de Geologia**, v. 9, p. 191-242, 1996.

MUEHE, Dieter. Critérios morfodinâmicos para o estabelecimento de limites da orla costeira para fins de gerenciamento. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 2, n. 1, p. 35-44, 2001.

MUEHE, D. C. E. H. et al. Erosão e progradação do litoral brasileiro. **Ministério do Meio Ambiente**. 2006.

PINHEIRO, Lidriana de Souza. **Compatibilização dos processos morfodinâmicos e hidrodinâmicos com o uso e ocupação da praia da Caponga–Cascavel–CE**. Tese de Doutorado. Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual do Ceará, 164p. 2000.

PINHEIRO, Lidriana de Souza. **Riscos e gestão ambiental no estuário do Rio Malcozinhado, Cascavel-CE**. 2003.

RADAMBRASIL, Projeto. Levantamento integrado dos recursos naturais do Brasil. **Folha Jaguaribe-Natal. Ministério das Minas e Energia-MME, Rio de Janeiro**, 1981.

REINECK, H. E. Singh, I. B. Depositional Sedimentary Environments. **Springer—Verlag, New York**, v. 439, n. 1.2, p. 549-562, 7. 1975.

SCHUBEL, J. R.; CARTER, H. H. Estuary as a Filter for Fine-Grained Suspended Sediment. **The Estuary as a Filter, Academic Press, Orlando FL. 1984. p 81-105, 3 fig, 2 tab, 53 ref.**, 1984.

SILVA, A. E. DA; MENANDRO, P. S.; QUARESMA, V. DA S.; BASTOS, A. C. **Distribuição sedimentar do estuário Piraquê-açú, Aracruz – ES**. III Seminário de Geoquímica Ambiental Niterói - RJ, 2010.

SILVA, C. G.; PATCHINEELAM, S. M.; BAPTISTA NETO, J. A.; PONZI, V. R. A. Ambientes de sedimentação costeira e processos morfodinâmicos atuantes na linha de costa. In: BATISTA NETO, J. A et al (org). **Introdução à Geologia Marinha**. Rio de Janeiro: Interciência, 2004.

SHORT, A. D.; WRIGHT, L. D. Morphodynamics of high energy beaches: an Australian perspective. **Coastal geomorphology in Australia**, p. 43-68, 1984.

SOUZA, P. H. G. O. **Dinâmica ambiental e transformações socioespaciais da orla marítima de Paracuru – Ceará**. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Centro de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual do Ceará, Fortaleza, 2007.

- SUGUIO, Kenitiro; BIGARELLA, Joao J. **Ambientes fluviais**. Universidade Federal de Santa Catarina, 1990.
- SUGUIO, Kenitiro. **Dicionário de geologia marinha: com termos correspondentes em inglês, francês e espanhol**. TA Queiroz, Editor, 1992.
- SUGUIO, Kenitiro. Introdução a Sedimentologia: Edgard Blücher. **EDUSP, São Paulo**, 1973.
- SUGUIO, Kenitiro. **Geologia sedimentar**. Edgard Blücher, 2003.
- TANNER, William F. Ripple mark indices and their uses. **Sedimentology**, v. 9, n. 2, p. 89-104, 1967.
- TESSLER, Moysés Gonsalez; SOUZA, Luiz Antonio Pereira de. Dinâmica sedimentar e feições sedimentares identificadas na superfície de fundo do sistema Cananéia-Iguape, SP. **Revista Brasileira de Oceanografia**, v. 46, n. 1, p. 69-83, 1998.
- USACE, U. S. Army Corps of Engineers. **Engineering and design coastal littoral transport**. Washington, D.C. 1992
- VERONEZ JÚNIOR, Paulo; BASTOS, Alex Cardoso; QUARESMA, Valéria da Silva. Morfologia e distribuição sedimentar em um sistema estuarino tropical: Baía de Vitória, ES. **Revista Brasileira de Geofísica**, v. 27, n. 4, p. 609-624, 2009.
- WENTWORTH, Chester K. A scale of grade and class terms for clastic sediments. **The Journal of Geology**, v. 30, n. 5, p. 377-392, 1922.
- ZANELLA, Maria Elisa. As características climáticas e os recursos hídricos do Estado do Ceará. **Ceará: um novo olhar geográfico**. Fortaleza: **Edições Demócrito Rocha**, p. 169-188, 2005.