



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS

LUIS AUGUSTO DE GOIS

**A INTERFERÊNCIA DAS ESTRUTURAS DE PROTEÇÃO DA COSTA NA
PRESERVAÇÃO DOS SEDIMENTOS COSTEIROS DA PRAIA DE BAIRRO NOVO,
OLINDA-PE**

Recife

2018

LUIS AUGUSTO DE GOIS

**A INTERFERÊNCIA DAS ESTRUTURAS DE PROTEÇÃO DA COSTA NA
PRESERVAÇÃO DOS SEDIMENTOS COSTEIROS DA PRAIA DE BAIRRO NOVO,
OLINDA-PE**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geociências do Centro de Tecnologia e Geociências da Universidade Federal de Pernambuco como requisito parcial para a obtenção do título de Doutor em Geociências.

Área de concentração: Geologia Sedimentar e Ambiental

Orientador: Prof. Dr. Valdir do Amaral Vaz Manso

Recife
2018

Catalogação na fonte
Bibliotecária Margareth Malta, CRB-4 / 1198

G616i Gois, Luis Augusto de.

A interferência das estruturas de proteção da costa na preservação dos sedimentos costeiros da praia de Bairro Novo, Olinda-PE / Luis Augusto de Gois. -

2018.

286 folhas, il., gráfs., tabs.

Orientador: Prof. Dr. Valdir do Amaral Vaz Manso.

Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG.

Programa de Pós-Graduação em Geociências, 2018.

Inclui Referências e Anexos.

1. Geociências. 2. Litoral de Olinda. 3. Erosão costeira. 4.

LUIS AUGUSTO DE GOIS

**A INTERFERÊNCIA DAS ESTRUTURAS DE PROTEÇÃO DA COSTA NA
PRESERVAÇÃO DOS SEDIMENTOS COSTEIROS DA PRAIA DE BAIRRO NOVO,
OLINDA-PE**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geociências do Centro de Tecnologia e Geociências da Universidade Federal de Pernambuco como requisito parcial para a obtenção do título de Doutor em Geociências.

Aprovada em: 22/11/2018.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Valdir do Amaral Vaz Manso – Orientador
Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Dr. Virgílio Henrique de Miranda Lopes Neumann (Examinador Interno)
Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Dr. José Diniz Madruga Filho (Examinador Externo)
Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Dr. Fábio José de Araújo Pedrosa (Examinador Externo)
Universidade de Pernambuco

Prof.ª Dr.ª Rochana Campos de Andrade Lima Santos (Examinadora Externa)
Universidade Federal de Alagoas

Este trabalho é dedicado ao Mar...

Mar de minhas MARias.

***Maria Luisa**, que do Mar trouxe os olhos, a bravura e, acima de tudo, o encanto.*

***Maria Augusta**, que do mar trouxe a beleza, a inquietude e, acima de tudo, o fascínio.*

Elas, que representam força, razão e motivos que me movem todos os dias.

AGRADECIMENTOS

*“A dança dessas ondas sob o mar
É valsa, faz sorrir e faz chorar
A vela que norteia a embarcação
Define novas rotas pra sonhar”*

E entre uma rota e outra, como não agradecer?

Agradecer, primordialmente, a DEUS.

A *Ele* por mais esta graça. Por me conduzir por mais esta rota.

Nesse trajeto, agradecer a tantos outros que compartilharam comigo desta viagem.

A quem esteve ao meu lado sempre apoiando, incentivando e que, de forma direta ou indireta, sempre contribuiu para a realização deste trabalho.

Ao Professor Dr. Valdir do Amaral Vaz Manso. Inicialmente, por acreditar nesse projeto, por sua orientação e pelas incontáveis contribuições. Mas, acima de tudo, agradecê-lo pelo incentivo, fundamental para que fosse possível chegar até aqui.

Aos colegas, professores e funcionários que compõem o departamento de geologia e, em especial, aos que fazem, ou fizeram, parte do Laboratório de Geologia e Geofísica Marinha – LGGM/UFPE: Sharliane Arruda, Miguel Arrais e Carlos Fernando Soares.

Aos amigos Henrique Viegas, Isaac Freitas, Ana Alencar, Carlos Eduardo Fabin, Thiago Lopes pelas colaborações nos trabalhos de campo e tratamento de dados. Assim como a Rosana Amaral, prima-irmã, pelas revisões de texto, fotos e diagramação, mas, principalmente, por ter estado sempre ao meu lado.

Finalmente, à minha mãe, por desde cedo ter me feito entender o incomensurável valor do conhecimento.

A todos, o meu sincero agradecimento.

“Não há regras absolutas, nem soluções absolutas para o problema da erosão costeira, dada a dinâmica e o caráter diversificado do litoral. Não existe um único conjunto de regulamentos, ou uma única filosofia de gestão da utilização da terra adequada para todas as situações ou configurações costeiras. A diversidade do litoral exige a consideração de uma variedade de soluções ao abordar os problemas em uma área específica. A erosão é uma resposta natural aos processos de água e vento na terra, mas a erosão é um problema apenas quando o desenvolvimento humano está em risco”.
(CEM – Coastal Engineering Manual, USACE, 2002, p. I-2.16)”.

RESUMO

Em Olinda, a erosão costeira tem se feito presente desde as primeiras décadas do século XX, quando inicialmente atingiu as praias dos Milagres, Carmo e São Francisco, posteriormente atingindo a praia de Bairro Novo, área na qual se desenvolve este estudo, e que vem sendo objeto de intervenções costeiras ao longo de mais de 50 anos. Nesse sentido, o principal objetivo deste trabalho consistiu em investigar, a partir da identificação do processo natural de aporte sedimentar na porção média deste segmento litorâneo, a capacidade de recomposição dos perfis praiais, bem como a existência de relação entre o déficit de sedimentos e as estruturas de defesa costeira existentes. Baseado nos resultados obtidos, tornou-se possível concluir que não se justifica a permanência dos espiões na praia de Bairro Novo, uma vez que não há quantidade suficiente de sedimentos sendo transportados pela deriva litorânea, capaz de serem capturados pelos espiões e de, consequentemente, promover a recomposição do perfil praial. Devendo ser considerado, ainda, que a presença dessas estruturas, em desconformidade com o que preconiza a literatura, no que diz respeito às suas dimensões, bem como em relação aos seus afastamentos, tem sido responsável pela formação de correntes de retorno e que, além de provocar sérios danos àquelas estruturas, vem promovendo o rebaixamento da superfície de fundo. A análise da evolução dos perfis de praia, e a quantificação da variação volumétrica de sedimentos revelou um balanço sedimentar negativo superior a 230,0 m³/m linear de perfil de praia, tendo sido identificado, inclusive, que na maior parte dos compartimentos formados entre os espiões, está havendo rebaixamento do perfil praial. Estendendo a investigação do balanço sedimentar para a plataforma continental, foi identificado por meio da superposição de batimetrias que, atualmente, existe um déficit sedimentar de 2.395.612,13 m³ de sedimentos em relação ao ano de 2011, revelando uma taxa de erosão de 342.230,30m³/ano. O estudo batimétrico mostrou a existência de duas linhas recifais dispostas paralelamente, apontando a existência de uma abertura na primeira linha de recifes, frontal à área em que vem ocorrendo o aporte natural de sedimentos, apontando que, por esta fenda, vem ocorrendo uma migração de sedimentos da plataforma em direção à praia.

Palavras-chave: Litoral de Olinda. Erosão costeira. Espiões.

ABSTRACT

In Olinda, coastal erosion has been present since the early decades of the 20th century, when it initially reached the beaches of Milagres, Carmo, and São Francisco, later reaching the beach of Bairro Novo, area in where this study was developed, and that has been the object of coastal interventions for more than 50 years. In this sense, the main objective of this work was to investigate, from the identification of the natural process of sedimentary input, in the middle portion of this coastal segment, the capacity of recombination of the beach profiles, as well as the existence of a relationship between the sediment deficit and the existing coastal defense structures. Based on the results obtained, it was possible to conclude that it is not justified the permanence of the groins in the Bairro Novo beach, since there is not enough sediment being transported by the coastal drift, able to be captured by the groins and, consequently, promote the recombination of the beach profile. It should also be considered that the presence of these structures, in disagreement with the literature, regarding their dimensions, as well as their distances, has been responsible for the formation of return currents, in addition to causing serious damage to those structures, has produced the lowering of the bottom surface. The analysis of the evolution of the beach profiles, and the quantification of the volumetric sediment variation, revealed a negative sedimentary balance above 230,0 m³/m linear of beach profile, moreover it has been identified that in most of the compartments formed between the groins, a lowering of the beach profile is happening. Extending the investigation of the sedimentary balance to the continental shelf, it was identified through the bathymetry superimposition that currently, there is a sedimentary deficit of 2.395.612,13 m³ of sediments in relation to 2011, revealing an erosion rate of 342.230,30 m³/year. The bathymetric study showed the existence of two parallel reef lines, pointing out the existence of a fault in the first line of reefs, frontal to the area in which the natural contribution of sediments has been occurring, due to this opening, there has been a migration of sediments from the platform towards the beach.

Keywords: Olinda coastline. Coastal erosion. Groins.

RESUMEN

En *Olinda* la erosión costera se ha hecho presente desde las primeras décadas del siglo XX, cuando inicialmente alcanzó las playas de *Milagres*, *Carmo* y *São Francisco*, posteriormente llegando a la playa de *Bairro Novo*, área en la cual se desenvuelve este estudio, y que viene siendo objeto de intervenciones costeras a lo largo de más de 50 años. En este sentido, el principal objetivo de este trabajo consistió en investigar, a partir de la identificación del proceso natural del aporte de sedimentos en el sector medio de este segmento costero, la capacidad de recomposición de los perfiles playas, bien como la existencia de la relación entre el déficit de sedimentos y las estructuras de defensa costera existentes. Fundamentado en los resultados obtenidos, fue posible concluir que no es justificado el mantenimiento de los espigones en la playa de *Bairro Novo*, ya que no hay cantidad suficiente de sedimentos que hayan sido transformados por la deriva costera, capaz de ser capturados por los espigones y de, consecuentemente, promover la recomposición del perfil de la playa. Debiendo aún ser considerado que la presencia de esas estructuras, en disconformidad con lo que dice la literatura en lo que respecta a sus tamaños, bien como en relación a sus separaciones, ha sido responsable de la formación de corrientes de retorno y que, además de provocar serios daños a las estructuras, viene promoviendo el rebajamiento de la superficie del fondo. El análisis de la evolución de los perfiles de la playa y de la cantidad de variantes volumétricas de los sedimentos reveló la existencia de un balance negativo de sedimentos superior a $230,0 \text{ m}^3/\text{m}$ linear de perfil de playa, habiendo sido identificado en la mayor parte de los compartimientos formados entre los espigones, existe un rebajamiento del perfil de la playa. Extendiendo la investigación del balance sedimentar para la plataforma continental, fue identificado por la superposición de batimetrías que, actualmente, existe un déficit de sedimentos de $2.395.612,13 \text{ m}^3$ de sedimentos en relación al año de 2011, revelando una tasa de erosión de $342.230,30 \text{ m}^3/\text{año}$. El estudio batimétrico mostró la existencia de dos líneas de Arrecifes dispuestas paralelamente señalando la existencia de una apertura en la primera línea de Arrecifes, frente al área en que viene ocurriendo un proceso de progradación natural de sedimentos, demostrando que, por la apertura, viene ocurriendo una migración de sedimentos de la plataforma continental en dirección a la playa.

Palabras clave: Sector costero de *Olinda*. Erosión costera. Espigones.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 –	Casa de Banhos do Recife, Século XIX, Recife-PE	31
Figura 2 –	Mapa de densidade demográfica do Brasil	35
Figura 3 –	Delimitações e orientação do município de Olinda-PE	43
Figura 4 –	Setores do litoral Olindense	45
Figura 5 –	Variação da área de mangues nas proximidades da praia dos Milagres, Olinda-PE	52
Figura 6 –	Praia do Farol, no município de Olinda, evidenciando a presença de algumas construções no início do século XX	54
Figura 7 –	Vista aérea da praia do Carmo, município de Olinda, revelando a grande quantidade de edificações estabelecidas no litoral, no início do século XX	54
Figura 8 –	Avenida Sigismundo Gonçalves (1910), centro importante do veraneio de Olinda	55
Figura 9 –	Diário da Manhã de 29/01/1928, quando era noticiado mais um registro de danos causados pelas ressacas às construções existentes na orla da praia dos Milagres, Olinda-PE	56
Figura 10 –	Tipologia da orla da cidade de Olinda	60
Figura 11 –	Ocupação dos espiões de Bairro Novo por bares e restaurantes, na década de 1970	67
Figura 12 –	Calçadas e espiões da praia de Bairro Novo, urbanizados com passeios e muretas	68
Figura 13 –	Deficiências nas estruturas de defesa costeira provocaram desmoronamentos nas áreas urbanizadas da orla de Bairro Novo (2003)	68
Figura 14 –	Abatimentos que atingiram as áreas urbanizadas da orla de Bairro Novo no ano de 2003	69
Figura 15 –	Espiões atingidos por abatimentos por toda a extensão da orla de Bairro Novo	69
Figura 16 –	Enrocamento de pedras jogadas na praia de Bairro Novo, Olinda-PE	70

Figura 17 –	Enrocamento implantado em substituição ao enrocamento de pedras jogadas, antes existentes na praia de Bairro Novo, Olinda-PE	70
Figura 18 –	Aerofotogrametria das células formadas pela bateria de espiões que se separam pela presença do enrocamentos na Praia de Bairro Novo, Olinda-PE	71
Figura 19 –	Imagen histórica de 2003: presença do espião 23 na praia de Bairro Novo, Olinda-PE	72
Figura 20 –	Imagen histórica de 2017: sem o espião 23 na praia de Bairro Novo, Olinda-PE	72
Figura 21 –	Registros de desmoronamentos nos espiões da praia de Bairro Novo, Olinda-PE	73
Figura 22 –	Obra de recomposição de taludes dos espiões da praia de Bairro Novo, Olinda-PE	73
Figura 23 –	Gabião como defesa costeira, não suportou e rompeu, espalhando pedras por toda praia	75
Figura 24 –	Principais formas de arrebentação das ondas	77
Figura 25 –	Mudanças no calor do oceano entre 1955 e 2015, comparadas com a média entre 1971 e 2000, intervalo adotado como referência	84
Figura 26 –	Acúmulo de energia no sistema climático da Terra de 1971-2010, onde o oceano domina a absorção de energia com a maior parte do aquecimento absorvido pelo oceano superior acima de 700m (azul claro) e o restante no oceano profundo abaixo (azul escuro). Uma pequena porcentagem da energia está envolvida no gelo derretido (cinza claro), aquecimento da terra continental (verde) e aquecimento atmosférico (marrom). As linhas tracejadas refletem os intervalos de confiança de 90% para todas as variáveis combinadas	85
Figura 27 –	Estimativas da mudança no conteúdo de calor do oceano, de 1960 até 2016	86
Figura 28 –	Fluxo e armazenamento de energia no sistema climático da Terra, onde o oceano é o maior reservatório de calor, com ~93% do desequilíbrio de energia da terra, e o restante que se distribui	

para aquecer a terra, a atmosfera e o derretimento do gelo e da neve	86
Figura 29 – Variação da temperatura média da superfície dos oceanos do mundo desde 1880	87
Figura 30 – Principais processos de suprimentos e perdas de areia na praia.	91
Figura 31 – Ciclo de impactos ambientais, sociais e econômicos gerados pela erosão costeira	92
Figura 32 – Espigões da Baía de Sarasota, Flórida – EUA	96
Figura 33 – Formação da corrente de retorno devido à canalização da corrente ao longo da costa	99
Figura 34 – Circulação em um compartimento de espigões, devido a existência de variação na configuração da linha de costa	99
Figura 35 – Circulação dentro do compartimento de espigões, devido a energia dissipada nos espigões e a variação na configuração da linha de costa	100
Figura 36 – Esquema do procedimento de encurtamento de espigão	102
Figura 37 – Enrocamento da praia de Boa Viagem, Recife-PE	103
Figura 38 – Representação esquemática de uma seção-tipo de enrocamento	104
Figura 39 – Localização da área de estudo	106
Figura 40 – Presença de “beachrocks” aflorando na praia de Casa Caiada, Olinda-PE	109
Figura 41 – Difração de ondas diante de uma abertura em um obstáculo	110
Figura 42 – Difração de ondas diante da ocorrência de mais de uma abertura em um obstáculo	110
Figura 43 – Efeitos produzidos pelas ondas ao se deparar com alguma barreira (ex.: linha de recifes)	111
Figura 44 – Processos erosivos da praia de Boa Viagem nos anos de 1994 (A) e 2008 (B), respectivamente, localizados entre o hospital da aeronáutica e o edifício Castelinho	112
Figura 45 – Localização das Bacias de Pernambuco e da Paraíba	115
Figura 46 – Mapa do Quaternário Costeiro de Pernambuco, destacando o litoral de Olinda	118

Figura 47 –	Macrocompartimentação do litoral brasileiro	120
Figura 48 –	Prismoide (sólido geométrico) formado a partir de duas seções transversais	128
Figura 49 –	Equipamentos utilizados no processo de secagem, pesagem e peneiramento das amostras de sedimentos	130
Figura 50 –	Organograma da estrutura global do SMC-Brasil	132
Figura 51 –	Histograma de velocidade dos ventos (mínimas e máximas observadas) de maio/2017 a abril/2018	140
Figura 52 –	Histograma de velocidade dos ventos (médias mensais observadas) no período de maio/2017 a abril/2018	140
Figura 53 –	Histograma de direção dos ventos atuantes no litoral de Olinda (maio/2017 a agosto/2017)	141
Figura 54 –	Histograma de direção dos ventos atuantes no litoral de Olinda (setembro/2017 a dezembro/2017)	142
Figura 55 –	Histograma de direção dos ventos atuantes no litoral de Olinda (janeiro/2018 a abril/2018)	143
Figura 56 –	Histograma anual de direção dos ventos atuantes no litoral de Olinda (maio/2017 a abril/2018)	144
Figura 57 –	Histograma de altura das ondas (mínimas e máximas observadas) no período de maio/2017 a abril/2018	147
Figura 58 –	Histograma de altura das ondas (médias mensais observadas) no período de maio/2017 a abril/2018	147
Figura 59 –	Histograma de direção das ondas incidentes no litoral de Olinda (maio/2017 a agosto/2017)	148
Figura 60 –	Histograma de direção das ondas incidentes no litoral de Olinda (setembro/2017 a dezembro/2017)	149
Figura 61 –	Histograma de direção das ondas incidentes no litoral de Olinda (janeiro/2018 a abril/2018)	150
Figura 62 –	Histograma anual de direção de ondas incidentes no litoral de Olinda entre maio/2017 e abril/2018	151
Figura 63 –	Localização dos pontos de levantamento dos perfis morfodinâmicos da praia de Bairro Novo nos anos de 2009, 2010 e 2018	153

Figura 64 –	Setores da praia de Bairro Novo abrigando os diferentes tipos de compartimentos	154
Figura 65 –	Evolução dos perfis morfodinâmicos 01 e 02, Setor A da praia de Bairro Novo, Olinda-PE	155
Figura 66 –	Evolução dos perfis morfodinâmicos 03 e 04, Setor A da praia de Bairro Novo, Olinda-PE	156
Figura 67 –	Evolução dos perfis morfodinâmicos 05 e 06, Setor A da praia de Bairro Novo, Olinda-PE	157
Figura 68 –	Evolução dos perfis morfodinâmicos 07 e 08, Setor A da praia de Bairro Novo, Olinda-PE	158
Figura 69 –	Evolução dos perfis morfodinâmicos 09 e 10, Setor A da praia de Bairro Novo, Olinda-PE	159
Figura 70 –	– Evolução dos perfis morfodinâmicos 11 e 12, Setor B da praia de Bairro Novo, Olinda-PE	160
Figura 71 –	– Evolução dos perfis morfodinâmicos 13 e 14, Setor B da praia de Bairro Novo, Olinda-PE	161
Figura 72 –	– Evolução dos perfis morfodinâmicos 15 e 16, Setor B da praia de Bairro Novo, Olinda-PE	162
Figura 73 –	– Evolução dos perfis morfodinâmicos 17 e 18, Setor B da praia de Bairro Novo, Olinda-PE	163
Figura 74 –	– Evolução dos perfis morfodinâmicos 19 e 20, Setor B da praia de Bairro Novo, Olinda-PE	164
Figura 75 –	Evolução dos perfis morfodinâmicos 21 e 22, Setor C da praia de Bairro Novo, Olinda-PE	165
Figura 76 –	Evolução dos perfis morfodinâmicos 23 e 24, Setor C da praia de Bairro Novo, Olinda-PE	166
Figura 77 –	Evolução dos perfis morfodinâmicos 25 e 26, Setor C da praia de Bairro Novo, Olinda-PE	167
Figura 78 –	Evolução dos perfis morfodinâmicos 27 e 28, Setor C da praia de Bairro Novo, Olinda-PE	168
Figura 79 –	Evolução dos perfis morfodinâmicos 29 e 30, Setor C da praia de Bairro Novo, Olinda-PE	169
Figura 80 –	Evolução do perfil morfodinâmico longitudinal da praia de Bairro Novo (2010 / 2018)	170

Figura 81 –	Setorização da praia de Bairro Novo, de acordo com a morfodinâmica praial, S-N	172
Figura 82 –	Histograma de variação volumétrica dos perfis praiais e seus respectivos setores, identificados ao longo da praia de Bairro Novo, Olinda-PE	181
Figura 83 –	Mapa batimétrico da plataforma continental adjacente da praia de Bairro Novo, Olinda-PE	183
Figura 84 –	Perfis batimétricos (A, B, C e D) da praia de Bairro Novo, Olinda-PE	184
Figura 85 –	Abrangência do levantamento batimétrico da praia de Bairro Novo, Olinda-PE	185
Figura 86 –	Malha de implantação dos perfis no levantamento batimétrico da plataforma adjacente à praia de Bairro Novo, Olinda-PE	186
Figura 87 –	Mapa batimétrico da plataforma continental adjacente à praia de Bairro Novo, Olinda-PE	187
Figura 88 –	Posicionamento dos perfis implantados na batimetria realizada no ano de 2018 para a plataforma continental adjacente à praia de Bairro Novo, Olinda-PE.....	188
Figura 89 –	Perfil A-A' implantado no mapa batimétrico da praia de Bairro Novo, Olinda-PE	189
Figura 90 –	Perfil B-B' implantado no mapa batimétrico da praia de Bairro Novo, Olinda-PE	190
Figura 91 –	Perfil C-C' implantado no mapa batimétrico da praia de Bairro Novo, Olinda-PE	191
Figura 92 –	Mapa 3D produzido para a superfície batimétrica da praia de Bairro Novo, Olinda-PE	192
Figura 93 –	Perfil D-D' (paralelo à costa) implantado no mapa batimétrico da praia de Bairro Novo, Olinda-PE	193
Figura 94 –	Atualização do mapa batimétrico de 2011 para a praia de Bairro Novo, Olinda-PE	194
Figura 95 –	Perfil transversal A-A' implantado no mapa batimétrico da praia de Bairro Novo realizado no ano de 2011	195
Figura 96 –	Perfil transversal B-B' implantado no mapa batimétrico da praia de Bairro Novo realizado no ano de 2011	195

Figura 97 –	Perfil transversal C-C' implantado no mapa batimétrico da praia de Bairro Novo realizado no ano de 2011	196
Figura 98 –	Perfil longitudinal D-D' implantado no mapa batimétrico da praia de Bairro Novo realizado no ano de 2011	196
Figura 99 –	Mapa de subtração dos valores de profundidade dos levantamentos batimétricos dos anos de 2011 e 2018 para a plataforma continental da praia de Bairro Novo, Olinda-PE	198
Figura 100 –	Sobreposição dos perfis batimétricos A-A' implantados respectivamente nas batimetrias realizadas nos anos de 2011 (vermelho) e 2018 (azul) para a plataforma continental adjacente à praia de Bairro Novo, Olinda-PE	199
Figura 101 –	Sobreposição dos perfis batimétricos B-B' implantados respectivamente nas batimetrias realizadas nos anos de 2011 (vermelho) e 2018 (azul) para a plataforma continental adjacente à praia de Bairro Novo, Olinda-PE	200
Figura 102 –	Sobreposição dos perfis batimétricos C-C' implantados respectivamente nas batimetrias realizadas nos anos de 2011 (vermelho) e 2018 (azul) para a plataforma continental adjacente à praia de Bairro Novo, Olinda-PE	200
Figura 103 –	Sobreposição dos perfis batimétricos D-D' implantados respectivamente nas batimetrias realizadas nos anos de 2011 (vermelho) e 2018 (azul) para a plataforma continental adjacente à praia de Bairro Novo, Olinda-PE	201
Figura 104 –	Seção transversal (0+020) que compõe o projeto de cubagem para determinação do balanço sedimentar da plataforma continental adjacente à praia de Bairro Novo, Olinda-PE	203
Figura 105 –	Seção transversal (1+840) que compõe o projeto de cubagem para determinação do balanço sedimentar da plataforma continental adjacente à praia de Bairro Novo, Olinda-PE	205
Figura 106 –	Mapa de cubagem resultante das 92 seções obtidas com a sobreposição dos mapas batimétricos elaborados em 2011 e 2018 para a plataforma interna da praia de Bairro Novo, Olinda-PE	206

Figura 107 –	Gráfico de distribuição granulométrica dos sedimentos da praia de Bairro Novo, Olinda-PE	209
Figura 108 –	Grau de seleção dos sedimentos da praia de Bairro Novo, Olinda-PE.....	209
Figura 109 –	Distribuição granulométrica dos sedimentos da praia de Bairro Novo em 2011	210
Figura 110 –	Células que representaram um aumento gradual na granulometria dos sedimentos da praia de Bairro Novo entre os anos de 2011 e 2018	210
Figura 111 –	Localização dos 55 pontos de coleta de sedimentos na plataforma interna adjacente à praia de Bairro Novo, Olinda-PE 211	
Figura 112 –	Gráfico de distribuição granulométrica dos sedimentos da plataforma continental adjacente à praia de Bairro Novo, Olinda-PE	213
Figura 113 –	Grau de seleção dos sedimentos da plataforma continental adjacente à praia de Bairro Novo, Olinda-PE	214
Figura 114 –	Localização dos pontos de coletas das amostras da plataforma continental adjacente à praia de Bairro Novo, conforme afastamento em relação à costa	215
Figura 115 –	Distribuição granulométrica da 1 ^a linha de amostras de sedimentos coletadas na plataforma interna da praia de Bairro Novo, Olinda-PE.....	216
Figura 116 –	Distribuição granulométrica da 2 ^a linha de amostras de sedimentos coletadas na plataforma interna da praia de Bairro Novo, Olinda-PE.....	216
Figura 117 –	Distribuição granulométrica da 3 ^a linha de amostras de sedimentos coletadas na plataforma interna da praia de Bairro Novo, Olinda-PE.....	216
Figura 118 –	Distribuição granulométrica da 4 ^a linha de amostras de sedimentos coletadas na plataforma interna da praia de Bairro Novo, Olinda-PE.....	217
Figura 119 –	Distribuição granulométrica da 5 ^a linha de amostras de sedimentos coletadas na plataforma interna da praia de Bairro Novo, Olinda-PE.....	217

Figura 120 –	Aerofotogrametria da área de estudo, compreendendo os 02 quebra-mares localizados na praia de Casa Caiada, Olinda-PE, ao norte da área de estudo	218
Figura 121 –	Detalhe D1: Setor de acresção localizado no 1º quebra-mar da praia de Casa Caiada, Olinda-PE	218
Figura 122 –	Detalhe D2: Setor de acresção localizado no 2º quebra-mar da praia de Casa Caiada, Olinda-PE	219
Figura 123 –	Pontos de coleta das amostras de sedimentos nos quebra-mares da praia de Casa Caiada, Olinda-PE	220
Figura 124 –	Grau de seleção dos sedimentos coletados nos dois primeiros quebra-mares (S-N) da praia de Casa Caiada, Olinda-PE	221
Figura 125 –	Ponto de propagação selecionado para os cálculos de probabilidade no SMC-Brasil	222
Figura 126 –	Representação gráfica da classificação das ondas propagadas até a área de estudo	223
Figura 127 –	Série histórica da oscilação do NMM sob condições de maré astronômica	224
Figura 128 –	Histograma de maré astronômica (MA) para a praia de Bairro Novo.....	224
Figura 129 –	Série histórica da oscilação do NMM sob condições de maré meteorológica.....	225
Figura 130 –	Histograma de maré meteorológica (MM) para a praia de Bairro Novo.....	225
Figura 131 –	Tabela estatística para probabilidade de direção e altura da onda	226
Figura 132 –	Distribuição das alturas de onda que chegam à praia de Bairro Novo, Olinda-PE	227
Figura 133 –	Distribuição do período de pico de onda que chega à praia de Bairro Novo, Olinda-PE	228
Figura 134 –	Distribuição da altura de onda e período de pico que chega à praia de Bairro Novo, Olinda-PE	229
Figura 135 –	Distribuição do período de pico de onda que chega à praia de Bairro Novo, Olinda-PE	230

Figura 136 –	Rosetas estacionais de caracterização das alturas significativas de ondas (Hs) ocorridas no “Ponto Dow”	233
Figura 137 –	Gráfico de magnitude de ondas em nível de maré seca	234
Figura 138 –	Gráfico de magnitude de ondas em nível de maré média.....	234
Figura 139 –	Gráfico de magnitude de ondas em nível de maré alta	235
Figura 140 –	Probabilidade de quebra de ondas, nos três níveis de maré (A – Baixa, B – Média, C – Alta) – Perfis 01 a 03	236
Figura 141 –	Probabilidade de quebra de ondas, nos três níveis de maré (A – Baixa, B – Média, C – Alta) – Perfis 04 a 06	237
Figura 142 –	Probabilidade de quebra de ondas, nos três níveis de maré (A – Baixa, B – Média, C – Alta) – Perfis 07 a 09	238
Figura 143 –	Probabilidade de quebra de ondas, nos três níveis de maré (A – Baixa, B – Média, C – Alta) – Perfis 10 a 12	239
Figura 144 –	Probabilidade de quebra de ondas, nos três níveis de maré (A – Baixa, B – Média, C – Alta) – Perfis 13 a 15	240
Figura 145 –	Probabilidade de quebra de ondas, nos três níveis de maré (A – Baixa, B – Média, C – Alta) – Perfis 16 a 18	241
Figura 146 –	Probabilidade de quebra de ondas, nos três níveis de maré (A – Baixa, B – Média, C – Alta) – Perfis 19 a 21	242
Figura 147 –	Probabilidade de quebra de ondas, nos três níveis de maré (A – Baixa, B – Média, C – Alta) – Perfis 22 a 24	243
Figura 148 –	Probabilidade de quebra de ondas, nos três níveis de maré (A – Baixa, B – Média, C – Alta) – Perfis 25 a 27	244
Figura 149 –	Probabilidade de quebra de ondas, nos três níveis de maré (A – Baixa, B – Média, C – Alta) – Perfis 28 a 30	245
Figura 150 –	Onda quebrando no encabeçamento do espigão da praia de Bairro Novo, Olinda-PE	248
Figura 151 –	Espaçamento da onda em compartimento de praia arenosa na praia de Bairro Novo, Olinda-PE	248
Figura 152 –	Gráfico de magnitude das correntes em nível de maré seca	249
Figura 153 –	Gráfico de magnitude das correntes em nível de maré média....	250
Figura 154 –	Gráfico de magnitude das correntes em nível de maré alta.....	250
Figura 155 –	Mapa de transporte médio de sedimentos por ano, no “Setor A” da praia de Bairro Novo	252

Figura 156 –	Mapa de transporte médio de sedimentos por ano, no “Setor B” da praia de Bairro Novo	253
Figura 157 –	Mapa de transporte médio de sedimentos por ano, no “Setor C” da praia de Bairro Novo	254
Figura 158 –	Relação de proporção “Comprimento x Afastamento” dos espiões da praia de Bairro Novo, Olinda-PE.....	256
Figura 159 –	Danos causados à urbanização pela sobrepassagem das ondas sobre o enrocamento	257
Figura 160 –	Representação esquemática da proporção de inclinação do talude para uma seção de enrocamento aderente.....	258

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 –	Estimativa populacional do estado de Pernambuco	36
Quadro 2 –	Dados de ventos fornecidos pelo CPTEC/INPE para Olinda	139
Quadro 3 –	Dados de ondas para o município de Olinda, fornecidos pelo CPTEC/INPE	146
Quadro 4 –	Variação volumétrica de sedimentos do perfil 01, “Setor A” da praia de Bairro Novo, Olinda-PE	173
Quadro 5 –	Variação volumétrica de sedimentos do perfil 02, “Setor A” da praia de Bairro Novo, Olinda-PE	173
Quadro 6 –	Variação volumétrica de sedimentos do perfil 03, “Setor A” da praia de Bairro Novo, Olinda-PE	173
Quadro 7 –	Variação volumétrica de sedimentos do perfil 04, “Setor A” da praia de Bairro Novo, Olinda-PE	174
Quadro 8 –	Variação volumétrica de sedimentos do perfil 05, “Setor A” da praia de Bairro Novo, Olinda-PE	174
Quadro 9 –	Variação volumétrica de sedimentos do perfil 06, “Setor A” da praia de Bairro Novo, Olinda-PE	174
Quadro 10 –	Variação volumétrica de sedimentos do perfil 07, “Setor A” da praia de Bairro Novo, Olinda-PE	175
Quadro 11 –	Variação volumétrica de sedimentos do perfil 08, “Setor A” da praia de Bairro Novo, Olinda-PE	175
Quadro 12 –	Variação volumétrica de sedimentos do perfil 09, “Setor A” da praia de Bairro Novo, Olinda-PE	175
Quadro 13 –	Variação volumétrica de sedimentos do perfil 10, “Setor A” da praia de Bairro Novo, Olinda-PE	176
Quadro 14 –	Variação volumétrica de sedimentos do perfil 21, “Setor C” da praia de Bairro Novo, Olinda-PE	176
Quadro 15 –	Variação volumétrica de sedimentos do perfil 22, “Setor C” da praia de Bairro Novo, Olinda-PE	176
Quadro 16 –	Variação volumétrica de sedimentos do perfil 23, “Setor C” da praia de Bairro Novo, Olinda-PE	177
Quadro 17 –	Variação volumétrica de sedimentos do perfil 24, “Setor C” da praia de Bairro Novo, Olinda-PE	177

Quadro 18 –	Variação volumétrica de sedimentos do perfil 25, “Setor C” da praia de Bairro Novo, Olinda-PE	177
Quadro 19 –	Variação volumétrica de sedimentos do perfil 26, “Setor C” da praia de Bairro Novo, Olinda-PE	178
Quadro 20 –	Variação volumétrica de sedimentos do perfil 27, “Setor C” da praia de Bairro Novo, Olinda-PE	178
Quadro 21 –	Variação volumétrica de sedimentos do perfil 28, “Setor C” da praia de Bairro Novo, Olinda-PE	178
Quadro 22 –	Variação volumétrica de sedimentos do perfil 29, “Setor C” da praia de Bairro Novo, Olinda-PE	179
Quadro 23 –	Variação volumétrica de sedimentos do perfil 30, “Setor C” da praia de Bairro Novo, Olinda-PE	179
Quadro 24 –	Variação volumétrica de sedimentos dos perfis, e seus respectivos setores A e C, da praia de Bairro Novo, Olinda-PE	180
Quadro 25 –	Relação de proporção “comprimento x afastamento” entre os espiões da praia de Bairro Novo, Olinda-PE	255

LISTA DE TABELAS

Tabela 01 –	Dados do clima de ondas no litoral de Olinda-PE	123
Tabela 02 –	Sedimentologia da praia de Bairro Novo, Olinda-PE	208
Tabela 03 –	Sedimentologia da plataforma continental adjacente à praia de Bairro Novo, Olinda-PE	212
Tabela 04 –	Sedimentologia das áreas de acreção dos quebra-mares 01 e 02 da praia de Casa Caiada, setor contíguo da praia de Bairro Novo, Olinda-PE	220

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AECID	Agência Espanhola de Cooperação Internacional para o Desenvolvimento
Amev	Análise Matemática Estatística de Variáveis Ambientais
C	Celeridade da onda
C_g	Celeridade do grupo
C_n	Velocidade de grupo das ondas
Copla	Modelo de corrente de praias
$D(\Theta)$	Dispersão direcional
D_{50}	Tamanho médio do grão de sedimento
DOW	Downscaling Ocean Waves
D_p	Direção de Pico das Ondas
E	Energia da onda na zona de arrebentação
ed.	edição
Eros	Modelo de erosão costeira
et al.	e outro(s)
f	Frequência linear
f_c	Frequência de corte do espectro
f_p	Frequência de pico das ondas
f_T	Frequência da cauda do espectro
g	Aceleração da gravidade
g	Aceleração da gravidade ($9,81 \text{ m/s}^2$)
GOS	Global Ocean Surge
GOT	Global Ocean Tides
GOW	Global Ocean Waves
H	Altura de onda na zona de arrebentação
h	Profundidade
H_s	Altura significativa das ondas
H_{s12}	Altura significativa para o clima de ondas extremo que ocorre durante 12 horas no ano
$H_{s50\%}$	Altura significativa para o clima de ondas típico que ocorre por pelo menos metade (50 %) do ano
IH-Data	Base de dados do Instituto de Hidráulica da Cantabria

k	Número de onda
MaxDiss	Técnica de máxima similaridade
MMT	Módulo de Modelagem do Terreno
MOPLA	Módulo de morfodinâmica de praias
MRF	Modelo que resolve a fase
MSLW	Maré baixa média de sizígia
Θ	Direção média das ondas
Oluca	Modelo de ondas costeiras
Θ_m	Direção média das ondas
op. cit.	na obra citada
Org.	organização
p.	página
Q-	Transporte anual médio de sedimento para a esquerda de um observador posicionado na praia, olhando para o oceano
Q+	Transporte anual médio de sedimento para a direita de um observador posicionado na praia, olhando para o oceano
Qs	Intensidade do transporte litorâneo
$S(f, \Theta)$	Espectro direcional distribuído nas dimensões das frequências e das direções
SMC	Sistema de Modelagem Costeira
SMC-3	Sistema de Modelagem Costeira versão 3
SMC-Brasil	Sistema de Modelagem Costeira adaptado a costa brasileira
SMC-Tools	Módulo de Ferramentas do Sistema de Modelagem Costeira
T_p	Período de Pico das Ondas
T_{p12}	Período de pico para o clima de ondas extremo que ocorre durante 12 horas no ano
$T_{p50\%}$	Período de pico para o clima de ondas típico que ocorre por pelo menos metade (50 %) do ano
v.	volume
α	Ângulo de incidência da onda na zona de arrebentação
γ	Fator de alargamento do pico
σ	Frequência angular
σ_m	Largura do espectro (graus)
H_{Sp}	Altura significativa de uma partição do espectro de ondas
ρ	Densidade da água do mar

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	27
1.1	IMPORTÂNCIA DO TEMA	34
1.2	JUSTIFICATIVA	36
1.3	OBJETIVOS	37
1.3.1	Objetivo geral	37
1.3.2	Objetivos específicos	37
1.4	ESTRUTURA DA TESE	38
2	OLINDA – EVOLUÇÃO DA EROSÃO COSTEIRA E HISTÓRICO DAS OBRAS DE CONTENÇÃO DO AVANÇO DO MAR	40
2.1	A CIDADE	40
2.1.1	O litoral	41
2.1.2	Processos erosivos costeiros	43
2.1.3	O Porto do Recife e suas implicações	43
2.1.4	A supressão das áreas de mangues	47
2.1.5	A ocupação do litoral e de setores de suas praias	49
2.2	A PRAIA DE BAIRRO NOVO	56
2.2.1	Intervenções da praia de Bairro Novo	58
3	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	71
3.1	DINÂMICA COSTEIRA	71
3.1.1	Condicionantes antrópicos da dinâmica costeira	71
3.1.2	Condicionantes naturais da dinâmica costeira	72
3.2	PROCESSOS MORFODINÂMICOS E HIDRODINÂMICOS COSTEIROS	72
3.2.1	Ondas	73
3.2.2	Correntes	76
3.2.2.1	Correntes de retorno	76
3.2.2.2	Correntes de deriva	77
3.2.3	Marés	77
3.2.4	Ventos	78
3.3	SEDIMENTOLOGIA	78
3.4	ELEVAÇÃO DO NÍVEL MÉDIO DO MAR	80
3.4.1	Calor oceânico	80

3.4.2	Temperatura da superfície do mar	84
3.5	EROSÃO COSTEIRA – CAUSAS E EFEITOS	86
3.5.1	Erosão da plataforma continental	90
3.6	ALTERNATIVAS DE DEFESA COSTEIRA	91
3.6.1	Um breve histórico	91
3.6.2	Classificação das alternativas de proteção costeira	92
3.6.2.1	Medidas de defesa costeira suave (“soft”)	92
3.6.2.2	Medidas de defesa costeira dura (“hard”)	92
3.7	MEDIDAS DE DEFESA COSTEIRA ADOTADAS PARA A PRAIA DE BAIRRO NOVO	92
3.7.1	Espigões	93
3.7.1.1	Espigões – Aplicação como obra de defesa costeira	94
3.7.1.2	Espigões – Limitações de uso no ambiente costeiro	95
3.7.1.3	Espigões – Impactos negativos no ambiente costeiro	99
3.7.2	Enrocamentos	100
3.7.2.1	Enrocamentos – Características	100
4	ASPECTOS GERAIS DA ÁREA DE ESTUDO	102
4.1	CLIMA	102
4.2	VEGETAÇÃO	104
4.3	HIDROGRAFIA	104
4.4	A REGIÃO COSTEIRA DE PERNAMBUCO	104
4.4.1	Geologia e geomorfologia costeira de Pernambuco	109
4.4.1.1	Geologia costeira de Pernambuco	110
4.4.1.2	Geologia da área de estudo	112
4.4.1.3	Geologia do quaternário	113
4.4.1.4	Geomorfologia costeira de Pernambuco	116
4.5	HIDRODINÂMICA	118
4.5.1	Regime de ventos	118
4.5.2	Clima de ondas	118
4.5.3	Circulação costeira	119
4.5.4	Regime de marés	120
5	MATERIAL E MÉTODOS	121
5.1	ETAPA 1	121
5.2	ETAPA 2	121

5.2.1	Monitoramento de dados Hidrodinâmicos	121
5.2.2	Morfodinâmica praial	121
5.2.3	Morfologia da plataforma continental	122
5.2.4	Balanço sedimentar da plataforma continental	124
5.2.4.1	Cálculo do volume – Método de cubagem	125
5.2.5	Sedimentologia do ambiente praial	126
5.2.6	Sedimentologia da plataforma continental	127
5.2.7	Sedimentologia de setor adjacente à área de estudo	127
5.3	ETAPA 3	127
5.3.1	Sistema de modelagem costeira	128
5.3.1.1	Aplicações do SMC-BRASIL	129
5.3.1.2	Estrutura global do SMC-BRASIL	131
5.3.1.3	SMC-Tools	132
5.3.1.4	Submódulo de pré-processo	132
5.3.1.5	Submódulo de pós-processo	133
5.3.1.6	Módulo SMC	134
5.3.1.7	Submódulo de modelagem do terreno (MMT)	134
5.3.1.8	Programa de morfodinâmica de praias (MOPLA)	135
6	RESULTADOS E DISCUSSÕES	136
6.1	MONITORAMENTO DE DADOS HIDRODINÂMICOS	136
6.1.1	Velocidade e direção dos ventos	136
6.1.2	Altura significativa de onda	143
6.2	MORFODINÂMICA DA PRAIA DE BAIRRO NOVO	149
6.2.1	Perfis morfodinâmicos da praia de Bairro Novo	149
6.3	MORFOLOGIA DA PLATAFORMA CONTINENTAL	179
6.3.1	Estudo batimétrico da praia de Bairro Novo	179
6.3.1.1	Levantamento batimétrico 2011	180
6.3.1.2	Levantamento batimétrico 2018	182
6.4	BALANÇO SEDIMENTAR DA PLATAFORMA CONTINENTAL	190
6.4.1	Quantificação do balanço sedimentar da plataforma continental da praia de Bairro Novo	194
6.4.1.1	Análise comparativa das superfícies batimétricas	194
6.4.1.2	Análise comparativa dos perfis batimétricos	196

6.4.1.3	Cubagem do balanço sedimentar da plataforma continental da praia de Bairro Novo entre os anos de 2011 e 2018	200
6.5	ESTUDO SEDIMENTOLÓGICO DA PRAIA DE BAIRRO NOVO	204
6.5.1	Sedimentologia – Ambiente praial	204
6.5.2	Sedimentologia – Plataforma continental	208
6.5.3	Sedimentologia – Setor adjacente à área de estudo	215
6.6	APLICAÇÃO DO SISTEMA DE MODELAGEM COSTEIRA (SMC-BRASIL) NA CARACTERIZAÇÃO HIDRODINÂMICA DA PRAIA DE BAIRRO NOVO	219
6.6.1	Nível do mar	220
6.6.2	Clima de ondas	223
6.6.3	Arrebentação	232
6.6.4	Correntes	246
6.6.5	Transporte de sedimentos	248
6.7	CARACTERIZAÇÃO DAS ESTRUTURAS DE DEFESA COSTEIRA DA PRAIA DE BAIRRO NOVO	252
6.7.1	Espigões	252
6.7.2	Enrocamento aderente	254
7	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	256
	REFERÊNCIAS	261
	ANEXO A – LEVANTAMENTO PLANIMÉTRICO DA PRAIA DE BAIRRO NOVO	274
	ANEXO B – REPORTAGENS DAS DÉCADAS DE 1920-30-40-50-60-70-80	275
	ANEXO C – ANAIS DA ASSEMBLÉIA LEGISLATIVA DO ESTADO DE PERNAMBUCO	286

1 INTRODUÇÃO

Países litorâneos de todo o mundo vêm convivendo ao longo dos tempos com o agravamento do problema da erosão de suas praias. E isso se faz sentir, sobretudo, em razão da grande concentração de população estabelecida nessas regiões. O forte apelo paisagístico dessas áreas, associado à imensa riqueza biológica de seu ecossistema, bem como a grande variedade de opções de uso, tais como a pesca, geração de energia, ocupação imobiliária, opções de transportes, atividades portuárias, recreativas e de lazer, tem feito do ambiente costeiro um espaço de permanente atratividade para a ocupação humana.

O encantamento do homem pelo mar e pelo uso do espaço litorâneo não é recente. Os primeiros registros de banhos de mar com fins terapêuticos chegaram à Europa na cidade de Brighton, costa sul da Inglaterra, em meados do século XVIII, difundindo-se inicialmente para a França e, posteriormente, por toda a Europa, expandindo-se para os continentes americanos e, consequentemente, para o Brasil.

A recomendação do banho terapêutico por médicos ingleses e franceses desembarcou no Brasil, no início do século XIX, por intermédio de D. João VI, que para livrar-se de um ferimento na perna passou a tomar banhos regularmente na praia do Caju, na cidade do Rio de Janeiro.

Os novos costumes da Corte, assim como a presença de imigrantes europeus, impulsionaram no século XIX a adoção do banho de mar, aumentando a frequência nas regiões litorâneas e impulsionando as construções costeiras como, por exemplo, a implantação das Avenidas Beira Mar e Atlântica, no Rio de Janeiro, e das “Casas de Banho” em cidades como Recife, Rio de Janeiro e Santos.

Em Pernambuco, em junho de 1844, quando os banhos de rio viviam seu apogeu, prenunciava-se a chegada dos banhos de mar com a inauguração da barca de banhos, uma espécie de balneário flutuante especializada em fornecer esses serviços públicos à população, não de água doce e potável, mas de água salgada. Porém, foi em 1887, quando já eram habituais os banhos de mar, que surgia sobre os arrecifes a Casa de Banhos (Figura 1).

Figura 1 – Casa de Banhos do Recife, Século XIX, Recife-PE.



Fonte: www.longoalcance.com.br/brecife/banco/ec_banhos.htm (2011).

Fazendo referência à transição dos banhos e recreios nas margens dos rios à descoberta dos banhos de mar, Araújo (2007) revela que “... quando o Capibaribe e suas margens detinham a plena soberania sobre as águas e recreios de verão do Recife, ainda no final da primeira metade do século XIX, eis então que surge do mar, uma novidade para eles ameaçadora: os banhos salgados”.

Em meados do século XIX, os banhos de mar trouxeram de volta à Olinda um pouco do *glamour*, antes ofuscado pela imagem de abandono à época, e a fizeram renascer como cidade balneária, fazendo crescer a procura por imóveis próximos às praias, dando início, com isso, à expansão urbana de Olinda em direção à zona costeira.

Na década de 1860, os banhos salgados nas praias de Olinda estavam na ordem do dia. As águas marinhas recebiam os doentes dos nervos e os corpos flácidos e enfraquecidos de uma gente oriunda da classe ociosa, desacostumada aos exercícios físicos e desabituada a fazer esforço muscular. Indivíduos que depositavam a esperança de cura dos seus males, nas águas iodadas do mar. Mas havia indícios de que os praticantes dos banhos salgados começavam, timidamente, a extrapolar as fronteiras médicas, procurando-os não apenas para o restabelecimento da saúde,

mas também* como meio de comodidade, de bem estar ou mesmo como um novo gênero de esporte (Araújo, 2013).

Segundo Neto (1992), “*Como a única área praieira que existia era a olindense, - uma vez que Boa Viagem ainda não fora explorada e o Pina era de acesso difícil, - todas as famílias que residiam no centro da capital e nas cidades do interior da Mata Norte, procuravam, naturalmente, os balneários e as casas de aluguel de temporadas em Olinda*”.

Desde então, assim como ocorreu com a cidade de Olinda, os espaços litorâneos em todo o mundo assistiram às suas margens o crescimento das principais cidades e metrópoles.

Para o Brasil, esse crescimento é considerado de inegável importância para o desenvolvimento do país, uma vez que responde diretamente pelo desenvolvimento dessas regiões. Em contrapartida, a antropização dos espaços costeiros no Brasil, tal como ocorre nos mais diversos países litorâneos de todo o mundo, tem se constituído em fenômeno de intensa ameaça ao equilíbrio dessas regiões, à medida que vem imputando a esses ambientes um elevado número de impactos, provocando severos danos às suas praias.

Segundo Farinaccio e Tessler (2010), “*...vêm se tornando comuns, nas praias brasileiras, a construção de uma infraestrutura de lazer constituída de bares, quiosques e todo o complexo de condomínios, e de pousadas e hotéis que avançam sobre áreas de domínio da ação marinha*”.

Para Beeharry et al., (2014), “*o desenvolvimento desordenado, associado ao aumento da população nas zonas costeiras, favorece a degradação desses ambientes*”.

Somam-se à antropização das regiões costeiras, decorrentes das ocupações irregulares e desordenadas, as interferências do homem, também, nos processos naturais de suprimento dos sedimentos para a costa, que se dão por meio de ações tais como, a exploração de jazidas de areia, o barramento do transporte fluvial de

sedimentos, entre outros, constituindo-se, atualmente, nos principais agentes propulsores do desequilíbrio das praias (Gois, 2011).

Do ponto de vista ambiental, social e econômico, as consequências mais sentidas pelo ambiente costeiro, decorrentes do desequilíbrio provocado pela antropização de seus espaços, consiste na alteração no balanço sedimentar, sobretudo quando esta alteração se caracteriza pelo déficit sedimentar, desencadeando o processo erosivo das praias.

A erosão praial é um dos fenômenos mais impressionantes entre os processos costeiros, que acabou transformando-se em um problema emergencial na maioria das áreas costeiras do mundo, inclusive em diversos trechos do litoral brasileiro (Suguiio, 2003).

No entanto, o “Coastal Engineering Manual” (C.E.M. – USACE, 2002) alerta que a erosão é uma resposta natural aos processos hidrodinâmicos na costa, e que apenas se torna um problema quando o desenvolvimento humano está em risco.

Nessa direção, Gois (op. cit.) ressalta que “os processos erosivos costeiros estão presentes em todo o mundo. E isto se faz sentir, em grande parte, devido ao fato de que a maior parte da população mundial vive em zonas costeiras”.

De acordo com o SEDAC (2007) – “Socioeconomic Data and Applications Center”, Columbia University – cerca de 40% da população mundial vive a menos de 100 km da costa. Consequentemente, estas regiões têm-se constituído nas áreas de maior densidade demográfica.

No Brasil, a situação das praias em relação à erosão costeira não é diferente da maioria dos países, havendo inúmeras praias onde o processo é severo e requer medidas de contenção e/ou recuperação (Souza, 2009).

A zona costeira brasileira abrange uma faixa com 8.698,0 km de extensão, com aproximadamente 388 mil km², distribuída ao longo de 17 estados e mais de 400 municípios. De acordo com o Decreto nº 5.300 de 07 de dezembro de 2004, que

regulamenta a Lei nº 7.661 de 16 de maio de 1988 e que institui o Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro – PNGC, a zona costeira brasileira “*corresponde ao espaço geográfico de interação do ar, do mar e da terra, incluindo os seus recursos renováveis ou não, abrangendo uma faixa marítima e uma faixa terrestre*”.

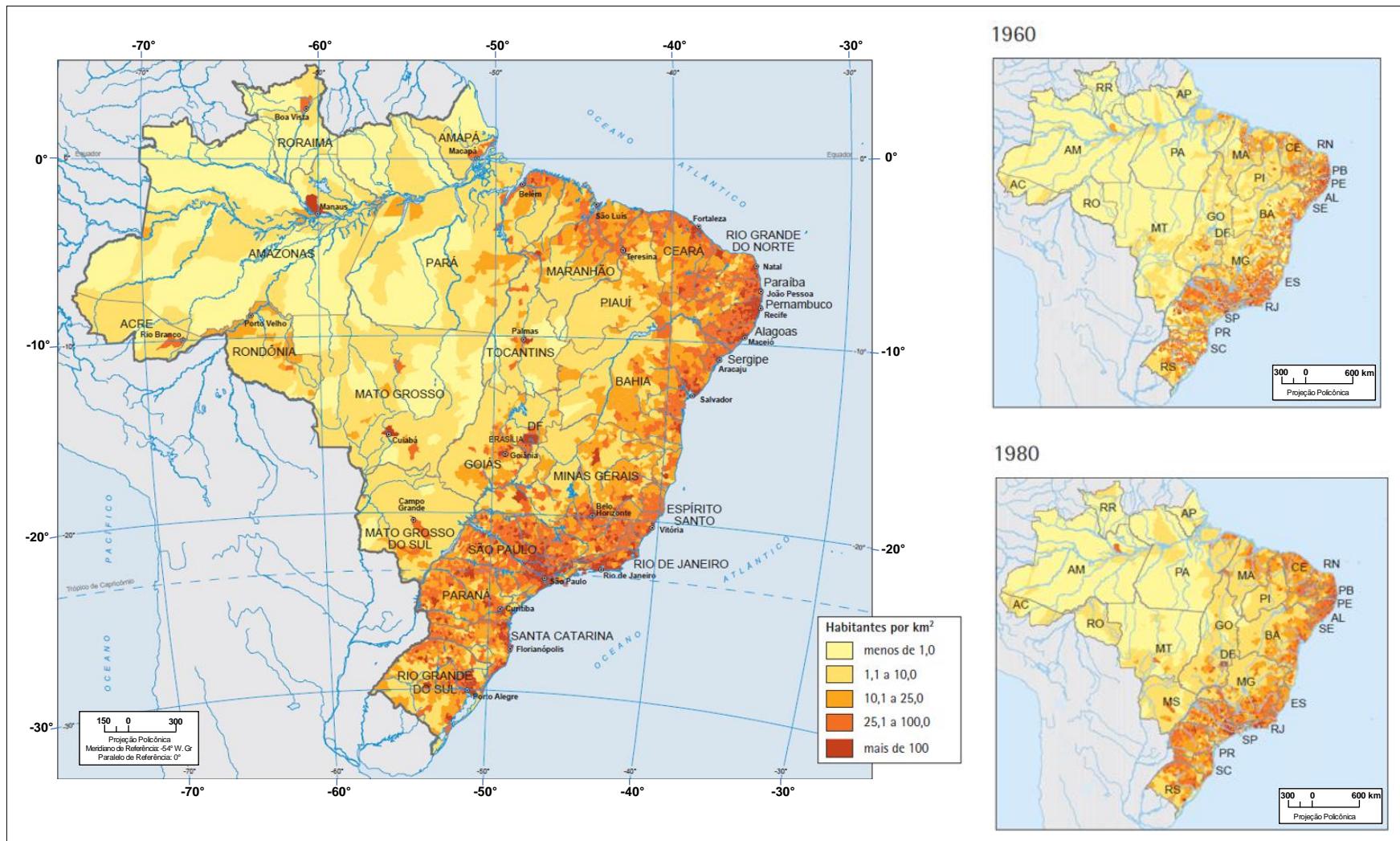
A costa do Brasil possui uma superfície de aproximadamente 600.000 km², dos quais, cerca de 450.000 km² pertencem ao território e 150.000 km² correspondem ao Mar Territorial. Essa área apresenta uma grande concentração populacional (Figura 2), cuja densidade, segundo dados do IBAMA, é de 87 hab./km², cinco vezes superior à média nacional que é de 17 hab./km².

A configuração atual da zona costeira brasileira, segundo Strohaecker (2009) “é resultado de ações implementadas no território desde o período colonial, destacando-se as conexões a partir de eixos estruturais que direcionaram os fluxos internos diretamente aos portos marítimos onde foram implantados nas proximidades os primeiros núcleos urbanos”. Ainda segundo a autora, “esse padrão disperso de ocupação ao longo da costa atlântica reforçou o papel de determinadas vilas e cidades, decorrente da valorização econômica diferenciada de suas hinterlândias em diferentes momentos históricos”.

Em Pernambuco, a faixa litorânea compreende uma extensão de 187,0 km, distribuída ao longo de 20 municípios, desde o município de Goiana, extremo norte do litoral pernambucano – pertencente à Microrregião do Itamaracá –, até o município de São José da Coroa Grande, extremo sul do litoral pernambucano – pertencente à Microrregião da Mata Meridional do estado.

Segundo estimativa populacional do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE (2017), a zona costeira pernambucana concentra uma população de cerca de 4,2 milhões de habitantes, o que representa 44,3% da população estadual, e uma densidade demográfica média da zona costeira de 953,42 hab./km², aproximadamente 10,0 vezes a densidade demográfica do estado, distribuída num espaço físico que corresponde a 4,53% do território de Pernambuco.

Figura 2 – Mapa de densidade demográfica do Brasil.



O município de Olinda pertence à Microrregião do Recife, e apresenta a maior densidade demográfica dentre os municípios que constituem a zona costeira do estado de Pernambuco. Com aproximadamente 10,5 km de extensão, este recorte litorâneo, de sul para norte, é composto pelas praias de Del Chifre, dos Milagres, do Carmo, de São Francisco, do Farol, de Bairro Novo – área na qual se desenvolve este trabalho –, de Casa Caiada e do Rio Doce.

Com 9.375,28 hab./km², de acordo com os dados da estimativa populacional do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE (2017), Olinda apresenta uma densidade de aproximadamente 10,0 vezes a densidade demográfica da zona costeira pernambucana e, consequentemente, aproximadamente 100,0 vezes a densidade demográfica do estado (Quadro 01).

Quadro 01 – Estimativa populacional do estado de Pernambuco.

Estimativa Populacional (PE - 2017)				
	Município	Área (km ²)	População Estimada (2017)	Densidade Demográfica (Hab./km ²)
Setor Norte	Goiana	445,810	79.249	177,76
	Ilha de Itamaracá	66.684	25.789	386,73
	Itapissuma	74.235	26.338	354,79
	Itaquitinga	162.739	16.859	103,60
	Igarassu	305.560	115.398	377,66
	Abreu e Lima	126.193	99.364	787,40
Setor Metropolitano	Paulista	97.312	328.353	3.374,23
	Olinda	41.681	390.771	9.375,28
	Recife	218.435	1.633.697	7.479,10
	Jaboatão dos Guararapes	258.694	695.956	2.690,27
	Camaragibe	51.257	156.361	3.050,53
	São Lourenço da Mata	262.106	112.099	427,69
Setor Sul	Moreno	196.072	62.119	316,82
	Cabo de Santo Agostinho	448.735	204.653	456,07
	Ipojuca	527.107	94.533	179,34
	Sirinhaén	374.610	45.263	120,83
	Tamandaré	214.308	23.100	107,79
	Rio Formoso	227.458	23.379	102,78
	Barreiros	233.379	42.438	181,84
	São José da Coroa Grande	69.341	20.963	302,32
Zona Costeira (PE)		4.401,716	4.196.682	953,42
Estado de Pernambuco		98.076,021	9.473.266	96,59

Fonte: IBGE (2017)

1.1 IMPORTÂNCIA DO TEMA

A intensa pressão exercida sobre o litoral diante da antropização dos espaços costeiros que se dá, sobretudo, por meio das edificações, estruturas portuárias, implantações de vias litorâneas e intervenções urbanísticas que, além de impactarem diretamente no ambiente, alterando suas características primitivas, e interferirem no equilíbrio dessas áreas, faz com que essas construções se encontrem diretamente atingidas pelo desequilíbrio causado.

Na maioria das vezes, as intervenções realizadas no ambiente costeiro respondem diretamente por interferências na dinâmica sedimentar das praias. Essas intervenções impedem sobremaneira o aporte, reposição e permanência dos sedimentos no litoral e, consequentemente, promovem a instalação dos processos erosivos costeiros, fazendo com que o ambiente passe a depender de novas ações antrópicas na tentativa de eliminar a erosão instalada e de estabilizar a linha de costa, bem como de salvaguardar as construções ali implantadas.

Os riscos iminentes de perda de terreno natural, assim como, os danos provocados às propriedades públicas e particulares, após ser esgotada toda disponibilidade de tempo para o desenvolvimento de estudos capazes de viabilizar uma intervenção de recuperação, impõe ao ambiente a dependência de novas intervenções, desta feita sob o pretexto de proteger as áreas atingidas, de barrar a retrogradação da linha de costa, tal como de mitigar os efeitos da erosão. No entanto, o caráter emergencial das ações conduz frequentemente à adoção de medidas pontuais e muitas vezes inadequadas do ponto de vista técnico e ambiental, produzindo efeitos indesejados e imprevistos, muitas vezes de difíceis remediações e até mesmo de consequências irreversíveis.

O estudo do ambiente costeiro, bem como das medidas protetivas e de recuperação, e dos efeitos produzidos por suas inserções nesses ambientes, representa para os tomadores de decisão a possibilidade de compreensão de que o litoral é um ambiente de ampla diversidade e que requer a consideração de uma variedade de soluções ao abordar os problemas em uma área específica, e de entendimento de que não há uma solução absoluta para a erosão das praias, nem tampouco uma medida que se aproprie a todas as configurações litorâneas.

A opção por estruturas inapropriadas e as inúmeras tentativas de reconstituição de praia sem o pleno conhecimento de dados morfológicos e hidrodinâmicos, bem como das características geomorfológicas da região, têm se constituído em fatores determinantes para o insucesso de regeneração das zonas costeiras, além de contribuir, em muitos casos, para o agravamento e/ou transferência dos fenômenos erosivos (Gois, 2011).

Nesse sentido, Gomes (2007) alerta que *“É necessário continuar a investigar muitos aspectos de dinâmica costeira e a investir na monitorização das situações para que se aprofundem os conhecimentos necessários à compreensão dos fenômenos, à previsão das evoluções e à sustentação das intervenções a nível de ordenamento e de defesa costeira”*.

Para a comunidade científica, a investigação do uso de medidas de cunho protetivo ou de recuperação do ambiente costeiro, revelando os casos de sucesso, ou mesmo de insucesso, os acertos e equívocos, assim como, as medidas complementares e/ou corretivas decorrentes da inserção de intervenções no litoral, representa relevante contributo para o aprimoramento das concepções, assim como, para a fundamentação do conhecimento, permitindo uma maior compreensão do comportamento desse ambiente e das causas que levam, muitas vezes, a um estádío de degradação.

Para um ambiente essencialmente dinâmico e simultaneamente vulnerável, como é o caso do litoral, permanentemente suscetível a alterações constantes resultantes da interação continente e oceano, da interferência dos fenômenos ambientais de ordem global e, principalmente, às intervenções do homem nos processos naturais de suprimento dos sedimentos para a costa, essencial se faz uma compreensão ampla.

Ao tratar da questão das causas e consequências da degradação ambiental, bem como chamar atenção do papel da geomorfologia nesse tema, Cunha e Guerra (2012) afirmam que “para que o problema possa ser entendido de forma global, integrada, holística, deve-se levar em conta as relações existentes entre a degradação ambiental e a sociedade causadora dessa degradação que, ao mesmo sofre os efeitos e procura resolver, recuperar, reconstituir as áreas degradadas.

Nesse sentido, observa-se que a necessidade de recuperação e de preservação do ambiente costeiro tem despertado a atenção e o interesse da comunidade científica para a produção de dados e de estudos que permitam, por meio do aprofundamento do conhecimento do litoral – subsidiando e viabilizando a recuperação desse ambiente tão repleto de complexidade – que sejam conhecidas as alternativas mais apropriadas a cada ambiente litorâneo.

1.2 JUSTIFICATIVA

A erosão marinha no estado de Pernambuco é um problema ambiental histórico e de grande complexidade, que vem se constatando ao longo de todo seu litoral sob vários níveis de intensidade. O elevado grau de erosão das praias, assim como o alto nível de exposição de propriedades públicas e particulares ameaçadas pelo avanço do mar, tem contribuído no decorrer dos anos para que o litoral da Região Metropolitana do Recife (RMR) apresente, ao longo de toda sua extensão, uma variada quantidade de intervenções costeiras.

Olinda, a primeira cidade de Pernambuco a sofrer com o problema da erosão costeira e, consequentemente, com o recuo de sua linha de costa, é um dos municípios da RMR com maior percentual de intervenções costeiras implantadas. Essa grande variedade de obras vem sendo implantada durante décadas, ao longo do litoral, de forma pontual, descontínua e sem conexão entre elas. Em toda extensão do litoral olindense são encontrados espiões, quebra-mares, enrocamentos, além de uma grande variedade de muros de contenção e até mesmo um trecho com engordamento artificial da praia. Porém, sem que seja possível estabelecer qualquer ligação entre essas intervenções, que não seja de efeito corretivo.

A praia de Bairro Novo, com aproximadamente 2,0 km de extensão, é o segmento litorâneo olindense que apresenta o maior índice de urbanização, sendo constituída ao longo de todo o seu litoral por uma bateria de espiões de comprimentos e espaçamentos variados, intercalados pela presença de uma estrutura de enrocamento aderente, sem que estas tenham proporcionado resultados positivos na recomposição do perfil praial, desde aproximadamente cinco décadas.

Nesse contexto, esta pesquisa buscou partiu da hipótese de que as estruturas de defesa costeira da praia de Bairro Novo possam estar interferindo no processo de aporte sedimentar, impedindo a reconstituição da praia. Para tal, o desenvolvimento da pesquisa se deu a partir da busca pelo conhecimento das causas que imputaram o processo erosivo a essa faixa litorânea, bem como à caracterização sedimentológica da área de estudo, e a busca pelo conhecimento dos elementos que fundamentam o uso dos tipos de estruturas adotadas, possibilitando identificar se essas se apropriam à área de estudo, apontando se as mesmas estão dimensionadas adequadamente, ou mesmo que indique a necessidade de medidas corretivas, substitutivas, ou complementares, que possam oferecer à praia de Bairro Novo a possibilidade de aprisionar os sedimentos costeiros e favorecer a reconstituição de sua praia.

1.3 OBJETIVOS

Visando dissociar a finalidade a que se propõe esta tese, dos processos necessários à sua realização, os objetivos deste estudo foram subdivididos em “geral” e “específicos”.

1.3.1 Objetivo geral

O objetivo principal deste estudo é revelar o comportamento sedimentológico ao longo da praia do Bairro Novo e as relações estabelecidas com as estruturas de defesa costeira ali existentes.

1.3.2 Objetivos específicos

- Investigar a evolução histórica dos processos erosivos na costa olindense até alcançar a praia de Bairro Novo;
- Caracterizar o processo natural de aporte sedimentar identificado na porção média dessa faixa costeira;
- Diagnosticar o balanço sedimentar da área de estudo;
- Identificar as interferências exercidas nos processos sedimentares pelas estruturas de defesa costeira existentes, sobretudo dos espiões, bem como a capacidade que essas estruturas possuem em permitir a fixação de sedimentos e, consequentemente, em promover a regeneração dos perfis de praia.

1.4 ESTRUTURA DA TESE

Este trabalho de pesquisa está estruturado em 07 (sete) capítulos sequenciais, através dos quais se encontram descritas cada uma das etapas desenvolvidas.

O primeiro capítulo faz uma abordagem acerca do litoral, apresentando um breve histórico do fascínio exercido por este ambiente sobre o homem, desde o uso inicial com fins terapêuticos, às atividades recreacionais e, consecutivamente, à ocupação dos espaços litorâneos, revelando, dentre outras consequências advindas dessa antropização, o desequilíbrio no balanço sedimentar e, por conseguinte, o desencadeamento dos processos erosivos costeiros e a necessidade de medidas interventivas com a finalidade de estabilizar a linha de costa e de preservar o patrimônio que ali se estabeleceu. Nesse capítulo são apresentados, ainda, a justificativa para o desenvolvimento deste trabalho, assim como os objetivos geral e específicos do estudo.

O capítulo 2 retrata a cidade de Olinda, com enfoque em seu litoral e os processos erosivos que historicamente vêm atingindo sua costa, fazendo uma avaliação detalhada das obras de ampliação do porto do Recife, dos processos de ocupação dos espaços litorâneos e da supressão das áreas de mangues. Elementos estes que concorreram para a imputação da erosão da costa olindense, desde o istmo, inicialmente, até alcançar a praia de Bairro Novo, área de desenvolvimento desta tese. Para a praia de Bairro Novo, em recorte nesse capítulo, é feito um detalhamento cronológico das intervenções, as quais foi submetida, tratando desde as experiências desenvolvidas pelo Departamento Nacional de Portos, Rios e Canais (DNPRC) e os estudos elaborados pelo Laboratório da SOGREAH (Société Grenobloise d'Etudes e Applications Hydrauliques) até o cenário atual.

O terceiro capítulo traz a fundamentação teórica, através da qual se caracteriza a dinâmica costeira, por meio dos condicionantes naturais e antrópicos, fazendo uma descrição dos principais agentes morfodinâmicos e hidrodinâmicos atuantes no processo de modelagem da costa. Nesse capítulo é tratado, também, a respeito da erosão costeira, revelando suas principais causas, assim como as principais consequências decorrentes (ambientais, sociais e econômicas), além de classificar as

alternativas de proteção costeira, detalhando tecnicamente as medidas que compõem o sistema de defesa da costa da praia de Bairro Novo.

No capítulo 4 são detalhados os aspectos gerais da área de elaboração deste estudo, revelando as principais características de clima, vegetação, hidrografia, assim como, o enquadramento geológico e geomorfológico da costa pernambucana e os principais agentes da hidrodinâmica (ventos, ondas, correntes e marés), atuantes na área de estudo.

O quinto capítulo faz o detalhamento da metodologia adotada para a elaboração deste trabalho, e a sua subdivisão em 03 etapas.

No sexto capítulo são apresentados os resultados e discussões acerca dos estudos e levantamentos realizados, sendo analisados os resultados dos dados hidrodinâmicos apresentados pelo CPTEC/INPE, bem como dos perfis morfodinâmicos que reproduziram a morfologia praial em resposta à dinâmica local e à presença das obras de defesa costeira, revelando o balanço sedimentar da praia ao longo de toda a extensão. Esse capítulo traz, através do estudo comparativo, e de sobreposição, entre as batimetrias realizadas para a área de desenvolvimento desta tese, nos anos de 2011 e 2018, a cubagem do balanço sedimentar da plataforma continental nesse intervalo de sete anos. Sendo demonstrados, ainda, os resultados obtidos com a caracterização da sedimentologia da praia, da plataforma continental e de 02 pontos adjacentes à área de estudo, correlacionados com a proposta desta tese. Para finalizar esse capítulo, é realizada a caracterização da praia de Bairro Novo, a partir da aplicação dos dados obtidos no “Sistema de Modelagem Costeira – SMC Brasil”.

O capítulo 7 encerra este trabalho ao trazer as conclusões e considerações finais, elaboradas por meio da análise ampla e conexa entre os resultados atingidos com os estudos propostos e desenvolvidos, e que se apresentam neste volume.

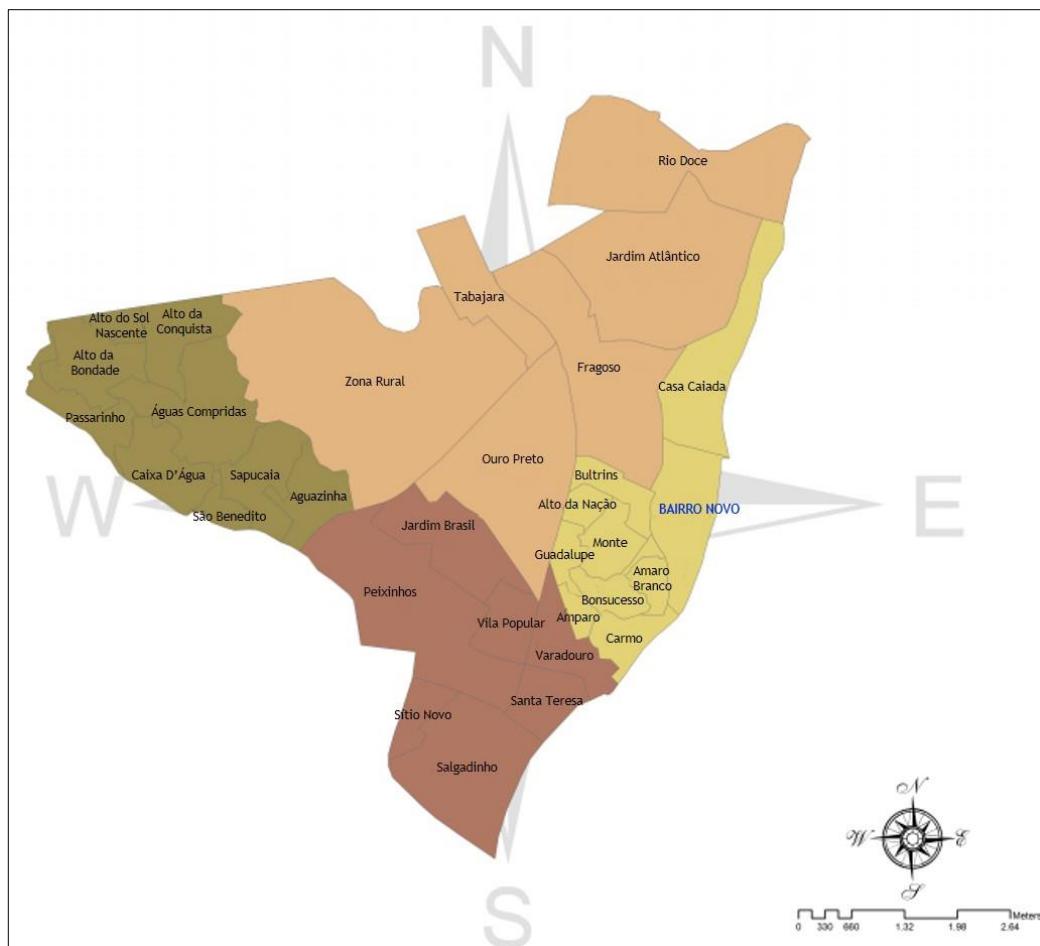
2 OLINDA – EVOLUÇÃO DA EROSÃO COSTEIRA E DAS OBRAS DE CONTENÇÃO DO AVANÇO DO MAR

A compreensão da erosão costeira e das obras de contenção na praia de Bairro Novo, área de desenvolvimento deste estudo, passa, necessariamente, por uma avaliação histórica, uma vez que os processos erosivos da cidade de Olinda foram produzidos ao longo dos tempos num efeito dominó, se expandindo subsequentemente, praia a praia.

2.1 A CIDADE

Pertencente à Região Metropolitana do Recife (RMR), Olinda limita-se ao norte com a cidade do Paulista, ao sul e a oeste com a cidade do Recife, e a leste com o Oceano Atlântico (Figura 3). Dos 32 bairros que compõem o município, 07 são costeiros, entre eles o Bairro Novo, no qual se desenvolve este estudo.

Figura 3 – Delimitações e orientação do município de Olinda-PE.



Fonte: Modificado de Prefeitura Municipal de Olinda (2012).

Segundo dados do IBGE (2017), o Município possui uma extensão territorial de 41,681 km² e conta com uma população estimada de 390.771 habitantes, representando uma densidade demográfica de 9.375,28 hab./km². A altitude média da cidade de Olinda em relação ao nível do mar é de 16 metros. A sua vegetação é composta por mata atlântica, campos, mata de restinga e manguezais.

Além de possuir uma enorme beleza natural, Olinda, que é uma das mais antigas cidades do Brasil, também é um dos mais importantes centros culturais brasileiros. Por todo seu acervo histórico, arquitetônico e cultural, em 14 de dezembro de 1982, foi a segunda cidade brasileira a ser declarada pela UNESCO Patrimônio Histórico e Cultural da Humanidade, e em 2005 eleita a primeira Capital Brasileira da Cultura.

2.1.1 O Litoral

O litoral olindense é composto por oito praias: Istmo (Del Chifre), Milagres, Carmo, São Francisco, Farol, **Bairro Novo**, Casa Caiada e Rio Doce), respectivamente de sul para norte, totalizando uma extensão de aproximadamente 10,0 km, tendo sido identificado, de acordo com o “Monitoramento do Litoral de Olinda” (CPRH, 2000), ao longo deste litoral, 04 (quatro) setores distintos (Figura 4):

Setor 1 – Este setor corresponde à grande praia arqueada, com aproximadamente 2,0 km de extensão, conhecida como Praia do Istmo de Olinda ou, ainda, Praia de Del Chifre. A construção da proteção aderente garantiu a estabilidade do istmo e favoreceu o desenvolvimento da praia, com tendência de crescimento.

Setor 2 – Este setor se estende do enraizamento do istmo de Olinda até o início da bateria de espiões, correspondendo a um trecho da ordem de 2,5 km de extensão, compreendendo as praias dos Milagres, do Carmo e de São Francisco, protegidas pela presença de enrocamento aderente e de três quebra-mares semi-submersos.

Setor 3 – Compreende a praia do Bairro Novo, área de desenvolvimento deste estudo, cuja extensão é de aproximadamente 2,0 km. Este trecho do litoral de Olinda é constituído por uma bateria de espiões de comprimentos e espaçamentos variados, intercalados pela presença de uma estrutura de enrocamento aderente.

Setor 4 – Se estende do espião da praia de Casa Caiada até a foz do Rio Doce, com cerca de 4,0 km de extensão. Este setor apresenta uma linha de costa sinuosa, com praia arenosa baixa, protegida pela presença de sete quebra-mares ao largo, além de uma quantidade variada de estruturas aderentes, dentre elas muros de concreto e de alvenaria, enrocamentos aderentes e pedras “soltas” jogadas. O setor 4 encontra-se, atualmente, passando pelo processo de reordenamento das estruturas aderentes existentes, adotando o enrocamento aderente para unificar o sistema de defesa da costa.

Figura 4 – Setores do litoral Olindense.



Fonte: Modificado de Gois (2011)

2.1.2 Processos erosivos costeiros

Ainda que o problema da erosão costeira na RMR mereça ser visto de uma forma mais ampla, visto que, sobretudo, não há uma convergência de entendimento a respeito de suas causas, ou ao menos de uma causa principal, em Olinda a compreensão dos elementos que motivaram a instalação e evolução da erosão em suas praias, se não são unificadas, ao menos, não são tão pulverizadas e apontam para uma gama menor de agentes.

Nesse sentido, estudos têm apontado, sobremaneira, a existência de três fatores que, entre si, ou mesmo isoladamente, têm concorrido para a instalação, evolução e agravamento da erosão costeira no município de Olinda: as obras de instalação, ampliação e melhoramento do Porto do Recife; a supressão das áreas de mangues; e a ocupação desordenada e irregular de setores da praia.

2.1.3 O Porto do Recife e suas implicações

A erosão costeira na cidade de Olinda não é recente, tendo se-feito presente desde o período colonial. Porém, é no início do século XX, mais precisamente em outubro de 1907, que esse fenômeno atinge maiores proporções e ganha maior evidência, quando a “Sub-Comissão de Estudos” apresentou o plano geral de melhoramento do porto do Recife. Nessa ocasião, de acordo com Castro (1976), *“observou a Sub-Comissão que ao lado da restinga de areia, que é o istmo de Olinda, pelo lado de terra, o rio Beberibe, avolumado com as águas da maré de enchente, corria, no refluxo da maré, com grande velocidade, corroendo em alguns pontos os taludes arenosos do istmo, o que era atestado, em um lugar, por um paredão mal conservado, em outro, pelos vestígios de estacadas, evidenciando a necessidade que sempre houve de protegê-los contra a erosão das águas correntes”*.

Ali surgia a concepção da primeira intervenção costeira a ser implantada nos limites costeiros olindenses, uma vez que, ainda segundo Castro (op. cit.) *“para sanar esse inconveniente, o projeto da Sub-Comissão revestia, com um paredão de pedra jogada, toda margem do istmo, pelo lado de terra, numa extensão de 1.690 metros, a partir da ponte do Limoeiro, até as vizinhanças da cidade de Olinda”*.

A partir de então, algumas intervenções foram feitas no Porto do Recife, fazendo com que, ao longo de décadas, em muito tenha se atribuído a essas medidas, a imputação da erosão costeira na cidade de Olinda.

No entanto, para entender a interferência que a estrutura portuária do Recife pode ter exercido sobre as praias do litoral olindense, é essencial a compreensão de como se dá o processo de transporte sedimentar ao longo do litoral.

As ondas e as correntes respondem pelo processo de distribuição dos sedimentos que chegam do continente à zona costeira e, consequentemente, às praias adjacentes. Porém, a presença de intervenções, tais como represas, barragens, exploração de jazidas, portos e outras mais, são responsáveis diretas pelas alterações no aporte sedimentar para as praias.

Nesse sentido, o projeto Monitoramento Ambiental Integrado – MAI (2009) esclarece que *“as ondas de superfície resultam da transferência da energia do vento local e ao largo para a superfície dos oceanos. Ao atingirem áreas rasas, essa energia é rapidamente liberada, gerando correntes e influenciando diretamente o transporte de sedimentos e a morfologia da costa. Ao encontrarem estruturas naturais (cabos, promontórios, recifes, etc.) ou artificiais (piers, molhes, espiões, cais etc.) as ondas são refletidas e/ou refratadas, modificando suas características originais e impondo esforços sobre as mesmas”*.

Outro fator a ser considerado é que, ainda que as correntes costeiras na Região Metropolitana do Recife (Paulista, Olinda, Recife e Jaboatão dos Guararapes), apresentem variação ao longo do ano, o sentido da deriva litorânea se apresenta preferencialmente para o norte.

Portanto, a relação de interferência no impedimento do aporte de sedimentos pelo porto do Recife, e por suas obras de ampliação e melhoramentos, dá-se, sobremaneira, no sentido das praias do litoral norte, sobretudo para as praias olindenses, por se encontrarem imediatamente após a região portuária do Recife.

Porém, ainda que essas obras de ampliação e melhoramentos do porto do Recife tenham sido realizadas sobrepujadamente no início do século XX, pois, segundo Castro (1975), “durante o período colonial, o ancoradouro do Recife, praticamente nenhum melhoramento recebeu”, tendo isso ocorrido apenas sob o domínio dos holandeses, quando foi executado o alteamento do recife por uma muralha de 912,0 metros de extensão, e que no período do Império pouco tenha sido feito para melhorar as condições do ancoradouro, em 1875 “foi começada a construção do dique do Nogueira, tendo sido construídos 1.116,0 metros de extensão” com a finalidade de “vedar o caminhamento das areias do esteiro compreendido entre os recifes e a ilha do Pina, em direção ao Norte”, configurando-se esta obra como a primeira intervenção na região portuária do Recife a interferir no transporte de sedimentos para o litoral norte.

No início do século XX, com a chegada da república, foi criada, sob a direção do engenheiro Alfredo Lisboa, uma Sub-Comissão com a finalidade da elaboração dos estudos definitivos visando os melhoramentos do porto do Recife. Foi então que, de acordo com Castro (op. cit.), “Pelo Decreto n.º 6.738, de 14 de novembro de 1907, do Presidente AFONSO PENA, foram aprovados os estudos e projetos organizados pela Sub-Comissão”, sob o título “Memória descritiva e Justificativa do Projeto de Melhoramento do Porto do Recife”.

Esse projeto, apresentado em outubro de 1907, além de prever a construção de 1.690 metros de paredão de pedra jogada com o objetivo de proteger toda a margem do istmo, pelo lado do continente, contemplava a construção de um quebra-mar que se estendia da barra do Picão até a isóbata de 9,0 metros, prolongando-o por 1.147 metros, sendo uma parte em curva de 250,0 metros.

Iniciadas em julho de 1909, as obras de melhoramento do Porto tiveram os trabalhos de construção da muralha de pedras sobre os recifes e o reforço do dique do Nogueira quase concluídos em 1910, tendo sido iniciada nesse mesmo ano a construção do molhe do istmo, e no ano de 1911 a construção do quebra-mar.

Registrava-se, entretanto, em 1912, a paralisação da construção do molhe de Olinda em decorrência de uma grande ruptura causada pelo mar ao istmo, logo ao sul da fortaleza do Buraco.

Castro (1976) justificou esse incidente “*pelo fato de ser o molhe, em construção perpendicular à praia, avançado para o mar. Ficavam, assim, interceptadas as areias arrastadas ao longo da enseada de Olinda, que viriam fechar o rombo, como acontecia em anos anteriores. Acresce que, então, não se achava bastante adiantada a construção do quebra-mar, e que as vagas impelidas pelos fortes vendavais do quadrante de Sueste, vinham intervir em cheio contra a encosta arenosa e revolver as areias, arrastando-as para os fundos já dragados do anteponto*”.

No entanto, Guerra (1977) chamava atenção para o fato de que a guerra de 1914/18 provocou restrições à obra, “*não desaparecendo contudo*”. E, portanto, os serviços suspensos em meados de 1914 foram retomados em agosto de 1915 e, somente em 1920, ficaram praticamente concluídas as obras básicas do porto, destacando-se entre elas, 1.638 metros de cais de -8,0 m, 848 metros de cais de -10,0 metros, a muralha sobre os recifes emergentes, com o fechamento da barreta das Jangadas, o quebra-mar e o molhe de Olinda.

Desde então, vários registros de erosão têm sido observados ao longo do litoral norte, sobretudo em áreas urbanas, as quais têm sido objeto de diversas intervenções costeiras com o propósito de conter as investidas do mar e, consequentemente, acabar com a erosão das praias.

Ao estudar a história social das praias do Recife e Olinda, Araújo (2007) revela que “*a partir de 1920, o oceano reiniciou seu ciclo periódico de avanço do mar sobre o continente, alterando, pouco a pouco, a fisionomia da orla da velha Marim dos Caetés*”, registrando ainda que “*as ressacas anuais de inverno vinham cada vez mais fortes*”. A autora menciona que, nos primeiros anos de 1930, por ordem do prefeito Cabral de Vasconcelos Filho, era construído o cais de alvenaria de pedra e cimento com o objetivo de refrear as investidas furiosas do mar contra a orla da cidade. “*Olinda outrora destruída pelo fogo, era agora castigada pelo mar, que ameaçava levar consigo praias, coqueiros, ruas e casas residenciais*”.

2.1.4 A supressão das áreas de mangues

Associado diretamente ao bioma Mata Atlântica e aos recursos hídricos, os manguezais são considerados um dos indicadores ecológicos mais significativos da zona costeira. Estes ambientes, além de se constituírem em zonas de elevada produtividade biológica – servindo de abrigo para o desenvolvimento de uma grande variedade de animais marinhos estuarinos e dulcícolas que necessitam dessa área, inclusive, para sua reprodução –, desempenham papel fundamental na proteção da costa, funcionando, inclusive, como amortecedores naturais no processo de modelagem da costa, funcionando como filtros das águas que vão do continente para o mar e vice-versa.

Ao analisarem a importância do manguezal, Pereira Filho & Alves (1999, apud FEMAR, 2001) destacaram, entre as diversas funções naturais, de grande importância ecológica e econômica, a proteção da linha de costa, ressaltando que “*a vegetação desempenha a função de uma barreira, atuando contra a ação erosiva das ondas e marés, assim como em relação aos ventos*”.

No Brasil, o manguezal tem registro em quase todo o litoral, estendendo-se desde a foz do rio Oiapoque até o município de Laguna em Santa Catarina. Porém, a devastação que se deu pelo desmatamento e aterro resultou na redução de diversas áreas de manguezais.

O desmatamento em áreas de manguezais é uma das alterações ambientais mais antigas no Brasil, praticado desde o século XVI. Nessa época, o corte de árvores era provocado para obtenção de tinta (tanino) utilizada para tingir tecidos e em curtumes (Pereira Filho & Alves (1999, apud FEMAR, op. cit.).

A colonização brasileira ocorreu – quase que exclusivamente – partindo do litoral, foram os ambientes costeiros os primeiros a receber as alterações de um comportamento exploratório mercantilista na América. Assim, não foi diferente em Pernambuco, especificamente em Recife, que ao se expandir nos baixios de manguezal, fez surgir uma cidade plana tanto no centro como em seu entorno imediato (Silva, 2011).

Em Pernambuco, Silva (op. cit.) registrou a “*grande expansão das atividades humanas sobre o manguezal*” revelando os constantes aterros e a acelerada expansão urbana que se dá para essas áreas através de condomínios, estradas, indústrias, portos, esgotos sanitários e lixo.

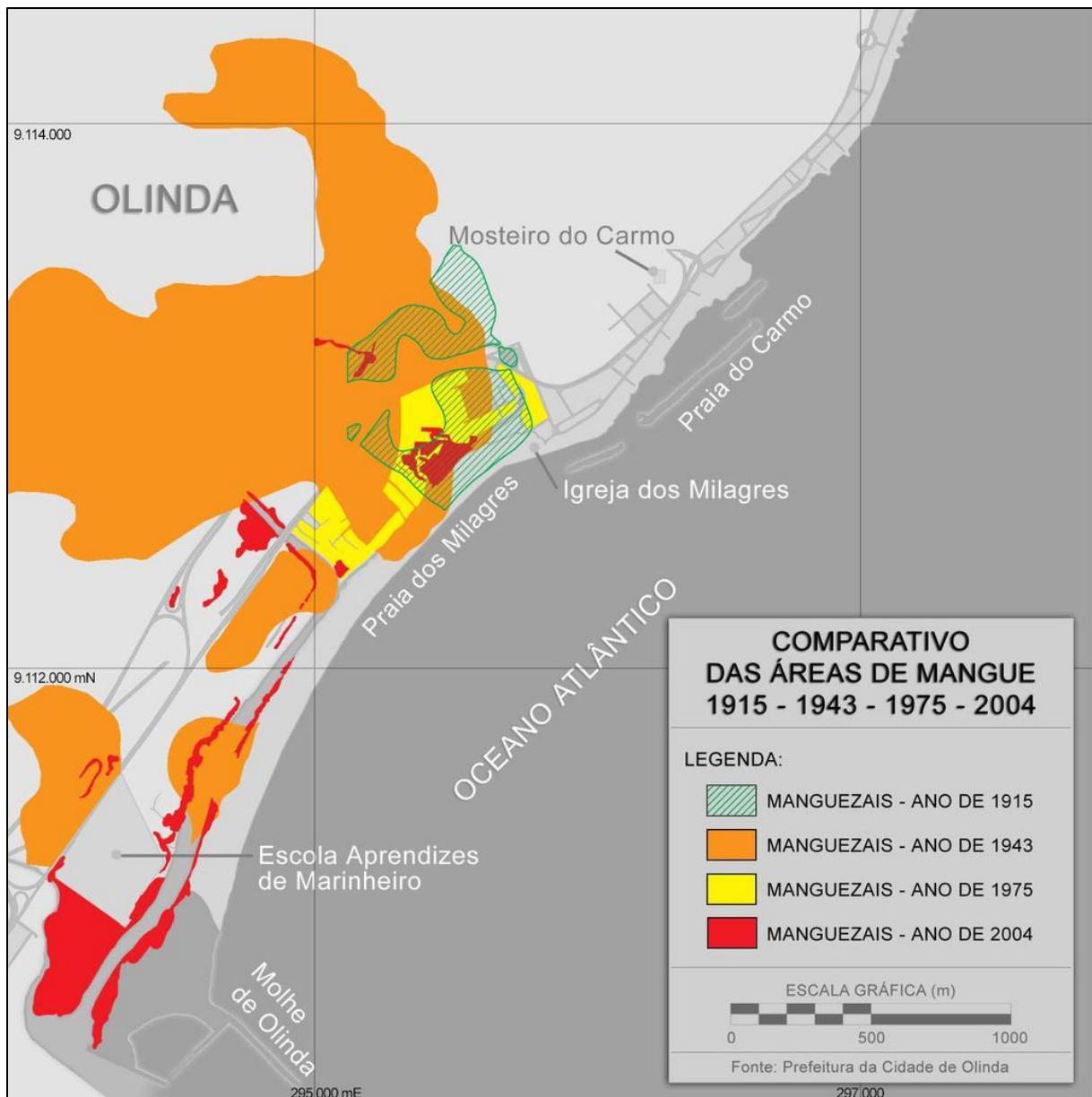
Em Olinda, sucessivos processos de urbanização contribuíram ao longo do tempo para o avanço do aterro e da ocupação das áreas de mangues na cidade. Em transcrição do Foral de Olinda, datado de 12 de março de 1537, Pedrosa (2007) registrou as concessões, por parte das autoridades da época, de áreas para aterro que beneficiassem os moradores do município, favorecendo a expansão urbana sobre áreas ribeirias, alagadiços e mangues.

Nesse sentido, Souza (2006) ressalta “*o desprezo dispensado a esse espaço*”, durante a colonização, quando as áreas estuarinas do rio Beberibe eram tomadas pelos menos favorecidos. Nesse período, “*os donatários passavam a terceiros o custo maior da política “urbanizadora”, pois além do pagamento do foro adiantado obrigava-se também as drenagens dos alagados*”.

Dessa forma, as áreas remanescentes de mangues na cidade de Olinda foram sendo delimitadas a partir dos inúmeros aterros realizados pelos processos de urbanização, sobretudo os que se deram sobre o sistema estuarino do rio Beberibe como, por exemplo, quando da implantação do Complexo Viário de Salgadinho, criado a partir da necessidade de conexão entre as cidades de Recife e Olinda, que confinou algumas áreas de mangues, como o manguezal Chico Science.

Os estudos desenvolvidos por Pedrosa (op. cit.) revelaram, ainda, uma redução de mais de 90% da área de mangue, na cidade de Olinda, de 30,0 hectares para menos de 2,0 hectares no período de 1915 a 2004 (Figura 5). E como bem ressaltou o autor, “*toda a área situada nas proximidades da foz do Beberibe foi perdendo progressivamente suas defesas naturais contra as ressacas marinhas, representadas pelos mangues, através de sua capacidade de absorção dos excedentes de águas*”.

Figura 5 – Variação da área de mangues nas proximidades da praia dos Milagres, Olinda-PE.



Fonte: Modificado de Pedrosa (2007).

2.1.5 A ocupação do litoral e de setores de suas praias

Em Olinda, a busca pela ocupação dos espaços litorâneos, através da fixação de imóveis residenciais e comerciais, deu-se desde muito cedo. Esse processo de expansão urbana em direção à zona costa é evidenciado por Araújo (op. cit.), quando a autora descreve que, entre o final do século XIX e o início do século XX, “as áreas do município, próximas às praias”, desde o Istmo até o Farol, “tiveram seu processo de ocupação adensado”.

Esse interesse pelos espaços costeiros, em Olinda, quando não ocorreu de forma espontânea, foi impulsionado pela própria administração do Município que, ao perceber o crescimento da procura de suas praias para o uso de banhos e veraneio, despertou o interesse pela fixação de moradias em sua costa.

Esse fato é evidenciado por Souza (2011), quando este revela que, ainda na primeira década do século XX, via-se como necessário compatibilizar a vida urbana “*com a prática do veraneio*”, razão pela qual se estimulava “*a expansão das edificações da cidade para mais próxima ao mar*”.

Essa situação é também evidenciada por Araújo (op. cit.), quando a autora retrata o estímulo à edificação e ao “*povoamento das áreas de praia, situadas entre o Farol e Rio Doce*”, uma vez que o “*Farol era o limite da zona habitada de Olinda*”. A autora reforça essa condição, ainda, através da transcrição do Art. 1 da Lei Municipal n.º 207, de 15/10/1906, pela qual a Prefeitura concedia por cinco anos uma licença para quem edificasse “*prédios em terrenos situados na zona compreendida entre o Farol da Praia de São Francisco até o Rio Doce*”.

Nascimento (2008) retrata essa expansão urbana da cidade de Olinda na direção das praias quando descreve que o estreitamento das relações entre Recife e Olinda se reforçou a partir da chegada da eletricidade “*que substituiu a Maxambomba, em 1914, pelo bonde elétrico*”, tendo seu terminal sido “*deslocado para o Farol de Olinda onde já havia algumas residências*” (Figura 6).

A autora ressalta, ainda, a grande melhoria trazida para a cidade na época do veraneio, “*com calçamento das ruas e desenvolvimento para a região praieira*”. Essa condição de direcionamento da ocupação do litoral (Figuras 7 e 8) é reforçada quando a mesma transcreve o depoimento do arquiteto e urbanista André Renato Pina Moreira que afirma:

“...No final do século XIX, início do século XX, com a vinda do trem urbano, isto facilitou a vinda das pessoas para Olinda e ela virou uma cidade veraneio. Olinda teve um novo florescer, e em consequência a cidade desceu para o litoral. Não era mais só o centro histórico. O centro histórico ficou lá, como tal”.

Figura 6 – Praia do Farol, no município de Olinda, evidenciando a presença de algumas construções no início do século XX.



Fonte: Nascimento (2008).

Figura 7 – Vista aérea da praia do Carmo, município de Olinda, revelando a grande quantidade de edificações estabelecidas no litoral, no início do século XX.



Fonte: Nascimento (2008)

Figura 8 – Avenida Sigismundo Gonçalves (1910), centro importante do veraneio de Olinda.



Fonte: Nascimento (2008)

Com a criação de novos bairros e a construção de novas edificações, necessidades foram surgindo, tais como a implantação de vias, inevitáveis, sobretudo, pela necessidade de conexão de Olinda com esses bairros e os municípios vizinhos.

No entanto, a pressão urbana exercida pela chegada dessas construções ao litoral de Olinda viria, consecutivamente, trazer severas consequências para o município, principalmente para os próprios moradores que se estabeleceram na orla, uma vez que essas novas construções seriam as primeiras a sofrerem as consequências dessa apropriação indevida do espaço costeiro.

Notícias sobre as agressões impostas pelo mar, às construções estabelecidas nas margens do litoral de Olinda, eram veiculadas progressivamente desde o final da década de 1920 (Anexos), quando passaram a ser constantes as ocorrências de edificações na praia dos Milagres sendo totalmente destruídas pelas ressacas (Figura 9).

Porém, chega a ser paradoxal o antagonismo da relação estabelecida da sociedade com o ambiente costeiro, principalmente, quando avaliamos o resultado dessa relação permeada pelo misto de fascínio e degradação.

Figura 9 – Diário da Manhã de 29/01/1928, quando era noticiado mais um registro de danos causados pelas ressacas às construções existentes na orla da praia dos Milagres, Olinda-PE.



Fonte: CEPE (2014).

Em “As praias e os dias: história social das praias do Recife e de Olinda”, Araújo (op. cit.), ao retratar o processo de urbanização do litoral de Pernambuco, revela o quanto são ambíguos e ambivalentes “os modos pelos quais a sociedade se relaciona com um muito particular e característico espaço, histórica e juridicamente definido como um bem de domínio público da União como lugar de uso comum”.

Reforça a autora, quanto à visão contraditória entre o desvelo e o uso das praias, que ao mesmo passo “em que se “expressa o desejo de manter preservadas e acolhedoras, suscetíveis, assim, de serem associadas à visão idílica do paraíso terrestre, a deterioração de muitas delas é claramente perceptível, em função dos usos sociais equivocados e predatórios, que se foram acumulando ao longo do tempo”.

Em Olinda, essa relação não transcorreu de forma diferente. E, embora, na medida em que a urbanização avançava em direção ao mar, e este contra-atacava, provocando grandes destruições às áreas edificadas, a urbanização se expandia para outros pontos do litoral olindense. Como ocorreu, por exemplo, no início da década de 1960, com a

implantação de vias à beira mar, caso evidenciado pelo Diário de Pernambuco (DP), que noticiou, em 26/09/1961 (Anexos), a iniciativa da Delegacia do Patrimônio da União em abrir concorrência para a “execução do levantamento topográfico e planta da faixa da Avenida Beira Mar, nos municípios de Olinda, Jaboatão e Paulista”.

Medidas essas que foram tomadas, mesmo tendo sido antecedidas, durante as décadas de 1940 e 1950, pela grande quantidade de destruições provocadas pelas ressacas, bem como pela implantação de obras de defesa costeira que se fizeram necessárias para conter o avanço do mar sobre as vias e construções ali existentes. Fato esse que se constata quando, em agosto de 1958, eram noticiadas pelo DP (Anexos) as medidas tomadas pelo Departamento Nacional de Portos Rios e Canais, com o auxílio técnico do Laboratório da SOGREAH (Société Grenobloise d'Etudes e Applications Hydrauliques), visando a defesa das praias de Olinda. Medidas essas que o DP descrevia em 28/11/1958 (Anexos) e que se iniciava em 29/11/1959, conforme veiculado, também pelo DP (Anexos).

Embora a expansão da urbanização em direção ao ambiente costeiro de Olinda tenha sido impulsionada em meados do século XX, com o surgimento de novos bairros, é na segunda metade desse mesmo século que, de fato, esse processo vem se consolidar, sobretudo a partir da década de 1970.

Isso bem se configura em duas transcrições feitas por Nascimento (op. cit.). Inicialmente, através do depoimento do jornalista José Ataíde de Melo, quando o mesmo relata que “*Em 1948 Olinda ainda sofre as ressacas que destruíram ruas inteiras e intervieram nas praias e o veraneio acabou! Surge o Loteamento Bairro Novo*”. E, posteriormente, quando do relato da professora Ilmar Belo dos Santos que registrou o fato de que “*O comércio foi muito ampliado a partir das gestões de Germano Coelho (1976 e 1992). Ele conseguiu incrementar o comércio em Olinda, que já existia nas cidades mais próximas*”. Ilmar registrou, ainda que os bairros de Bairro Novo, Jardim Atlântico e Casa Caiada “*foram surgindo, porque a população ia aumentando, e iam construindo novas casas e apartamentos*”.

Notícias desse período revelam com clareza o nível de ocupação pelo qual eram tomadas as praias de Olinda. Como na publicação do DP em 09/02/1971 – Anexos –, anunciando

que “*Ubiratan retira bares da orla marítima para iniciar avenida*”, fazendo menção ao fato de que o Prefeito de Olinda, Ubiratan de Castro, tomava providências no sentido de “recuar em direção ao mar”, os restaurantes da orla marítima de Olinda, “*para construção da nova avenida Atlântica a ser construída desde o Carmo até Casa Caiada*”.

Pereira (2012), ao analisar o nível de integração das cidades de Olinda, Jaboatão dos Guararapes e Paulista, com a capital, evidenciou que “*a década de 1970 representou o marco temporal da produção da espacialidade litorânea moderna na região*”.

Esse processo histórico de crescimento da cidade de Olinda, em direção ao litoral, ocupando os espaços costeiros, favoreceu, entre outros fatores, a formação de um enorme adensamento populacional, fazendo da cidade a maior densidade demográfica do litoral do estado, e uma das maiores do país. Este processo de ocupação se fez refletir diretamente no ambiente praial, promovendo, principalmente, o desequilíbrio sedimentar e, consequentemente, o desaparecimento, quase total, das praias que compreendem a costa olindense, que cederam seus espaços para abrigar uma grande variedade de obras de proteção costeira.

Muehe (2006) destaca que “*À medida que aumenta a ocupação do litoral, principalmente nas proximidades das grandes cidades, aumentam também os relatos sobre erosão*”. O autor esclarece, ainda, “*que a urbanização em si não provoca erosão, entretanto, a construção de edificações dentro da faixa de resposta dinâmica da praia às tempestades tende à retomada pelo mar da área construída*”.

Condição verificada por Araújo et al. (2007) que, ao analisar a ocupação urbana das praias de Pernambuco, revelou que, entre os municípios investigados, “*O município de Olinda apresentou a pior situação em termos de ocupação do ambiente praial, porque é quase totalmente ocupado por grandes obras públicas de contenção da erosão costeira*”. Os autores enfatizaram, ainda, que “*A construção dessas obras na pós-praia e na praia altera a dinâmica sedimentar, e compromete seriamente a estética da área, interferindo na sua beleza cênica, e portanto, no seu valor econômico e sócio-cultural*”.

Ao propor a classificação para os diferentes tipos de orla, Araújo et al. (2006) dividiu o litoral olindense em quatro categorias: orla exposta não urbanizada (20%), orla exposta com urbanização consolidada (20%), orla semi-abrigada com urbanização consolidada (14%), e orla abrigada com urbanização consolidada (46%). Segundo os autores *“As várias intervenções antrópicas mudaram as características da cobertura sedimentar das praias. Em quase toda a área foi constatada a presença de obras de proteção costeira, devido ao alto grau de urbanização da orla”*.

A configuração morfodinâmica de uma praia está diretamente relacionada a diversos fatores, mas, sobretudo, à interferência que recebe dos processos hidrodinâmicos. Seu estado é resultado de modificações cíclicas e sazonais, que promovem a movimentação e o transporte dos sedimentos inconsolidados. Portanto, a ocupação de setores da praia impede o seu desenvolvimento natural, além de alterar o cenário natural deste ambiente. Nesse contexto, torna-se inegável a participação efetiva da ocupação dos espaços litorâneos de Olinda no desequilíbrio de um ambiente tão frágil e suscetível a alterações.

2.2 A PRAIA DE BAIRRO NOVO

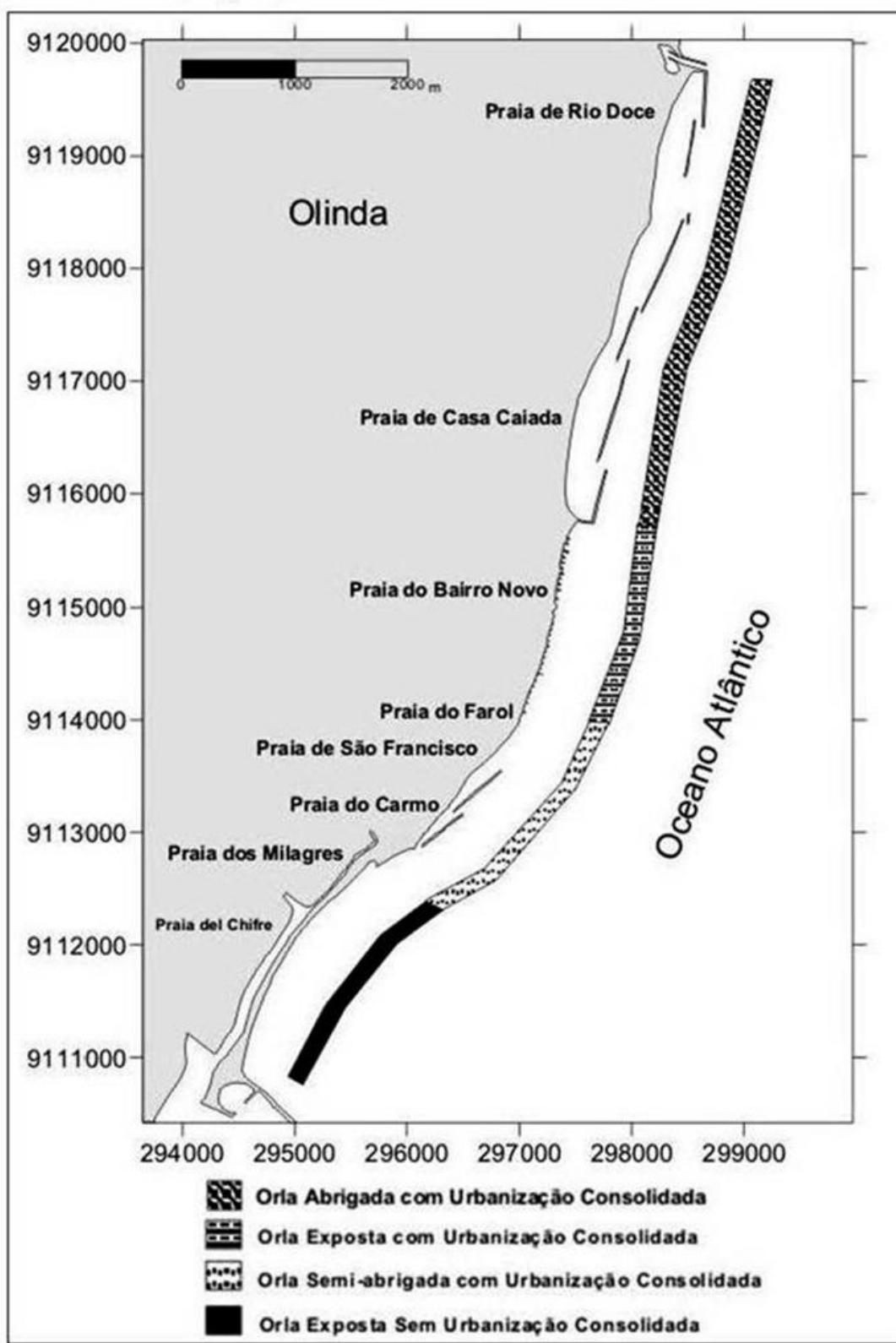
A praia de Bairro Novo, área de enfoque deste estudo, está localizada na porção média da costa de Olinda, encontrando-se limitada ao sul pelas coordenadas 08° 00' 41" de latitude S e 34° 50' 32" de longitude W, e ao norte pelas coordenadas 07° 59' 43" de latitude S e 34° 50' 17" de longitude W. Esse trecho de costa compreende o maior índice de urbanização do litoral olindense e se particulariza pela grande quantidade de obras de defesa costeira distribuídas por toda sua extensão.

Esta praia que, de acordo com a tipologia da orla da cidade de Olinda (Figura 10), proposta por Araújo et al. (op. cit.), *“encontra-se completamente urbanizada, com várias estruturas de proteção costeira, sendo um trecho sem praia recreativa em muitos locais”*, passou a ser objeto de intervenções costeiras a partir da metade do século XX.

Embora a orla de Bairro Novo apresente uma linha de costa estabilizada, devido à grande quantidade de estruturas aderentes, a insuficiência de estruturas naturais e/ou

artificiais que minimizem a ação das ondas na costa faz com que este trecho de orla se encontre completamente exposto.

Figura 10 – Tipologia da orla da cidade de Olinda.



Fonte: Araújo et al. (2006).

2.2.1 Intervenções da praia de Bairro Novo

A praia de Bairro Novo, embora conte com a presença de obras de defesa costeira ao longo de mais de 50 anos, este segmento litorâneo foi objeto de apenas dois tipos de intervenção costeira, sendo composta, atualmente, por uma sequência de trinta e um espigões, alternados por uma muralha de enrocamento aderente.

Porém, ainda que a relação estabelecida entre a praia de Bairro Novo e as obras de defesa costeira tenha ocorrido apenas no início da década de 1960, a compreensão de como se deu a inserção dessas medidas, assim como de suas evoluções ao longo dos anos, evidenciando a expansão do fenômeno erosivo para áreas subsequentes, caracterizando um “efeito dominó”, está diretamente relacionada às intervenções propostas nos anos de 1950 e 1951 para as praias compreendidas entre a raiz do molhe e a praia do Farol, que se deu após a malsucedida experiência do 7º Distrito de Portos, Rios e Canais (D.P.R.C.-7), quando da tentativa de proteger o istmo de Olinda, bem como de impedir o avanço do mar para as praias vizinhas, ao construir e manter o sistema de defesa por meio de estruturas transversais do tipo “espigões”.

Essa experiência é descrita pelo engenheiro-chefe do D.P.R.C.-7 no relatório anual apresentado ao Departamento Nacional de Portos, Rios e Canais (DNPRC):

“Em virtude dos estragos produzidos nos espigões construídos em 1950, em 1951 modificamos a sua locação, dando-lhes um ângulo de 12º para o norte com relação à normal à praia e reduzimos o espaçamento entre os mesmos. Não conseguimos, no entanto, melhor resultado.

Na época invernosa do ano findo, quando os ventos mudam para o quadrante ESE – SSO, com predominância do vento SSE, novamente foram destruídos os 4 espigões construídos, apesar da assistência que lhes demos, mantendo uma conservação permanente.

A conclusão a que chegamos é a de que na praia de Olinda não há preponderância, como parecia, do arrasto do Norte para o Sul. Durante uma época do ano, a estival, quando dominam os ventos do quadrante ENE – ESE, com predominância do vento ENE, o arrasto se processa do Norte para o Sul, mas na época invernosa, quando predominam os ventos SSE, esse movimento é do Sul para o Norte. Essa inversão desaconselha a defesa transversal, descontínua, parecendo-nos que somente com estudos em Laboratório de Hidráulica Experimental poderemos fixar a obra necessária à proteção daquelas praias”.

Em razão da sugestão, o Departamento Nacional de Portos, Rios e Canais encaminhou o problema da defesa do istmo e das praias de Olinda ao Laboratório de Hidráulica – SOGREAH, na França.

Após a assinatura do 1º contrato, em agosto de 1954, os estudos desenvolvidos para a proteção do istmo e defesa das praias de Olinda, da raiz do molhe à praia do Farol, ocorreram por aproximadamente 03 anos, período que compreendeu desde a vinda ao Recife, para a coleta de dados, até a emissão do último relatório em novembro de 1957.

De posse dos resultados a que chegou o Laboratório de Grenoble, a comissão, nomeada pela Diretoria Geral do Departamento Nacional de Portos, Rios e Canais, apresentava seu parecer em 11 de fevereiro de 1958, trazendo consigo suas conclusões. Nesse parecer, destacava a comissão o fato de que “os estudos de defesa realizados pela SOGREAH, limitaram-se ao trecho da costa correspondente às praias dos Milagres, Carmo e São Francisco”, em desacordo com o contrato firmado em 27.11.54, com a Administração do Porto do Recife, que previa:

“Defesa das praias de Olinda, da raiz do molhe à praia do Farol e estabilidade do istmo com o aprofundamento do rio Beberibe”.

Das conclusões apresentadas pelo Laboratório de Grenoble, o parecer da comissão ressaltou que, em relação a uma defesa transversal, o Laboratório havia “abandonado uma defesa por espiões por três motivos”, os quais cita:

- I) **Condições naturais existentes em Olinda** – Sobre as condições existentes em Olinda, dizia o relatório, segundo o parecer da comissão, que “o transporte ao longo da praia se dá ora do norte para o sul, com as vagas de este e este-sueste, ora sofrendo um ataque normal, com as vagas de sueste, as mais perigosas, e ora do sul para o norte, com as vagas de su-sueste”. Dizia, ainda, que “não sendo o movimento longitudinal dos materiais sempre no mesmo sentido, uma defesa por espiões não seria suficientemente eficaz”, e citava um trecho das conclusões do “Congresso de Navegação de Veneza, de 1930”, para situações nas quais a praia é arenosa – caso específico de Olinda – assim transrito:

“No caso das costas sem corrente predominante, submetidas à ação preponderante das ondas, se não existir qualquer fonte de materiais podendo caminhar ao longo da praia, ou se a ação preponderante das ondas se exerce

segundo uma direção normal à costa, os espiões não podem ter qualquer utilidade, e não há outra proteção possível senão por obras longitudinais”.

Ainda dizia o laboratório, segundo o parecer da comissão, “*que a existência, na região de Olinda, de numerosos recifes descontínuos, alguns avançando bastante para o largo, forma barreiras naturais, e que é precisamente nas zonas compreendidas entre estes recifes, que se localizam as maiores erosões*”, “*como se constatou na natureza*” – fazendo alusão ao experimento feito pelo D.P.R.C.-7 – “*e se pôs em evidência no modelo*”.

- II) **Ensaios realizados no modelo preliminar** – Disse o Laboratório, conforme o parecer da comissão, que, “*com o fim de apreciar as possibilidades do emprego de espiões para uma defesa muito local na praia, foram feitos no modelo preliminar, alguns ensaios com espiões de pedra, e acrescenta que este tipo de defesa não deu resultado, não tendo podido evitar as erosões*”.
- III) **Espiões experimentais construídos na natureza** – De acordo com o referido parecer, esclareceu o Laboratório que “*os espiões construídos, em caráter experimental, pelo D.P.R.C.-7, apenas serviram para confirmar a escolha do tipo de defesa*”.

Relatava, ainda, a comissão, em seu parecer, que “*em face das conclusões a que chegou nos ensaios, da ineficiência de uma defesa de espiões, e com o apoio na citada conclusão do Congresso de Navegação de Veneza, marchou o Laboratório para uma defesa frontal, obtendo nos ensaios uma eficácia sensível, com diminuição das zonas de erosão*”.

Dada a insatisfação com os resultados apresentados pela SOGREAH, a comissão declarou que o Laboratório não apresentou nenhuma solução para o istmo de Olinda no trecho compreendido entre a raiz do molhe e a praia dos Milagres, considerando “*indispensáveis os estudos para defesa daquele cordão litorâneo, com a indicação das obras necessárias*”, sobretudo por se tratar de uma zona “*próxima às vias de acesso ao porto*”, alertando para o reflexo que poderia exercer “*no largo imediato do porto comercial e nas instalações da Base Naval*”, alertando, também, para a possibilidade de agravamento do problema da erosão do istmo com a construção das defesas das praias dos Milagres, Carmo e São Francisco.

A comissão chamou a atenção, em seu parecer, para o fato de que, além da praia do Farol – inserida no escopo contratual, e que não havia sido contemplada nos resultados apresentados –, os estudos deveriam incorporar as praias seguintes *“igualmente habitadas, com edificações de fino acabamento, como deve ter sido observado pela Missão do Laboratório”*.

No parecer, concluiu-se que deveriam ser retomados os estudos do problema em modelo reduzido abrangendo toda a faixa litorânea prevista no contrato firmado entre o Laboratório e a Administração do Porto do Recife. Dentre os novos ensaios, foi recomendado que deveria ser incluído o estudo de uma defesa conjugada, utilizando obras transversais e longitudinais. E para tal, citou o que *“recomendam as conclusões do Congresso de Navegação de Veneza”*:

“Se o arrasto não for suficiente ou se se teme que as ondas de tempestade possam atacar a praia segundo uma direção paralela à dos espiões, produzindo um emagrecimento excessivo da praia, os trabalhos de proteção deverão contemplar, além dos espiões, uma obra longitudinal”.

Tendo sido aprovado, o parecer foi encaminhado ao Laboratório de Grenoble para o prosseguimento dos estudos que contemplassem novos ensaios. Em agosto de 1958 era apresentado, então, na sede do DNPRC no Rio de Janeiro, o último relatório do Laboratório de Grenoble sobre o sistema de defesas das praias de Olinda.

Apresentava o último relatório as seguintes recomendações:

- i) Construção, na frente das praias dos Milagres, Carmo e São Francisco, de dois quebra-mares paralelos à costa, com 550,0 metros cada um, completando a defesa natural dos recifes;
- ii) Construção de dois ou três espiões curtos, com enrocamento para evitar a erosão da costa nas extremidades da zona protegida;
- iii) Revestimento, com blocos naturais ou artificiais, das zonas mais estreitas do istmo, principalmente à frente do cotovelo do rio Beberibe;
- iv) Implantação, eventualmente, de outros espiões curtos ao longo do istmo.

Por entender que as recomendações eram satisfatórias, e que abrangiam toda a zona estudada em modelo reduzido, essas medidas foram aprovadas pela comissão do DNPRC, a qual recomendou a execução das obras tal como indicadas pelo

Laboratório de Grenoble, sendo providenciada de imediato a abertura de licitação para a execução das obras.

Começavam, pois, em 29 de novembro de 1959, as obras de defesa das praias olindenses, orçadas em 92 milhões de cruzeiros.

Porém, não obstante à lentidão com que eram tocadas as obras, justificada em decorrência do atraso no repasse das verbas, também ocorreram falhas decorrentes do não cumprimento às especificações, e que contribuíram para o descumprimento dos prazos. Assim, a obra que inicialmente estava planejada para ser concluída em 18 meses, tendo suas atividades encerradas na metade do ano de 1961, teve seu prazo de conclusão prorrogado para o início de 1962.

Alheio a tudo isso, o mar continuava a avançar sobre as praias de Olinda e, nessa ocasião, já era constatado que o Bairro Novo era fortemente ameaçado pelas ressacas, conforme já noticiava o DP, em 24/05/1961 (Anexos).

Em razão do acréscimo de praias atingidas pelo avanço do mar, novas medidas passaram a ser adotadas para a defesa da costa olindense, dessa vez nas praias do Farol e de Bairro Novo, com a implantação de espiões transversais, espaçados de 40 a 50 metros.

A implantação desses espiões, segundo depoimento do diretor do 7º Distrito do Departamento de Portos, Rios e Canais, o engenheiro Lourival de Almeida Castro, ao DP de 21/09/1962 (Anexos), não fazia parte dos estudos realizados pelo Laboratório de Hidráulica Experimental de Grenoble, eram frutos de correspondências entre o D.P.R.C.-7 e o Laboratório da SOGREAH, que, *“consultado a respeito foi favorável a sua utilização”*, uma vez que seu uso vinha sendo aprovado em outras regiões do país e do exterior.

Em março de 1962 já haviam sido implantados 16 espiões ao longo de 700,0 metros de praia entre as praias do Farol e de Bairro Novo, e em setembro do mesmo ano já somavam 20 espiões com o propósito de *“defender o litoral da impetuosidade das vagas, como também favorecer o acúmulo de areia entre eles, cuja sedimentação”*

futuramente constituirá faixas de terras estáveis”, conforme prometia o engenheiro Lourival Castro.

No entanto, na medida em que o mar continuava a avançar sobre as praias de Olinda, perduravam as obras de defesa da costa olindense. E em maio de 1964, conforme declaração do engenheiro Lourival de Almeida Castro ao DP (Anexos), restavam, ainda, 100 metros de enrocamento a serem concluídos no segundo quebra-mar submerso, além da construção de “*oito espiões transversais na praia de Bairro Novo*”.

Todavia, em junho de 1964, quando já somavam 34 espiões implantados ao longo do trecho compreendido entre as praias do Farol e de Bairro Novo, algumas ocorrências de desmoronamento em alguns espiões iam sendo registradas.

Embora, em janeiro de 1965, fosse anunciada a conclusão do “*Cais de Defesa de Olinda*”, somente dois anos depois, em janeiro de 1967 era anunciada a conclusão das obras (Anexos), que constavam da “*construção de dois diques de pré-arrebentação, com 1.100 metros nas direções norte-sul*” e que, segundo o engenheiro Lourival de Almeida Castro, contava com a construção de 35 espiões transversais.

Ocorre, porém, que em setembro de 1967, devido às novas investidas do mar sobre a costa olindense, dos Milagres ao Bairro Novo, os espiões de Bairro Novo se mostravam ineficientes. Situação essa que se repetiu em 1968, quando era noticiado pelo DP (Anexos) que “*Os espiões transversais além de terem contribuído para descaracterizar a visão panorâmica das praias, vêm sendo carregados pelas águas, obrigando ao DNPVN a proceder constantemente, reforço a fim de proteger a cidade*”.

Os espiões da praia de Bairro Novo, na década de 1970, além de um histórico de sucessivos problemas de arrasto de suas pedras pelas ondas, sendo, inclusive, objeto de várias ações de recuperações coordenadas pelo Departamento Nacional de Portos e vias Navegáveis – DNPVN, eram marcados, também, pela ocupação de seus espaços por bares e restaurantes (Figura 11).

Figura 11 – Ocupação dos espiões de Bairro Novo por bares e restaurantes, na década de 1970.



Fonte: <http://imagensehpalavras.blogspot.com.br/>

A década de 1970 chega ao seu término vendo se formar, através dos questionamentos da eficácia dos espiões transversais de Bairro Novo, um movimento no sentido de promover a supressão dos mesmos.

Esse movimento se estende até a década de 1980, conforme registrado nas matérias de jornais (Anexos), bem como no registro das atas de reuniões promovidas na Assembleia Legislativa do Estado de Pernambuco (Anexos), em razão das sucessivas ocorrências de danos aos espiões e, consequentemente, das reclamações pela permanência daquelas estruturas.

Os anos vindouros, das décadas de 1980-1990, além de verem preservadas as estruturas dos espiões, se veem marcados pelo processo de urbanização da orla com a implantação de vias, calçadões e passeios. Processo que se estendeu até os espiões, promovendo a impermeabilização de sua parte superior com muretas e calçadões (Figura 12).

Figura 12 – Calçadas e espiões da praia de Bairro Novo, urbanizados com passeios e muretas.



Fonte: O Autor (2003).

As avarias sofridas pelos espiões, assim como pela muralha de enrocamento de pedras soltas que os separavam, trouxeram como consequência para a praia de Bairro Novo a eclosão de uma série de abatimentos que se instalaram no início do século XXI ao longo de toda a extensão daquela praia (Figuras 13, 14 e 15).

Figura 13 – Deficiências nas estruturas de defesa costeira provocaram desmoronamentos nas áreas urbanizadas da orla de Bairro Novo (2003).



Fonte: O Autor (2003).

Figura 14 – Abatimentos que atingiram as áreas urbanizadas da orla de Bairro Novo no ano de 2003.



Fonte: O Autor (2003).

Figura 15 – Espigões atingidos por abatimentos por toda a extensão da orla de Bairro Novo.



Fonte: O Autor (2003).

Impulsionada pelos problemas que atingiram as áreas urbanizadas da praia de Bairro Novo, a Prefeitura de Olinda, na tentativa de estabilizar a linha de costa, e de recuperar as áreas afetadas, promoveu, entre os anos de 2004 e 2005, a implantação de uma estrutura de enrocamento aderente, com seções e taludes pré-definidos, em substituição ao enrocamento de “pedras jogadas” antes existente (Figuras 16 e 17),

formando, ao longo de toda a sua extensão, uma sucessão de trinta células, compostas por uma bateria de trinta e um espigões urbanizados, perpendiculares à costa, separados entre si pela estrutura do enrocamento aderente (Figura 18).

Figura 16 – Enrocamento de pedras jogadas na praia de Bairro Novo, Olinda-PE.



Fonte: O Autor (2004).

Figura 17 – Enrocamento implantado em substituição ao enrocamento de pedras jogadas, antes existentes na praia de Bairro Novo, Olinda-PE.



Fonte: O Autor (2005).

Figura 18 – Aerofotogrametria das células formadas pela bateria de espiões que separam pela presença do enrocamento na Praia de Bairro Novo, Olinda-PE.



Fonte: O Autor (2018).

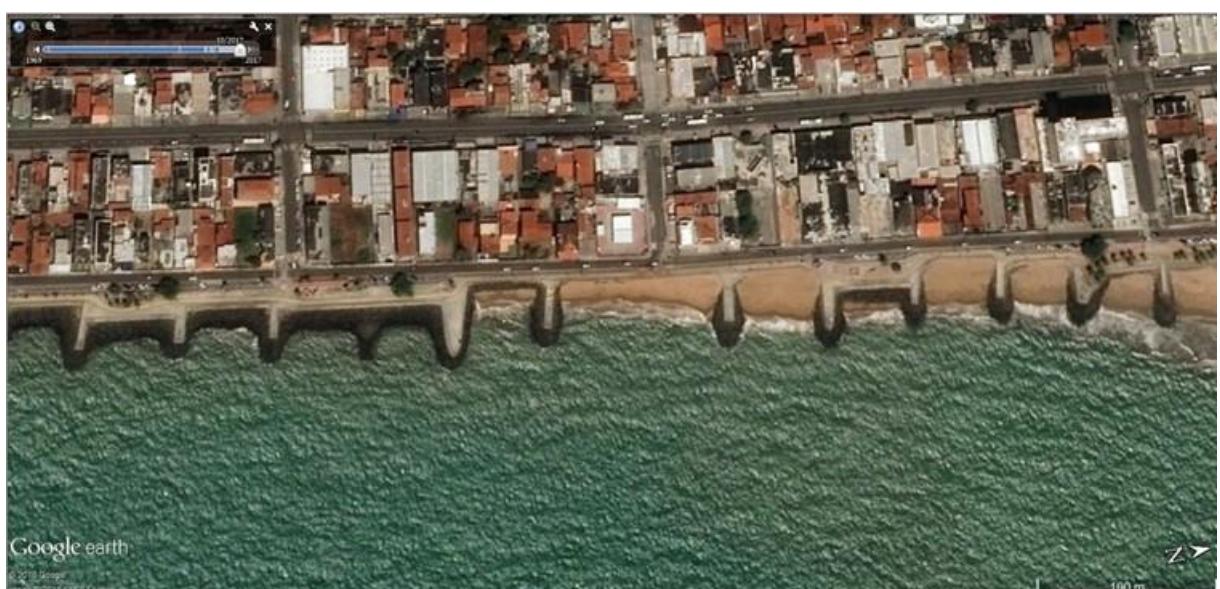
Paralelamente aos serviços de implantação do enrocamento aderente, sob a coordenação do Professor Paulo da Nóbrega Coutinho, foi realizado no ano de 2005 um “Projeto-Piloto” que contemplou a supressão do espião 23, localizado em frente à Rua Elesbão de Castro. Essa supressão teve como principal objetivo a avaliação do comportamento morfológico naquela célula após a remoção do espião, além de nortear a possibilidade de remoção de outros espiões para, dessa forma, poder promover a ampliação da área de praia recreativa (Figuras 19 e 20).

Figura 19 – Imagem histórica de 2003: presença do espião 23 na praia de Bairro Novo, Olinda-PE.



Fonte: Modificado de *Google Earth* (2018).

Figura 20 – Imagem histórica de 2017: sem o espião 23 na praia de Bairro Novo, Olinda-PE.



Fonte: *Google Earth* (2018).

No entanto, ainda que a implantação do novo enrocamento aderente tenha proporcionado a estabilização da linha de costa e protegido a urbanização existente, por não ter sido contemplada a reestruturação dos espiões, essas estruturas, a exemplo do que ocorreu em décadas passadas, passaram a apresentar sucessivos problemas de abatimentos, decorrentes da fuga de material por sob os espiões, provocando uma grande quantidade de desmoronamentos (Figura 21).

Figura 21 – Registros de desmoronamentos nos espiões da praia de Bairro Novo, Olinda-PE.



Fonte: O Autor (2008)

Diante desse cenário, embora atenuado por um contrato de manutenção das estruturas de defesa costeira das praias do Carmo, Bairro Novo, Casa Caiada e Rio Doce, em 2010 a Prefeitura de Olinda promoveu um trabalho de recomposição e reconfiguração de 20 estruturas que estavam comprometidas (Figura 22).

Figura 22 – Obra de recomposição de taludes dos espiões da praia de Bairro Novo, Olinda-PE.



Fonte: O Autor (2010).

Desde então, essa obra de recomposição das estruturas dos espiões constituiu-se, até o presente momento, na última intervenção de defesa costeira executada na praia de Bairro Novo.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Os litorais, por se situarem em uma área de interface entre continente, oceano e atmosfera, estão inteiramente sujeitas a intensas e constantes alterações que, quer seja de forma natural ou induzida, refletem sobre toda a zona costeira

3.1 DINÂMICA COSTEIRA

A dinâmica costeira está condicionada pela interferência diferente dos agentes antrópicos e naturais.

3.1.1 Condicionantes antrópicos da dinâmica costeira

Em razão de terem se constituído em regiões de grande concentração populacional, as zonas costeiras sofrem, sobremaneira, o reflexo das ações antrópicas desenvolvidas no continente. Atraído pela grande diversidade de seu ecossistema, bem como de seus recursos – estrategicamente importantes para a economia, tais como a geração de energia, indústria pesqueira, turismo, entre outras atividades –, o homem vem historicamente ocupando os espaços litorâneos e, consecutivamente, contribuindo decisivamente para o desequilíbrio dessas regiões, tornando-as áreas de permanente conflito.

Essa presença do homem, ao longo dos tempos, tem exercido forte interferência no suprimento de sedimentos que chegam às zonas costeiras. Alterando, por exemplo, a partir de intervenções exercidas nas bacias hidrográficas, e de mudanças nas características naturais dos rios, quer seja pela implantação de barragens, ou mesmo pela exploração de areia para o uso na construção civil, o déficit sedimentar das praias, vem se constituindo em um fator decisivo para a instalação dos processos erosivos costeiros, um dos fenômenos mais impactantes no desequilíbrio da zona costeira, do ponto de vista ambiental, social e econômico.

Outra forma direta de interferência do homem na dinâmica costeira se dá através da inserção de obras de defesa costeira. Intervenções que, embora tenham o objetivo não só de proteger as construções por ele impostas, mas também de regenerar a

praia, muitas vezes, além de não trazerem resultados positivos, provocam consequências que vão desde impactos visuais à intensificação da degradação da praia (Figura 23) e, até mesmo, à transferência do problema para áreas contíguas.

Figura 23 – Gabião como defesa costeira, não suportou e rompeu, espalhando pedras por toda praia.



Fonte: O Autor (2010).

Nesse sentido, alerta o Manual do uso de rochas em costas e em engenharia costeira (CIRIA/CUR, 1991) para o fato de que “*obras de engenharia costeira podem afetar (ou serem afetadas) diante do ambiente natural e social em que estão*”.

3.1.2 Condicionantes naturais da dinâmica costeira

O comportamento da dinâmica costeira recebe diretamente a interferência dos agentes modeladores do litoral, cujos efeitos se materializam através dos processos de deposição ou de erosão da praia.

3.2 PROCESSOS MORFODINÂMICOS E HIDRODINÂMICOS COSTEIROS

A configuração morfodinâmica de uma praia está diretamente relacionada à interferência que esta recebe dos processos hidrodinâmicos. O seu estado é resultado de modificações cíclicas e sazonais, que respondem pela movimentação e transporte de sedimentos inconsolidados. Esta variação de comportamento é resposta à condição energética de momento.

Os processos morfodinâmicos que atuam na linha de costa são representados por ações naturais físicas, biológicas e químicas, que exercem grande influência na modelagem costeira, seja através da ação destrutiva (erosão) em determinados locais ou da ação construtiva em outros (deposição) (Silva et al., 2004).

Segundo Hoefel (1998), “*As praias arenosas oceânicas apresentam-se como sistemas transicionais altamente dinâmicos e sensíveis, que constantemente ajustam-se a flutuações do nível de energia locais e sofrem retrabalhamento por processos eólicos, biológicos e hidráulicos*”.

De acordo com Oliveira (2009) “*Nestes espaços estão caracterizados os ambientes de mais alta energia e de maiores taxas de sedimentação e de erosão da margem continental e da plataforma insular*”.

Hoefel (op. cit.) ressalta, ainda, que “*Geograficamente, não há limitações para o estabelecimento de praias, sejam arenosas ou não, desde que haja disponibilidade de sedimentos para formá-las, espaço e agentes hidrodinâmicos para concentrar os sedimentos em zonas transicionais entre o ambiente aquático e terrestre*”.

A formação sedimentar e a conformação morfológica das praias estão intrinsecamente associadas aos processos costeiros atuantes, que se materializam na praia por meio da ação individual ou combinada das ondas, marés, ventos e das correntes, agentes hidrodinâmicos detalhados a seguir.

3.2.1 Ondas

Dentre os fenômenos naturais, as ondas representam um dos objetos mais investigados da história da humanidade. O estudo e a compreensão desses fenômenos sempre estiveram presentes na história da ciência, tendo sido objetos de investigação por diversos cientistas.

As ondas marinhas são geradas em decorrência da perturbação das águas da superfície do oceano, provocadas pela ação dos ventos, decorrência de alterações geradas por eventos como abalos sísmicos, maremotos, etc., ou por forças

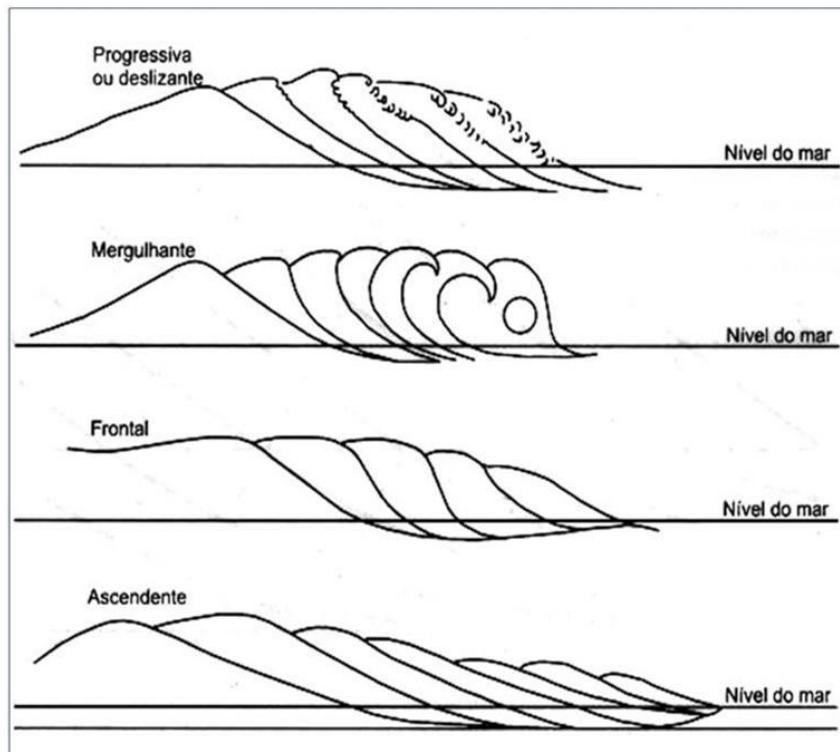
astronômicas. Estes agentes induzem a formação de ondas a partir da energia e do momento em que são transferidos para a massa de água, fazendo com que a onda retransmita a forma gerada, sem transferência da massa.

As ondas geradas por ventos exercem um importante papel como agente modificador de energia, ao transferir esta energia, obtida através da superfície dos oceanos, e descarregando-a nas zonas costeiras, constituindo-se, dessa forma no principal indutor dos processos erosivos costeiros, além de contribuir para a formação de diversos tipos de correntes e diferentes padrões de transporte de sedimentos.

À medida que as ondas atingem profundidades mais rasas, a velocidade de suas cristas se excede em relação à velocidade de fundo fazendo com que estas ondas se projetem e arrebentem (quebrem).

As ondas podem apresentar quatro tipos de arrebentação (quebra) que variam de acordo com a declividade da praia, a altura e o comprimento de onda (Figura 24).

Figura 24 – Principais formas de arrebentação das ondas.



Fonte: Galvin (1968).

Galvin (1968) classificou os tipos de arrebentação da seguinte forma:

- a) **Progressiva ou deslizante (“spilling breaker”)** – Ocorre em praias de baixa declividade, nas quais a onda empina-se gradualmente para então deslizar pelo perfil, dissipando sua energia através de uma larga faixa.
- b) **Mergulhante (“plunging breaker”)** – Ocorre em praias de declividade moderada a alta. Ao aproximar-se da praia, a onda sofre uma desaceleração proporcionada pelo fundo mais raso e empina-se abruptamente projetando sua crista até a base, formando um tubo.
- c) **Ascendente (“surging breaker”)** – Ocorre em praias de grande declividade e que, por esta razão, não chegam de fato a quebrar. Esta onda espraia-se sobre a face praial e interage com o refluxo das ondas anteriores.
- d) **Frontal (“collapsing”)** – É um tipo intermediário entre a “mergulhante” e a “ascendente”, considerado o tipo de mais difícil identificação. Sua ocorrência também é percebida em praias com alta declividade.

As ondas respondem diretamente pelo processo de modelagem da linha de costa. Ao atingirem a costa os sistemas de ondas incidentes são submetidos a transformações em águas rasas gerando padrões locais de circulação hidrodinâmica, como a formação de correntes de retorno e de deriva litorânea, determinantes na configuração morfodinâmica das praias.

A dissipação da energia trazida pelas ondas oceânicas ocorre nas zonas de arrebentação, surfe e espraiamento. O perfil praial, assim como o tamanho dos grãos dos sedimentos, será determinado em razão da quantidade de energia liberada, do tipo de arrebentação e do regime de ondas predominantes.

Para Muehe (2006), “*A principal variável indutora dos processos costeiros de curto e médio prazos é o clima de ondas, responsável pelo transporte de sedimentos nos sentidos longitudinal e transversal à linha de costa [...], é a energia das ondas e a intensidade e recorrência das tempestades que comandam a dinâmica dos processos de erosão e acumulação na interface continente – oceano e fundo marinho*”.

A determinação do clima de ondas de uma região é, portanto, essencial para a identificação das correntes e do transporte sedimentar na costa e, por conseguinte, fundamental para a escolha e o dimensionamento de estruturas de proteção costeira, bem como para a implantação de medidas de regeneração de áreas costeiras degradadas.

Alvo (2008) alerta que *“A interação entre onda e estrutura é um fenómeno complexo com muitas variáveis a ter em conta. Quando uma onda incide sobre uma estrutura de proteção costeira parte da sua energia é dissipada de diversas formas (rebentação, atrito, percolação), parte é refletida e a remanescente é transformada em energia potencial no escoamento que ocorre sobre a estrutura”*.

3.2.2 Correntes

A energia das ondas que alcançam a praia responde pela formação de uma série de correntes capazes de mobilizar uma grande quantidade de sedimentos. Essas correntes têm área de atuação limitada à zona de surf. A atuação das correntes marinhas está diretamente relacionada à sua localização geográfica e a fatores dinâmicos, tais como a ação dos ventos, ondas e marés.

3.2.2.1 Correntes de retorno

A movimentação transversal de sedimentos, denominada de corrente de retorno (*“rip current”*), é responsável pelas flutuações da configuração dos perfis praiais, proporcionando a alternância entre os estágios extremos “refletivos” e “dissipativos”, que ocorrerão em função da altura e do período das ondas, assim como do nível das marés. Estas correntes, que se caracterizam por apresentar fluxos estreitos direcionados perpendicularmente, ou obliquamente, à linha de costa, podem ter caráter erosivo ou acrescivo, dependendo das condições de energia das ondas.

Correntes de retorno erosivas prevalecem em condições de aumento de energia de onda e, geralmente, antecedem a ocorrência das correntes de retorno acrescivas, cuja ocorrência está associada às condições amenas de energia das ondas.

3.2.2.2 Correntes de deriva

As ondas que incidem na costa obliquamente dão origem a uma corrente paralela (“*longshore*”), denominada de deriva litorânea, com enorme capacidade de transporte longitudinal de sedimentos. Esta mobilização de sedimentos por meio das correntes longitudinais ocorre na praia em uma estreita faixa formada entre a zona de arrebentação e a linha de praia, e a sua direção vai depender da orientação da praia, da direção de proveniência das ondas e da batimetria da zona costeira, podendo, inclusive, atuar em sentidos opostos ao longo de uma mesma praia.

Estas correntes respondem pelo principal processo de distribuição de sedimentos na linha de costa, embora a ocorrência de qualquer obstáculo, capaz de interferir na distribuição desses sedimentos, poderá decretar, também, a instalação de um processo erosivo a sotamar (“*downdrift*”) e comprometer o equilíbrio sedimentar da área.

3.2.3 Marés

As marés se originam de forças astronômicas, sendo resultado da combinação de forças de atração gravitacional exercida entre a Terra, a Lua e o Sol, e que correspondem ao ciclo regular de elevação e de diminuição do nível do mar.

Esse fenômeno que provoca mudanças periódicas no nível do mar, à medida que altera, também modifica as larguras das faixas praiais, respondendo, portanto, por alterações na configuração das praias.

Quando as forças gravitacionais do Sol e da Lua se encontram na mesma direção, período de lua cheia ou lua nova, ocorrem as marés de maior amplitude, denominadas de marés de sizígia. Enquanto no período de lua minguante e crescente, quando as forças gravitacionais do Sol estão em direções diferentes da Lua, ocorrem as marés de menor amplitude, denominadas de marés de quadratura.

A amplitude da maré, isto é, a diferença de altura entre a preamar e a baixa-mar, representa um importante elemento na definição da intensidade dos processos costeiros em função da velocidade das correntes associadas (Muehe, 2006).

Davis (1964) classificou as marés de acordo com a variação de alturas, denominando-as de micro (marés cujas alturas são inferiores a 2,0 metros), meso (marés de altura variando entre 2,0 e 4,0 metros), e macro (marés cujas alturas forem maiores que 4,0 metros).

3.2.4 Ventos

A ação dos ventos se constitui no principal agente da dinâmica costeira, exercendo um papel fundamental no processo de sedimentação das praias. Além de responderem diretamente pela formação das ondas, ao transferir energia e momento à massa d'água, assim como por manter em movimento as correntes litorâneas, os ventos são determinantes para o equilíbrio sedimentar da praia. Através desse fenômeno atmosférico, ocorre a mobilização de sedimentos para a formação e alimentação de dunas, uma das principais fontes de sedimentos para a costa.

Os ventos respondem, ainda, pela formação de outros processos da dinâmica costeira como, por exemplo, na geração de ondas e de correntes que, associadas às marés, estabelecem o padrão de circulação das águas marinhas das zonas litorâneas e sublitorâneas.

Lanfredi & Framiñan (1986) afirmaram que *“Existe uma relação direta entre direção das ondas na arrebentação e direção do vento, sendo constatado que o vento pode ser um dos principais fatores a ditar a direção das ondas na arrebentação e por consequência, a corrente na costa”*.

3.3 SEDIMENTOLOGIA

O estudo sedimentológico de um determinado ambiente costeiro, através da identificação do processo de suprimento, da identificação de composição e do tamanho dos grãos que compõem a praia e a plataforma continental adjacente, são fundamentais à compreensão do comportamento da linha de costa, além de se constituírem em elementos essenciais na elaboração de projetos de recuperação das praias, sobretudo através do sistema de engordamento artificial.

Masselink & Hughes (1998) alertaram para o fato de que “*O movimento de espriamento na face praial é um dos principais mecanismos de transporte de sedimentos entre as zonas subaérea e subaquática da praia, e então é um fator relevante nas mudanças ocorrentes na linha de costa, ou seja, erosão e deposição*”.

Para Calliari et al (2003), as modificações na praia são, em parte, causadas pela troca bidirecional de sedimentos entre os limites interno e externo da antepraia.

O estudo dos sedimentos que compõem o ambiente praial são essenciais para a identificação da distribuição textural e das relações com a declividade da praia e seu nível energético. Também sendo fundamental para a plataforma continental, ao investigar a distribuição e a relação que os sedimentos ali existentes possam ter com os sedimentos que chegam e/ou que saem do ambiente praial.

Manso et al. (2003), ao analisar a morfologia e sedimentologia da plataforma continental interna entre as praias de Porto de Galinhas e Campos, no litoral sul de Pernambuco, ressaltaram que “*A análise das características geomorfológicas e sedimentológicas da plataforma continental interna é considerada uma ferramenta de grande importância para os estudos de vulnerabilidade da zona costeira já que as mesmas informam as condições do fundo marinho, as feições predominantes e os tipos de sedimentos associados*”.

A análise sedimentológica pode viabilizar a caracterização da origem dos sedimentos, como, por exemplo, através do grau de seleção, que pode fornecer informações a respeito do transporte e do ambiente de sedimentação.

De acordo com Jesus & Andrade (2013) “*O selecionamento ou grau de seleção é uma medida de dispersão da amostra, ou seja, o desvio padrão (σ) da distribuição de tamanho. Sedimentos bem selecionados implicam em grãos com pequena dispersão dos seus valores granulométricos, ou dos valores das medidas de tendência central. Com o aumento do transporte ou da agitação do meio as partículas de diferentes tamanhos tendem a ser separadas por tamanho*”.

O grau de seleção de um sedimento está relacionado à maior ou menor concentração de tamanhos das partículas. Ou seja, é dado pela predominância de uma ou mais classes granulométricas. Um sedimento bem selecionado apresenta predominância de uma classe granulométrica, enquanto o sedimento mal selecionado é composto por duas ou mais classes granulométricas.

Nesse sentido, Martins (2003 apud Jesus & Andrade, 2013) esclarece que “*Os sedimentos de praia, em geral, são moderadamente a bem selecionados, enquanto que os sedimentos fluviais são pobramente a moderadamente selecionados e os sedimentos eólicos são bem a muito bem selecionados*”.

3.4 ELEVAÇÃO DO NÍVEL MÉDIO DO MAR

O nível médio do mar (NMM) é definido como sendo a altitude média da superfície marinha, ao tomar por referência uma superfície terrestre. Esta altitude é utilizada como referencial para a determinação de cotas de trabalhos topográficos altimétricos com uso na engenharia e cartografia.

A existência de alterações no nível médio do mar tornou-se motivo de grande preocupação em todo o mundo, principalmente, em razão da grande concentração de população estabelecida nas regiões costeiras, e da quantidade de ilhas habitadas sujeitas a inundações, inclusive, com possibilidade de total desaparecimento.

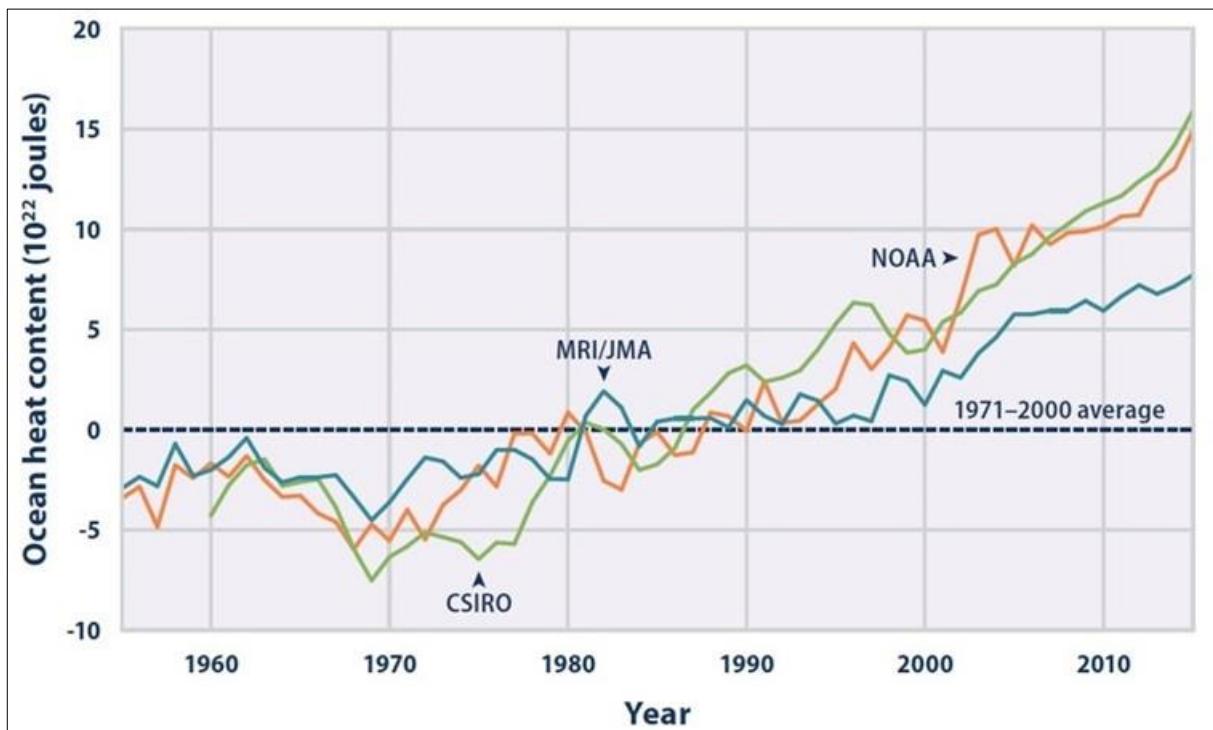
A elevação do nível do mar está diretamente relacionada às alterações climáticas e, mais diretamente, ao aquecimento global. Essa alteração no volume de água dos oceanos resulta, mais especificamente, dos processos de expansão térmica, e da contribuição das águas provenientes do derretimento das geleiras.

3.4.1 Calor oceânico

O aumento da temperatura nos oceanos, entre outros efeitos, é responsável pelo aumento do nível do mar. Pois, como a água se expande levemente à medida que se aquece, o aumento no conteúdo de calor dos oceanos também implica no aumento do seu volume de água.

A U.S. Environmental Protection Agency – EPA (2016), ao publicar os “Indicadores de Mudança Climática nos Estados Unidos”, revelou que “*Em três análises de dados diferentes, a tendência de longo prazo mostra que os oceanos se tornaram mais quentes desde 1955*” (Figura 25).

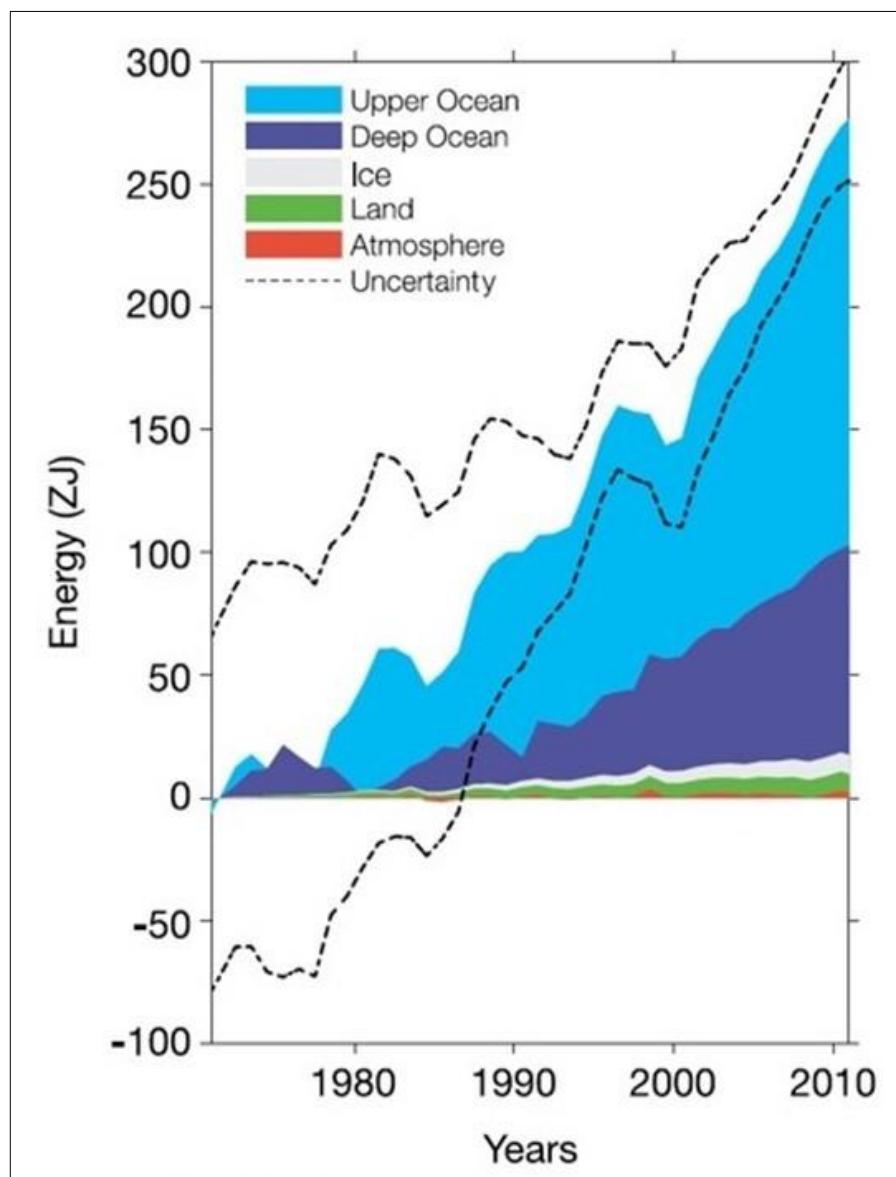
Figura 25 – Mudanças no calor do oceano entre 1955 e 2015, comparadas com a média entre 1971 e 2000, intervalo adotado como referência.



Fonte: Modificado de EPA (2016).

Laffoley & Baxter (2016) revelaram que “*O nível do mar em média global subiu mais de 20 cm desde o final do século 19, com cerca de um terço deste aumento devido ao aquecimento do oceano*”. Os autores ainda chamaram a atenção para a importância “*cada vez mais evidente*” do oceano como “*principal reservatório do calor produzido e acumulado pelo aquecimento global*” (Figura 26).

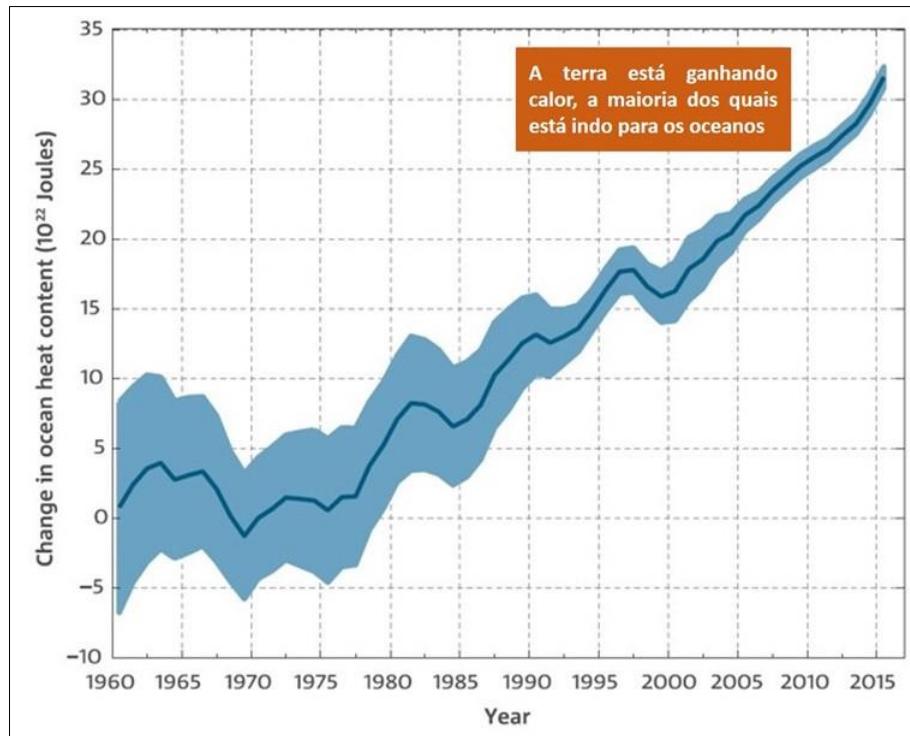
Figura 26 – Acúmulo de energia no sistema climático da Terra de 1971-2010, onde o oceano domina a absorção de energia com a maior parte do aquecimento absorvido pelo oceano superior acima de 700m (azul claro) e o restante no oceano profundo abaixo (azul escuro). Uma pequena porcentagem da energia está envolvida no gelo derretido (cinza claro), aquecimento da terra continental (verde) e aquecimento atmosférico (marrom). As linhas tracejadas refletem os intervalos de confiança de 90% para todas as variáveis combinadas.



Fonte: Modificado de Laffoley & Baxter (2016).

A “Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation” (CSIRO, 2016), a partir de “*Estimativas da mudança no conteúdo de calor do oceano em toda a profundidade oceânica, de 1960 até o presente*”, concluiu que “*A terra está ganhando calor, a maioria dos quais está indo para os oceanos*” (Figura 27).

Figura 27 – Estimativas da mudança no conteúdo de calor do oceano, de 1960 até 2016.



Fonte: Modificado de Laffoley & Baxter (2016).

Segundo Laffoley & Baxter (op. cit.) “calcula-se que o oceano absorve 93% do excesso de calor (EEI), com o derretimento do gelo (calor latente) compreendendo ~ 4% e o calor absorvido pela atmosfera ~ 1% e terra ~ 2%” (Figura 28).

Figura 28 – Fluxo e armazenamento de energia no sistema climático da Terra, onde o oceano é o maior reservatório de calor, com ~93% do desequilíbrio de energia da terra, e o restante que se distribui para aquecer a terra, a atmosfera e o derretimento do gelo e da neve.



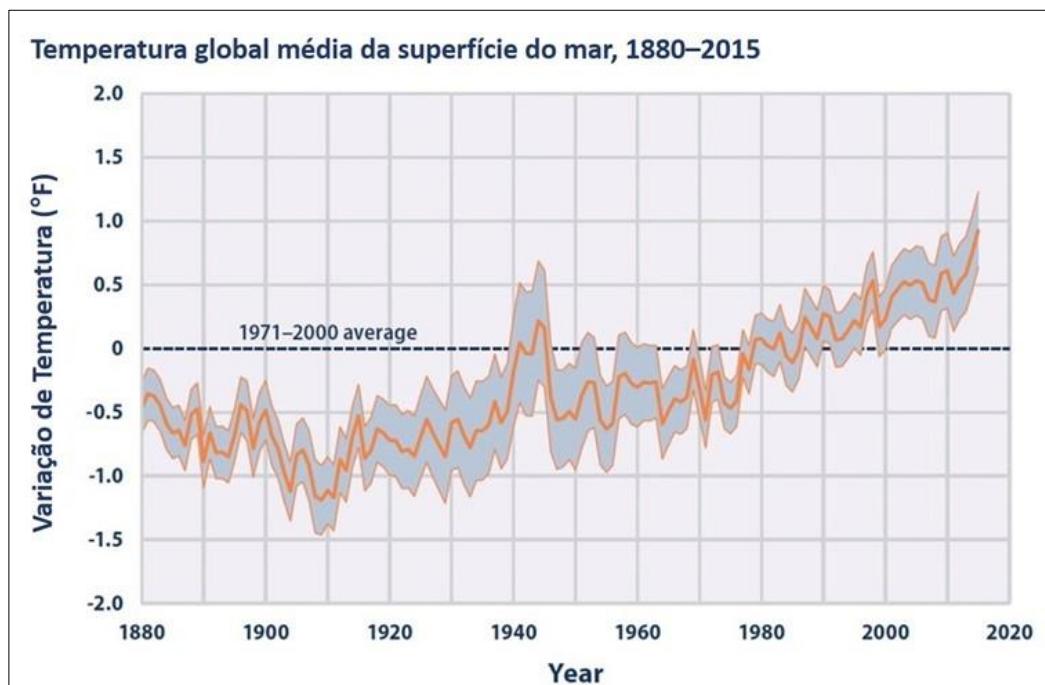
Fonte: Modificado de Laffoley & Baxter (2016).

3.4.2 Temperatura da superfície do mar

À medida que os gases de efeito estufa retêm mais energia do sol, os oceanos estão absorvendo mais calor e, consequentemente, resultando em um aumento nas temperaturas da superfície do mar e na elevação do nível do mar.

De acordo com os dados apresentados pela EPA (op. cit.) “*a temperatura média da superfície dos oceanos do mundo mudou desde 1880*” (Figura 29).

Figura 29 – Variação da temperatura média da superfície dos oceanos do mundo desde 1880.



Fonte: Modificado de EPA (2016).

A CSIRO (op. cit.) alerta que “*O teor de calor do oceano é menos variável do que a temperatura da superfície e é uma medida mais confiável do calor adicional no sistema climático*”, e que assim como ocorre com as temperaturas sobre a terra “*as temperaturas globais dos oceanos (em particular os 300 m superiores) mostram uma variabilidade a curto prazo, além da mudança a longo prazo*”. Como exemplo, a CSIRO cita que “*as temperaturas do oceano na superfície global foram relativamente baixas após a forte La Niña de 2010, mas tornou-se mais quente com o El Niño de 2015-16*” e que as “*temperaturas em profundidade não são influenciadas por essa variabilidade e estão aumentando constantemente*”.

A relação de elevação do nível do mar com o aumento da temperatura se dá, portanto, em razão de dois fatores: as alterações de volumes de água, sobretudo relacionados ao degelo, e à expansão térmica.

Porém, Neves (2005) ressalta que “*falar exclusivamente em elevação do nível do mar, associado às questões de variabilidade climática, pode ser uma simplificação grave para projetos de engenharia, posto que as oscilações induzidas por fenômenos meteorológicos podem ser de magnitude comparável à maré astronômica local e certamente muito superiores à tendência secular (da ordem de 20 cm/século)*”.

O Quarto Relatório de Avaliação do IPCC (Mudanças Climáticas 2007 – AR4) destacou que observações de satélite revelam que o nível do mar não está aumentando de modo uniforme em todo o mundo. Em algumas regiões, as taxas são até várias vezes maiores que a média global, noutras o nível do mar está caindo.

Nesse sentido, Suguio et al. (1985) chamam atenção para o fato de que “*As flutuações do nível relativo do mar resultam das variações reais do nível marinho (eustasia) e das modificações do nível dos continentes (tectonismo e isostasia)*”, e apresentam os fatores que controlam os níveis dos continentes e os níveis oceânicos:

- Fatores que controlam os níveis dos continentes:
 - a) *Movimentos tectônicos*, tanto horizontais quanto verticais, que afetam a crosta terrestre segundo mecanismos cuja duração pode ser de instantânea (movimentos sísmicos) a período muito longo.
 - b) *Movimentos isostáticos* ligados às variações de carga em função da formação ou desaparecimento de calotas glaciais, erosão dos continentes e acumulação de depósitos em bacias sedimentares, e transgressões e regressões sobre as plataformas continentais (*hidroisostasia*).
 - c) *Deformações do geóide continental* que constitui nossa referência atual.
- Fatores que controlam os níveis dos oceanos:
 - a) Modificações do volume total das bacias oceânicas em consequência da tectônica de placas (*tectono-eustasia*).
 - b) Variações do volume das águas dos oceanos em função das glaciações e deglaciações (*glacioeustasia*).
 - c) Deformações da superfície dos oceanos.

3.5 EROSÃO COSTEIRA – CAUSAS E EFEITOS

A definição do termo “erosão costeira” é bastante abrangente e, por essa razão, tem favorecido a produção de uma grande variedade de conceitos e definições que, embora se diferenciem, ao mesmo tempo se complementam e contribuem para a melhor compreensão do tema.

Porém, ainda que seja ampla a compreensão da “erosão costeira”, por definição, o vocábulo “erosão” possui uma convergência conceitual para seu entendimento, e que pode ser perfeitamente sintetizada na definição de Ferreira (2009):

Erosão, [do latim *erosione*]. **S.f. 1.** Ato de um agente que erode, que corrói a pouco e pouco; o resultado desse ato. 2. **Geol.** Trabalho mecânico de desgaste realizado pelas águas correntes, e que também pode ser feito pelos ventos (erosão eólica), pelo movimento das geleiras e, ainda, pelos mares. 3. **Fig.** Desgaste progressivo e lento. (p. 781).

Pilkey e Thieler (1992) alertam que “*Definir a erosão no ambiente costeiro é difícil. Vários são os termos usados para descrever o processo, incluindo afogamento, erosão costeira, erosão da linha de costa, erosão da praia, recuo da linha de costa, recuo da praia, e recessão da linha de costa*”.

A maior dificuldade, todavia, consiste na identificação do processo, uma vez que a dinâmica do ambiente costeiro não permite que a compreensão da existência do fenômeno erosivo se baseie apenas em uma situação momentânea.

A variabilidade de comportamento pode representar em uma praia condições extremas em um curto espaço de tempo, induzindo a uma falsa concepção de estado erosivo, ou mesmo deposicional.

Eventos de curto prazo não podem ser considerados um estado de erosão costeira. Uma vez que, apenas um evento de ondas de tempestade pode ser o suficiente para proporcionar um estado erosivo em uma determinada costa e remover toda a areia da pós-praia, mas num segundo momento, em condições normais de tempo e sob o

padrão de ondas da área, em questão de meses, ou até mesmo de dias, poderá ocorrer a recomposição do perfil de praia existente anteriormente.

Vilwock et al. (2005) ressaltam que *“Esses ambientes estão em constante mutação, em diversas escalas espaciais e temporais, pela ininterrupta procura de uma situação de equilíbrio dinâmico, no confronto entre diversas forças antagônicas aí atuantes”*.

Naturalmente a praia apresenta esse comportamento flutuante, o que faz com que o posicionamento da linha de costa seja inconstante, permitindo a variação de perfis praiais em pequenos espaços de tempo. Este fato aumenta a dificuldade na identificação do estado erosivo, impondo a necessidade de uma análise de médio a longo prazo.

Segundo Muehe (2005) *“A identificação das causas da erosão costeira tem sido frequentemente um exercício de adivinhação devido à falta de informações sobre a tendência de variação do nível do mar, do clima de ondas e da evolução da linha de costa”*.

A compreensão do processo erosivo costeiro está intrinsecamente relacionada ao comportamento sedimentar na costa. No processo sedimentar da costa, as modificações cíclicas e sazonais respondem pela movimentação e transporte de sedimentos inconsolidados provocando os processos erosivos e deposicionais, que em geral estão associados às condições energéticas de momento.

No inverno, as praias geralmente apresentam déficit sedimentar em razão das ocorrências de ressacas, períodos em que o mar está mais agitado e que as ondas se apresentam com maior energia e, consequentemente, com maior poder destrutivo. Nesses períodos, as areias removidas pelas fortes ressacas são acumuladas em formas de barras arenosas submersas, paralelas à costa, proporcionando o rebaixamento do estirâncio.

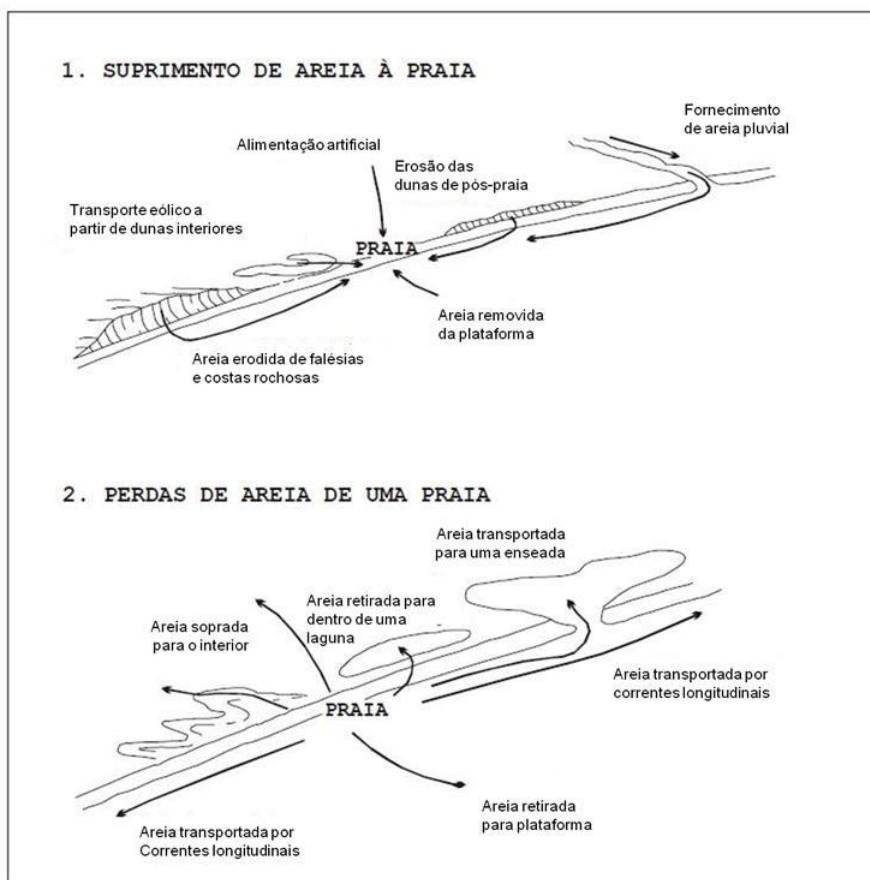
Nos meses de verão, no entanto, as ondas apresentam menor energia e, consequentemente, há uma tendência à recomposição natural dos perfis praiais. Nesse período, quando as condições energéticas estão mais amenas, as ondas mais regulares

desenvolvem o processo inverso, removendo a areia acumulada nas barras e remobilizando-as para o estirâncio, proporcionando um efeito de progradação da praia.

As areias das praias desenvolvem movimentos sazonais, com os sedimentos inconsolidados sendo transportados por correntes de retorno (perpendicularmente) e pelas correntes de deriva (longitudinalmente), ou mesmo pela ação dos ventos.

Bird (1985) apresentou esquematicamente como ocorrem esses processos de suprimento e de perda dos sedimentos em uma praia (Figura 30).

Figura 30 – Principais processos de suprimentos e perdas de areia na praia.



Fonte: Adaptado de Bird (1985).

Existe uma forte tendência ao recuo das linhas de costa em todo o mundo. Praias que apresentam tendência à progradação constituem-se em exceção. As modificações no comportamento da linha de costa de caráter erosivo, ou mesmo deposicional, resultantes dos processos ativos ali atuantes (naturais ou induzidos), representam uma resposta natural de um ambiente extremamente dinâmico e frágil. Porém, estas

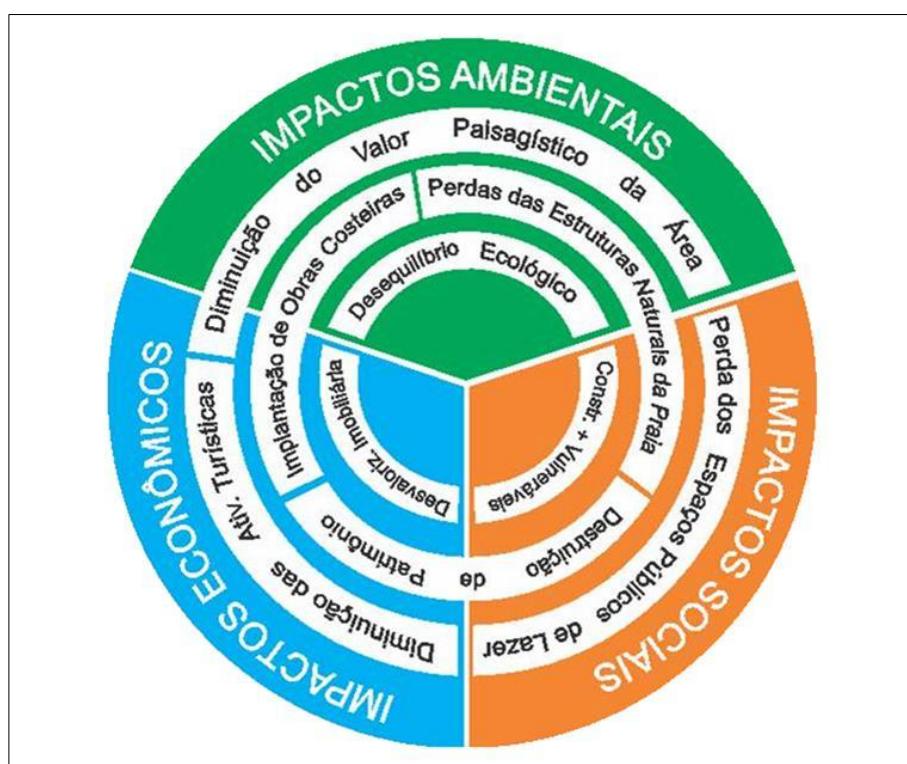
modificações ganham maior representatividade na medida em que interagem com os componentes presentes no sistema costeiro e altera usos e recursos do mesmo.

E nesse sentido, a presença do homem tem se constituído no principal elemento de interferência no equilíbrio do ambiente costeiro, sobretudo no que se refere ao comportamento sedimentar.

Na mesma direção, Souza (2009) afirma que “a ocupação inadequada da orla e da planície costeira, e a implantação de estruturas rígidas na linha de costa, resultando em modificações no sistema de drenagem e no balanço sedimentar costeiro, também resultam em erosão praial, de médio a longo período”.

Gois (2011) descreveu os principais impactos decorrentes da erosão costeira, que se dão por meio do “surgimento de um ciclo de alterações” nas esferas, ambiental, social e econômica (Figura 31). Mas que, segundo o autor, esses impactos, “com causas e efeitos contínuos e interligados”, apenas se fazem sentir “em razão da presença humana na zona costeira”.

Figura 31 – Ciclo de impactos ambientais, sociais e econômicos gerados pela erosão costeira.



Fonte: Gois (2011)

3.5.1 Erosão da Plataforma Continental

No entanto, os processos erosivos que podem acometer um determinado litoral não se limitam apenas às perdas dos sedimentos que compõem a praia, podendo ser identificados, também, ao longo das plataformas continentais, sobretudo quando há a interferência de estruturas naturais e/ou artificiais. A praia de Bairro Novo, além de contar com a presença de linhas de *beachrocks*, possui uma grande quantidade de estruturas perpendiculares à praia, no sentido *offshore*, interferindo diretamente no transporte de sedimentos pela deriva litorânea.

Dias (1987) alerta para o fato de que “*É conveniente referir-se que, quando se fala de acumulação ou erosão numa determinada zona da plataforma, isso não significa que exista constância no regime referido. Efetivamente, o tipo de análise efetuada tem mais em atenção o balanço, numa determinada zona, entre a quantidade de partículas depositadas e a de partículas remobilizadas e exportadas para fora dessa zona durante um período de tempo significativo (em que se verifique a ocorrência dos principais fenómenos hidrodinâmicas mais marcantes dos depósitos), do que a quantidade de partículas depositadas ou remobilizadas num determinado momento*”.

O conceito de balanço de sedimentos, aplicado às zonas costeiras, foi desenvolvido com o objetivo de definir a magnitude e a direção do transporte de sedimentos de uma determinada região de interesse como, por exemplo, os trechos de erosão e acreção ao longo de uma praia (Motta, 2011).

Nesse sentido, este estudo, buscando dar maior consistência à investigação do comportamento sedimentar da área de estudo, analisou o balanço sedimentar da plataforma no intervalo de sete anos, por meio de estudos batimétricos desenvolvidos nesta praia nos anos de 2011 e 2018.

Souza et al. (2015) esclarecem que “*A despeito da fundamental importância da investigação direta de ambientes submersos por meio de sondagens e amostragens, é a partir da utilização de métodos geofísicos que se originam os principais dados que viabilizam a caracterização ampla das superfícies e subsuperfícies submersas*”.

“A importância da aplicação de métodos geofísicos na investigação de ambientes submersos está consolidada e as vantagens de sua aplicação têm várias motivações” (Souza, 2006; Souza et al., 2015), destacando os autores o fato de que *“trata-se de um conjunto de métodos não destrutivos, característica fundamental nos dias de hoje, em que existe maior controle ambiental da atividade de investigação”*.

3.6 ALTERNATIVAS DE DEFESA COSTEIRA

Dada à diversidade de configuração, características geológicas e geomorfológicas dos litorais, inúmeras são as alternativas que se apropriam a cada região litorânea.

3.6.1 Um breve histórico

A utilização de estruturas de defesa costeira vem dos tempos mais antigos, quando ao se estabelecer às margens das regiões litorâneas, e de ali desenvolverem suas atividades portuárias, as civilizações antigas deram os primeiros passos para o surgimento da engenharia costeira, sendo atribuído aos romanos o aprimoramento e a inovação de algumas das medidas de proteção costeira, a exemplo do aperfeiçoamento das técnicas de execução dos quebra-mares, cuja origem é desconhecida.

Durante o período transicional da Idade Média para a Idade Moderna novas experiências surgiram a partir de regiões que, devido às suas condições geográficas adversas em relação ao nível do mar, tais como a cidade de Veneza, na Itália, e de parte da Holanda, necessitaram desenvolver novas medidas de defesa costeira. Desde então, dada a uma condição inerente a grande maioria dos países de todo o mundo, que se veem diante de severos processos de recuo da linha de costa, na tentativa de conter os processos erosivos, bem como de proporcionar a recuperação desses ambientes, a comunidade científica tem buscado, a partir da produção de dados e de estudos dos ambientes costeiros, o aperfeiçoamento das técnicas já utilizadas e a criação de novas tecnologias de defesa costeira.

Porém, Gois & Oliveira (2011) ressaltam que *“o afã de proteger e preservar as construções costeiras perante situações emergenciais, tem levado à adoção de uma*

sucessão de medidas pontuais, e muitas vezes inadequadas do ponto de vista técnico e ambiental”.

3.6.2 Classificação das alternativas de proteção costeira

As alternativas de defesa costeira e de estabilização das linhas de costas mais frequentemente utilizadas pela engenharia têm sido usualmente classificadas pela literatura em medidas do tipo “soft” (suave) ou “hard” (dura).

3.6.2.1 Medidas de defesa costeira suave (“soft”)

Caracterizam-se por ações não estruturais, que exercem pouca interferência no ambiente e que, em geral, são constituídas pelo uso de vegetação, de sedimentos, drenagem, ou de materiais provenientes do próprio ambiente. Tais como: plantio de vegetação, drenagem de água subterrânea (rebaixamento do lençol freático) e alimentação artificial da praia (engordamento da praia).

3.6.2.2 Medidas de defesa costeira dura (“hard”)

Essas intervenções se caracterizam pela implantação de estruturas rígidas (permeáveis ou impermeáveis), essencialmente compostas por blocos rochosos, alvenarias de pedras ou tijolos, ou ainda em concreto. Como, por exemplo, os diques, quebra-mares, molhes, enrocamentos, espigões, muros do tipo “seawall” ou “bulkhead”, entre outros.

3.7 MEDIDAS DE DEFESA COSTEIRA ADOTADAS PARA A PRAIA DE BAIRRO NOVO

Embora a praia de Bairro Novo tenha sido objeto de intervenções costeiras desde meados do século XX, esse segmento litorâneo – tal como descrito no segundo capítulo deste trabalho – recebeu ao longo de toda a sua extensão apenas dois tipos de obras de contenção do avanço do mar: espigões e enrocamento aderente.

Atualmente, a defesa costeira da praia de Bairro Novo é composta por 31 espigões, dispostos paralelamente, separados pela presença de um enrocamento aderente, que se estende ao longo de aproximadamente 2,0 km de praia (ver Figura 18).

3.7.1 Espigões

Os espigões são obras de proteção costeira do tipo dura (“hard”) que são implantadas na costa, posicionadas desde a faixa de pós-praia estendendo-se até a primeira linha de arrebentação das ondas (Figura 32).

Figura 32 – Espigões na costa da Carolina do Norte – EUA.



Fonte: COASTALCARE.ORG (2018).

Dentre as estruturas de defesa costeira, o espigão destaca-se por algumas características que lhe são peculiares, sendo, por exemplo, o único tipo de intervenção litorânea, com o propósito de estabilizar a linha de costa, que é posicionada, em relação à praia, perpendicularmente ou, em alguns casos específicos, obliquamente, com o propósito de aprisionar os sedimentos que transitam paralelamente à costa, e que são transportados pela deriva litorânea.

Essa interferência no transporte dos sedimentos se constitui no principal motivo pelo qual, algumas vezes, não é permitido o uso dessas estruturas como obra de defesa costeira, como ocorre no estado da Carolina do Norte, EUA, onde, baseado em estudos que comprovam que o uso dessas estruturas intensificam a erosão a sotamar, uma lei proíbe o uso de espigões em sua costa, desde o ano de 1995.

Esse tipo de obra costeira, que pode ser adotado individualmente, ou em conjunto – denominado de bateria, sistema, campo ou, ainda, sucessão de espiões –, também é frequentemente utilizado associada a outro tipo de intervenção como, por exemplo, obras de engordamento artificial da praia.

3.7.1.1 Espiões – aplicação como obra de defesa costeira

Como obra de defesa costeira, a aplicação do espião está diretamente relacionada à recomposição e/ou manutenção do perfil de praia.

Para a recomposição do perfil praial, o espião tem a finalidade de interceptar os sedimentos transportados pelas correntes de deriva. Nesses casos, a inserção de espiões na costa proporciona, geralmente, o efeito de acúmulo sedimentar a barlamar (“updrift”) e de erosão a sotamar (“downdrift”). Este processo, porém, é minimizado quando o transporte de sedimento longitudinal da costa ocorre nos dois sentidos, ou mesmo quando o preenchimento de areia supera a altura dos espiões e devolve à costa o transporte litorâneo em volumes iguais, ou muito próximos aos volumes existentes anteriormente.

Nos casos de manutenção do perfil praial, quando há a constatação de interferência das correntes de deriva nos processos erosivos da costa, em razão da sua capacidade de reter sedimentos, os espiões são frequentemente utilizados em conjunto com as intervenções de engordamento artificial da praia (engordamento), ou mesmo quando se tem o propósito de preservar os sedimentos já existentes.

Os espiões ainda podem ser recomendados nos casos em que se deseja aprisionar os sedimentos da deriva com a finalidade de evitar o assoreamento de áreas a sotamar.

Reeve et al. (2012) esclarecem que “*Do ponto de vista da defesa costeira a principal função de um sistema de espiões é reter uma reserva de sedimentos suficiente para suportar o rebaixamento da praia durante os eventos de tempestade e, portanto, manter uma proteção adequada para a praia. Em termos simples, isto é alcançado*

alterando a orientação da linha de costa dentro de cada baía que se forma entre os espiões”.

3.7.1.2 Espiões – Limitações de uso no ambiente costeiro

Alfredini & Arasaki (2014) esclarecem que as limitações do uso de espiões restringem-se a apenas 03 condicionantes:

- Não são indicados quando é fraco o transporte de sedimentos litorâneos, pois as erosões a sotamar podem ser graves, ou quando o rumo deste transporte for variável, pois isso reduz a eficácia da obra.
- Não evitam erosões associadas a correntes de retorno transversais, como as *rip currents*.
- Criam turbulências nas suas extremidades ao largo, capazes de produzir erosões que os arruinem se não for mantido um adequado esquema operacional de manutenção.

O Manual de Proteção Costeira (*Shore Protection Manual – CERC, 1984*) alerta que: “A interação entre os processos litorâneos e um espião, ou um sistema de espiões, é complicado e de difícil compreensão. Entretanto, há alguns princípios básicos que podem ser aplicados ao projeto dos espiões”.

De forma concisa, o CERC (op. cit.) resume esses princípios por meio de seis regras a serem consideradas na elaboração de projetos de espiões:

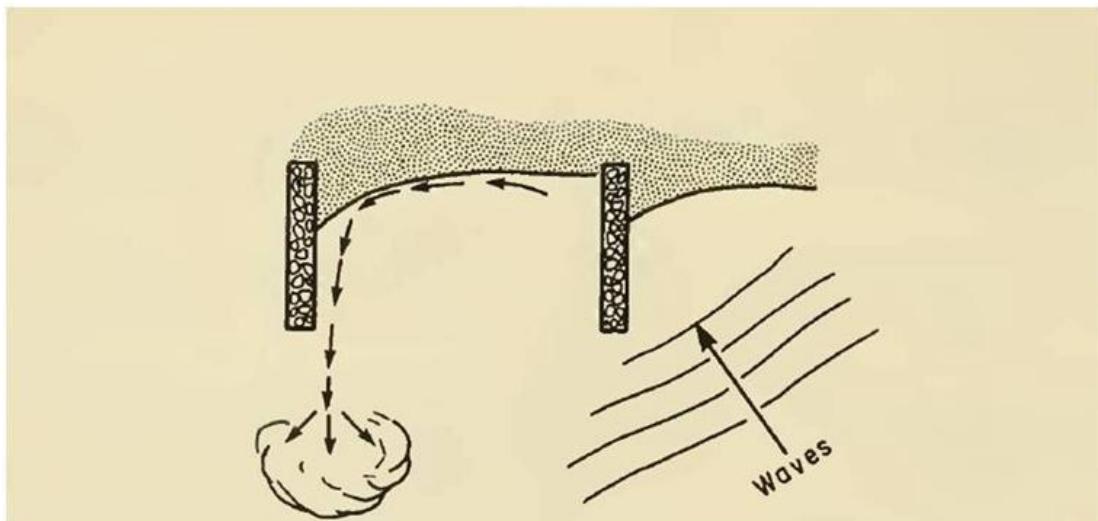
- **Regra 01: Os espiões somente devem ser usados para interromper o transporte ao longo da costa (*longshore*).**
*Espiões não interrompem o transporte perpendicular à costa (*longshore-offshore*), portanto, não atraem areia que não transite pelos mesmos.*
- **Regra 02: O ajuste da praia, próximo aos espiões, dependerá da quantidade e direção do transporte longitudinal.**
O material trazido pela deriva litorânea se acumula a barlamar da estrutura, enquanto o lado sotamar da estrutura é privado desse sedimento provocando erosão.
- **Regra 03: O espião induz ao acúmulo de areia da deriva litorânea na antepraia modificando o perfil da praia que tentará, então, restabelecer sua forma natural.**
*O perfil normal de uma praia é o resultado transitório do movimento das partículas de areia, de acordo com as ondas, correntes, tamanho da areia e declive da praia (através da ação de gravidade). Quando um desses fatores de controle é alterado, o perfil também muda através do movimento da areia. O acúmulo de areia na antepraia, decorrente de espiões, modifica o perfil da praia em sua extremidade em direção à costa. A reação a esta mudança será a erosão da antepraia, acreção da antepraia superior (*nearshore*), ou ambas, na tentativa do perfil de restabelecer seu equilíbrio.*

- **Regra 04: A água empurrada pelas ondas em um compartimento de espiões, por vezes, volta para o mar na forma de correntes de retorno ao longo das laterais dos espiões.**

Desta forma, os espiões podem aumentar a quantidade de sedimentos que se deslocam para fora da costa. Dean (1978) explica três mecanismos para criar correntes de retorno entre os espiões.

A primeira é a simples canalização da corrente de retorno que pode empurrar o espião e, em seguida, girar em direção ao mar (Figura 33).

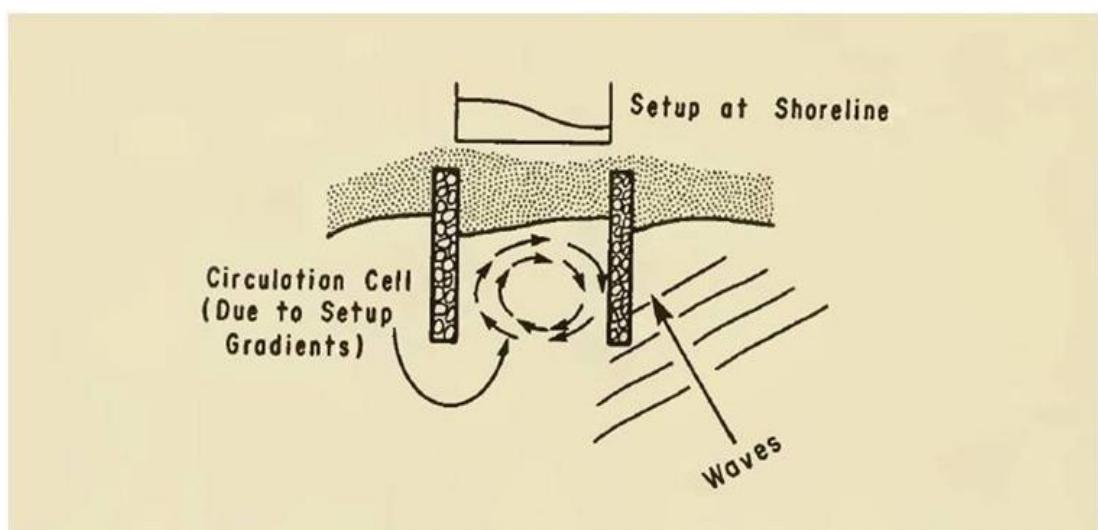
Figura 33 – Formação da corrente de retorno devido à canalização da corrente ao longo da costa.



Fonte: SPM (1984)

O segundo mecanismo é a configuração diferencial da onda na linha de costa, criada quando as ondas se aproximam em um ângulo da praia (Figura 34). O efeito de abrigamento de onda pelo espião a barlamar produz uma configuração menor no lado barlamar do compartimento de espiões.

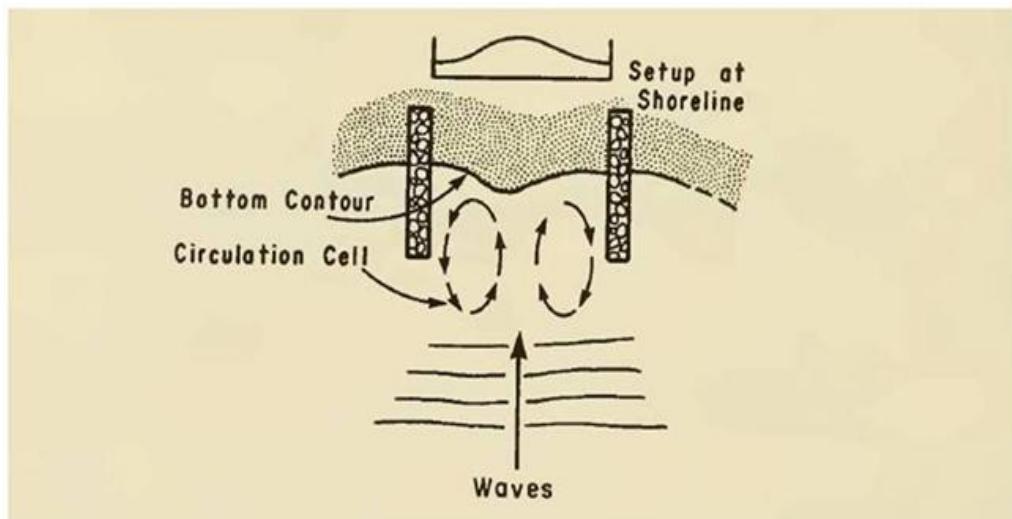
Figura 34 – Circulação em um compartimento de espiões, devido a existência de variação na configuração da linha de costa.



Fonte: SPM (1984)

O terceiro mecanismo é a configuração diferencial da onda na linha de costa, criada quando as ondas incidem normal à praia (Figura 35). A configuração é menor nas proximidades de cada espigão devido à dissipação de energia causada pela interação do movimento da água com as estruturas. Isso produz duas células de circulação dentro de cada compartimento onde a água flui (a) ao longo do litoral a partir do centro do compartimento em direção a cada espigão, (b) ao longo de cada espigão, (c) em direção ao centro do compartimento, do espigão em direção ao mar, e (d) de volta para a praia no centro do compartimento. As células de circulação pegam areia na praia e a depositam na parte mais profunda do espigão. O efeito é uma perda de areia na praia, mesmo com a água sendo recirculada.

Figura 35 – Circulação dentro do compartimento de espigões, devido a energia dissipada nos espigões e a variação na configuração da linha de costa.



Fonte: SPM (1984)

- Regra 05: O percentual da deriva costeira que contornará um espigão dependerá das dimensões do espigão, do nível de água, e do clima de ondas.

A areia pode contornar um espigão viajando por cima do seu topo (ultrapassando) ou em torno de sua extremidade em direção ao mar (passando por cima). Ultrapassar dependerá do nível da areia imediatamente adjacente ao espigão. Se o nível de areia for muito baixo, a deriva em terra não será carregada sobre o espigão; ela se acumulará ao lado do espigão. À medida que a areia se acumula e o filete de areia é formado, o nível pode subir o suficiente para permitir a ultrapassagem. No entanto, na medida em que um filete pode crescer verticalmente é controlada pelo clima de ondas e marés, não pela altura do espigão.

- Regra 06: As areias retidas das correntes de deriva litorânea são impedidas de alcançar as áreas posteriores aos espigões

A areia pode contornar um espigão viajando por cima do seu topo (ultrapassando) ou em torno de sua extremidade em direção ao mar (passando por cima). Ultrapassar dependerá do nível da areia imediatamente adjacente ao espigão. Se o nível de areia for muito baixo, a deriva em terra não será carregada sobre o espigão; ela se acumulará ao lado do espigão. À medida que a areia se acumula e o filete de areia é formado, o nível pode subir o suficiente para permitir a ultrapassagem. No entanto, na medida em que um filete pode crescer verticalmente é controlada pelo clima de ondas e marés, não pela altura do espigão.

Esta regra simples tem surgido muitas vezes com a adição de espigões a sotamar de um sistema de espigões como acompanhamento de um problema progressivo de erosão. Este problema pode ser reduzido usando-se o engordamento de praia concomitante com a construção do espigão, que

restabelece mais rapidamente o transporte natural ao longo da costa. (Devido à reorientação da linha de costa, a taxa de transporte marítimo inicial raramente é totalmente restabelecida.)

Do ponto de vista da concepção de uma bateria (sucessão) de espigões, alguns elementos são essenciais, e precisam ser considerados na elaboração e implantação do projeto, sob o risco de insucesso. Uma vez que o insucesso advindo da implantação de uma bateria de espigões pode não se restringir a, apenas, não conseguir interceptar os sedimentos necessários à reconstituição do perfil praial.

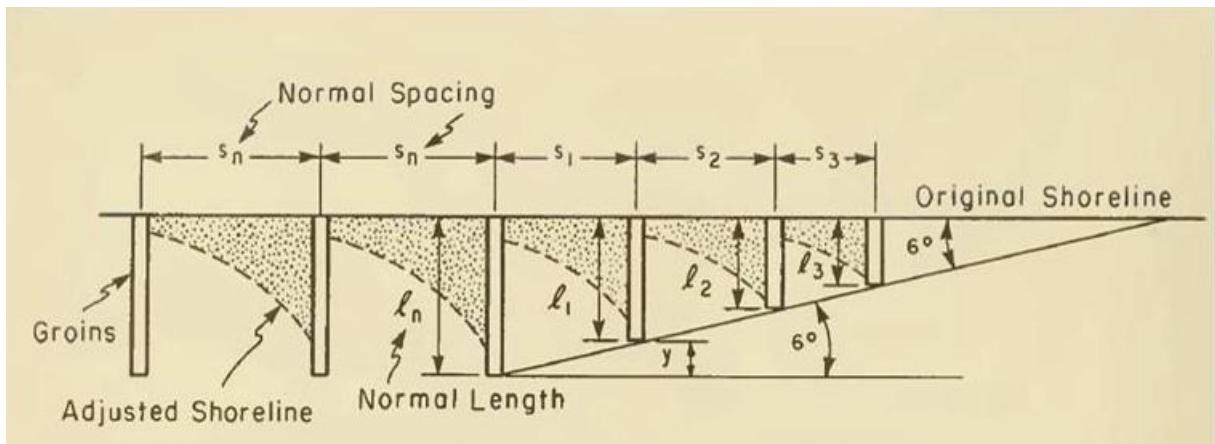
Uma malsucedida intervenção costeira, além de agravar a erosão local, pode intensificar esse processo erosivo ao transferi-lo para áreas adjacentes, não atingidas anteriormente.

Nesse sentido, Alfredini & Arasaki (op. cit.) chamam a atenção para algumas condições determinantes quando da implantação de um campo de espigões, dentre as quais destacamos:

- A construção dos espigões em etapa deve-se iniciar de sotamar, e são adicionados novos espigões assim que a capacidade de retenção máxima for atingida e o transporte litorâneo começar a contornar a obra.
- Quando a construção do campo de espigões se realiza em uma só etapa, os espigões de barlamar enchem-se primeiro, ajustando-se a linha de costa entre os espigões às ondas incidentes e suas deformações (refração, arrebentação e difração). Enchendo-se o campo sequencialmente de barlamar para sotamar, conforme os espigões de barlamar são enchidos e os sedimentos os contornam.
- As erosões de praia a sotamar ocorrerão em uma taxa aproximadamente igual à de deposição no sistema, supondo-se a praia a sotamar do campo de espigões composta pelas mesmas características de material.
- Considerando-se Yg o comprimento médio do espigão medido na linha de praia média engordada e Xg o espaçamento entre eles, a proporção recomendada é de ($Xg / Yg = 2 a 3$).
- A transição de um campo de espigões para a praia natural é conseguida gradualmente encurtando o comprimento e largura das células para permitir mais traspasse. Geralmente o comprimento dos espigões são reduzidos ao longo de uma linha que converge com a linha da costa a partir do último espigão de comprimento pleno, fazendo um ângulo de cerca de 6° à linha de costa natural.

Nessa mesma linha Kressner, (1928, apud CERC, 1984) encontrou em testes com modelos que apenas três ou quatro espigões precisavam ser encurtados no final do sistema. Ele também descobriu que a transição é mais eficaz se uma linha que conecta as extremidades dos espigões viradas para o mar, do último espigão de comprimento total até os espigões encurtados, alcançando o alinhamento natural da costa, em um ângulo de aproximadamente 6° (Figura 36).

Figura 36 – Esquema do procedimento de encurtamento de espião.



Fonte: SPM (1984)

Nesse sentido, o SPM (op. cit.) esclarece que, se na opinião do projetista os valores obtidos por modelos matemáticos não forem razoáveis, a seguinte regra geral é sugerida: “*O espaçamento entre os espiões deve ser igual a duas a três vezes o comprimento do espião, desde a crista da berma até a extremidade do lado do mar*”.

Reeve et al. (op. cit.) ressaltam que “*espiões são estruturas de proteção que são geralmente espaçadas em intervalos iguais ao longo da linha de costa, cobrindo toda ou parte da pós praia, aproximadamente perpendicular à costa*”. Quanto à altura do espião, os autores ainda recomendam que, “*em praias arenosas (que são mais sensíveis às alturas dos espiões salientes acima da praia) uma das práticas usuais de gerenciamento tem sido limitar a altura dos espiões para projetar-se apenas 0,5 a 1,0 m acima do perfil de praia sazonal*”.

3.7.1.3 Espiões – Impactos negativos no ambiente costeiro

Os principais impactos negativos decorrentes do uso de espiões no litoral são:

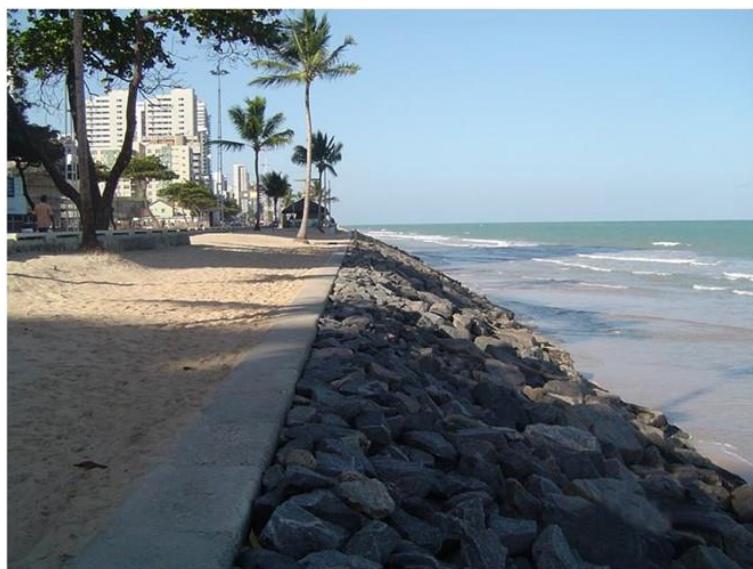
- A retenção dos sedimentos transitados pela deriva litorânea, provoca o déficit no aporte sedimentar para as praias subsequentes provocando erosões;
- O processo de desgaste dos espiões reduz sua eficiência como proteção costeira e diminui, consequentemente, o tempo de permanência dos enchimentos da praia;
- Alteração no clima de ondas e formação de correntes nas proximidades dos espiões;
- Interferência na circulação ao longo do trecho protegido;
- Impacto visual negativo.

3.7.2 Enrocamentos

O revestimento do tipo enrocamento é uma proteção de superfície que é posicionada em uma praia inclinada ou no leito de um banco, para proteger a zona adjacente contra a erosão causada pelas correntes e ondas. Essas estruturas são inseridas no ambiente praial, dispostas paralelamente à linha de costa e que, por se tratar de uma obra posicionada rigorosamente na costa, recebe usualmente a denominação de enrocamento aderente.

A principal função do enrocamento é promover a estabilização da linha de costa e eliminar o processo erosivo da praia através da dissipação da energia das ondas incidentes, uma vez que esse tipo de obra se trata de uma intervenção permeável (porosa) que permite ser ultrapassada pelas ondas (Figura 37).

Figura 37 – Enrocamento da praia de Boa Viagem, Recife-PE.



Fonte: O Autor (2008).

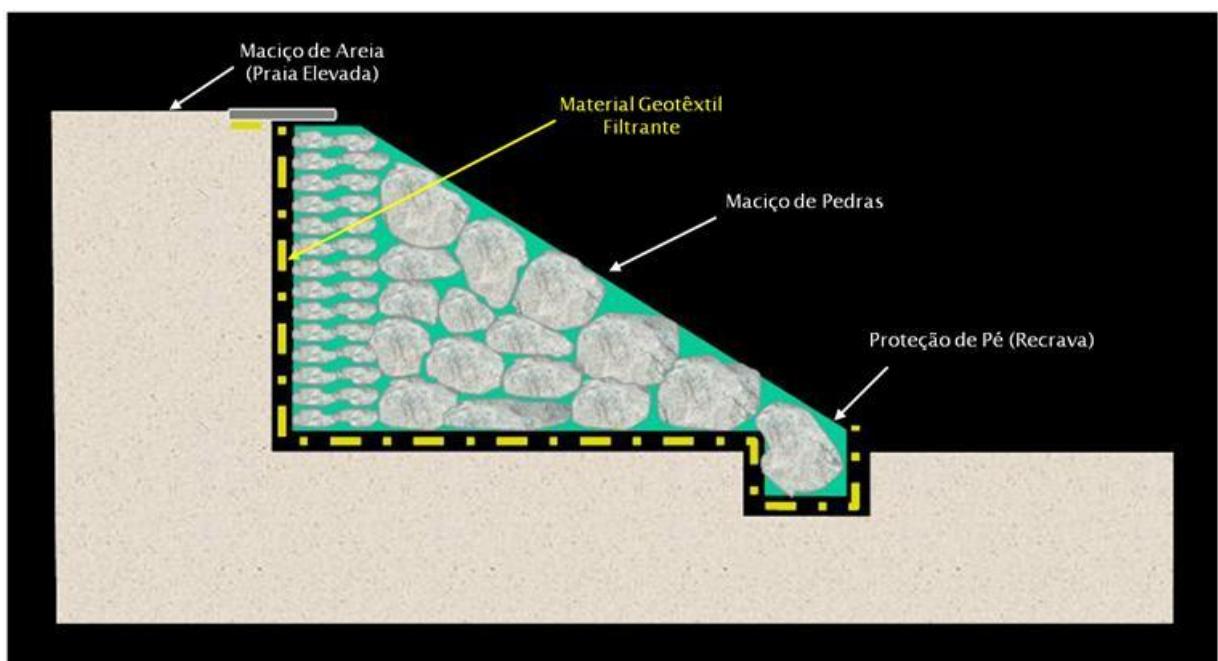
3.7.2.1 Enrocamentos – características

O enrocamento se caracteriza por ser uma obra de defesa costeira que tem a função de atuar absorvendo as ondas sobre sua face inclinada, dissipando a maior parte da energia incidente. Sua integridade funcional depende da estabilidade estrutural da camada de proteção que abrange a sua superfície, e por não ser uma obra auto-suportável, necessita do solo para seu suporte.

O enrocamento pode ser construído em uma praia ou em uma encosta de uma falésia, caso estas sejam estáveis. No caso de uma encosta instável, a área deve ser tratada apropriadamente, antes da colocação das várias camadas de material que compõem o revestimento. Essa obra de defesa costeira apresenta suas faces inclinadas, voltadas para o mar, sendo constituídas essencialmente por material poroso (blocos rochosos ou pré-moldados), tornando-se de baixa refletividade em relação às ondas.

Um enrocamento é essencialmente composto por três componentes. O primeiro, que determina as características dos outros dois, é a camada de proteção (armadura), que deve ser estável sob a ação das ondas e obedecer à uma disposição de rochas em granodecrescência ascendente. O segundo componente é a camada filtrante – filtro inferior (*“underlying filter”*) – que suporta a camada de proteção, promovendo a drenagem da água subterrânea na estrutura e evitando que o solo seja levado pelo impacto das ondas na camada de proteção ou pela infiltração de água. O terceiro componente, a proteção de pé, é responsável por proporcionar a estabilização da estrutura protegendo-a contra recalques ou remoção das extremidades da estrutura voltadas para o mar (Figura 38).

Figura 38 – Representação esquemática de uma seção-tipo de enrocamento.



Fonte: Gois (2011).

4 ASPECTOS GERAIS DA ÁREA DE ESTUDO

A praia de Bairro Novo, área de elaboração deste estudo, limita-se ao sul pela praia do Farol (coordenadas UTM 296955 e 9113967) e ao norte pela praia de Casa Caiada (coordenadas UTM 297372 e 9115621) (Figura 39).

4.1 CLIMA

O clima que predomina na zona costeira de Pernambuco, segundo a classificação de Köppen (1948), é do tipo As', quente e úmido, com temperatura média anual variando entre 25°C (mínima) e 30°C (máxima), com amplitude térmica anual da ordem de 5°C.

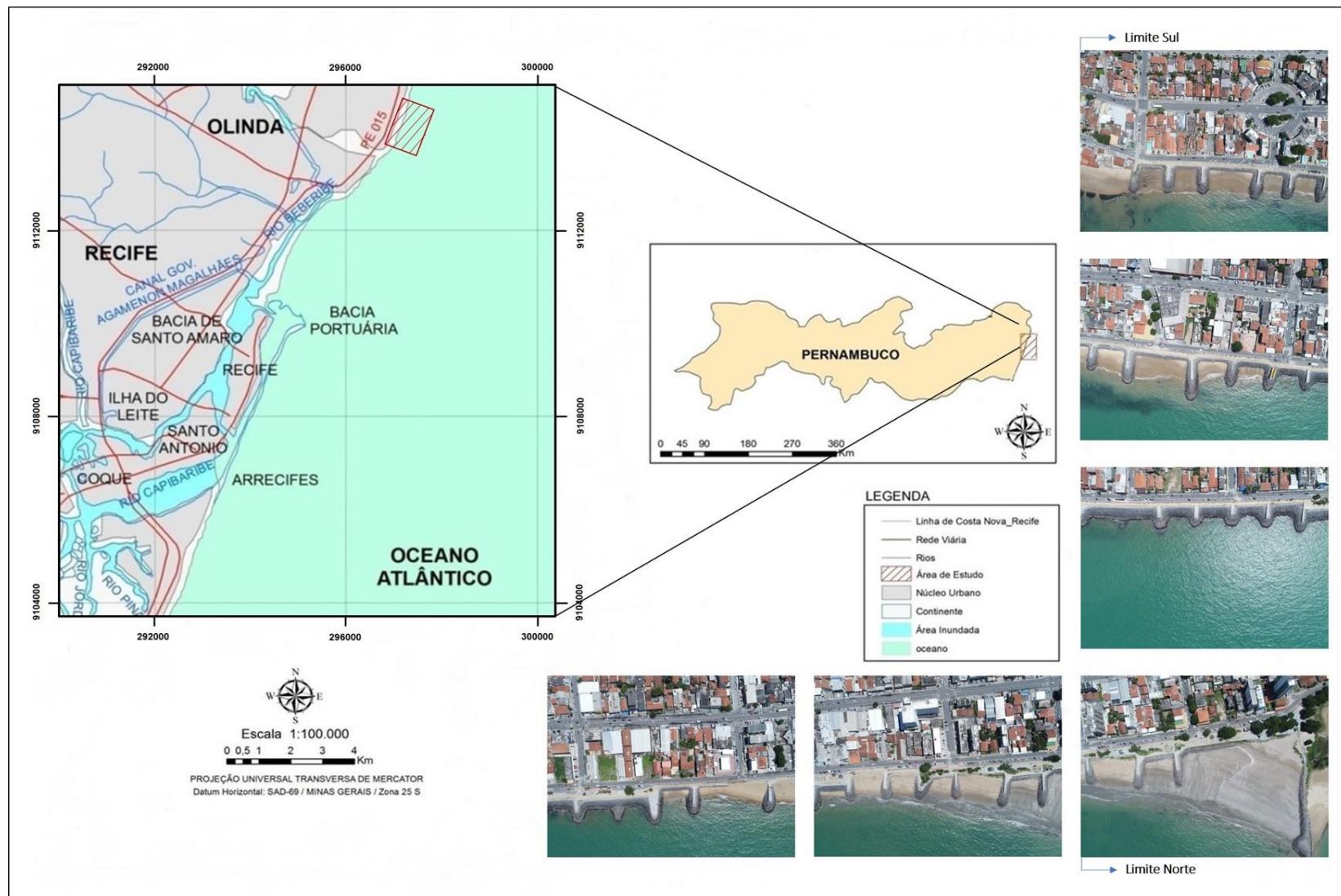
As temperaturas mais elevadas são observadas durante o verão (outubro a dezembro) e, embora não haja uma redução significativa, as temperaturas mais baixas são observadas no período de inverno (junho a agosto). A umidade relativa do ar apresenta uma média anual em torno de 80%, e a pluviosidade é regular, com chuvas distribuídas ao longo de todo o ano.

A região se caracteriza por apresentar dois períodos distintos quanto ao regime pluviométrico: uma estação seca, que se prolonga de setembro a fevereiro (primavera-verão), e uma estação chuvosa, de março a agosto (outono-inverno), com temperatura média anual de 27°C.

De acordo com Holanda et al. (2016), para os municípios que compõem a Grande Recife, “*a precipitação média histórica é de 1923,9 mm*”. Segundo os autores, merece destaque o ano de 1985, “*ano de maior índice pluviométrico*” com total anual de 3.441,1 mm, “*enquanto que o ano de menor índice foi o de 1946 com uma precipitação anual de 762,4 mm*”.

Porém, segundo dados disponibilizados pela APAC – Agência Pernambucana de Águas e Clima, no período de junho/2017 a maio/2018, para o município de Olinda, o acumulado pluviométrico anual, obtido pela média entre os 02 postos pluviométricos em funcionamento (Posto Olinda (código 199) e Posto Academia Santa Gertrudes (código 551)), foi de 1.888,45 mm.

Figura 39 – Localização da área de estudo.



Fonte: O Autor (2018)

4.2 VEGETAÇÃO

A vegetação litorânea presente na zona costeira do estado de Pernambuco está representada pelos campos de restinga, mata de restinga, mata atlântica, cerrado e, nas áreas que se encontram sobre a influência direta das marés, a presença dos manguezais.

4.3 HIDROGRAFIA

O sistema hidrográfico do município de Olinda é composto pelas Bacias Hidrográficas dos Rios Beberibe e Paratibe.

O Rio Beberibe, principal rio do município, recebe contribuição pela margem direita do Rio Morno e do Canal do Vasco da Gama, e pela margem esquerda do Riacho do Abacaxi (Lava Tripa) e do Canal da Malária. O Rio Paratibe nasce na divisa dos municípios de Paudalho, Camaragibe e Paulista, recebendo inicialmente o nome de Riacho da Mina, denominação que conserva até a confluência com o Riacho do Boi, passando a se chamar Paratibe. Segue a direção geral oeste-leste, da nascente até a desembocadura na divisa entre os municípios de Paulista e Olinda, onde percorre cerca de 22,0 km. As principais contribuições recebidas pela margem direita vêm do Canal da Tinta, dos rios Fragoso e da Piaba, e do Córrego Maximino. Pela margem esquerda, recebe as contribuições do rio Mumbeça e dos riachos do Boi e do Limoeiro, seus afluentes mais importantes.

4.4 A REGIÃO COSTEIRA DE PERNAMBUCO

De acordo com CPRH (2001), “a Zona Costeira de Pernambuco foi segmentada nos seguintes setores: o Setor 1 - Norte - compreendendo os municípios de Goiana, Itaquititinga, Itapissuma, Itamaracá, Igarassu, Abreu e Lima e Paulista; o Setor 2 - Núcleo Metropolitano - incluindo os municípios de Recife, Olinda, Jaboatão dos Guararapes, Camaragibe, São Lourenço da Mata e Moreno; e o Setor 3 - Sul - que abrange os municípios de Cabo de Santo Agostinho, Ipojuca, Sirinhaém, Rio Formoso, Tamandaré, Barreiros e São José da Coroa Grande”.

A costa de Pernambuco pode ser considerada do tipo meso-maré, dominada por ondas e pela ação constante dos ventos alísios vindos predominantemente de E-SE no inverno (abril a setembro), e de E-NE durante o verão (outubro a março).

Segundo Manso et al. (2006), “*A costa pernambucana apresenta baixa altitude, chegando a atingir, em vários pontos, cotas inferiores ao nível da preamar. Apresenta ecossistemas extremamente produtivos, sendo considerada a “região verde”, onde ora se sucedem e ora se entrelaçam segmentos de planície recobertos por Coqueirais, remanescentes de Mata Atlântica, Restingas, Estuários com extensos Manguezais, Recifes de Coral, Coroas, Ilhas, entre outros”.*

A plataforma continental de Pernambuco possui majoritariamente uma largura reduzida, com média de 35,0 km, apresentando pouca profundidade e declividade suave.

O baixo índice de erosão continental e a pequena taxa de sedimentação marinha na plataforma podem ser responsáveis pela reduzida largura, enquanto a pouca profundidade é atribuída à ineficiência de processos marinhos durante o Pleistoceno, com evidência de Neotectonismo. É possível, ainda, que a Corrente do Brasil possa, em parte, explicar o modesto desenvolvimento da plataforma, similar ao que ocorreu com a plataforma sudeste de Angola (Manso et al., 2003).

A composição sedimentar da plataforma continental é predominantemente constituída por sedimentos carbonáticos orgânicos que, segundo Coutinho (1976), é resultado da interação dos seguintes fatores:

- a) Plataforma estreita, rasa, águas quentes, salinidade elevada e ação das correntes;
- b) Predominância de clima semi-árido no interior do continente, resultando no pequeno aporte de sedimento à plataforma e, consequentemente, presença de substrato duro, desprovido de sedimento fino, ideal para fixação da epifauna e da epiflora;
- c) Fraco desenvolvimento de corais hermatípicos;
- d) Fenômeno de competição, algas calcárias versus corais.

Um dos traços morfológicos mais característicos do litoral pernambucano consiste na presença constante de “*beachrocks*” (arenitos de praia) na plataforma continental interna, paralelos à costa (Figura 40).

Figura 40 – Presença de “*beachrocks*” aflorando na praia de Casa Caiada, Olinda-PE.



Fonte: O Autor (2012).

Essas formações, além de alterarem o padrão das correntes, servem de substrato para o desenvolvimento de algas e corais, que por sua vez, formam recifes, geralmente de forma e contorno irregulares. No entanto, essas formações – tão presentes na costa de Pernambuco –, ainda que se constituam em proteção natural à costa, absorvendo parte da energia das ondas incidentes, não só pela perda substancial de energia através da arrebentação das ondas nos recifes, mas também pela modificação do espectro de ondas resultantes, que é substituído por ondas de baixa frequência, podem ser responsáveis por alterações significativas na ação das ondas sobre a costa , pois, além do processo de atenuação e transformação da energia das ondas, as barreiras de recifes tendem a concentrar a energia das ondas incidentes no seu lado interno.

Nessa linha, Ferreira Júnior (2010) destaca que “*Os arenitos de praia emersos encontram-se dispostos paralelamente à linha de praia e, geralmente, apresentam uma geometria linear, porém com faixas descontínuas...*”.

Essas descontinuidades (aberturas) respondem diretamente pela geração dos fenômenos de refração e difração das ondas, alterando significativamente o padrão de incidência na costa. A existência de uma abertura (descontinuidade) em uma barreira (obstáculo) paralela à praia, pode proporcionar a canalização da energia, ou seja, o direcionamento da energia das ondas incidentes para pontos específicos da

costa, pois, ao passar por uma abertura em um anteparo ou barreira, as ondas se expandem ou se difratam, formando um feixe divergente (Figura 41).

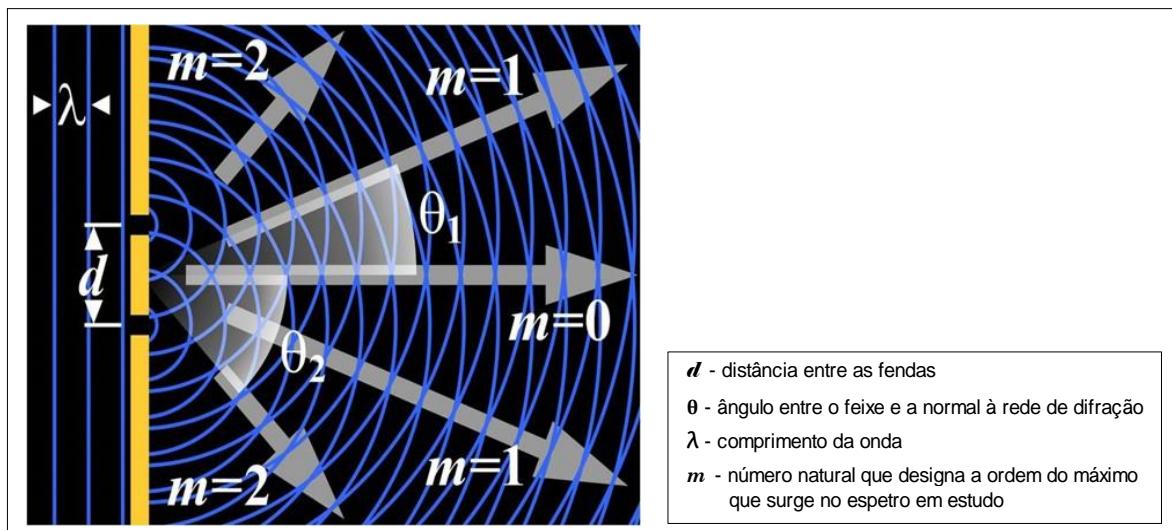
Figura 41 – Difração de ondas diante de uma abertura em um obstáculo.



Fonte: Silva Júnior (2018).

Porém, se houver mais de uma abertura (descontinuidade) nessa barreira, pode ocorrer dessas ondas difratadas apresentarem tendência a interagir umas com as outras em diversos pontos, ampliando suas energias e aumentando a intensidade com que atingem a costa (Figura 42).

Figura 42 – Difração de ondas diante da ocorrência de mais de uma abertura em um obstáculo.

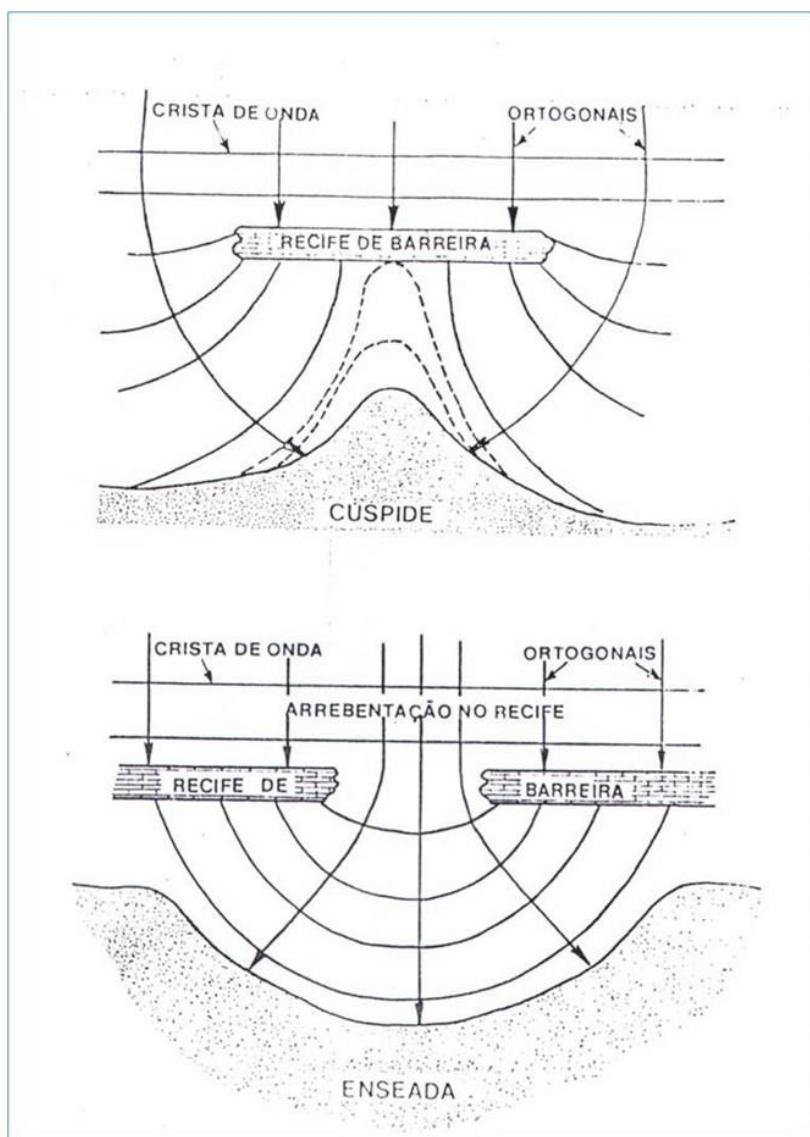


Fonte: Modificado de: Wikipédia (2018)

Outro fator a ser considerado, ainda, é que a existência de aberturas nessas barreiras paralelas à praia – seja ela natural (recifes, *beachrocks*, etc.) ou artificial (molhes, quebra-mares, etc.) –, assim como a proximidade das mesmas em relação à costa determinará o comportamento das ondas difratadas sobre a praia, respondendo pela concentração de energia na costa e, consequentemente, pelo comportamento da geometria da linha de praia adjacente.

Quando a barreira é contínua, a faixa de praia cresce em direção à mesma e tende a formar um tóbolo (cúspide). Porém, a presença de interrupções (aberturas) na barreira favorece a formação de um embaiamento (enseada) na faixa de praia, que se dá em razão da concentração de energia (Figura 43).

Figura 43 – Efeitos produzidos pelas ondas ao se deparar com alguma barreira (ex.: linha de recifes).



Fonte: Modificado de Manso et al. (1995).

Gois (op. cit.), ao analisar o processo erosivo da praia de Boa Viagem ao longo dos 2,0 km, compreendidos entre o Hospital da Aeronáutica e o Edifício Castelinho, observou que “... os dois principais eventos erosivos, que culminaram com a destruição parcial da urbanização, respectivamente nos anos de 1994 e 2008, apresentaram nos pontos mais atingidos pela erosão a presença de descontinuidades da linha de recifes” (Figura 44).

Figura 44 – Processos erosivos da praia de Boa Viagem nos anos de 1994 (A) e 2008 (B), respectivamente, localizados entre o hospital da aeronáutica e o edifício Castelinho.



Fonte: Modificado de Gois (2011).

4.4.1 Geologia e geomorfologia costeira de Pernambuco

A descrição geológica de áreas costeiras permite, além de sua caracterização, definir os principais tipos de processos naturais que comandam sua evolução até o momento presente e, mais ainda, prever o seu comportamento futuro (Vilwock et al., 2005).

Os terrenos das zonas costeiras são, em termos geológicos, relativamente jovens, encontrando-se ainda em uma fase não consolidada [...], (ASMUS, 1991 apud SANTOS, 2007).

Nessa direção, Vilwock et al., (op. cit.) alertam que *“Na maioria dos casos, a geologia e a paisagem das áreas costeiras guardam registros importantes de sua evolução recente”*.

4.4.1.1 Geologia costeira de Pernambuco

Segundo Coutinho et al. (1993), do ponto de vista fisiográfico, a Zona Costeira de Pernambuco pode ser dividida em três setores:

- a) Setor Norte – Do limite com o Estado da Paraíba até o município de Olinda, onde o grande desenvolvimento dos sedimentos da Formação Barreiras é responsável pela existência de uma planície costeira estreita, com linha de costa pouco recortada e presença expressiva de estuários e manguezais, particularmente ao longo do canal de Santa Cruz, que contorna a Ilha de Itamaracá. Observa-se, ainda, um grande desenvolvimento de Recifes.
- b) Setor Médio – Do município de Olinda até o Cabo de Santo Agostinho, observa-se uma intensa sedimentação quaternária, responsável pela maior extensão da planície costeira, especialmente na região onde se localiza a cidade do Recife. Observa-se, também, a presença da sequência cretácica vulcâno sedimentar. Destacam-se os estuários dos rios Beberibe, Capibaribe e Jaboatão. A linha de costa é mais retilínea devido à presença de restingas e recifes.
- c) Setor Sul – Corresponde ao trecho entre o Cabo de Santo Agostinho e o extremo sul do Estado, é caracterizado pela predominância de sedimentos cretácicos das Formações Cabo e Estiva e as vulcânicas da Formação Ipojuca, além do cristalino que chega a aflorar próximo à praia. A planície costeira vai se estreitando em direção ao sul, apresentando uma linha de costa bastante irregular, devido à presença de várias enseadas e um grande desenvolvimento de recifes, estuários e restingas.

A costa do Estado de Pernambuco apresenta um caráter transgressivo jovem, com predominância de estuários, devido principalmente ao pequeno aporte de sedimentos fluviais. A presença de mangues nos estuários é marcante, sendo reflexo de uma costa com influência de marés.

Constitui-se outra característica marcante do litoral de Pernambuco, a ausência quase total de dunas ao longo da planície costeira, refletindo a falta de condições favoráveis à acumulação desses depósitos, ou seja, a existência de grandes praias arenosas associadas a um clima árido e à escassez de vegetação.

Na área costeira podem ser observadas as unidades geológicas desde o Mesozoico, que retratam a sedimentação ocorrida nas Bacias Pernambuco e Paraíba durante a separação das placas sul-americana e africana, até unidades que mostram a sedimentação Quaternária.

A Bacia Paraíba foi considerada anteriormente parte integrante da Bacia Pernambuco sendo chamada de bacia Pernambuco-Paraíba, constituída por estratos cretáceos, terciários e quaternários, abrangendo a faixa costeira do sul do Recife até o norte de João Pessoa, sendo delimitada por falhas e sua topografia seria de relevo relativamente rebaixado (Brito, 1979, apud Barbosa, 2004).

A Bacia de Pernambuco foi formada durante o Mesozoico com a separação das placas africana e sul-americana. No Aptiano, movimentos divergentes entre o sul da placa africana e o noroeste da placa sul-americana, mudaram a tipologia de movimentação das placas, de um regime transcorrente para um regime extensional, ocasionando a propagação do rifte em três direções. A abertura vinda do Sul acompanhou o Trend NE-SW até Salvador; um dos braços da junção tríplice formou a bacia do Recôncavo e o outro formou as bacias de Sergipe, Alagoas e Pernambuco (MAI, 2009).

Segundo Nascimento (2003), “*A evolução tectono-sedimentar da Bacia de Pernambuco está diretamente associada com a ruptura dos continentes sul-americano e africano no decorrer da abertura do Oceano Atlântico Sul, cujo rifteamento maior se deu no cretáceo inferior*”.

4.4.1.2 Geologia da área de estudo

Do ponto de vista geológico, a cidade de Olinda está localizada na Bacia da Paraíba, Sub-bacia Olinda, que se, delimita ao norte pela Sub-bacia Alhandra, e ao sul pela Zona de Cisalhamento Pernambuco (ZCPE). Segundo Barbosa & Filho (2005), a Bacia Paraíba “se comporta como uma rampa estrutural suavemente inclinada para leste” e esta característica, segundo os autores, “demonstra que esta faixa resistiu ao processo de rifteamento ocorrido durante o Cretáceo, provavelmente permanecendo esta área emersa até o Cretáceo superior (Mabesoone & Alheiros, 1988; Feitosa & Feitosa, 1986; Feitosa et al., 2002)”.

Figura 45 – Localização das Bacias de Pernambuco e da Paraíba.



Fonte: Barbosa; Filho (2006).

Segundo Barbosa & Filho (2005) “A Sub-bacia Olinda, da Bacia da Paraíba, estende-se desde a cidade de Recife, onde é separada da Bacia de Pernambuco pela ZCPE, até ser limitada ao norte por uma projeção do embasamento a norte de Goiana: o Alto

de Goiana”. De acordo com os autores “*Essa sub-bacia possui a forma de semicírculo ou concha e é a região onde a bacia costeira da Paraíba é mais larga*”, limitando-se ao norte por um “*alto em forma de projeção alongada do embasamento em direção ao litoral, com orientação NE-SW*”, que provoca “*o truncamento da Sub-bacia Olinda, separando-a da depressão onde está situada a Sub-bacia Alhandra/Miriri*”.

4.4.1.3 Geologia do Quaternário

O período geológico conhecido como Quaternário, representa cerca de 1,8 milhões de anos da história geológica recente, nos quais as evidências estão suficientemente bem preservadas e são mais numerosas, facilitando a obtenção de resultados mais precisos que colaboraram significativamente para a compreensão desse período, e permitem estabelecer comparações com processos atuais (MAI, 2009).

Durante o quaternário ocorreram eventos de variações climáticas extremas alternando períodos de glaciações, intercalados por períodos muito quentes, que proporcionaram grandes flutuações do nível do mar ocasionando transgressões e regressões marinhas. Esse período preservou evidências que tem favorecido a sua compreensão, e que permitem estabelecer comparações com os processos atuais.

As oscilações do nível marinho foram de fundamental importância na evolução das planícies costeiras brasileiras (Suguio et al., 1985).

Nessa linha o MAI (op. cit.) reforça que “*A sedimentação de ambientes costeiros está diretamente relacionada com as variações do nível do mar, o espaço de acomodação e o suprimento sedimentar*”.

Ao longo do Quaternário, dois ciclos transgressivos e regressivos modelaram as planícies costeiras brasileiras, consequência de oscilações relativas do nível do mar. De acordo com Bittencourt et al. (1979) “*O nível marinho alto mais antigo do Quaternário, conhecido ao longo do litoral brasileiro, foi evidenciado só no litoral dos Estados da Bahia e Sergipe. Ele é conhecido sob a designação de Transgressão Antiga*”. Trata-se de um evento mal definido, pois não existem afloramentos que possam ser atribuídos com certeza a esta transgressão (Suguio et al., 1985).

Ao longo do Quaternário, dois ciclos transgressivos e regressivos modelaram as planícies costeiras brasileiras, consequência de oscilações relativas do nível do mar (Tessler e Goya, 2005). A Transgressão Antiga foi seguida por uma nova fase transgressiva, no decorrer da qual o nível relativo do mar, há cerca de 120.000 anos passados, atingiu ± 2 m acima do atual (Martin et al. 1982).

A partir do máximo transgressivo pleistocênico, o nível do mar recuou até aproximadamente a isóbata de 110 metros abaixo do nível atual, há cerca de 17.000 anos A.P. Ao longo deste processo de regressão marinha, a atual plataforma continental foi quase totalmente exposta, sendo sulcada por vales fluviais (Tessler e Goya, 2005).

A partir do máximo regressivo, o nível relativo do mar foi submetido a uma nova elevação, tendo atingido há cerca de 7.000 anos A.P., um nível próximo do zero atual (SUGUIO e MARTIN, 1978). Este processo transgressivo se manteve até 5.100 anos A.P., atingindo quatro metros acima do nível atual (Tessler e Goya, op. cit.).

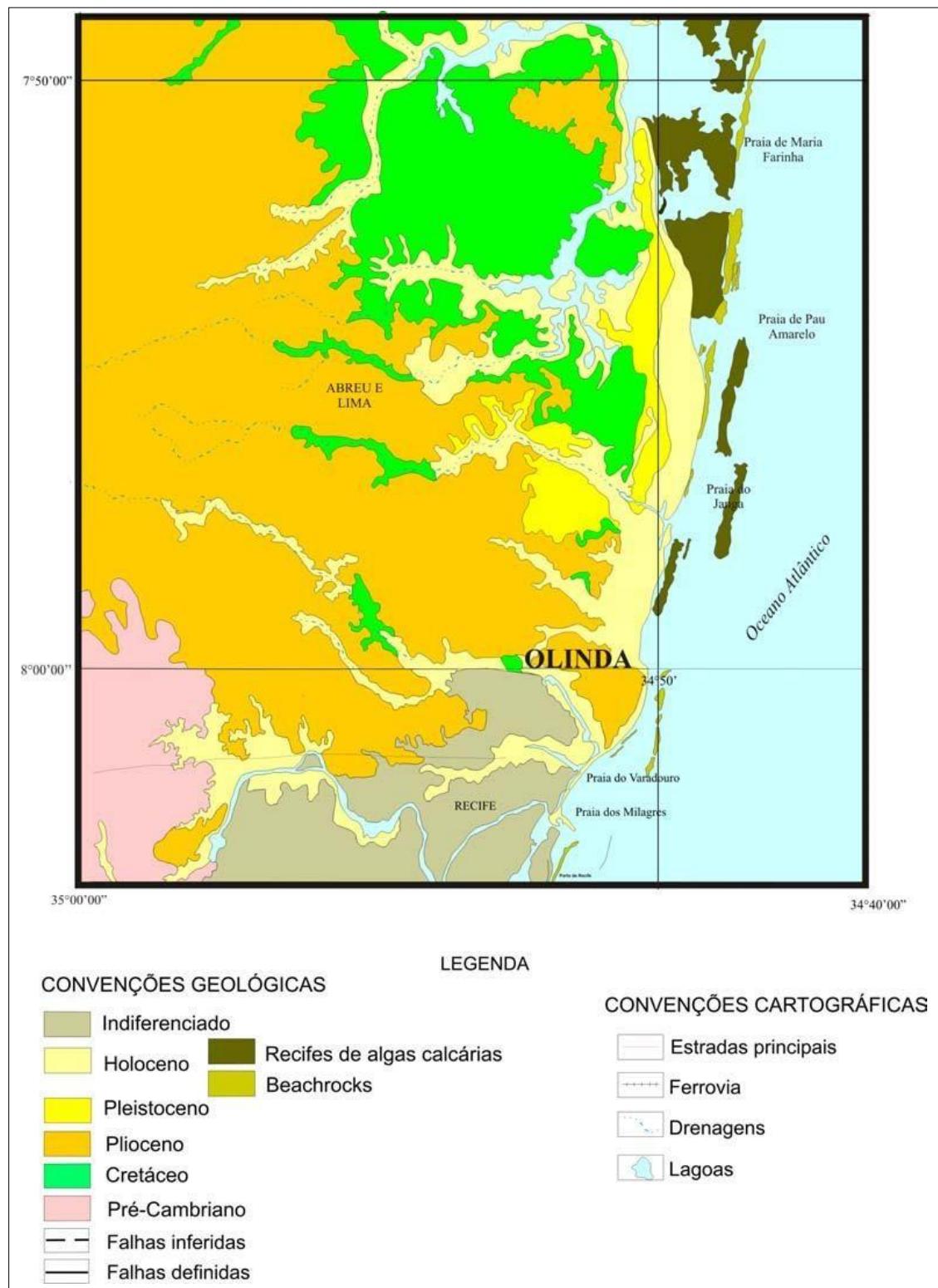
O nível marinho alto mais recente é bem conhecido em função de numerosas reconstruções de antigas posições do nível relativo do mar no tempo e no espaço (Suguio et al., op. cit.).

No Brasil, os depósitos quaternários estão associados às bacias hidrográficas, que drenam bacias sedimentares homônimas (Amazonas, Paraná e Parnaíba), ou às planícies costeiras (Suguio, 2005).

Na região costeira de Pernambuco, segundo Dominguez et al. (1990), “*são aí encontrados testemunhos de dois grandes episódios transgressivos quaternários. O primeiro, pleistocênico, com um máximo atingido há 120.000 anos A.P., é representado por terraços marinhos com alturas de 7 a 11 m acima da preamar atual e, o segundo, holocênico, com um máximo atingido há 5.000 anos A.P., apresenta um maior número de testemunhos, na forma de: 1. terraços marinhos, que alcançam alturas de até 5 m acima da preamar atual; 2. depósitos lagunares; 3. Recifes de corais e de algas coralinas; e 4. bancos de arenito*”.

Em 1994, o Laboratório de Geologia e Geofísica Marinha (LGGM – UFPE) elaborou o mapa do Quaternário Costeiro do Estado de Pernambuco, onde se vê em destaque o município de Olinda (Figura 46).

Figura 46 – Mapa do Quaternário Costeiro de Pernambuco, destacando o litoral de Olinda.



Fonte: Modificado de Pedrosa (2007).

4.4.1.4 Geomorfologia costeira de Pernambuco

As regiões costeiras encontram-se em permanente transformação geomorfológica em razão dos processos hidrodinâmicos, mas sobretudo em razão da presença do homem nesses ambientes.

A geomorfologia pode possuir um caráter integrador, na medida que procura compreender a evolução espaço-temporal dos processos do modelado terrestre, tendo em vista escalas de atuação desses processos, antes e depois da intervenção humana, em um determinado ambiente (Guerra e Cunha, 2012).

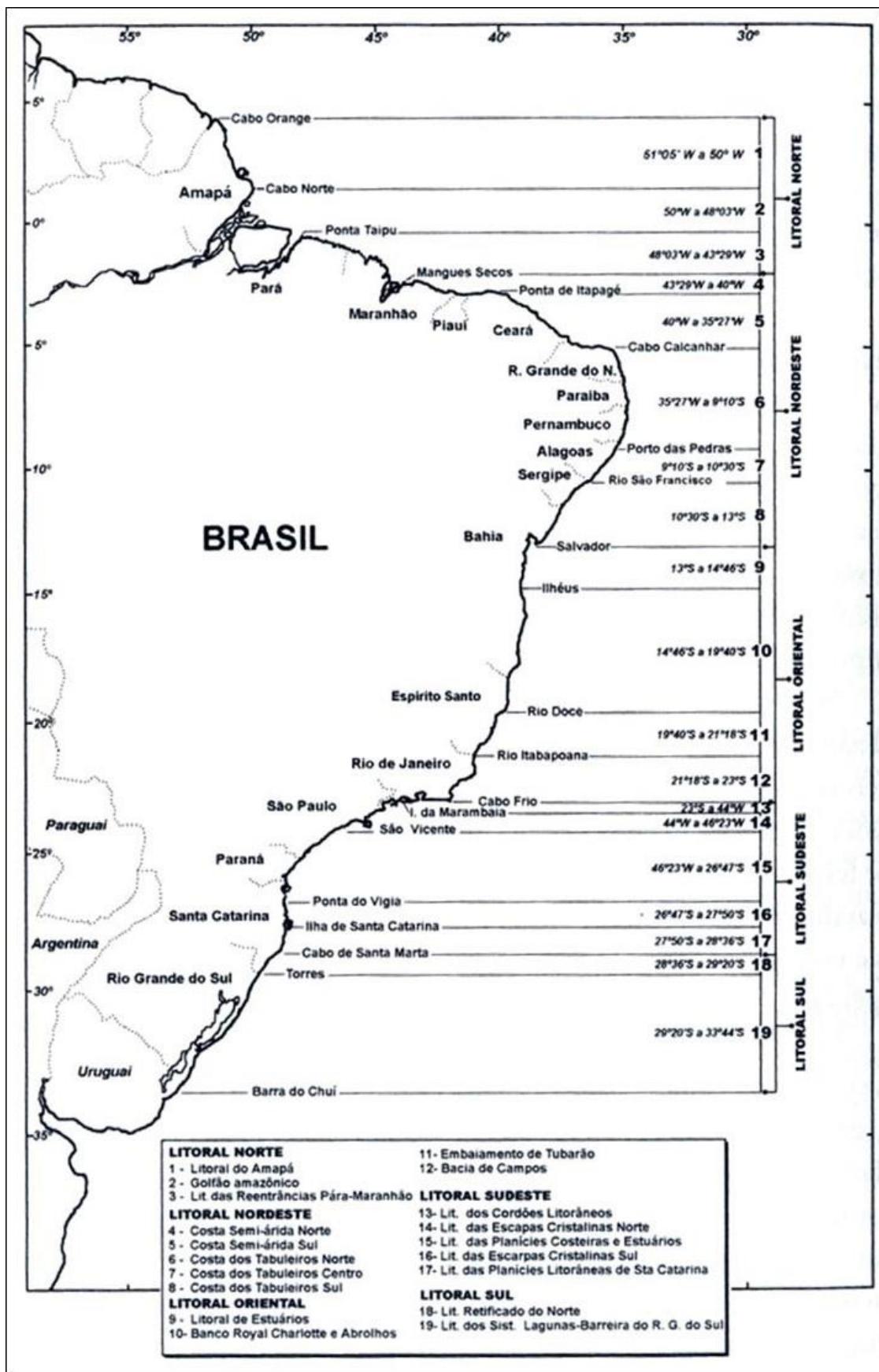
Nas áreas litorâneas, as consequências geomorfológicas de uma transgressão marinha vão depender da existência ou não de afloramentos de corpos litológicos mais ou menos resistentes ao embate com as ondas, da presença de falésias cristalinas e da ocorrência de dunas (Jatobá e Lins, 2008).

Ao longo da costa pernambucana o comportamento litológico apresenta natureza diferenciada com predomínio, ao norte, da Superfície dos Tabuleiros e da Planície Costeira, enquanto que ao sul há uma presença do Domínio Colinoso em substituição à Superfície dos Tabuleiros.

De acordo com a macrocompartimentação apresentada por Muehe (2006), a costa de Pernambuco está inserida na região nordeste no macrocompartimento denominado pelo autor de “Costa dos Tabuleiros Norte”, que se estende “do cabo Calcanhar ao Porto de Pedras” (Figura 47).

Segundo Muehe (op. cit.), *“Este macrocompartimento, [...] é caracterizado por um litoral cuja orientação, inicialmente nor-noroeste a su-sudeste, passa, após um curto trecho de direção norte-sul, na altura do Cabo Branco, a infletir gradativamente para uma direção nor-nordeste a su-sudoeste”*.

Figura 47 – Macrocompartimentação do litoral brasileiro.



Fonte: Muehe (2006).

4.5 HIDRODINÂMICA

Os processos hidrodinâmicos, cujos reflexos se fazem sentir diretamente no ambiente costeiro, estão relacionados a atuação dos ventos, ondas, correntes e marés.

4.5.1 Regime de ventos

Ao estudar o comportamento da velocidade e da direção dos ventos atuantes na área costeira de Olinda, a partir do registro dos espectros de ondas disponibilizados pelo Sistema de Previsão de Ondas (SPO/UFRJ), Gois (2011) revelou que, durante os doze meses de monitoramento, a velocidade do vento oscilou entre 3,14 m/s e 11,2 m/s, período em que predominaram majoritariamente os ventos E-SE. Nos meses de julho e agosto foram registradas velocidades máximas acima de 10,0 m/s e velocidades médias mensais ultrapassando a marca de 8,8 m/s, prevalecendo durante o período, os ventos SE e E-SE, com ligeiro predomínio dos ventos E-SE. Em contrapartida, o estudo identificou que, entre os meses de janeiro e maio, os ventos se apresentaram mais amenos, com médias de velocidades mensais inferiores a 6,8 m/s, com predomínio dos ventos E, em janeiro, e ventos de E-SE de fevereiro a maio. Durante o monitoramento predominaram os ventos E-SE, aproximadamente 60%, seguidos de 18% de ocorrência ventos E, e 14% de ventos SE.

4.5.2 Clima de ondas

Gois (op. cit.) mostrou que, durante o período monitorado, a altura significativa de onda (H_s) variou entre 0,70 e 3,10 m, tendo observado uma expressiva elevação nas alturas durante o período de inverno, sobretudo nos meses de junho a agosto, quando foram registradas alturas superiores a 2,80 m, e alturas médias superiores a 2,0 m. Porém, durante o verão a média das alturas significativas de onda oscilou entre 1,52 m e 1,69 m, com alturas máximas não excedendo a marca de 2,30 m.

No que se refere ao período de ondas, durante o monitoramento, o período de pico das ondas oscilou entre 5,7 e 17,0 segundo. Uma variação que indica que a região está submetida a dois tipos de ondas: as ondas de menores períodos, do tipo “sea”, formadas em áreas próximas à costa, sob a influência de ventos locais; e as ondas de

maiores períodos, características das ondas “swell”, formadas mais distante da costa e submetidas a um regime de ventos diferentes dos ventos locais.

4.5.3 Circulação costeira

De acordo com o Projeto MAI (2009), nos meses de dezembro e janeiro, durante o período de estiagem, quando a precipitação pluviométrica mensal é inferior a 100 mm e, consequentemente, a descarga fluvial é reduzida e prevalecem ventos fracos de 3,2 m/s a 2,0 m/s, de E-SE, e por vezes de E-NE, indicaram um padrão das correntes superficiais e próximas ao fundo, ao longo da área, com direção geral contra a costa ou para S-SW, e com intensidade de correntes médias inferiores a 0,21 m/s e correntes máximas de até 0,56 m/s.

Já em maio, os estudos revelaram que, durante o período chuvoso, quando a precipitação pluviométrica mensal supera 300 mm e a descarga fluvial aumenta, o padrão geral de circulação superficial na área costeira é mais regular, com correntes médias mais intensas, variáveis de 0,09 a 0,22 m/s, e máximas de até 0,64 m/s.

Segundo o MAI, próximo à costa, as correntes apresentaram direção geral para NE, variando para NE-E nas áreas mais profundas e distantes da costa, tanto na preamar quanto na baixa-mar.

Os estudos do MAI revelaram, ainda, que durante boa parte do ano, prevalecem sobre a área, ventos de S-SE, sobretudo durante o período chuvoso e de ventos mais intensos, resultando para os trechos central e sul – abrangendo a área de desenvolvimento deste estudo – na incidência oblíqua sobre a costa, de ondas provenientes daquele setor, e na geração de uma deriva litorânea para N-NE.

Ao estudar a contribuição do escoamento superficial e da drenagem de águas pluviais para os processos erosivos no litoral de Olinda, Gois e Oliveira (2010) apresentaram o transporte longitudinal de sedimentos ao longo dela costa. De acordo com os autores, “*o volume de areia transportado pela deriva litorânea*” no litoral olindense é de 251,46m³/dia, correspondente a 10,48m³/hora. Ainda, segundo os autores, o cálculo “*foi obtido a partir da equação empírica de Komar*”:

$Q_s = 3,4 (EC_n)$ sena cosa", em que:

E (energia da onda na zona de arrebentação), é obtida pela relação:

$$E = 1/8 (\rho g H^2)$$

Onde:

ρ (densidade da água do mar) tem valor igual a 1020kg/m^3 ; e

C_n (velocidade de grupo das ondas) é dado através da equação:

$$C_n = \sqrt{g} (2H)$$

Os valores de H (altura de onda na zona de arrebentação) e de α (ângulo de incidência da onda na zona de arrebentação) foram obtidos a partir dos dados do clima de ondas coletados para aquele estudo (Tabela 01)

Tabela 01 – Dados do clima de ondas no litoral de Olinda-PE.

MÊS	ONDA	
setembro-09	Altura (m)	0,43
	Período (s)	6
	Ângulo de Incidência	6º
	Tipo de Arrebentação	Mergulhante
maio-10	Altura (m)	0,44
	Período (s)	6
	Ângulo de Incidência	6º
	Tipo de Arrebentação	Mergulhante

Fonte: Gois e Oliveira (2010)

4.5.4 Regime de marés

A costa de Olinda pode ser considerada do tipo meso-maré, dominada por ondas e sob ação constante dos ventos alísios. São marés do tipo semidiurna, com período médio de 12,4 horas, com duas ocorrências de preamarés e duas ocorrências de baixa-mares.

De acordo com as previsões fornecidas pela Diretoria de Hidrografia e Navegação – DHN/Marinha do Brasil para o porto do Recife, as marés apresentam altura média de 1,67m, com alturas médias de sizígia de 2,07m chegando ao pico de 2,70m, enquanto que as alturas médias de quadratura apresentam média de 0,97m.

5 MATERIAL E MÉTODOS

Os procedimentos adotados para a produção deste trabalho se deram por meio do desenvolvimento das três etapas, descritas a seguir:

5.1 ETAPA 1

Nesta etapa foram realizados o mapeamento e a caracterização da praia de Bairro Novo, no município de Olinda-PE, identificando – com a utilização de levantamento aerofotogramétrico – as obras de defesa costeira ali existentes, além da investigação bibliográfica acerca da área de trabalho, que se deu por meio da:

- Prefeitura Municipal de Olinda;
- Arquivos públicos (estadual e municipal (Olinda));
- Porto do Recife;
- Sites acadêmicos (artigos científicos, dissertações, teses);
- Acervos Digitais (Hemeroteca / IBGE).

5.2 ETAPA 2

Esta etapa se deu a partir da identificação mapeamento e caracterização das obras de defesa costeira inseridas na área de estudo, do monitoramento de dados hidrodinâmicos fornecidos pelo Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – CPTEC/INPE para a área de estudo, bem como do levantamento *“In loco”* da morfodinâmica e da sedimentologia da praia e da plataforma continental.

5.2.1 Monitoramento de dados Hidrodinâmicos

O monitoramento foi realizado a partir dos registros diários das previsões de dados de ventos e de ondas apresentados pelo CPTEC/INPE.

5.2.2 Morfodinâmica Praial

A aquisição de dados da morfodinâmica praial se deu por meio da realização de levantamentos topográficos planialtimétricos transversais e longitudinais.

Os levantamentos dos perfis foram realizados por meio de nívelamento topográfico, adotando como *datum* de referência o RN (Referência de Nível) do IBGE. Os perfis partiram da cota de topo do enrocamento, compreendendo toda a pós-praia, até atingir a profundidade de 1,0 metro de lâmina d'água na antepraia. Todas as cotas foram determinadas por visadas horizontais, efetuadas com miras verticais situadas nos diversos pontos de inflexão do terreno. Os dados obtidos nos levantamentos, e registrados em caderneta de campo, subsidiaram a elaboração de planilhas no programa Excel, através do qual foram elaborados, através de gráficos, os perfis transversais que representam o comportamento morfodinâmico daquela praia.

5.2.3 Morfologia da plataforma continental

O levantamento batimétrico é um dos métodos de investigação das áreas de plataforma continental rasa, que tem a capacidade de definir com precisão a conformação morfológica de fundo que, por sua vez, reflete a configuração do tipo de substrato existente, traduzindo suas características sedimentares e hidrodinâmicas.

O sistema de posicionamento (GPS) é o instrumento pelo qual se obtém as coordenadas dos pontos por meio do rastreamento, recebimento e registro de sinais de satélites específicos. A precisão no posicionamento dos pontos, nos quais são realizadas as leituras, observações e coletas de dados e amostras, são essenciais para a maior precisão dos mapas a serem gerados com os dados obtidos.

Para este trabalho, o sistema de posicionamento (GPS) adotado para a obtenção das coordenadas dos pontos por meio do rastreamento, recebimento e registro de sinais de satélites específicos, foi um CHARTPLOTTER modelo GPSMAP 547xs da GARMIN, receptor do sinal de satélite com taxa de atualização contínua de 10Hz, conectado a uma sonda com transdutor de 500W de dupla frequência (50/200 kHz), amplitude de feixe entre 10 e 40 graus e profundidade máxima de operação de 450 metros, além de um sensor de temperatura da água, e de um GPSMAP 525s da GARMIN, com receptor diferencial de 12 canais paralelos e taxa de atualização contínua de 1Hz, para auxílio na execução dos perfis.

O valor de cada profundidade é armazenado em conjunto com a coordenada da posição da embarcação, obtida pelo Sistema de Posicionamento Global - GPS. O CHARTPLOTTER pode executar as duas funções ao mesmo tempo, sonar e GPS, armazenando os dados na memória interna. Os equipamentos foram configurados para os dados de posição no Sistema Universal Transverso de Mercator - UTM com Datum World Geodetic System de 1984 – WGS-84.

Os dados coletados em campo foram armazenados em formato ASCII, padrão NMEA 2.3. As sentenças utilizadas para o processamento foram a GPGLL e SDDBT, as quais trazem as informações referentes a coordenadas, profundidades e hora para obtenção de tabelas no formato X, Y, Z e H, onde:

- X e Y são as posições (coordenadas) dos pontos adquiridos;
- Z a profundidade; e
- H a hora da aquisição do ponto.

Inicialmente foi realizada a filtragem de dados com a utilização do programa *Excel*, de onde foram selecionadas as colunas GPGLL e SDDBT referentes às coordenadas geográficas e às profundidades, respectivamente. Posteriormente, utilizando o programa *ARCG/S*, foi obtida a linha de contorno. A linha de contorno, fundamental no levantamento batimétrico, é inserida em forma de pontos na planilha dos dados de batimetria, para que, na modelagem, a linha da margem seja considerada como cota zero. Este processo deve ser levado em consideração em razão de que os dados adquiridos pela ecossonda são referentes apenas às áreas passíveis de navegação.

Ainda com a utilização do *ARCG/S*, os dados foram processados a fim de obter a geração de uma malha regular (GRID) capaz de permitir a obtenção do modelo digital batimétrico (MDB).

Sob a projeção UTM, com *datum* horizontal SAD 69 e zona 25-sul, o modelo digital batimétrico foi georreferenciado, sendo a integração dos dados pós-processados realizada, também, com a utilização do programa *ARCG/S*. Com a finalidade de evitar erros de leitura de profundidade, uma vez que se trata de um ambiente que está sob a influência da maré, além da organização dos dados foi necessário, também, a correção dos dados batimétricos.

O parâmetro profundidade foi extraído em metros e teve uma correção minuciosa com o propósito de minimização dos “erros de aquisição” que, neste trabalho, correspondem à diferença produzida pela maré, e por todas as outras variáveis e condicionantes que possam produzir deslocamento da profundidade real, na aquisição da profundidade aparente. Tais erros provêm desde o movimento natural das ondas até a instabilidade lateral apresentada pela embarcação.

A correção conferida à maré nos dados de profundidade foi realizada segundo informações da “Previsão de Marés” para o Porto do Recife. Os dados foram inicialmente separados por data e, posteriormente, gerados os gráficos com as curvas da maré correspondente, de onde foram extraídas as equações de 4^a ordem e, a partir dessas equações, corrigidos e reduzidos ao nível de profundidade zero, correspondente ao “Nível Zero” da Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN).

De posse apenas dos dados válidos, foi criado um banco de dados com todos os parâmetros tratados e corrigidos, de modo a se iniciar a modelagem batimétrica, a partir das informações de campo, com a finalidade de representar a superfície do assoalho oceânico para a área de estudo.

Para a elaboração da modelagem batimétrica, cuja finalidade é representar a superfície do assoalho oceânico da plataforma interna adjacente, é adotado o sistema de interpolação, comumente utilizado, pelo qual é utilizada uma malha regular (“grid”), que consiste em estimar valores entre dois ou mais pontos medidos, envolvendo cálculos numéricos baseados em formulações matemáticas e, posteriormente, como forma de aproveitamento de um maior número de pontos do suporte de amostragem, adotada a união entre *grids* (mosaico de “*grids*”).

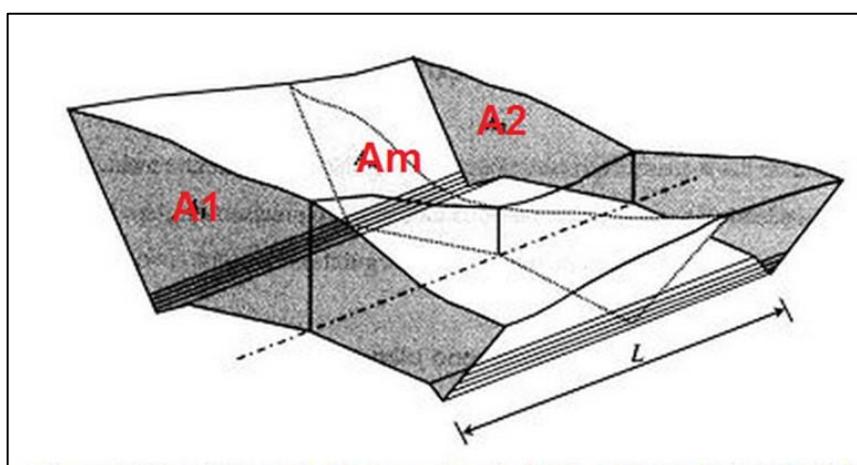
5.2.4 Balanço sedimentar da plataforma continental

O balanço sedimentar foi determinado por meio da sobreposição dos mapas batimétricos de 2011 e 2018 foi gerado, com o uso do programa “HYPACK - 2017”, um mapa resultante da diferença de cotas batimétricas que revelou as áreas da plataforma em que ocorreram deposição ou erosão.

5.2.4.1 Cálculo do volume – método de cubagem

A quantificação do volume (cubagem), resultante da sobreposição dos mapas batimétricos, foi realizada por meio da criação de um sólido, supostamente existente. O método usualmente adotado consiste em considerar o volume como proveniente de uma série de sólidos geométricos (prismoides), formados a partir de duas seções transversais pertencentes ao mesmo perfil. Estes prismoides são limitados nas extremidades por faces paralelas e lateralmente por superfícies planas (Figura 48).

Figura 48 – Prismoide (sólido geométrico) formado a partir de duas seções transversais.



Fonte: Pontes Filho (1998).

O cálculo utilizado para obtenção do volume do prismoide é feito com a utilização da seguinte fórmula:

$$V = (L \div 6) \times [(A_1 + (4 \times A_m) + A_2)] \quad (I)$$

Onde:

- A_1 e A_2 = áreas das seções transversais extremas;
- A_m = área da seção transversal no ponto médio entre A_1 e A_2 ;
- L = distância entre as seções A_1 e A_2 .

Uma fórmula aproximada, comumente utilizada para o cálculo dos volumes dos prismoides, é a chamada *fórmula das áreas médias*, descrita a seguir:

$$V_m = (L \div 2) \times (A_1 + A_2) \quad (II)$$

Onde a equação (II) é deduzida da equação (I), considerando que, $A_m = [(A_1 + A_2) \div 2]$

Nestes cálculos, obtêm-se valores exatos para os volumes quando ambas as seções transversais são iguais. Em condições de desigualdade, os resultados são ligeiramente diferentes, com erros inferiores a 2%.

A partir da quantificação do volume, ainda com o uso do programa “HYPACK – 2017”, foi elaborado um projeto que, dividido em seções equidistantes e tendo como cota a maior profundidade comum às batimetrias utilizadas, gerou o mapa de cubagem, no qual são detalhados os volumes perdidos e/ou acrescidos à plataforma.

5.2.5 Sedimentologia do ambiente praial

Para a análise granulométrica das amostras, foram utilizadas as técnicas adotadas em estudos similares desenvolvidos no LGGM-UFPE, e fundamentadas no método descrito por Suguio (1973).

De início, o material foi seco à temperatura ambiente em bacias plásticas e depois levado à estufa para secagem a 60°C, sendo, em seguida, feito o quarteamento manual e pesagem de 100g, descartando as amostras que não apresentaram quantidade suficiente para a continuidade do procedimento.

O peneiramento das amostras se deu por via úmida em duas peneiras de malhas 2 e 0,062mm, separando em duas frações: grosseira (cascalho e areia) e fina (lama). Depois da lavagem, a fração silte/argila foi reservada e as areias e os cascalhos colocados na estufa para secar à temperatura de 60°C. Em seguida, as amostras de cascalho e areia foram novamente pesadas, separadamente, para definir o percentual de cada parte, inclusive o de silte e argila, obtido por diferença (Figura 49).

Posteriormente, apenas a fração areia foi posta em um jogo de cinco peneiras de aço, com aberturas variando de 1 a 0,062mm (areia muito grossa à areia muito fina, respectivamente), e submetida ao peneiramento mecânico no “*rot up*” (agitador de peneiras), por aproximadamente 10 minutos, tendo sido separadas as diferentes classes arenosas, pesadas em balança até a segunda casa decimal.

Figura 49 – Equipamentos utilizados no processo de secagem, pesagem e peneiramento das amostras de sedimentos.



Fonte: O Autor (2018).

5.2.6 Sedimentologia da plataforma continental

A análise granulométrica das 55 amostras de sedimentos da plataforma interna da praia de Bairro Novo, de forma análoga à sedimentologia da praia, descrita no item 5.2.3.), foi baseada na metodologia adotada pelo Laboratório de Geologia Marinha (LGGM), da Universidade Federal de Pernambuco.

5.2.7 Sedimentologia de setor adjacente à área de estudo

A análise granulométrica das 06 amostras levantadas em 02 tómbolos que vêm se formando ao longo dos quebra-mares da praia de Casa Caiada, pontos adjacentes à área de estudo, obedeceu aos mesmos critérios adotados para as sedimentologias da praia e da plataforma continental, ou seja, baseada na metodologia adotada pelo Laboratório de Geologia Marinha (LGGM), da Universidade Federal de Pernambuco.

5.3 ETAPA 3

Coube à terceira e última etapa deste trabalho, a utilização do Sistema de Modelagem Costeira (SMC-Brasil), utilizando a base de dados obtidos (batimetria, morfodinâmica, hidrodinâmica e a caracterização das obras de defesa costeira), a análise, em diferentes escalas de tempo (curto, médio e longo prazo), do comportamento da praia de Bairro Novo, segundo a sua atual configuração, fundamentando, a partir da compreensão da evolução do processo de erosão costeira da área; da avaliação do

histórico de intervenções costeiras; e do estudo comparativo entre os dados atuais e pretéritos, as conclusões e recomendações obtidas com este estudo.

5.3.1 Sistema de modelagem costeira

A modelagem costeira da área de estudo foi feita com o uso do Sistema de Modelagem Costeira (SMC-Brasil), cuja metodologia, detalhada por Almeida (2018), foi adaptada para esta tese.

O SMC-Brasil é composto por três volumes de manuais: i) os “documentos de referências”, composto por cinco livros que tratam os modelos de correntes, propagação de ondas, erosão e sedimentação e, perfil; ii) os “documentos temáticos”, com quatro livros que tratam das mudanças climáticas, níveis, ondas e de recomposição das praias; e iii) os “manuais do usuário do Sistema de Modelagem Costeira” (2014), composto por dois livros que abordam as ferramentas SMC e SMC Tools, descritos a seguir.

O Sistema de Modelagem Costeira do Brasil (SMC-Brasil) é uma ferramenta computacional que combina metodologias de trabalho, bases de dados de cartas náuticas e modelos numéricos orientados para o estudo de problemas na zona costeira. As metodologias permitem abordar o estudo de um problema de forma sistemática (dados de entrada, escalas de processos e modelo).

O SMC-Brasil pode ser dividido em dois módulos principais (Figura 50):

- SMC Tools, que inclui uma base de dados de batimetria, ondas, nível do mar, transporte de sedimentos, etc.; além de ter duas ferramentas de processamento de dados integradas, uma para realizar a análise estatística das variáveis ambientais, e outra que permite realizar a transferência de uma série de ondas a partir de profundidades indefinidas para pontos na costa (*downscaling*);
- Sistema de Modelagem Costeira (SMC), que integra uma série de modelos numéricos, que permitem dar um suporte prático à correta aplicação da metodologia de trabalho proposta nos Documentos Temáticos.

O SMC foi desenvolvido pelo Instituto Hidráulico Ambiental da Cantábría (IH Cantábría) da Universidade da Cantábría, com o apoio da Diretoria Geral de Costas do Ministério do Meio Ambiente da Espanha. O sistema foi adaptado e transferido para a administração pública brasileira, através do projeto intitulado “Transferência de metodologias e ferramentas de apoio à gestão do litoral brasileiro”.

Figura 50 – Organograma da estrutura global do SMC-Brasil.



Fonte: Almeida (2018).

Este sistema foi estruturado para trabalhar com várias escalas espaciais e temporais das diversas dinâmicas que influem na morfologia da costa, de modo a facilitar a elaboração de estudos de casos, usando as metodologias descritas nos documentos temáticos incluídos no pacote. Dessa forma, utilizando critérios técnicos padronizados e organizados de forma sistemática, pode-se utilizar os modelos numéricos mais rápida e eficientemente, aumentando a produtividade e a confiabilidade das decisões.

5.3.1.1 Aplicações do SMC-BRASIL

O objetivo básico do SMC-Brasil é proporcionar uma ferramenta numérica no campo da engenharia costeira que facilite aos técnicos a elaboração de estudos passo a passo, aplicando as metodologias de trabalho propostas nos Documentos Temáticos.

Busca-se, através da unificação de critérios técnicos e da organização sistemática dos modelos numéricos, que os técnicos aumentem a qualidade de seus estudos e, desta forma, vejam o aumento da confiabilidade de suas decisões.

O pacote de software que compreende o SMC-Brasil permite realizar uma grande variedade de tarefas, entre as quais destacam-se:

- Criar ou abrir um projeto de trabalho associado a uma área de estudo da costa, onde o projeto gerencia todas as informações geradas dentro do estudo, armazenando-as de maneira estruturada em diretórios que seguem uma hierarquia. Um projeto pode ser criado a partir de arquivos de batimetria e/ou imagens de uma área de estudo (fotos, desenhos, cartas náuticas, etc.).
- Acessar uma base de dados, onde se encontra a maior parte das cartas náuticas do litoral brasileiro (Baco), juntamente com as batimetrias digitalizadas para as mesmas. Com estas informações, é gerado um projeto de estudo onde se pode incorporar ou combinar batimetrias de detalhes provenientes de outras fontes. Uma vez nesta batimetria, é possível ir modificando-a e gerando diferentes alternativas ou situações de estudo.
- Gerar projetos a partir de imagens (fotos, desenhos, cartas náuticas, etc.), com as quais é possível analisar formas em planta da costa a longo prazo. No caso de se dispor de fotos de distintas épocas, é possível analisar situações passadas, presentes e futuras.
- Gerar um projeto a partir de diferentes batimetrias de uma mesma localidade, obtidas em diferentes épocas. Da mesma forma como com as imagens, é possível avaliar situações passadas e presentes, bem como prever situações a partir de novos cenários propostos.
- Digitalizar e obter a batimetria e linha de costa, a partir de uma carta náutica ou mapa referenciado de uma área.
- Dentro do SMC-TOOLS é dado o acesso ao módulo IH-AMEVA, que é uma ferramenta de análise estatística de variáveis ambientais com a finalidade de resolver os problemas de análises de dados e estatísticas. Esta ferramenta acessa as bases de dados de fluxo de ondas e nível do mar, inclusas no módulo do IH-Data, que são descritas nos documentos temáticos. Estas bases de dados são:
 - GOW: Global Ocean Waves (MODELO WAVEWATCH III)
 - DOW: Downscaled Ocean Waves (MODELO SWAN)
 - GOS: Global Ocean Surges (MODELO ROMS)
 - GOT: Global Ocean Tides (MODELO TPXO)

- Processar estas bases de dados, que foram desenvolvidas pelo IH-Cantábría para o litoral brasileiro, permitindo gerar os dados de fluxo de ondas e níveis necessários para a execução dos modelos numéricos do sistema, para uma área específica de estudo.
- Finalmente, a partir do SMC-Brasil, executar diferentes modelos numéricos, que permitem realizar a análise em curto, médio e longo prazo de uma praia de estudo.

5.3.1.2 Estrutura Global do SMC-BRASIL

O SMC reúne uma série de modelos numéricos, os quais estão estruturados para desenvolver de forma metódica as ações propostas nos Documentos Temáticos e, mais especificamente, organizados de acordo com as escalas temporais e espaciais dos processos a serem modelados.

O SMC-Brasil é composto por alguns documentos metodológicos chamados “Documentos Temáticos” e algumas ferramentas numéricas, como o SMC e o SMC-Tools. Os documentos temáticos estão resumidos em quatro:

- Documento temático de recomposição de praias: reúne a metodologia que deve ser seguida para o estudo ou projeto de recuperação de uma praia. Esses dados, modelos e escalas são reunidos neste documento.
- Documento temático sobre os efeitos das alterações climáticas nas praias: contém a metodologia que nos permite, no futuro, analisar qual é a tendência com relação à estabilidade de uma praia, devido aos efeitos da mudança climática nas dinâmicas: as alturas, período e direção das ondas e o nível do mar. Este documento nos diz como avaliar para uma praia sua tendência com relação à retração ou avanço da linha de costa, rotação praial, variação da cota de inundação, etc.
- Documento temático de ondas: descreve a metodologia seguida para gerar as séries temporais (60 anos, a cada hora) de ondas ao longo da costa e sua transferência a partir de profundidades indefinidas até a praia de estudo.
- Documento temático do nível do mar e cota de inundação: contém a metodologia para a determinação do nível do mar ao longo da costa do Brasil, incluindo a maré

astronômica e a meteorológica (“*Storm Surge*”). Também descreve a metodologia para avaliar a cota de inundação em uma área da costa, incluindo a maré astronômica e meteorológica, e o aumento do nível do mar na costa devido à quebra das ondas. Este último, ampliado pelo perfil da praia.

No que diz respeito às ferramentas numéricas, fundamentalmente existem duas:

- SMC-TOOLS: ferramenta que reúne uma série de bancos da costa brasileira (batimetria, ondas, níveis etc.), inclusos no módulo IH-DATA. Há, ainda, um segundo módulo denominado IH-AMEVA, que é uma ferramenta de análise estatística de variáveis ambientais que permite processar as séries temporais de dinâmicas incluídas no IH-DATA. Finalmente, é composto por um terceiro módulo denominado IH-DYNAMICS, que permite realizar a transferência de ondas até a costa, avaliar o transporte de sedimentos e fluxo médio de energia e a cota de inundação. Ou seja, processa as séries temporais de dinâmicas marinhas e sedimentares que são necessárias como entrada dos modelos do SMC.
- SMC: esta ferramenta reúne uma série de modelos numéricos que permitem analisar a estabilidade de uma praia. Estes são estruturados de acordo com as escalas espaciais e temporais de curto, médio e longo prazo. Também inclui um módulo de regeneração do terreno para a atualização de topografia e batimetria.

5.3.1.3 SMC-Tools

O módulo SMC-Tools é dividido em dois grandes submódulos: o submódulo de pré-processo, que inclui o IH-Data e IH-Ameva, e o submódulo de pós-processo, que inclui o IH-Dynamics

5.3.1.4 Submódulo de pré-processo

O submódulo de pré-processo é a ferramenta que dá acesso às bases de dados do IHData, constituída por uma base de dados de batimetria georreferenciada, digitalizada de cartas náuticas de toda a costa brasileira, além das bases de dados de reanálise de ondas (DOW - *Downscaling Ocean Waves*) e marés meteorológicas

(GOT - *Global Ocean Tides*) e astronômicas (GOS - *Global Ocean Surge*). Estas bases podem ser processadas e em seguida enviadas para o módulo IH-Ameva.

O Módulo IH-Ameva (Análise Matemática Estatística de Variáveis Ambientais) tem a finalidade de pré-processar estatisticamente os dados de ondas e níveis de maré do IH-Data, fornecendo os vários parâmetros necessários para a operação do módulo SMC.

A principal finalidade do submódulo de pré-processo é obter os dados de entrada necessários para a execução das modelagens numéricas do módulo principal SMC, definindo uma série de condições iniciais para os modelos numéricos, como:

- Definir a batimetria inicial de um projeto.
- Gerar uma análise estatística e espectral que caracterize o clima de ondas em um ponto em águas profundas próximo ao local de estudo, que servirá para ser propagada até à costa utilizando-se o modelo de águas rasas, denominado Oluca.
- Classificar a série temporal de ondas para posteriormente ser propagada.
- Gerar os casos relevantes de estados de mar para serem propagados até a costa com o SMC.

5.3.1.5 Submódulo de pós-processo

Após a propagação das ondas até à costa ter sido realizada no módulo principal do SMC, o que será explicado no próximo item, usa-se o submódulo de pós-processo do SMC-Tools, o que permite:

- Reconstruir a série temporal de ondas em pontos próximos à costa, para onde foi feita a propagação das ondas, a partir de um ponto de águas profundas;
- Fazer uma análise estatística e espectral das ondas neste ponto próximo à costa.

Além destas operações, pode-se também traçar vários perfis de praia perpendiculares à linha de costa, nos quais se pode calcular:

- O ponto do perfil onde ocorre a arrebentação da onda;

- O transporte lateral de sedimentos através deste perfil;
- A direção média e o fluxo médio de energia;
- O regime médio e extremo da cota de inundação.

O submódulo de pós-processo do SMC-Tools permite obter as principais características da dinâmica de transporte de sedimentos em uma praia, além da cota de inundação, causada principalmente por marés meteorológicas e regimes extremos de ondas.

Como existem mais de 60 anos de estados de mar armazenados na base de dados, seria praticamente impossível se utilizar todos os estados de mar na simulação, então utiliza-se uma técnica chamada de máxima similaridade (MaxDiss) para escolher os estados de mar mais representativos do clima de ondas no ponto DOW.

5.3.1.6 Módulo SMC

O módulo principal do pacote SMC-Brasil possui um submódulo de análise de praia de curto prazo, “Morfodinâmica de Praias” (MOPLA), utilizado nesta pesquisa.

O SMC também faz uso de outro submódulo denominado “Módulo de Modelagem do Terreno” (MMT), fundamental para facilitar a edição da batimetria de um projeto, utilizando, para isso, uma série de ferramentas gráficas e de desenho que fazem parte da interface do SMC.

5.3.1.7 Submódulo de modelagem do terreno (MMT)

Fundamental para a edição da batimetria de um projeto, este módulo permite incluir dados de batimetria de alta resolução sobre a batimetria de baixa resolução padrão, fornecida pela digitalização das cartas náuticas da marinha, obtida através dos submódulo de pré-processo do SMC-Tools. Dessa forma, é possível ter uma melhor resposta da modelagem das ondas, ao incluir uma batimetria que foi obtida por outra fonte de medição do fundo do mar na área de estudo.

Outras possibilidades do MMT são as edições de contornos rígidos, como: diques, espigões, cais, muros de contenção, etc., bem como de contornos dinâmicos como: dragagem, engordamentos, etc. Além dos elementos modificadores da batimetria, existe a ferramenta de regeneração de batimetria, que faz automaticamente uma interpolação para preencher os espaços entre os pontos de medição das batimetrias.

5.3.1.8 Programa de morfodinâmica de praias (MOPLA)

O MOPLA é o programa inserido no módulo SMC que realiza todas as modelagens numéricas, utilizadas para estudar o comportamento dinâmico da morfologia das praias a curto prazo. Composto por modelos que simulam a propagação das ondas, o sistema de correntes induzido pela arrebentação das ondas, o transporte de sedimentos e a evolução da batimetria.

Os modelos são organizados em dois grupos: os que simulam os efeitos de um trem de ondas, e os que simulam a propagação de um espectro de energia de ondas. No estudo, utilizou-se apenas a modelagem baseada em espectros de ondas, porque este tipo de modelagem resulta em uma maior precisão no cálculo de alturas de ondas, ideal para estudos de recifes, como foi o caso. Os modelos que compõem este grupo são:

- Oluca: modelo parabólico de propagação de movimento de um espectro de ondas.
- Copla: modelo de correntes de praia induzidas pela arrebentação de uma distribuição espectral das ondas.
- Eros: modelo de erosão, sedimentação e evolução da batimetria de praias causadas por uma distribuição espectral das ondas.
- Simulações de curto prazo podem ser feitas em sequência para vários estados de mar (espectros de ondas), através do programa MOPLA, e seus resultados individuais poderão ser analisados visualmente utilizando-se a ferramenta auxiliar de edição gráfica.

6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo são apresentados os resultados obtidos com os estudos desenvolvidos, assim como as suas respectivas análises.

6.1 MONITORAMENTO DE DADOS HIDRODINÂMICOS

Durante 12 meses (maio/17 a abril/18) foram realizados para a área litorânea em estudo o monitoramento e o registro das previsões de dados de ventos e de ondas, apresentados pelo Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – CPTEC/INPE.

6.1.1 Velocidade e direção dos ventos

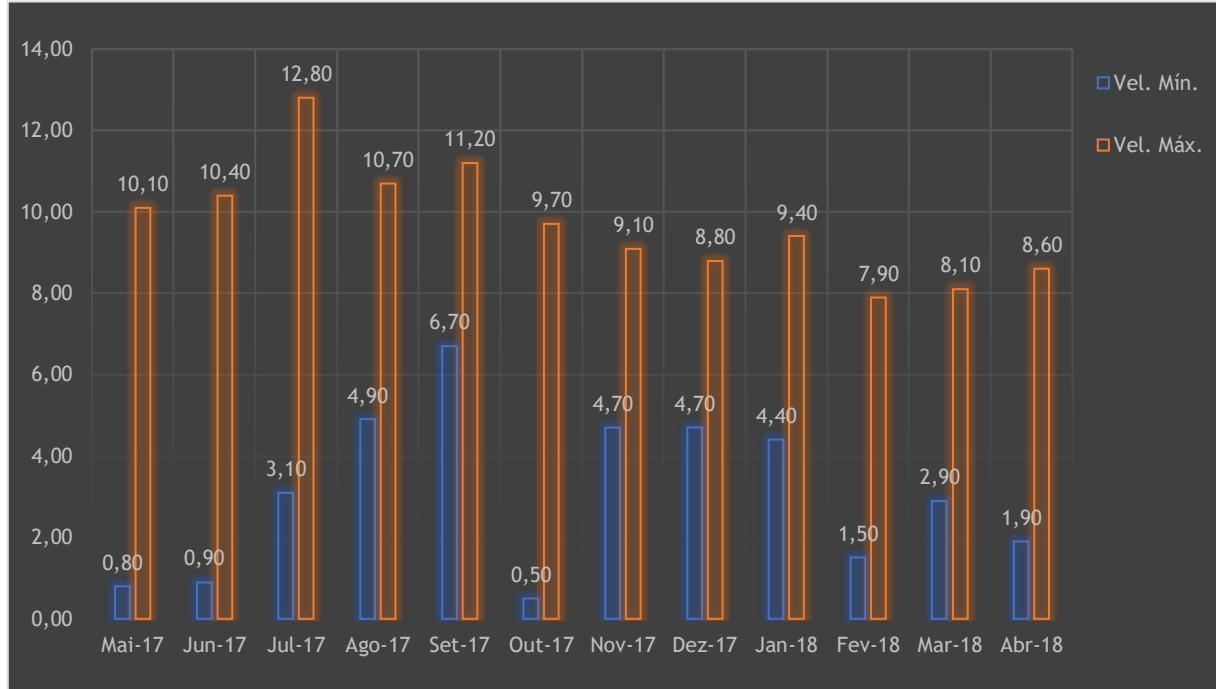
A partir do registro sistemático dos dados apresentados pelo CPTEC/INPE para o município de Olinda, entre maio/2017 e abril/2018 (Quadro 02), foram elaborados os histogramas de velocidade dos ventos (Figuras 51 e 52), e de direção dos ventos (Figura 53 a 55), possibilitando a caracterização dos ventos atuantes nesta região costeira, bem como dos processos da dinâmica costeira que recebem suas influências.

Quadro 02 – Dados de ventos fornecidos pelo CPTEC/INPE para Olinda.

MÊS	VELOCIDADE DOS VENTOS (m/s)		MÉDIA MENSAL
	Mín. Observada	Máx. Observada	
Mai-17	0,80	10,10	5,87
Jun-17	0,90	10,40	7,65
Jul-17	3,10	12,80	9,38
Ago-17	4,90	10,70	7,28
Set-17	6,70	11,20	8,82
Out-17	0,50	9,70	7,27
Nov-17	4,70	9,10	6,64
Dez-17	4,70	8,80	6,55
Jan-18	4,40	9,40	6,50
Fev-18	1,50	7,90	5,90
Mar-18	2,90	8,10	5,64
Abr-18	1,90	8,60	5,85

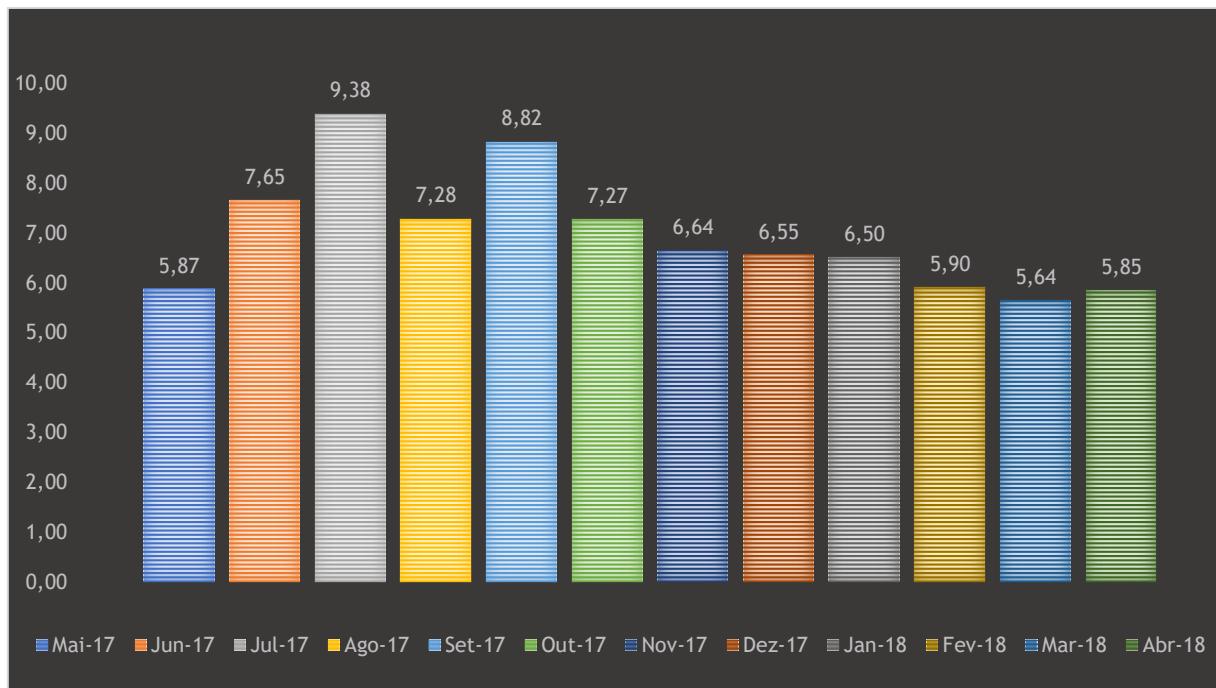
Fonte: O Autor (2018)

Figura 51 – Histograma de velocidade dos ventos (mínimas e máximas observadas) de maio/2017 a abril/2018.



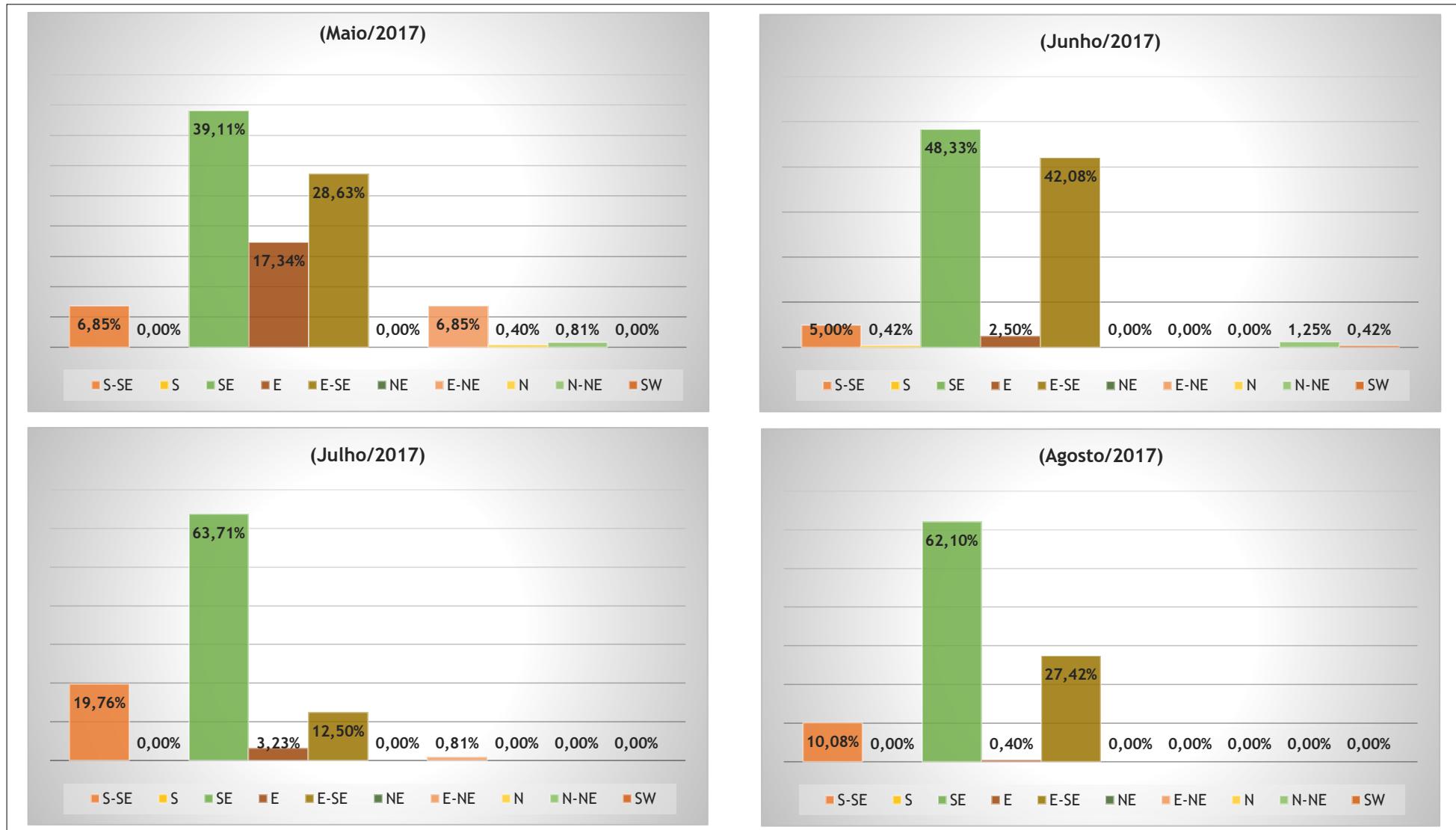
Fonte: O Autor (2018)

Figura 52 – Histograma de velocidade dos ventos (médias mensais observadas) no período de maio/2017 a abril/2018.



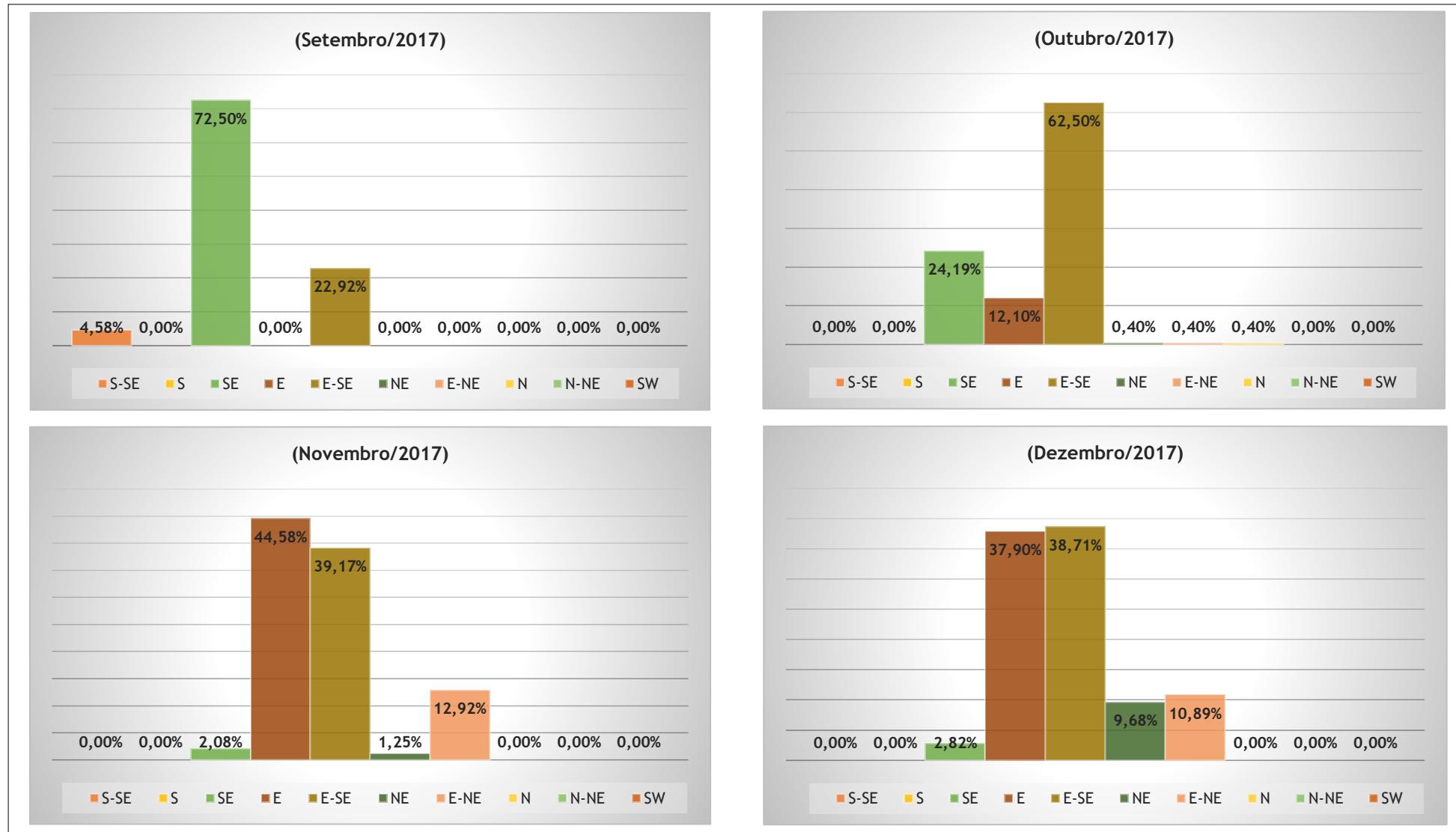
Fonte: O Autor (2018)

Figura 53 – Histograma de direção dos ventos atuantes no litoral de Olinda (maio/2017 a agosto/2017).



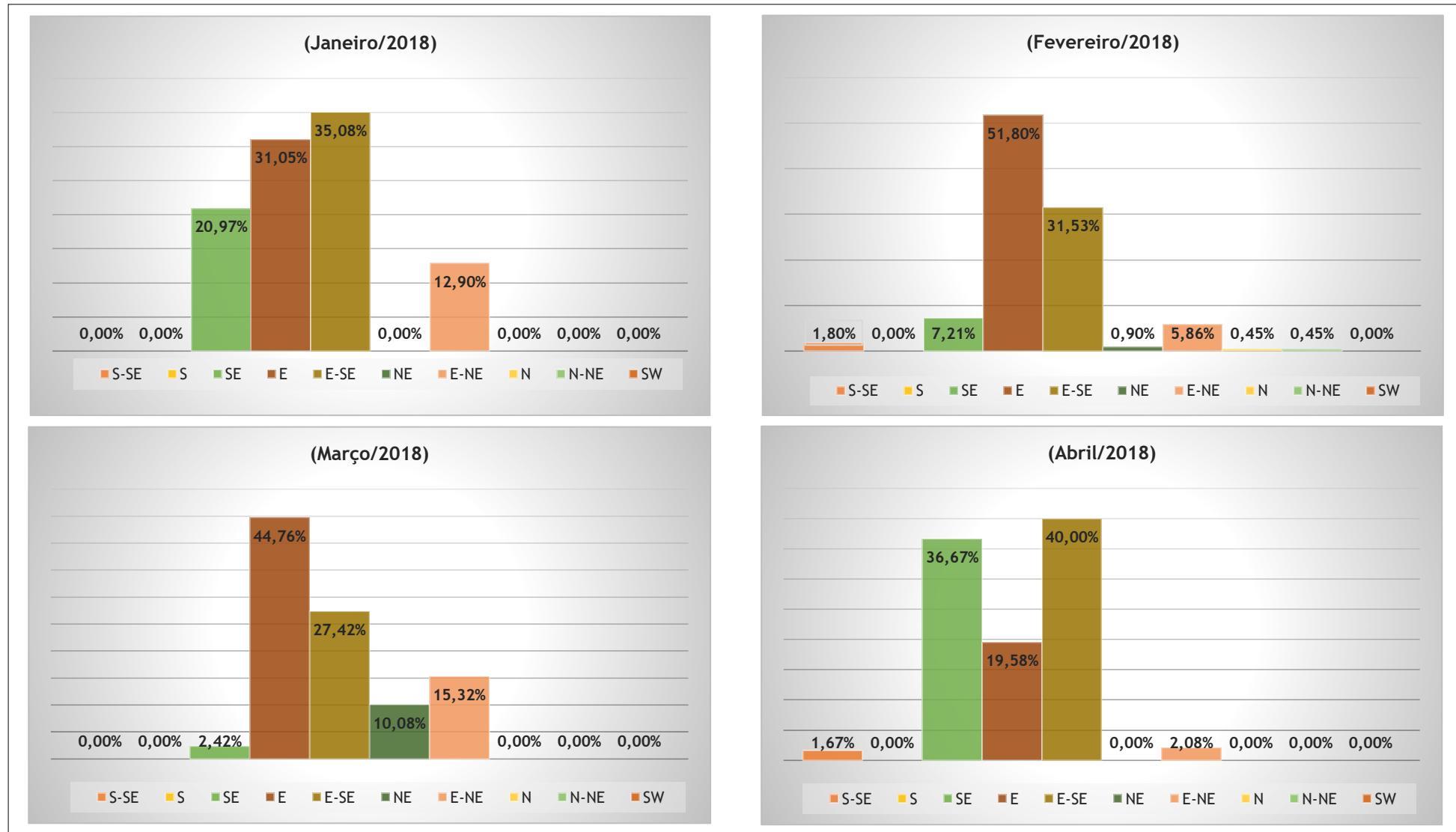
Fonte: O Autor (2018).

Figura 54 – Histograma de direção dos ventos atuantes no litoral de Olinda (setembro/2017 a dezembro/2017).



Fonte: O Autor (2018).

Figura 55 – Histograma de direção dos ventos atuantes no litoral de Olinda (janeiro/2018 a abril/2018).

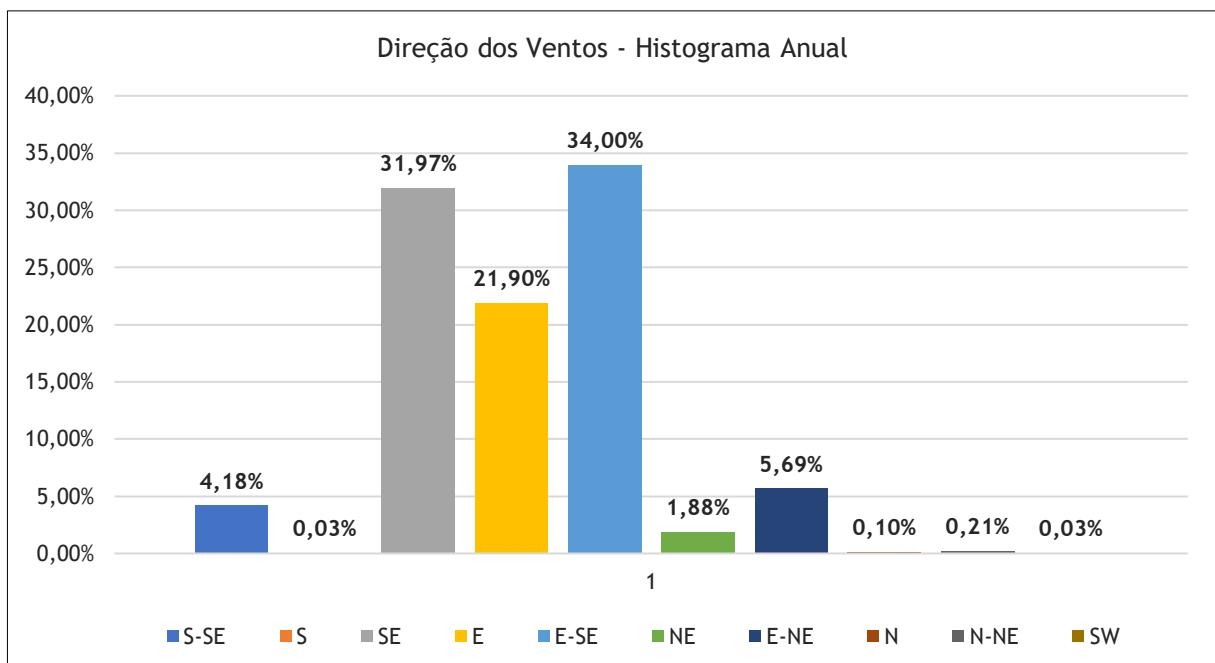


Fonte: O Autor (2018).

A análise do comportamento mensal da direção e intensidade com que os ventos atuam na região costeira é de significativa importância para a compreensão dos fenômenos da dinâmica costeira decorrentes de sua influência, inclusive para os trabalhos de gestão da costa, sobretudo nos períodos de ressacas quando há, muitas vezes, a necessidade da adoção de medidas preventivas.

A partir dos dados mensais dos ventos foi possível estabelecer o histograma anual de comportamento da direção dos ventos atuantes na região costeira olindense (Figura 56).

Figura 56 – Histograma anual de direção dos ventos atuantes no litoral de Olinda (maio/2017 a abril/2018).



Fonte: O Autor (2018).

Os resultados encontrados revelaram que as velocidades dos ventos durante esses doze meses variaram de 0,50 m/s a 12,80 m/s. Foi possível identificar, ainda, que entre os meses de julho e setembro ocorreu uma intensificação no comportamento da velocidade dos ventos atuantes na costa, com registro de velocidades máximas acima de 10,7 m/s, observando-se, ainda, que os ventos de SE ocorreram majoritariamente para esse período.

Porém, nos meses de fevereiro/18 a abril/18, assim como em maio/2017, verificou-se que os ventos se apresentaram mais amenos, com velocidades médias mensais inferiores a 6,0 m/s, e que, para esses meses, predominaram os ventos E-SE, E e SE, com baixa ocorrência de ventos de E-NE e mínimas ocorrências de NE e S-SE.

Os resultados aqui expostos se mostraram compatíveis com medições realizadas por Manso (1995), na Praia de Boa Viagem, entre os meses de setembro de 1994 a dezembro de 1995, quando foi observada uma predominância de ventos E-SE, com cerca de 70%.

A análise abrangendo todo o período monitorado - entre os meses de maio/2017 e abril/2018 – mostrou que, ao longo desse período de doze meses, houve um certo equilíbrio entre os ventos predominantes, onde prevaleceram os ventos de E-SE (34,0%), SE (31,97%) e E (21,90%), cabendo menores ocorrências aos ventos de E-NE (5,69%) e S-SE (4,18%).

Esses resultados encontram respaldo em trabalhos anteriores, tais como as medições realizadas por Manso (1995), na Praia de Boa Viagem, entre os meses de setembro de 1994 a dezembro de 1995, quando foi observada uma predominância de ventos E-SE, cerca de 70% do grupo de amostras registradas, bem como em Lira (1987, apud Lira et al., 2010) quando, ao afirmar que “*o sistema de circulação costeira no litoral de Pernambuco é regulado pela direção e pela intensidade dos ventos, os quais estão relacionados ao movimento latitudinal do Centro de Alta Pressão do Atlântico Sul*”, revela que “*Ventos oriundos de Sudeste, mais intensos e mais frequentes, impõem correntes costeiras no sentido de Sul para Norte*”, e que, invertendo a tendência das correntes, que passam a seguir na direção Sul, ocorrem os “*Ventos do quadrante de Nordeste, mais fracos e menos frequentes*”.

Vê-se, portanto, que a caracterização do regime de ventos predominantes é essencial para uma melhor compreensão a respeito dos processos evolutivos do litoral, favorecendo, inclusive, a identificação do tipo de ondas predominantes na costa.

6.1.2 Altura significativa de onda

A altura significativa de onda (H_s) corresponde à média das alturas da terça parte das ondas mais altas. Identificar dos valores máximos de ondas tem se constituído em uma ferramenta fundamental para a definição e elaboração de projetos de estruturas de proteção costeira, bem como de suas avaliações.

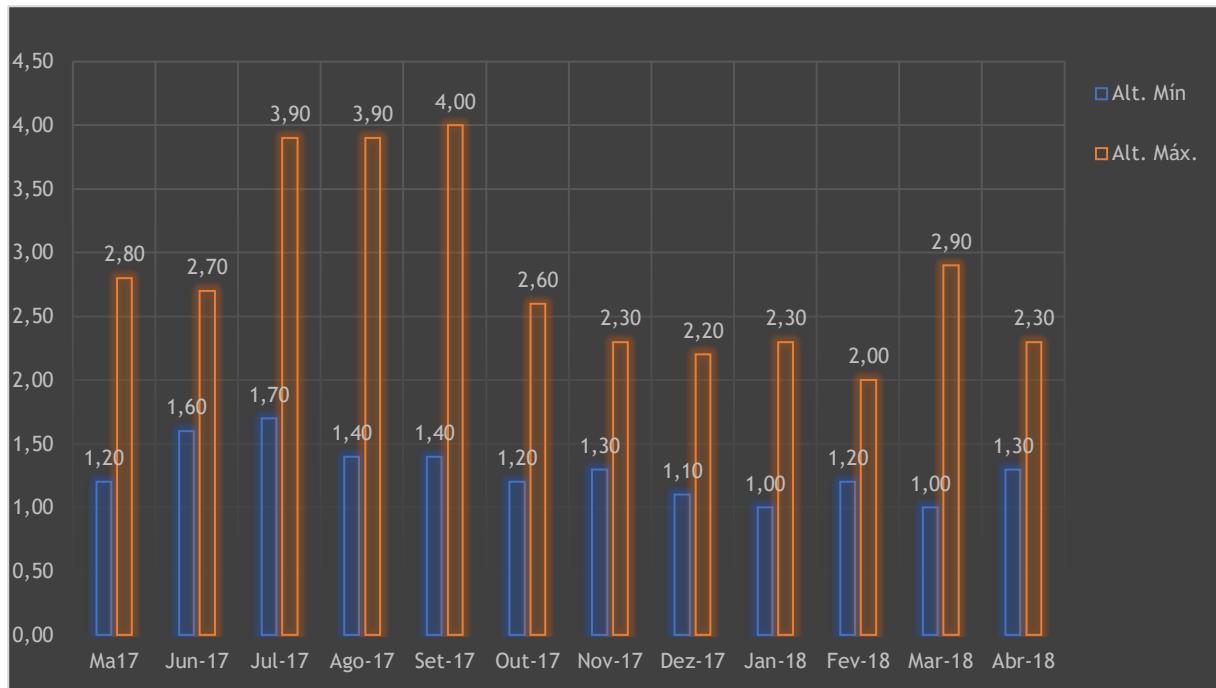
O monitoramento e o registro dos dados de ondas apresentados pelo CPTEC/INPE para o município de Olinda, entre os meses de maio/2017 e abril/2018 (Quadro 03), subsidiaram a elaboração dos histogramas de comportamento das alturas de onda (Figuras 57 e 58), bem como do histograma de direção das ondas (Figura 59 a 61) durante esse ciclo de doze meses.

Quadro 03 – Dados de ondas para o município de Olinda, fornecidos pelo CPTEC/INPE.

MÊS	ALTURA DE ONDAS (m)		MÉDIA MENSAL
	Mín. Observada	Máx. Observada	
Ma17	1,20	2,80	2,09
Jun-17	1,60	2,70	2,21
Jul-17	1,70	3,90	2,76
Ago-17	1,40	3,90	2,07
Set-17	1,40	4,00	2,62
Out-17	1,20	2,60	1,91
Nov-17	1,30	2,30	1,66
Dez-17	1,10	2,20	1,62
Jan-18	1,00	2,30	1,65
Fev-18	1,20	2,00	1,74
Mar-18	1,00	2,90	1,60
Abr-18	1,30	2,30	1,77

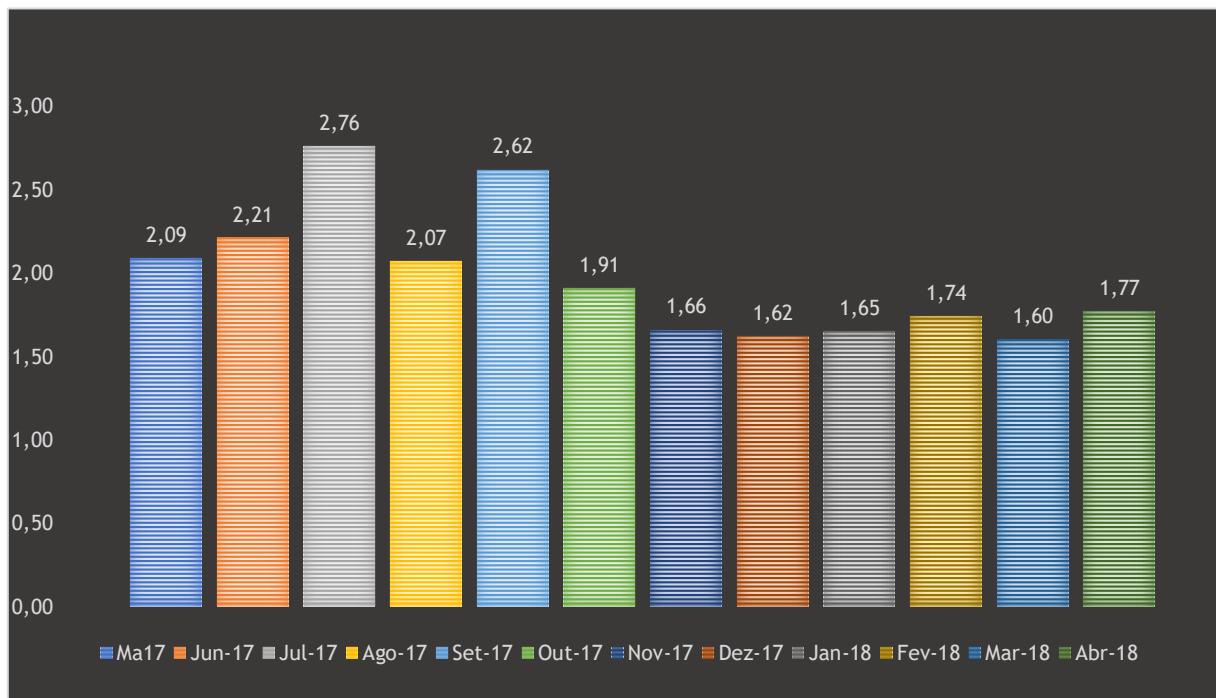
Fonte: O Autor (2018)

Figura 57 – Histograma de altura das ondas (mínimas e máximas observadas) no período de maio/2017 a abril/2018.



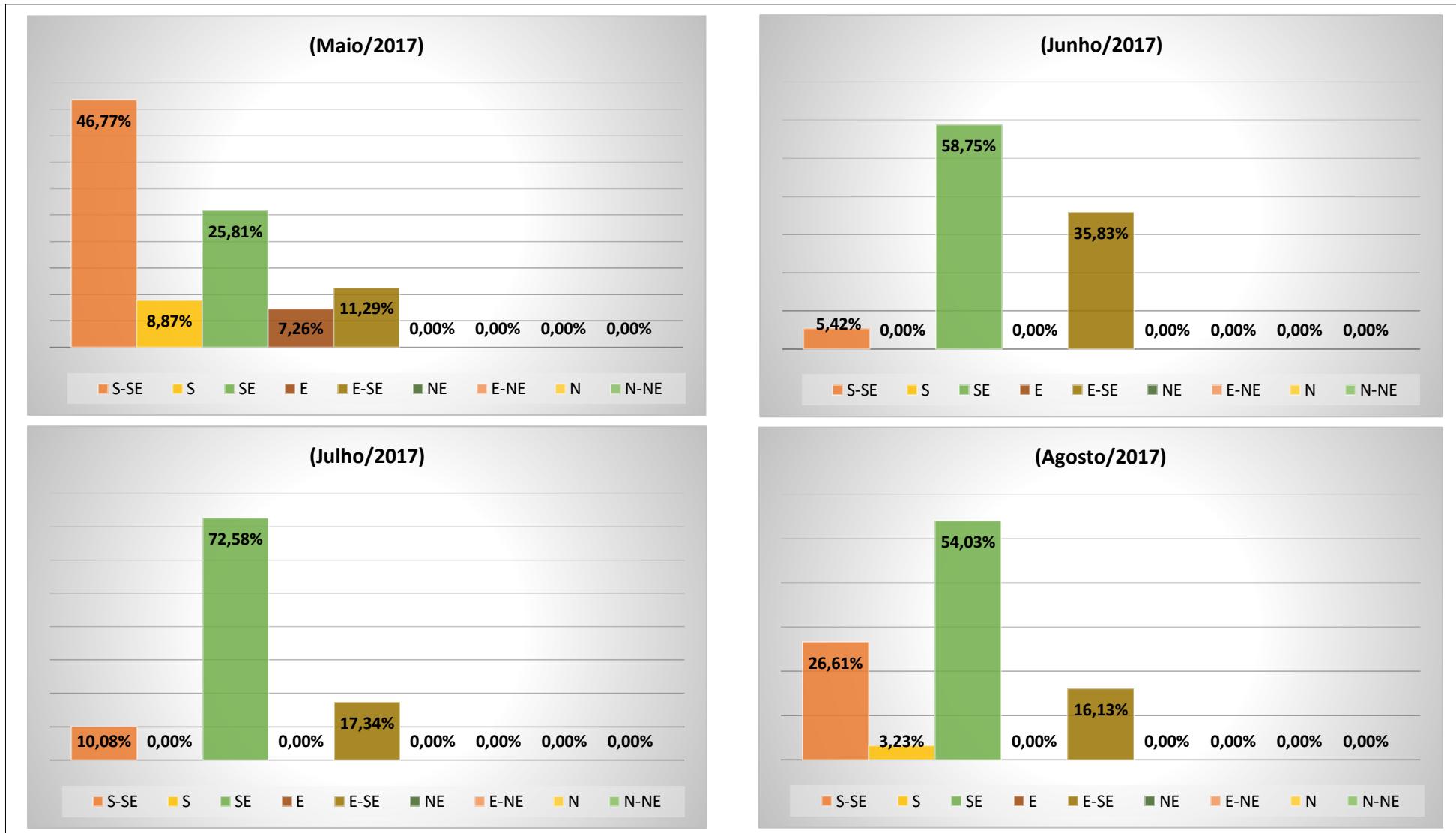
Fonte: O Autor (2018)

Figura 58 – Histograma de altura das ondas (médias mensais observadas) no período de maio/2017 a abril/2018.



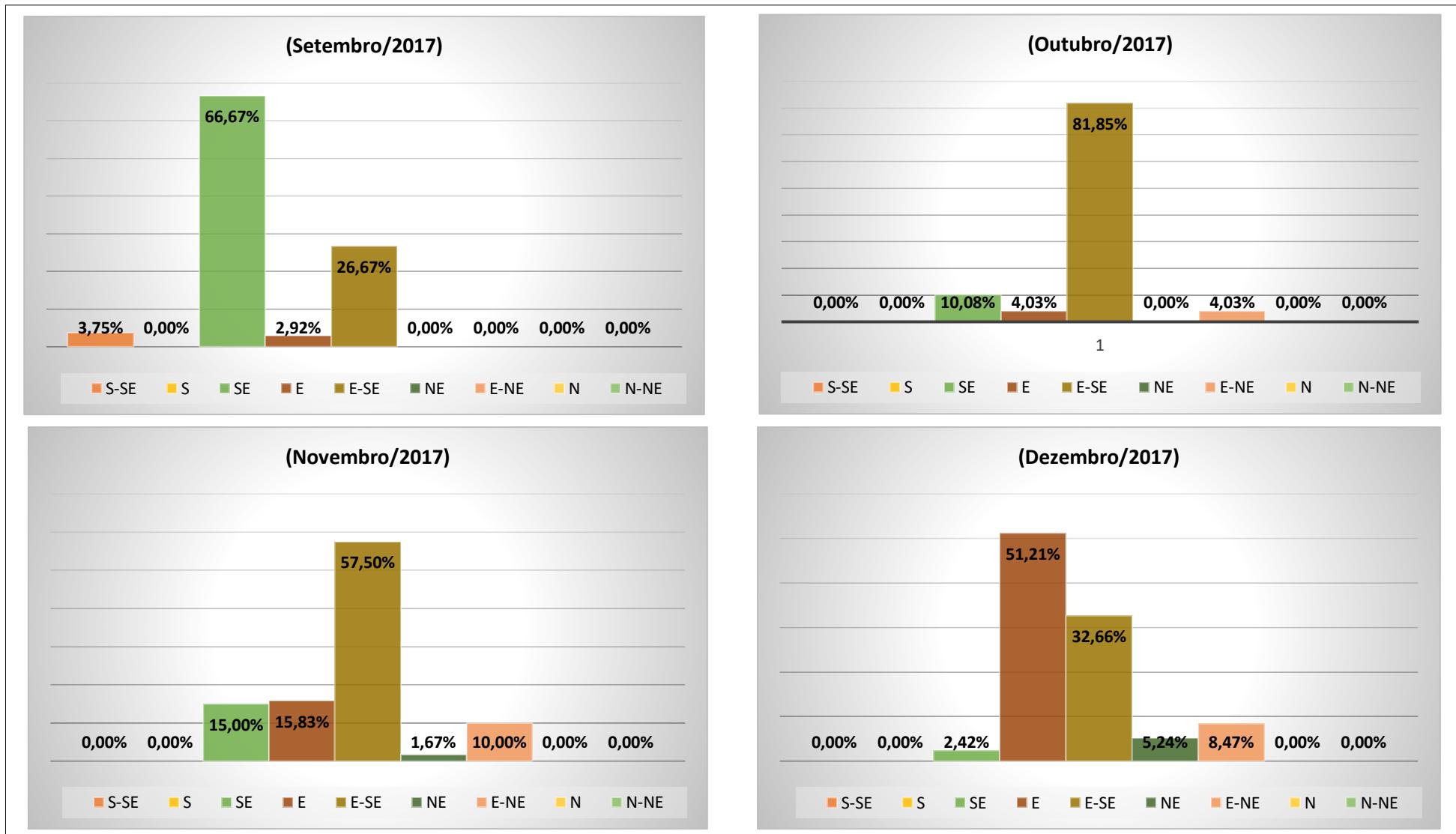
Fonte: O Autor (2018)

Figura 59 – Histograma de direção das ondas incidentes no litoral de Olinda (maio/2017 a agosto/2017).



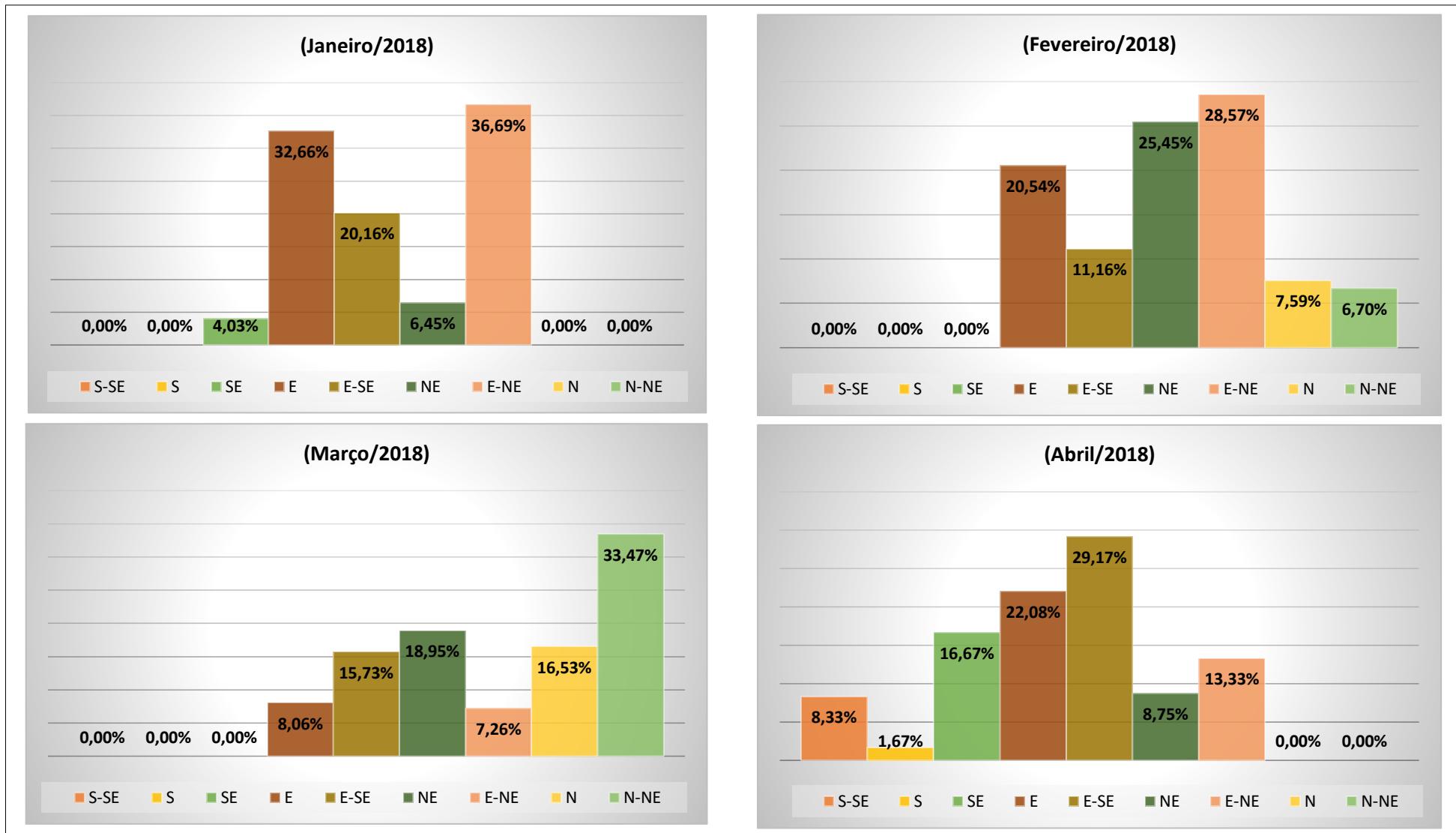
Fonte: O Autor (2018).

Figura 60 – Histograma de direção das ondas incidentes no litoral de Olinda (setembro/2017 a dezembro/2017).



Fonte: O Autor (2018).

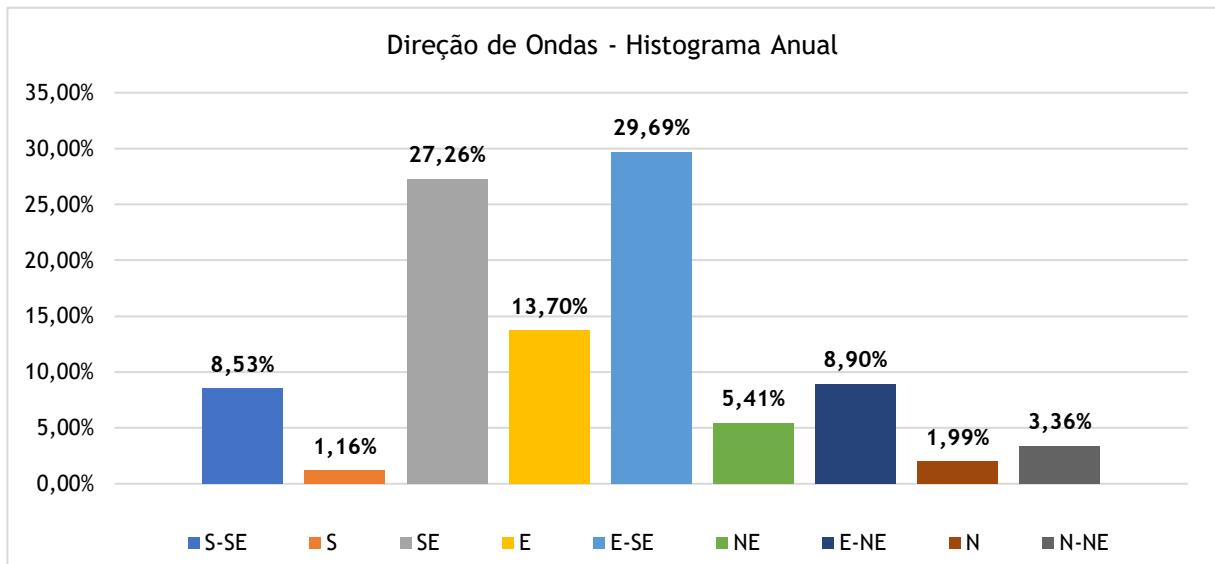
Figura 61 – Histograma de direção das ondas incidentes no litoral de Olinda (janeiro/2018 a abril/2018).



Fonte: O Autor (2018).

O registro dos dados monitorados permitiu, também, a elaboração de um histograma anual que representasse de forma sintetizada o comportamento das ondas incidentes na região costeira olindense. (Figura 62).

Figura 62 – Histograma anual de direção de ondas incidentes no litoral de Olinda entre maio/2017 e abril/2018.



Fonte: O Autor (2018).

Os resultados obtidos a partir dos dados monitorados, e dos histogramas, revelaram que as alturas significativas de ondas, durante todo o período monitorado, apresentaram uma variação de 1,0 a 4,0 metros, com as maiores alturas sendo registradas entre os meses de julho a setembro, período em que também foram observadas as maiores velocidades dos ventos, tal como descrito no subitem 5.1.1.

A análise dos dados de ondas obtidos para o período que compreendeu os meses de maio/2017 e abril/2018 revelou que, durante o período monitorado, predominaram as ondas procedentes de E-SE (29,69%), seguidas pelas ondas provenientes de SE (27,26%) e das ondas procedentes de E (13,70%).

Esses resultados se mostraram compatíveis com os dados apresentados por Gois (2011), quando apresentou os dados monitorados a partir do Sistema de Previsão de Ondas – SPO da UFRJ, a partir do qual concluiu que, durante o período monitorado, predominaram as ondas procedentes de E-SE, com 40% de ocorrência, seguidas pelas ondas provenientes de SE, com 27% de registro, e de 16% das ondas procedentes de E.

6.2 MORFODINÂMICA DA PRAIA DE BAIRRO NOVO

A elaboração de perfis morfodinâmicos, por meio do levantamento topográfico planialtimétrico, permite identificar o comportamento da morfologia praial em resposta à dinâmica de atuação dos ventos, ondas e correntes.

A implantação destes perfis ao longo da praia de Bairro Novo teve por finalidade avaliar a relação coexistente entre o ambiente praial, as estruturas de proteção costeira existentes e a dinâmica local da área na qual se desenvolve este estudo.

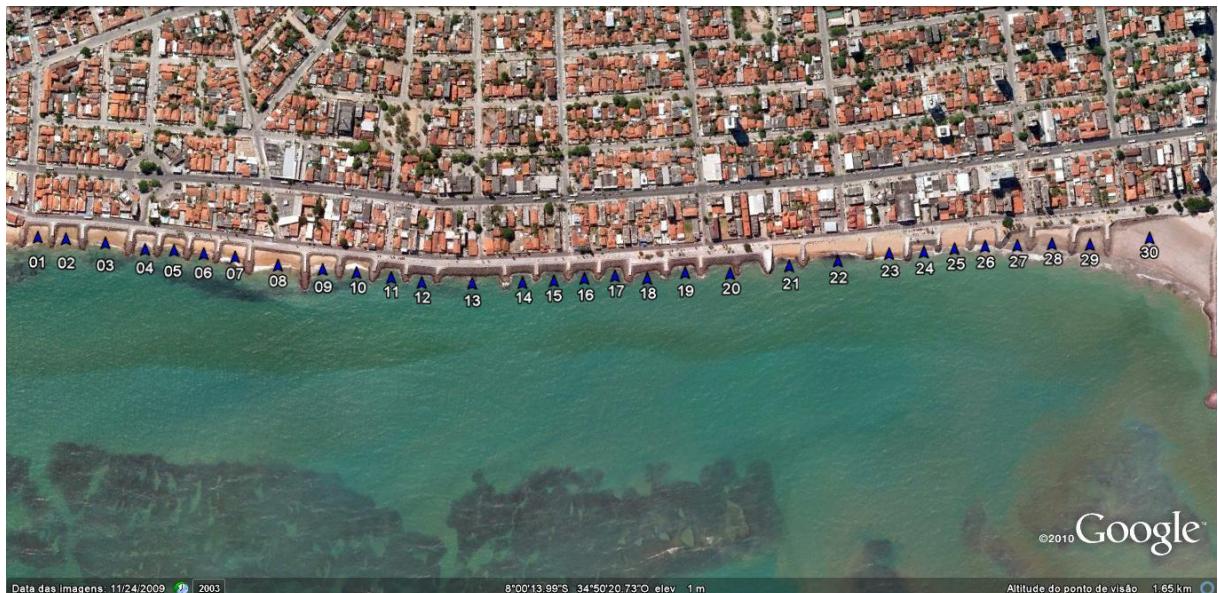
6.2.1 Perfilis morfodinâmicos da praia de Bairro Novo

Considerando-se o fato de que a praia de Bairro Novo é segmentada artificialmente, em razão da existência de 30 compartimentos (células) sequenciados, bem como pelo fato de que os espiões não apresentam um padrão de afastamento entre si e, consequentemente, as células possuem larguras diferentes, os perfis foram implantados de Sul para o Norte, sempre posicionados no eixo de cada célula.

Esta segmentação da praia tornou possível, no entanto, uma avaliação particularizada para cada uma dessas “mini praias” formadas pelos 30 compartimentos ao longo de aproximadamente 2,0 km de extensão.

A realização periódica de levantamentos planialtimétricos nos mesmos pontos do ambiente praial possibilita uma maior confiabilidade nos dados obtidos e, consequentemente, melhores resultados na sua interpretação, principalmente em razão da suscetibilidade do ambiente praial às constantes mudanças em seu comportamento morfológico. Por esta razão, neste trabalho, as seções transversais implantadas para os levantamentos morfodinâmicos seguiram o mesmo critério de localização adotado por Gois (2011) nos perfis levantados em set/2009, mai/2010 e set/2010 (Figura 63).

Figura 63 – Localização dos pontos de levantamento dos perfis morfodinâmicos da praia de Bairro Novo nos anos de 2009, 2010 e 2018.



Fonte: Gois (2011).

Ao analisar os perfis morfodinâmicos da praia de Bairro Novo, Gois (op. cit.) revelou que “*a praia de Bairro Novo apresenta três tipos de compartimentos distintos e individualizados, divididos em setores, de acordo com a ocorrência e a quantidade de material sedimentar depositada no perfil praial, ou seja, na face da praia, principalmente na zona de estirâncio*”, condição esta que permanece até à presente data (Figura 64), na qual se vê a seguinte compartimentação, composta de 30 células, onde:

- O “Setor A”, que comprehende as células 01 a 10, está localizado na extremidade sul da orla de Bairro Novo, se caracteriza por apresentar um estirâncio curto, encaixado entre as estruturas existentes e, predominantemente, composto por areia fina, conforme perfis transversais 01 a 10 (Figuras 65 a 69).
- O “Setor B”, localizado na porção média da orla, comprehende as células 11 a 20 e tem como principal característica a permanente ausência de estirâncio. Nessas células, o enrocamento aderente ocupa praticamente todo o estirâncio, não sendo possível visualizar sedimentos à frente da estrutura, mesmo nas mínimas marés, condição esta que pode ser vista pelos perfis transversais 11 a 20 (Figuras 70 a 74). Essa configuração, de ausência quase total de sedimentos à frente da estrutura, impossibilitou, inclusive, a coleta de sedimentos em alguns destes compartimentos.
- O “Setor C” localiza-se na extremidade norte da praia de Bairro Novo e é constituído pelas células 21 a 30. Este setor se caracteriza por uma forte tendência à progradação, no qual pode ser observada a presença de pequenos compartimentos de praia com estirâncios bem definidos, como revelam os perfis transversais 21 a 30 (Figura 75 a 79). De sul para o norte, os primeiros compartimentos apresentaram perfis de praia inclinados, constituídos com sedimentos de

granulação que variou de média a grossa. No entanto, a extremidade norte deste setor se mostrou constituída de compartimentos cujos perfis de praia são planos, com estirâncio superior coberto por sedimentos com granulação média, passando para uma areia fina variando a muito fina.

Figura 64 – Setores da praia de Bairro Novo abrigando os diferentes tipos de compartimentos.

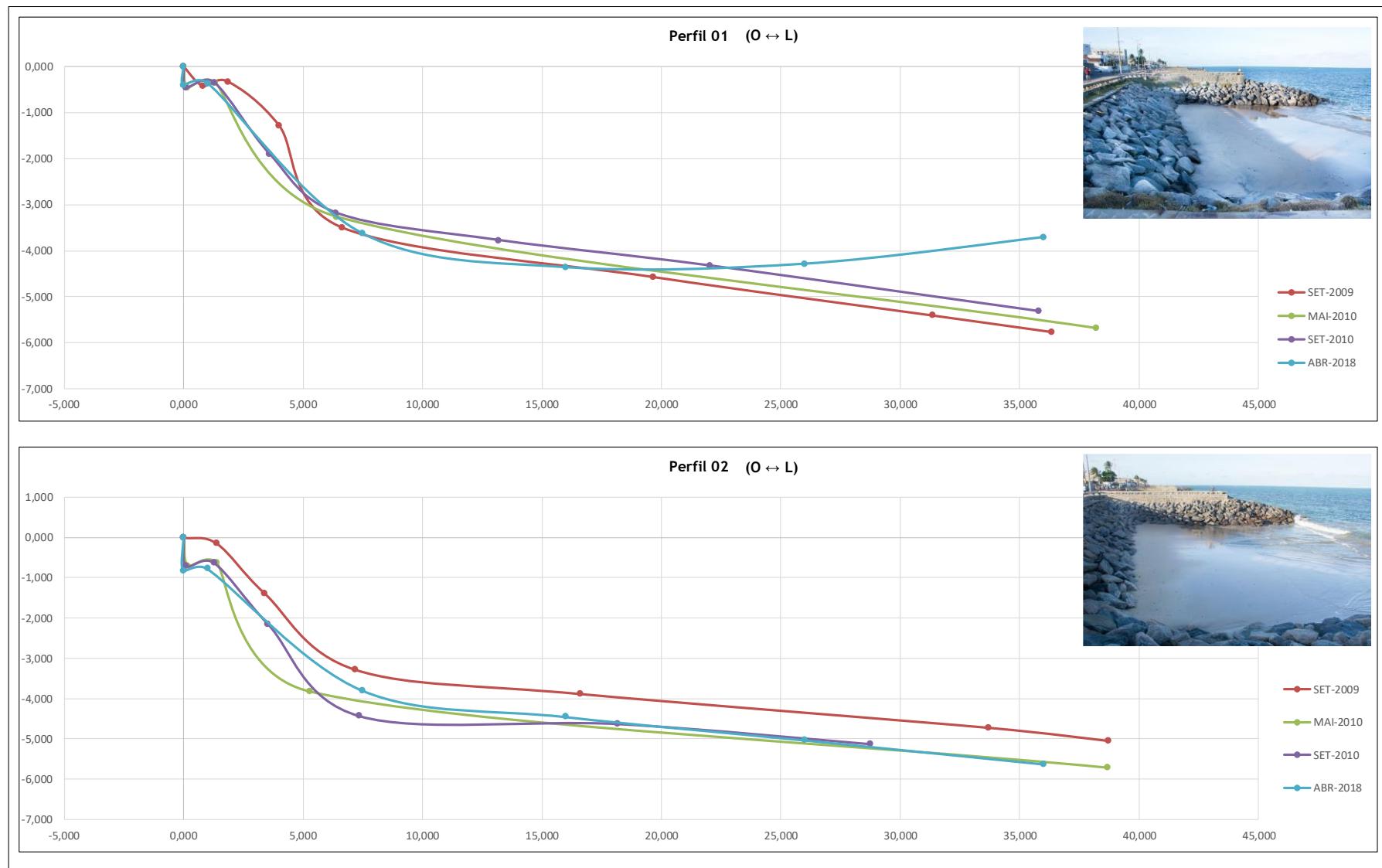


Fonte: Gois (2011).

Diante dessa variabilidade no comportamento morfológico, bem como pela grande quantidade de compartimentos existentes na praia de Bairro Novo, além da implantação das seções transversais que geraram em abril/2018 os perfis de praia apresentados nas figuras 65 a 79, conjuntamente com os perfis obtidos em setembro/2009, maio/2010 e setembro/2010, foi implantada uma seção longitudinal, através da qual se obteve um perfil representando simultaneamente o comportamento morfodinâmico dos três setores identificado ao longo da orla de Bairro Novo.

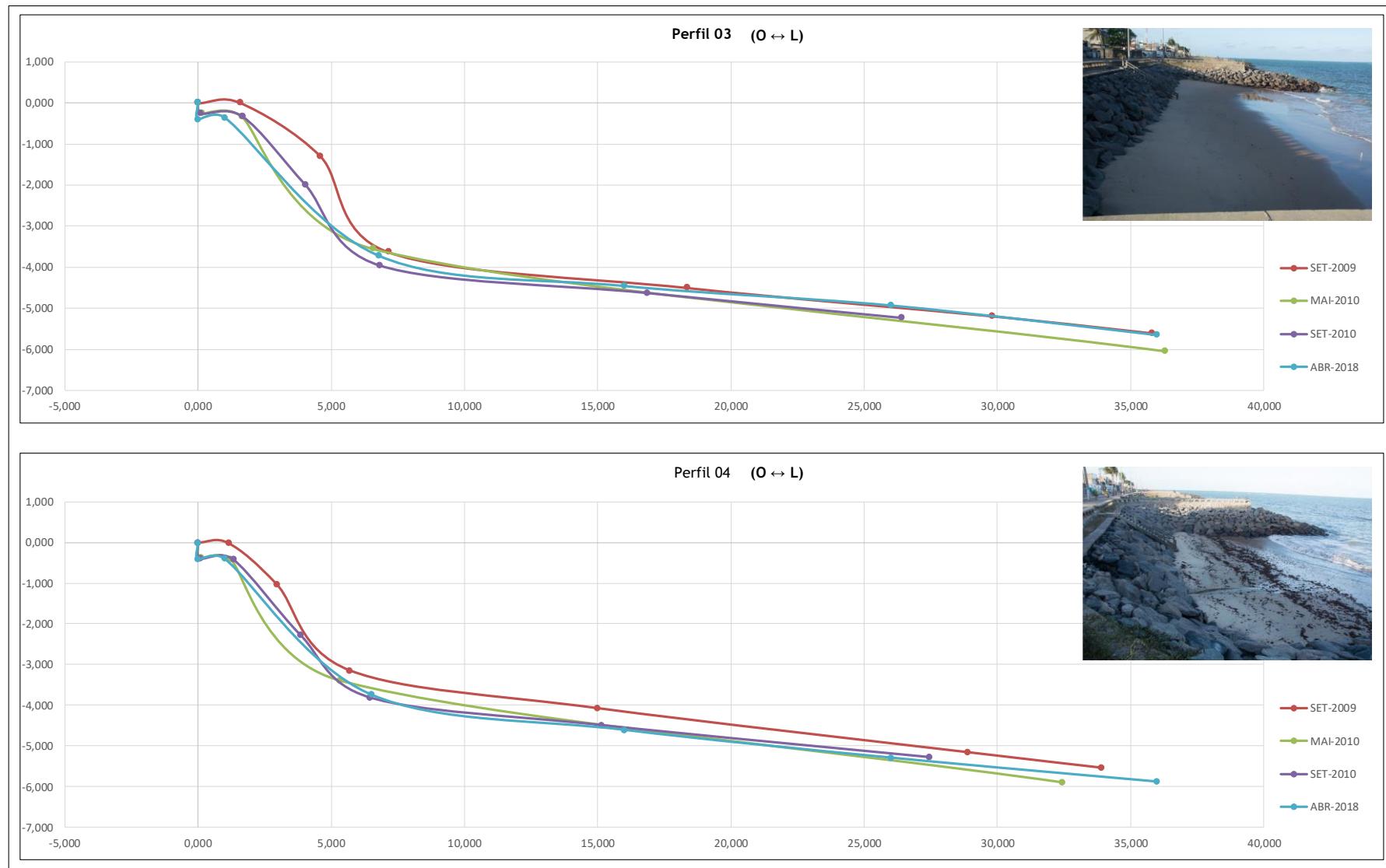
Esta seção, que gerou o perfil longitudinal, foi implantada a partir de pontos situados na porção média de cada célula, com cotas definidas a partir do RN (Referência de Nível) do IBGE, atingindo uma extensão de 1.725,12 metros, e cotas altimétricas que variaram de -3,110 a 3,864 metros (Figura 80).

Figura 65 – Evolução dos perfis morfodinâmicos 01 e 02, Setor A da praia de Bairro Novo, Olinda-PE.



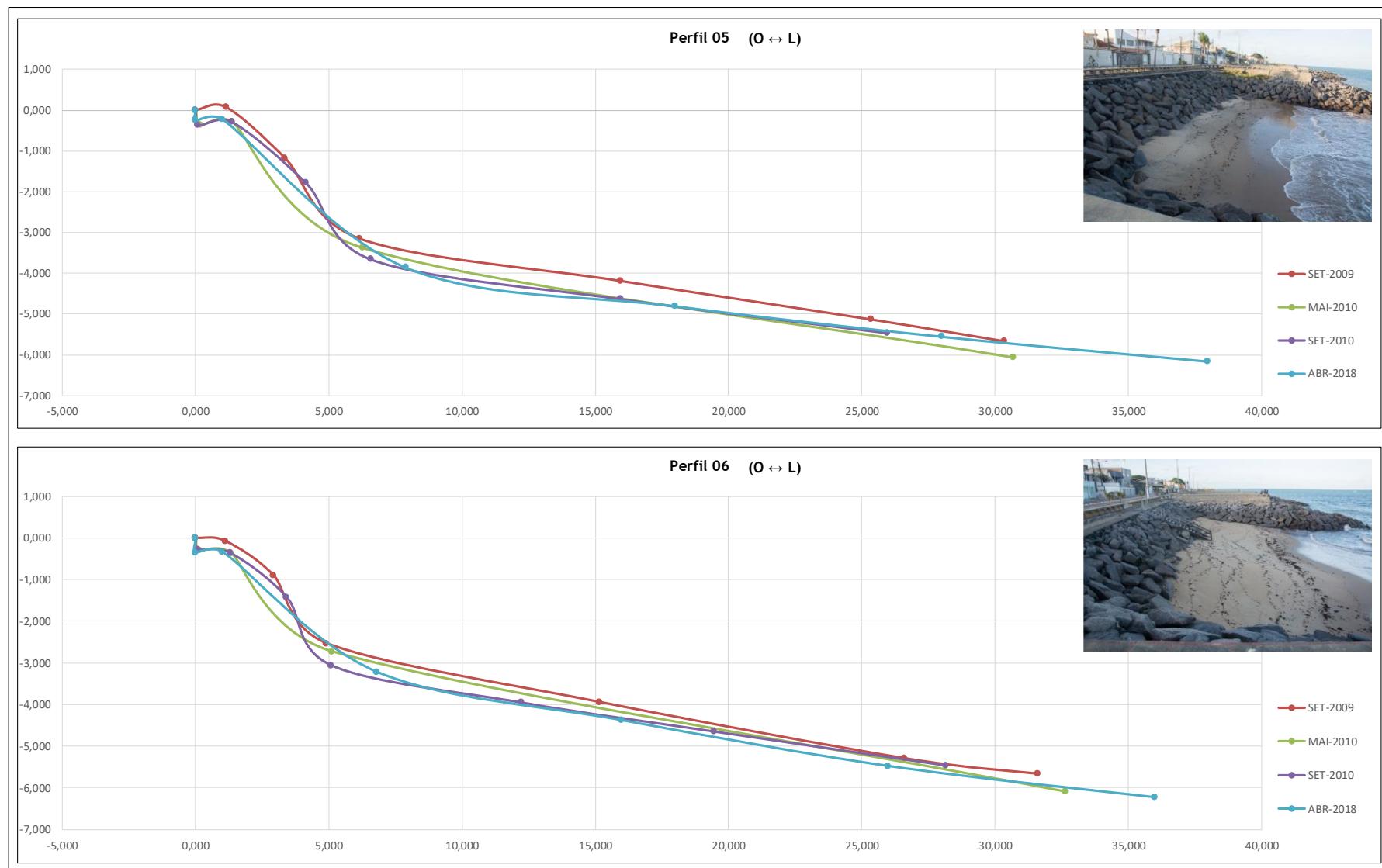
Fonte: O Autor (2018).

Figura 66 – Evolução dos perfis morfodinâmicos 03 e 04, Setor A da praia de Bairro Novo, Olinda-PE.



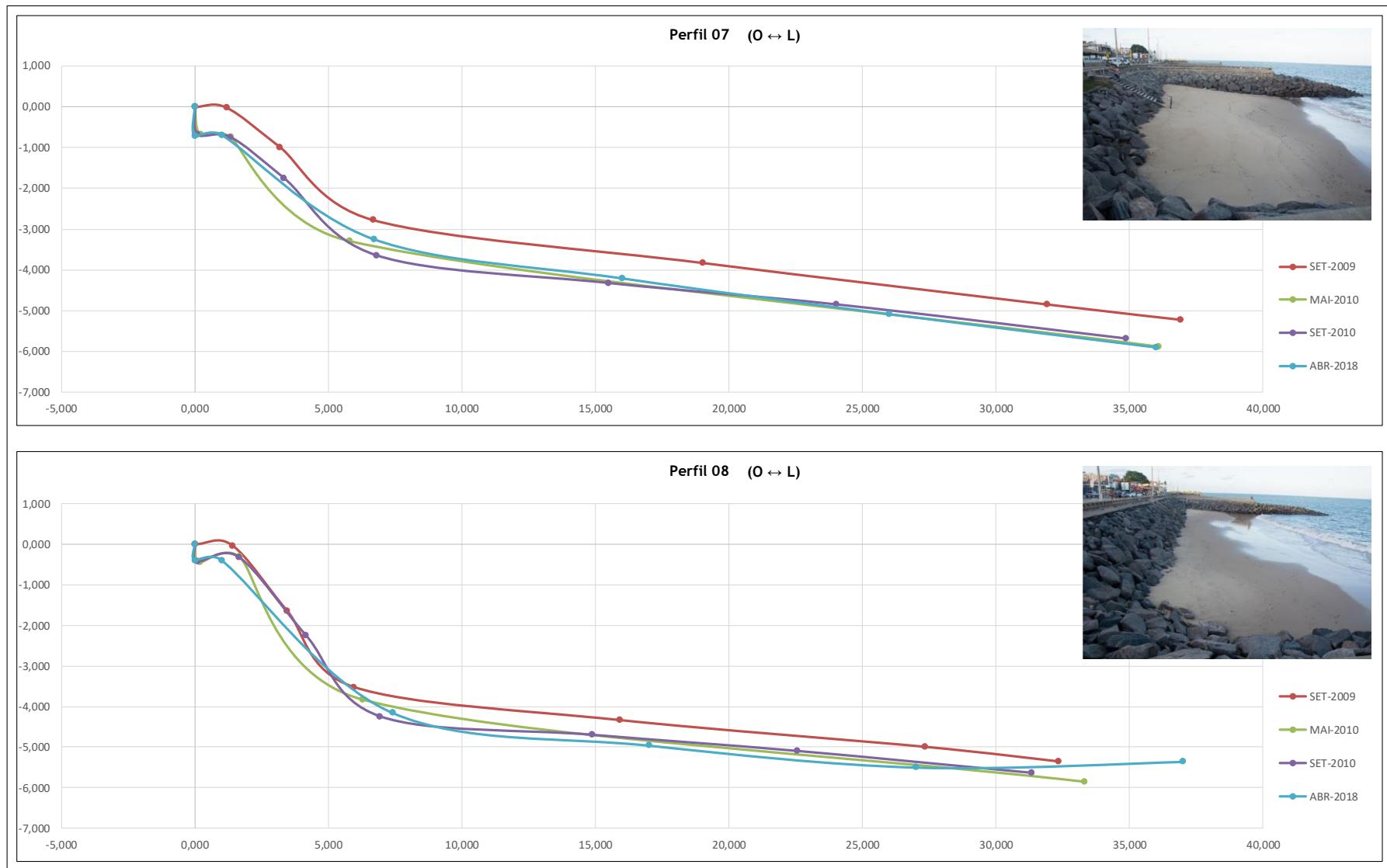
Fonte: O Autor (2018).

Figura 67 – Evolução dos perfis morfodinâmicos 05 e 06, Setor A da praia de Bairro Novo, Olinda-PE.



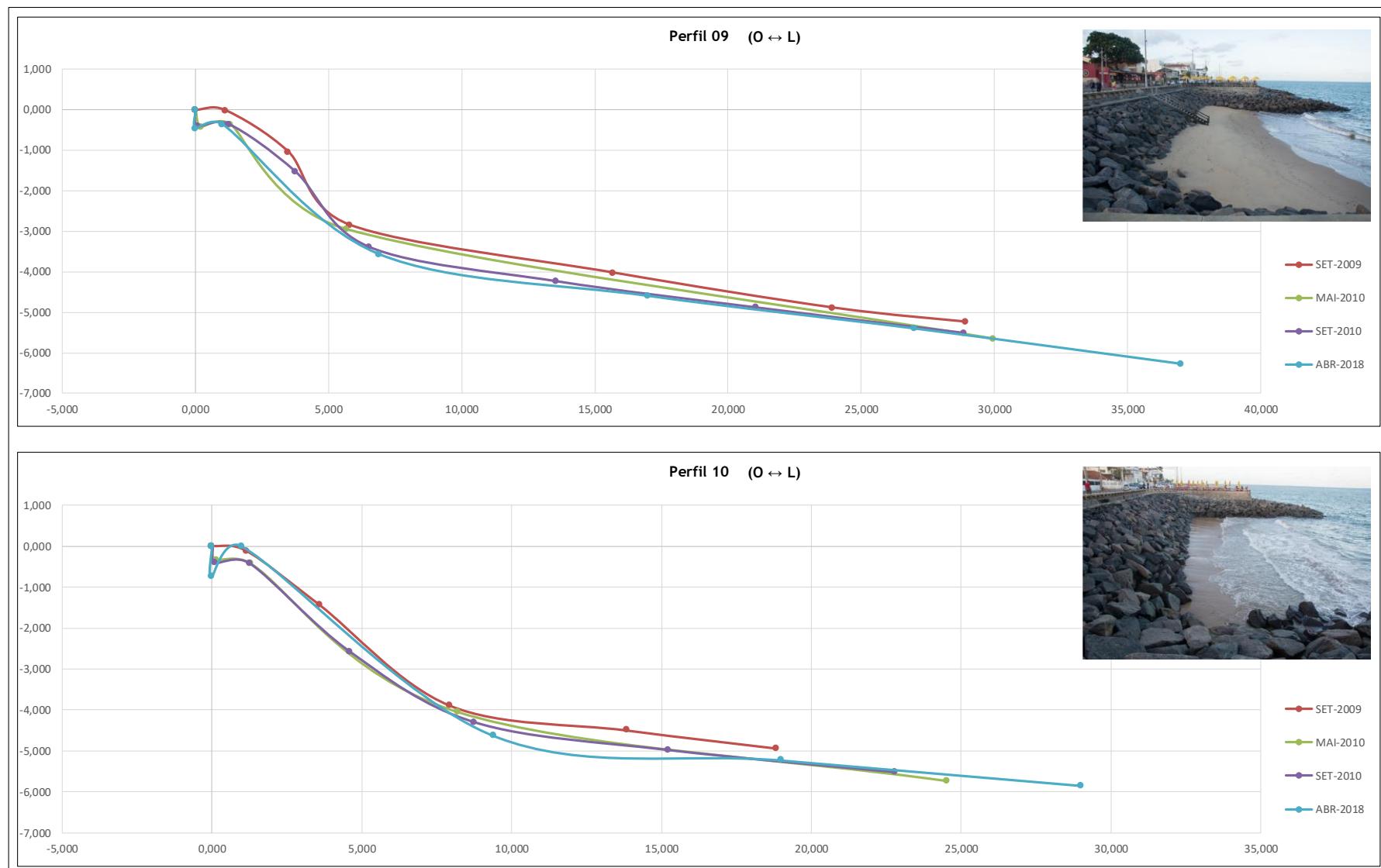
Fonte: O Autor (2018).

Figura 68 – Evolução dos perfis morfodinâmicos 07 e 08, Setor A da praia de Bairro Novo, Olinda-PE.



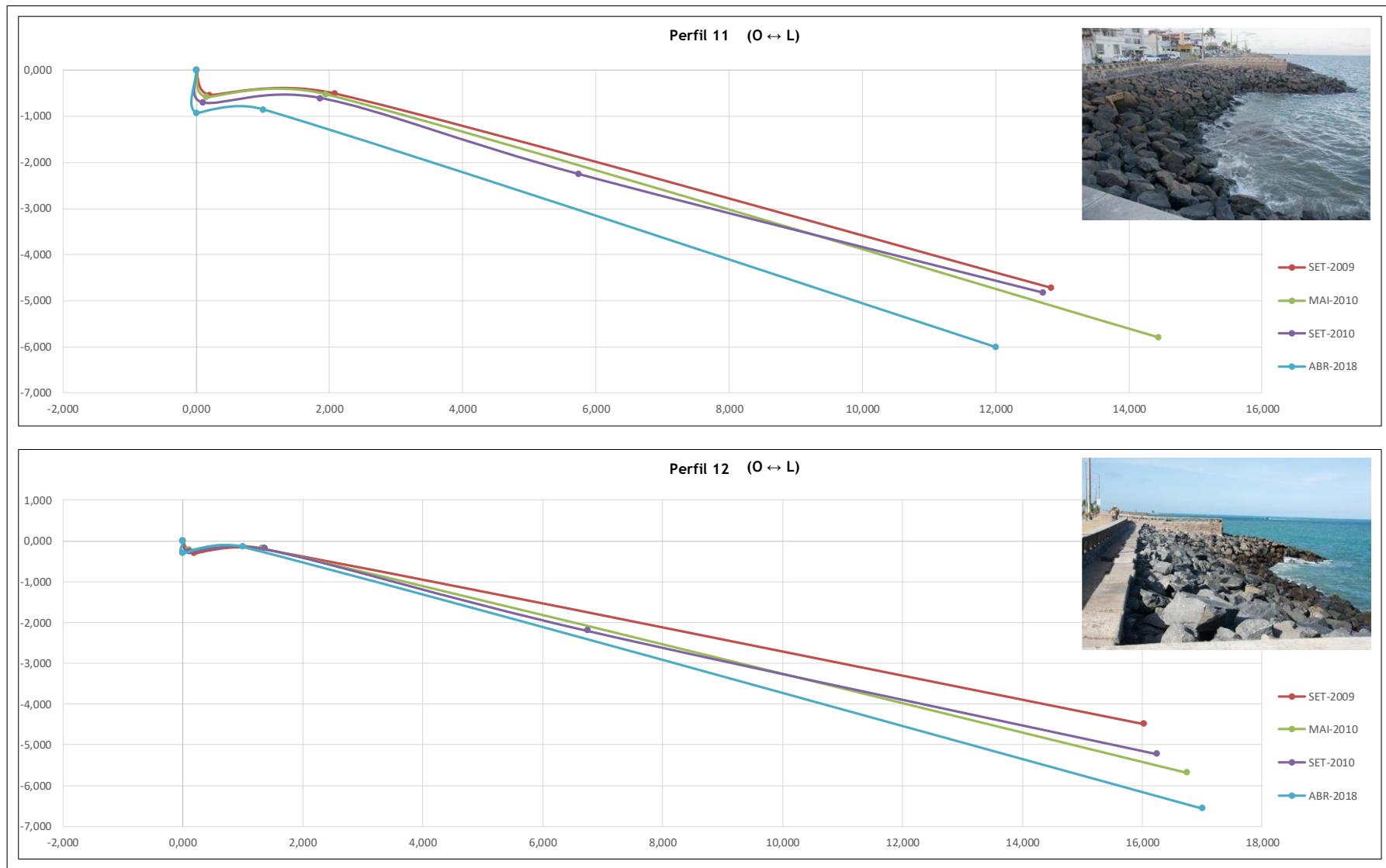
Fonte: O Autor (2018).

Figura 69 – Evolução dos perfis morfodinâmicos 09 e 10, Setor A da praia de Bairro Novo, Olinda-PE.



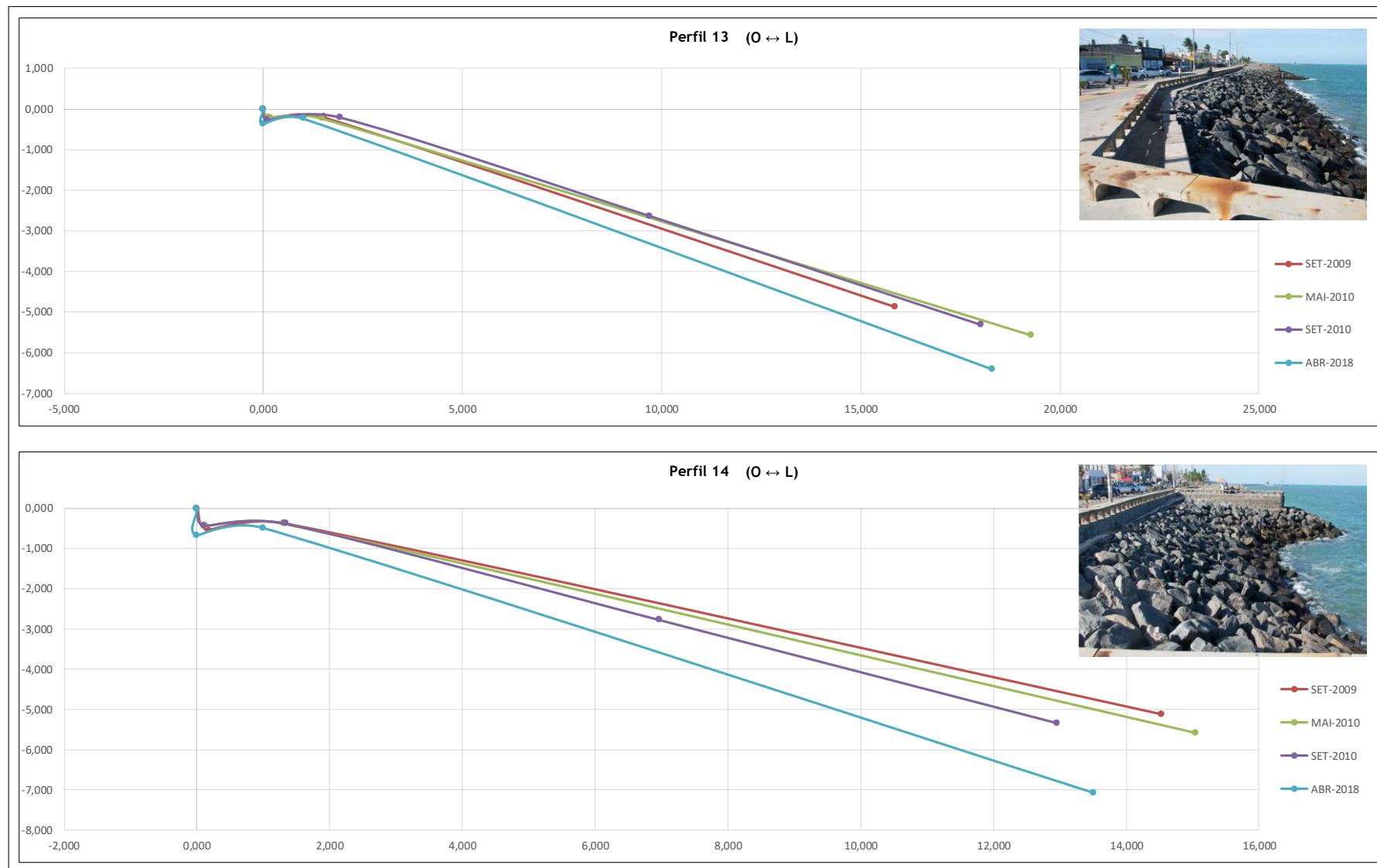
Fonte: O Autor (2018).

Figura 70 – Evolução dos perfis morfodinâmicos 11 e 12, Setor B da praia de Bairro Novo, Olinda-PE.



Fonte: O Autor (2018).

Figura 71 – Evolução dos perfis morfodinâmicos 13 e 14, Setor B da praia de Bairro Novo, Olinda-PE.



Fonte: O Autor (2018).

Figura 72 – Evolução dos perfis morfodinâmicos 15 e 16, Setor B da praia de Bairro Novo, Olinda-PE.

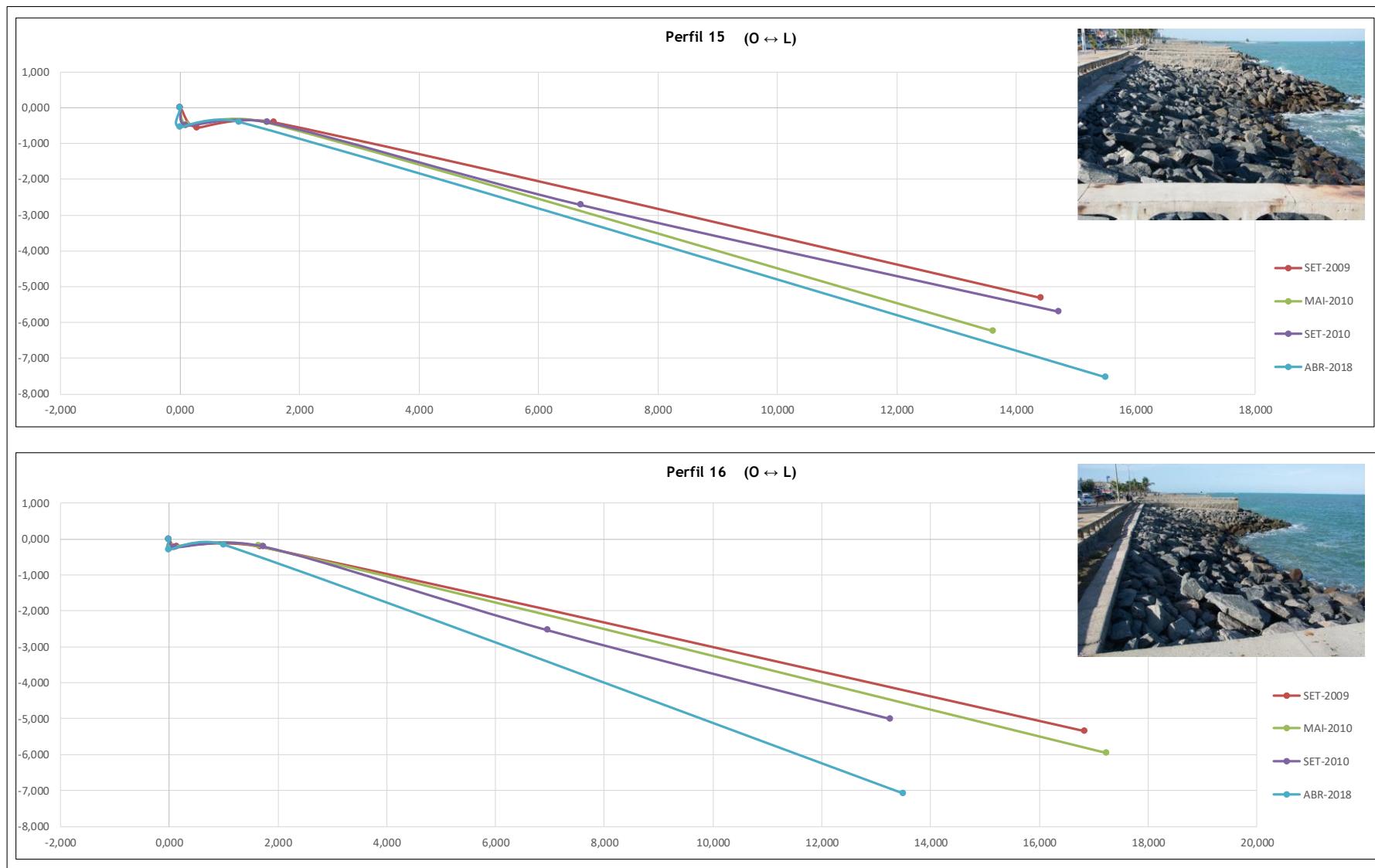
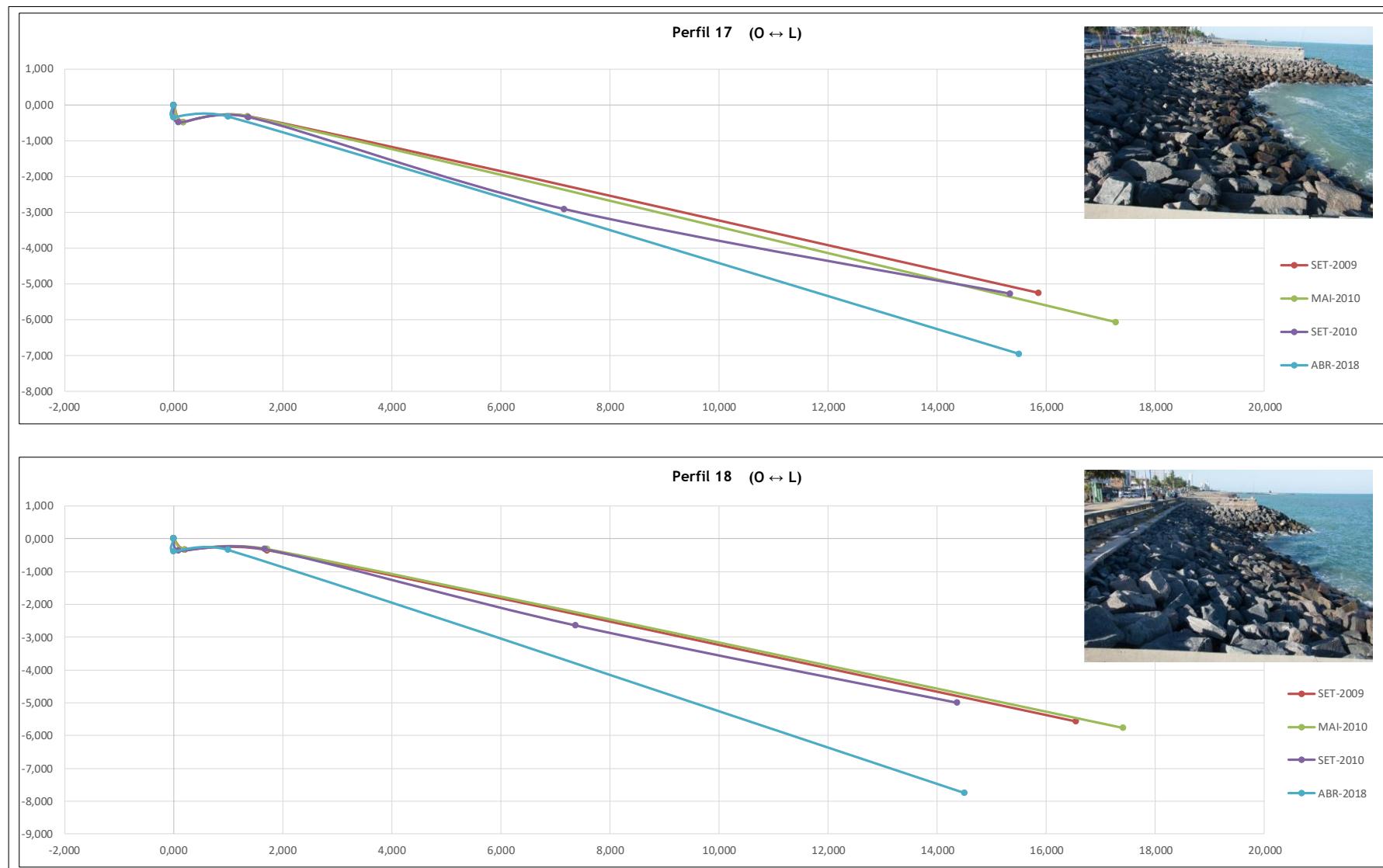
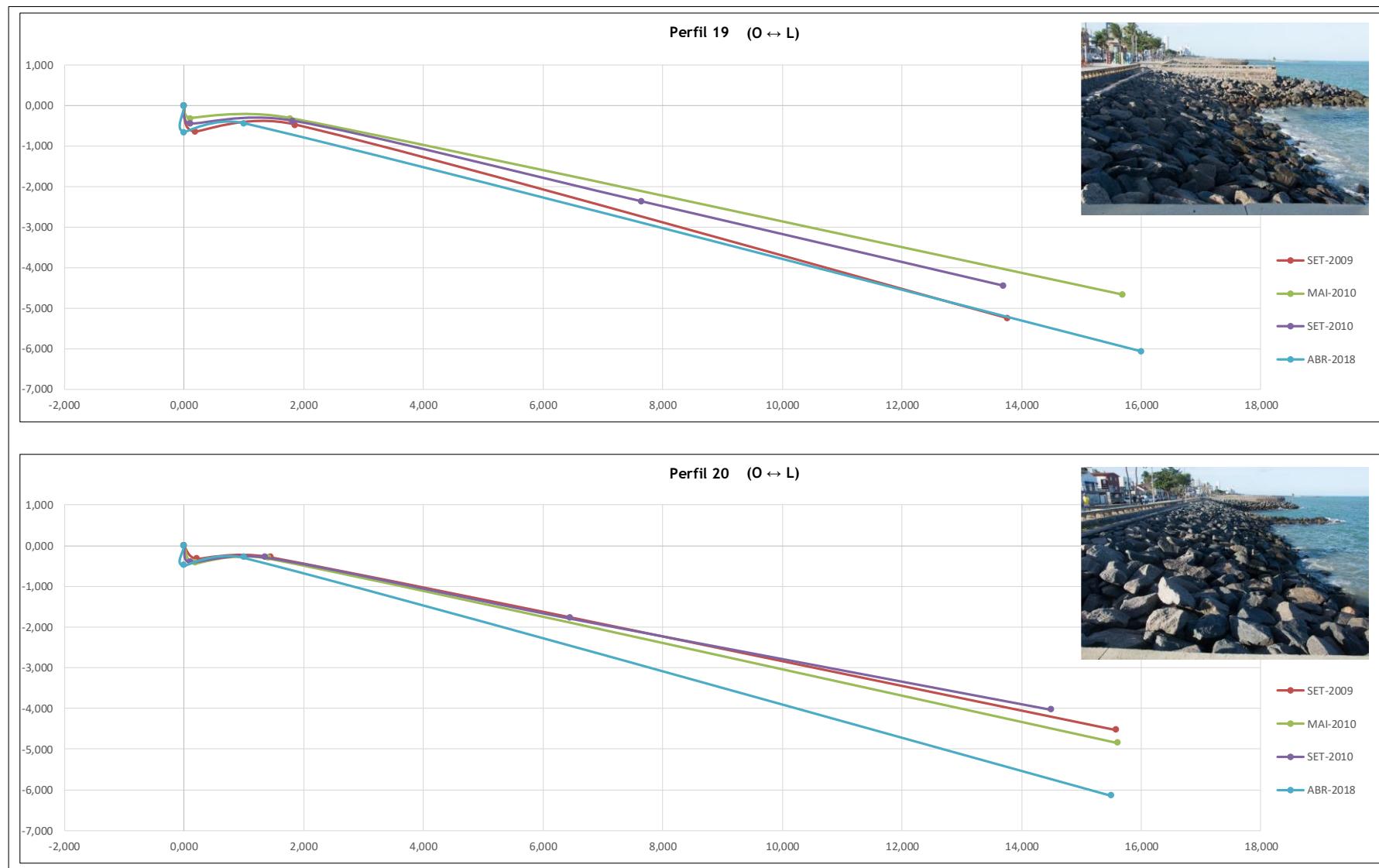


Figura 73 – Evolução dos perfis morfodinâmicos 17 e 18, Setor B da praia de Bairro Novo, Olinda-PE.



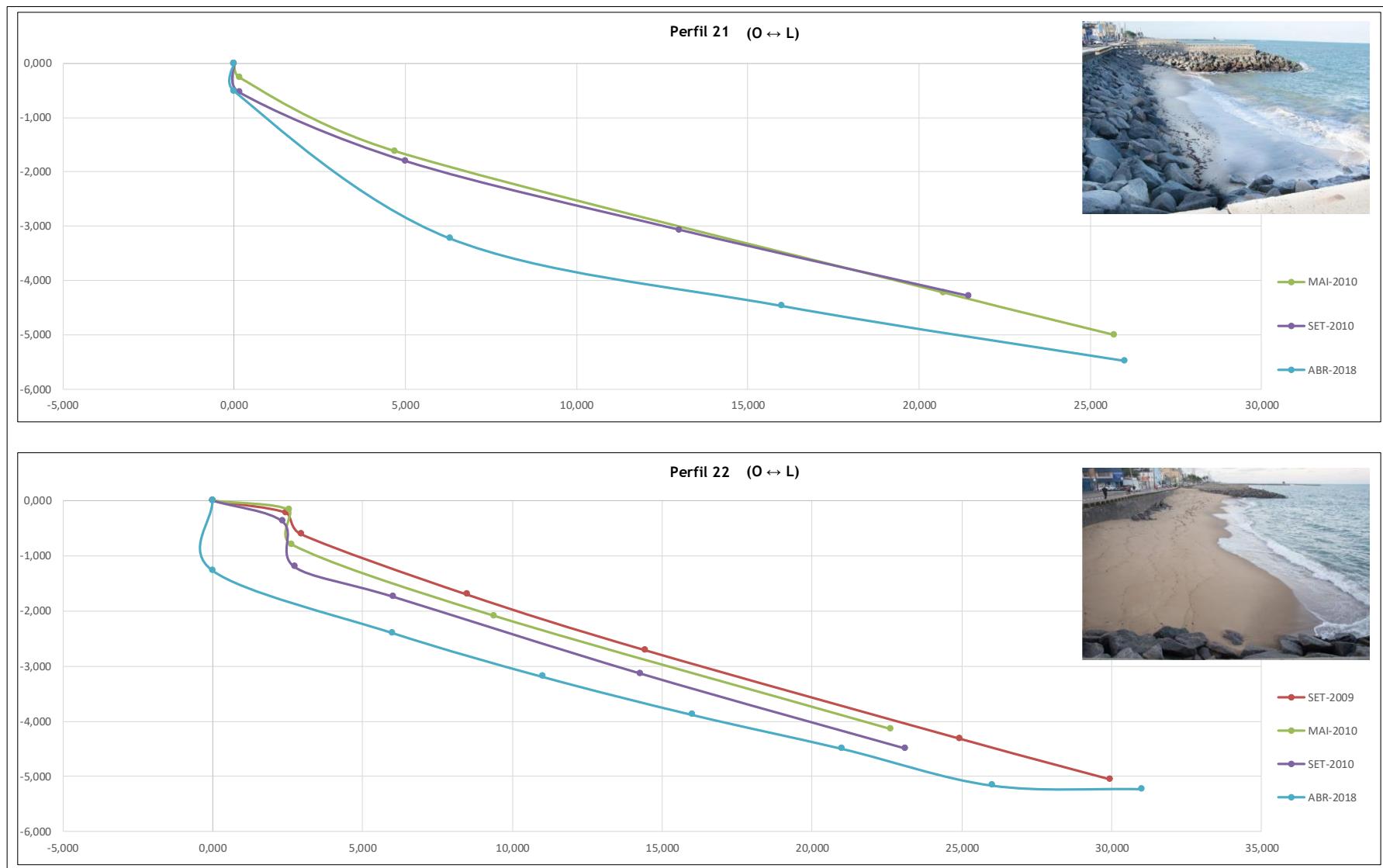
Fonte: O Autor (2018).

Figura 74 – Evolução dos perfis morfodinâmicos 19 e 20, Setor B da praia de Bairro Novo, Olinda-PE.



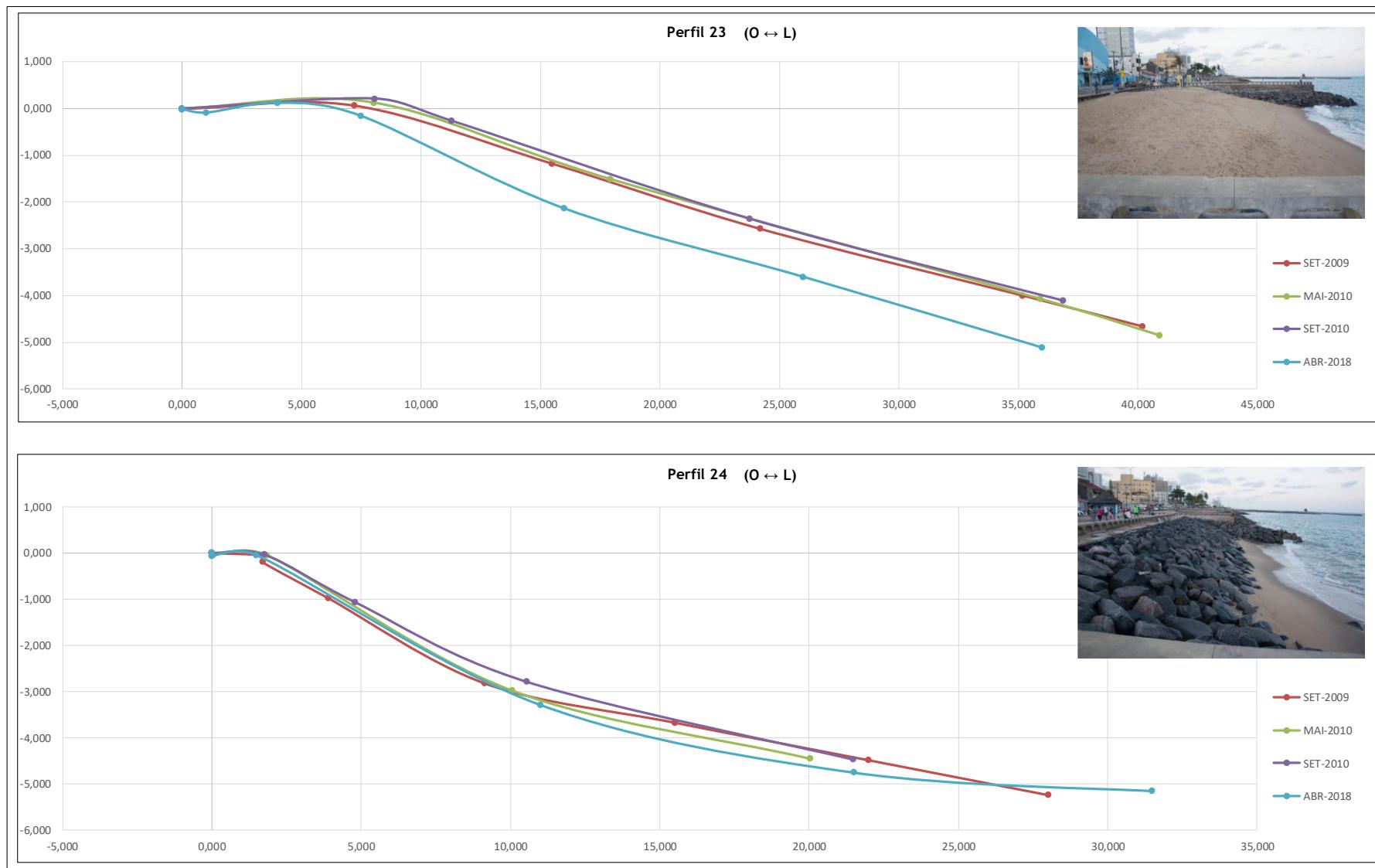
Fonte: O Autor (2018).

Figura 75 – Evolução dos perfis morfodinâmicos 21 e 22, Setor C da praia de Bairro Novo, Olinda-PE.



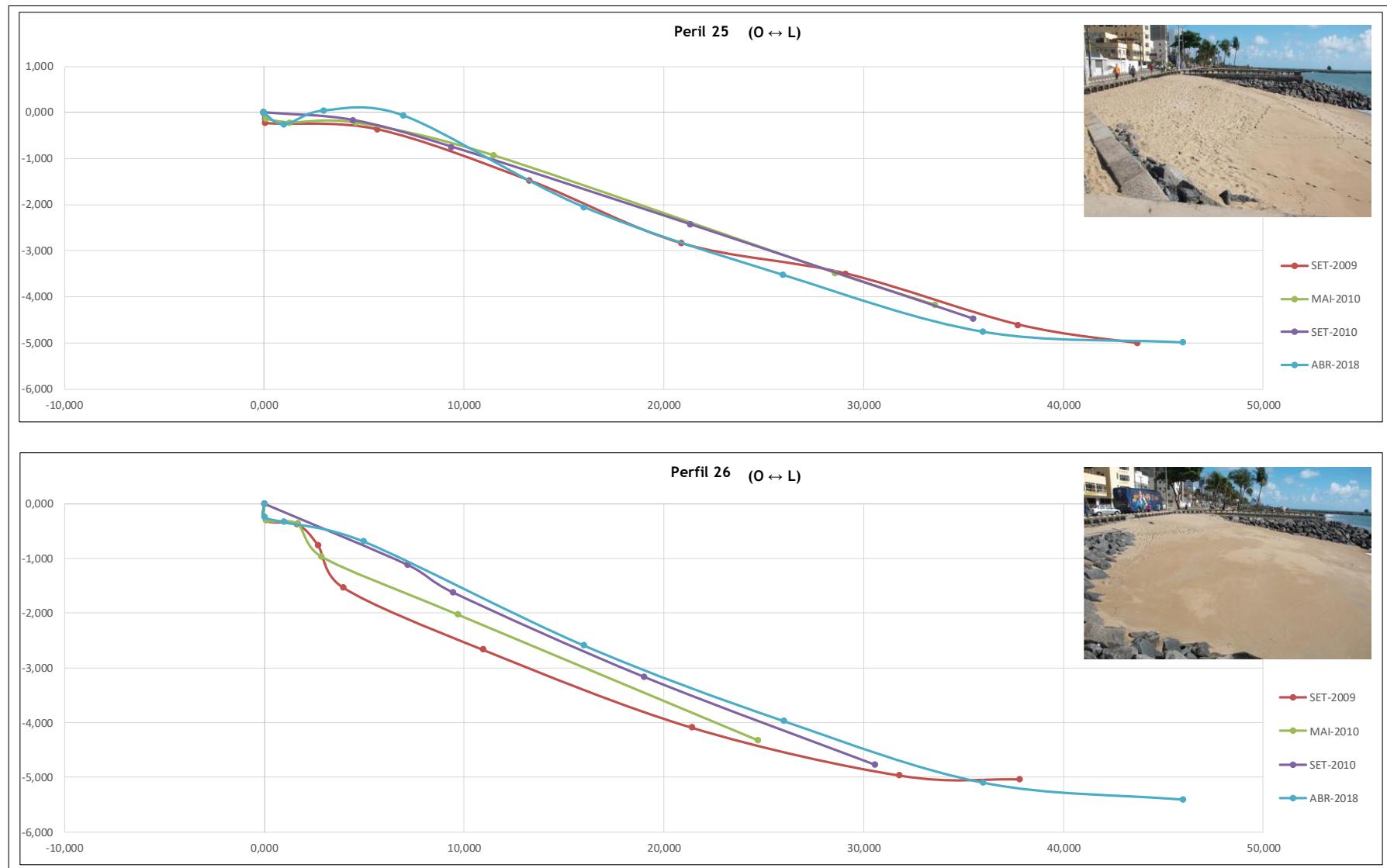
Fonte: O Autor (2018).

Figura 76 – Evolução dos perfis morfodinâmicos 23 e 24, Setor C da praia de Bairro Novo, Olinda-PE.



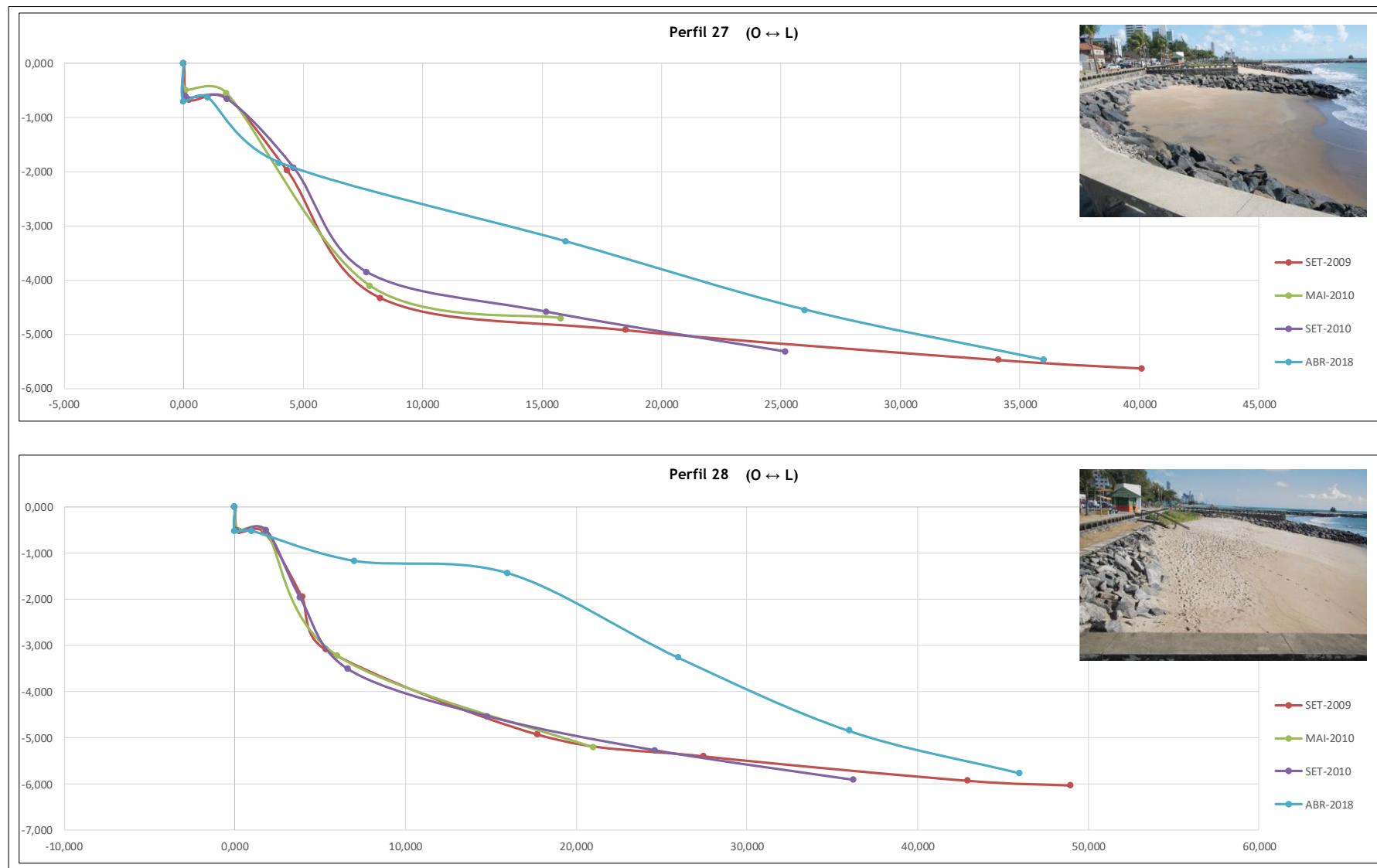
Fonte: O Autor (2018).

Figura 77 – Evolução dos perfis morfodinâmicos 25 e 26, Setor C da praia de Bairro Novo, Olinda-PE.



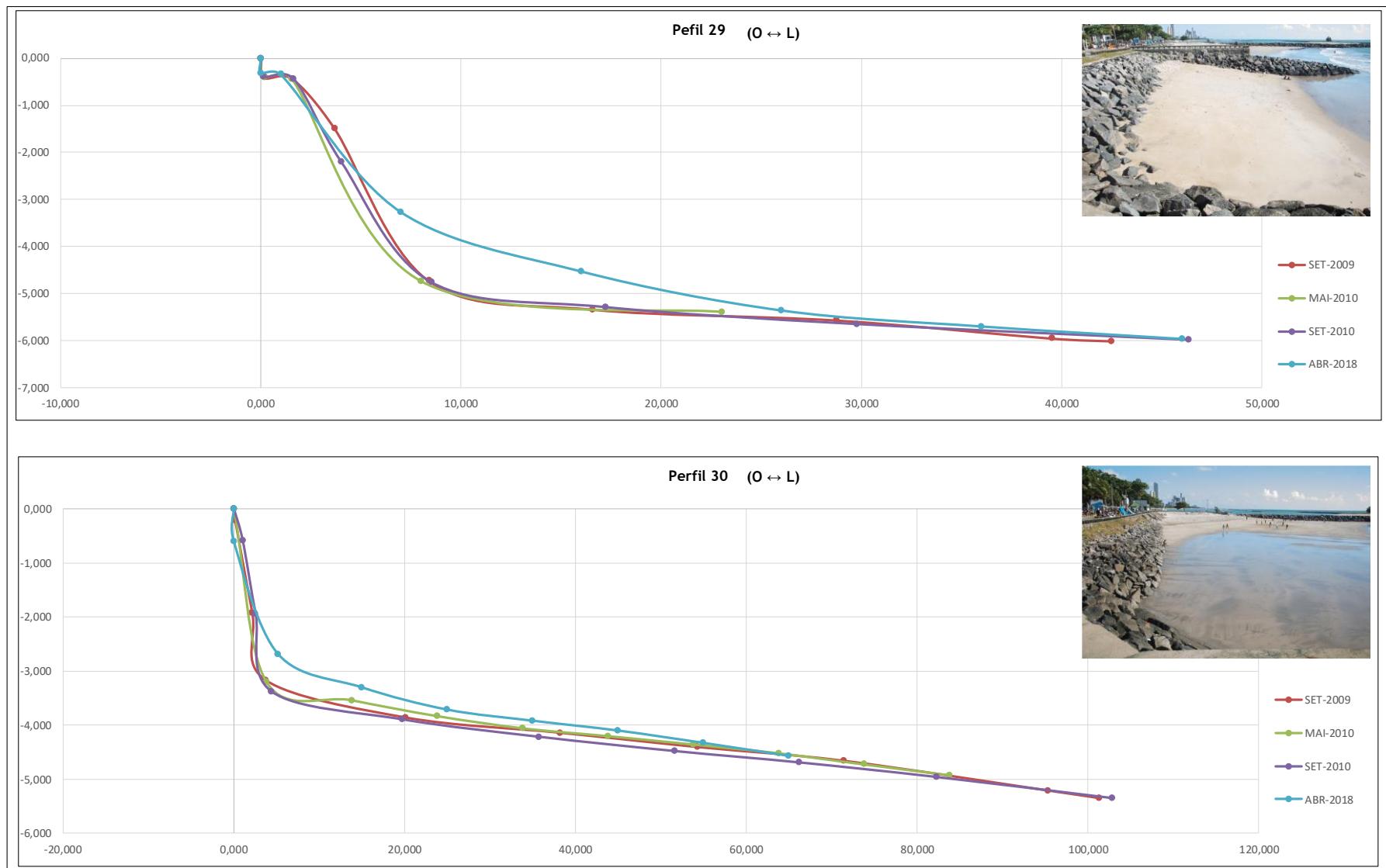
Fonte: O Autor (2018).

Figura 78 – Evolução dos perfis morfodinâmicos 27 e 28, Setor C da praia de Bairro Novo, Olinda-PE.



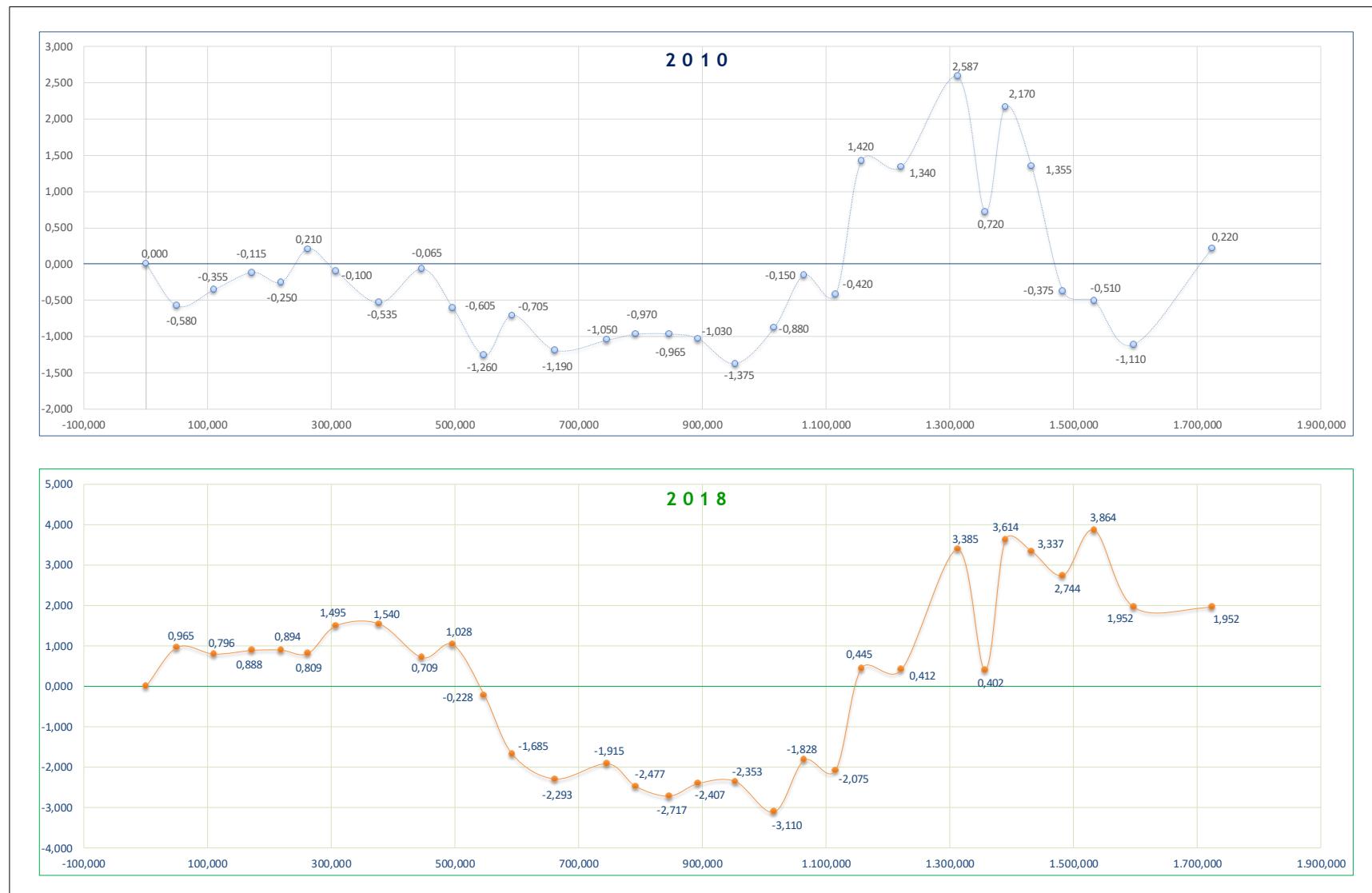
Fonte: O Autor (2018).

Figura 79 – Evolução dos perfis morfodinâmicos 29 e 30, Setor C da praia de Bairro Novo, Olinda-PE.



Fonte: O Autor (2018).

Figura 80 – Evolução do perfil longitudinal S- N da morfodinâmica praial de Bairro Novo (2010 / 2018).



Fonte: O Autor (2018).

A análise simultânea dos perfis transversais realizados na mesma área em períodos distintos, associada à avaliação do comportamento do perfil longitudinal, além de favorecer a compreensão do comportamento morfodinâmico da praia de Bairro Novo, permitiu, em razão do intervalo de aproximadamente 08 anos – período compreendido entre os levantamentos feitos nos anos de 2009 e 2010 e o atual levantamento –, acompanhar a evolução dos perfis de praia e, associadamente aos demais estudos, analisar o comportamento morfodinâmico da praia de Bairro Novo.

Porém, esta análise necessita levar em consideração que estas seções são constituídas majoritariamente pela presença do enrocamento aderente e a praia arenosa, sujeitos a constantes alterações, inclusive decorrentes da presença de um em relação ao outro, mas também, da influência recebida pela presença dos espiões que delimitam as extensões dos compartimentos.

A interação desses três componentes (enrocamento, espiões e a praia arenosa) associados aos agentes hidrodinâmicos, concorre para a geração de alterações no comportamento morfodinâmico da praia e, consecutivamente, nas variações do volume de sedimentos que constituem a praia.

Essas alterações se tornaram mais facilmente percebidas diante da análise do perfil longitudinal, no qual pode ser visto ao longo de toda a extensão uma variação de comportamento que permitiu a setorização da praia de Bairro Novo, de acordo com o volume de sedimentos existentes no perfil praial (Figura 81).

Por esta razão, com o objetivo de quantificar as variações volumétricas ocorridas no perfil praial de cada um dos compartimentos, foram realizadas simulações matemáticas, com a utilização do programa *Surfer 13.6.618 – Surface Mapping Software*, que forneceram a variação de volume de sedimentos apresentado por cada perfil nos levantamentos realizados nos anos de 2009, 2010 e 2018. Exceção feita aos perfis implantados nos compartimentos 11 a 20 que, conforme citado anteriormente, pertencem ao “Setor B”, que têm seus perfis preenchidos por enrocamentos, não apresentando sedimentos quantificáveis ao longo da seção, bem como ao perfil 21 que, por apresentar inconsistência de dados, foi eliminado o perfil levantado no mês de setembro/2009.

Figura 81 – Evolução do perfil longitudinal S- N da morfodinâmica praial de Bairro Novo (2010 / 2018).



Fonte: O Autor (2018).

Os resultados obtidos, e apresentados a seguir (Quadro 04 a 23), foram expressos em metro cúbico por metro linear de praia (m^3/m).

Quadro 04 – Variação volumétrica de sedimentos do perfil 01, “Setor A” da praia de Bairro Novo, Olinda-PE.

P E R F I L 0 1		
Mês	Volume (m^3/m)	Variação Volumétrica (m^3/m) ($V_{n+1} - V_n$)
Setembro/09	-148,170	0,000
Maio/2010	-141,220	6,950
Setembro/2010	-136,270	4,950
Abril/2018	-130,850	5,420
Variação Volumétrica Final (m^3/m):		17,320

Fonte: O Autor (2018).

Quadro 05 – Variação volumétrica de sedimentos do perfil 02, “Setor A” da praia de Bairro Novo, Olinda-PE.

P E R F I L 0 2		
Mês	Volume (m^3/m)	Variação Volumétrica (m^3/m) ($V_{n+1} - V_n$)
Setembro/09	-142,760	0,000
Maio/2010	-172,190	-29,430
Setembro/2010	-167,510	4,680
Abril/2018	-163,340	4,170
Variação Volumétrica Final (m^3/m):		-20,580

Fonte: O Autor (2018).

Quadro 06 – Variação volumétrica de sedimentos do perfil 03, “Setor A” da praia de Bairro Novo, Olinda-PE.

P E R F I L 0 3		
Mês	Volume (m^3/m)	Variação Volumétrica (m^3/m) ($V_{n+1} - V_n$)
Setembro/09	-142,460	0,000
Maio/2010	-154,740	-12,280
Setembro/2010	-155,660	-0,920
Abril/2018	-150,450	5,210
Variação Volumétrica Final (m^3/m):		-7,990

Fonte: O Autor (2018).

Quadro 07 – Variação volumétrica de sedimentos do perfil 04, “Setor A” da praia de Bairro Novo, Olinda-PE.

P E R F I L 0 4		
Mês	Volume (m ³ /m)	Variação Volumétrica (m ³ /m) (V _{n+1} - V _n)
Setembro/09	-131,840	0,000
Maio/2010	-135,980	-4,140
Setembro/2010	-138,590	-2,610
Abril/2018	-139,860	-1,270
Variação Volumétrica Final (m³/m):		-8,020

Fonte: O Autor (2018).

Quadro 08 – Variação volumétrica de sedimentos do perfil 05, “Setor A” da praia de Bairro Novo, Olinda-PE.

P E R F I L 0 5		
Mês	Volume (m ³ /m)	Variação Volumétrica (m ³ /m) (V _{n+1} - V _n)
Setembro/09	-114,800	0,000
Maio/2010	-126,290	-11,490
Setembro/2010	-122,130	4,160
Abril/2018	-121,480	0,650
Variação Volumétrica Final (m³/m):		-6,680

Fonte: O Autor (2018).

Quadro 09 – Variação volumétrica de sedimentos do perfil 06, “Setor A” da praia de Bairro Novo, Olinda-PE.

P E R F I L 0 6		
Mês	Volume (m ³ /m)	Variação Volumétrica (m ³ /m) (V _{n+1} - V _n)
Setembro/09	-118,470	0,000
Maio/2010	-129,580	-11,110
Setembro/2010	-128,200	1,380
Abril/2018	-128,080	0,120
Variação Volumétrica Final (m³/m):		-9,610

Fonte: O Autor (2018).

Quadro 10 – Variação volumétrica de sedimentos do perfil 07, “Setor A” da praia de Bairro Novo, Olinda-PE.

P E R F I L 0 7		
Mês	Volume (m ³ /m)	Variação Volumétrica (m ³ /m) (V _{n+1} – V _n)
Setembro/09	-129,980	0,000
Maio/2010	-150,610	-20,630
Setembro/2010	-143,910	6,700
Abril/2018	-148,100	-4,190
Variação Volumétrica Final (m³/m):		-18,120

Fonte: O Autor (2018).

Quadro 11 – Variação volumétrica de sedimentos do perfil 08, “Setor A” da praia de Bairro Novo, Olinda-PE.

P E R F I L 0 8		
Mês	Volume (m ³ /m)	Variação Volumétrica (m ³ /m) (V _{n+1} – V _n)
Setembro/09	-127,200	0,000
Maio/2010	-143,330	-16,130
Setembro/2010	-133,420	9,910
Abril/2018	-165,770	-32,350
Variação Volumétrica Final (m³/m):		-38,570

Fonte: O Autor (2018).

Quadro 12 – Variação volumétrica de sedimentos do perfil 09, “Setor A” da praia de Bairro Novo, Olinda-PE.

P E R F I L 0 9		
Mês	Volume (m ³ /m)	Variação Volumétrica (m ³ /m) (V _{n+1} – V _n)
Setembro/09	-102,270	0,000
Maio/2010	-113,610	-11,340
Setembro/2010	-111,410	2,200
Abril/2018	-117,210	-5,800
Variação Volumétrica Final (m³/m):		-14,940

Fonte: O Autor (2018).

Quadro 13 – Variação volumétrica de sedimentos do perfil 10, “Setor A” da praia de Bairro Novo, Olinda-PE.

P E R F I L 10		
Mês	Volume (m ³ /m)	Variação Volumétrica (m ³ /m) (V _{n+1} - V _n)
Setembro/09	-62,180	0,000
Maio/2010	-64,580	-2,400
Setembro/2010	-68,010	-3,430
Abril/2018	-67,150	0,860
Variação Volumétrica Final (m³/m):		-4,970

Fonte: O Autor (2018).

Quadro 14 – Variação volumétrica de sedimentos do perfil 21, “Setor C” da praia de Bairro Novo, Olinda-PE.

P E R F I L 21		
Mês	Volume (m ³ /m)	Variação Volumétrica (m ³ /m) (V _{n+1} - V _n)
Maio/2010	-74,380	0,000
Setembro/2010	-77,100	-2,720
Abril/2018	-97,610	-20,510
Variação Volumétrica Final (m³/m):		-23,230

Fonte: O Autor (2018).

Quadro 15 – Variação volumétrica de sedimentos do perfil 22, “Setor C” da praia de Bairro Novo, Olinda-PE.

P E R F I L 22		
Mês	Volume (m ³ /m)	Variação Volumétrica (m ³ /m) (V _{n+1} - V _n)
Setembro/09	-80,590	0,000
Maio/2010	-89,650	-9,060
Setembro/2010	-96,970	-7,320
Abril/2018	-110,030	-13,060
Variação Volumétrica Final (m³/m):		-29,440

Fonte: O Autor (2018).

Quadro 16 – Variação volumétrica de sedimentos do perfil 23, “Setor C” da praia de Bairro Novo, Olinda-PE.

P E R F I L 2 3		
Mês	Volume (m ³ /m)	Variação Volumétrica (m ³ /m) (V _{n+1} - V _n)
Setembro/09	-78,650	0,000
Maio/2010	-79,310	-0,660
Setembro/2010	-72,560	6,750
Abril/2018	-104,120	-31,560
Variação Volumétrica Final (m³/m):		-25,470

Fonte: O Autor (2018).

Quadro 17 – Variação volumétrica de sedimentos do perfil 24, “Setor C” da praia de Bairro Novo, Olinda-PE.

P E R F I L 2 4		
Mês	Volume (m ³ /m)	Variação Volumétrica (m ³ /m) (V _{n+1} - V _n)
Setembro/09	-88,090	0,000
Maio/2010	-89,820	-1,730
Setembro/2010	-85,280	4,540
Abril/2018	-92,730	-7,450
Variação Volumétrica Final (m³/m):		-4,640

Fonte: O Autor (2018).

Quadro 18 – Variação volumétrica de sedimentos do perfil 25, “Setor C” da praia de Bairro Novo, Olinda-PE.

P E R F I L 2 5		
Mês	Volume (m ³ /m)	Variação Volumétrica (m ³ /m) (V _{n+1} - V _n)
Setembro/09	-115,140	0,000
Maio/2010	-118,700	-3,560
Setembro/2010	-119,550	-0,850
Abril/2018	-128,180	-8,630
Variação Volumétrica Final (m³/m):		-13,040

Fonte: O Autor (2018).

Quadro 19 – Variação volumétrica de sedimentos do perfil 26, “Setor C” da praia de Bairro Novo, Olinda-PE.

P E R F I L 26		
Mês	Volume (m ³ /m)	Variação Volumétrica (m ³ /m) (V _{n+1} - V _n)
Setembro/09	-130,280	0,000
Maio/2010	-124,460	5,820
Setembro/2010	-109,410	15,050
Abril/2018	-98,530	10,880
Variação Volumétrica Final (m³/m):		31,750

Fonte: O Autor (2018).

Quadro 20 – Variação volumétrica de sedimentos do perfil 27, “Setor C” da praia de Bairro Novo, Olinda-PE.

P E R F I L 27		
Mês	Volume (m ³ /m)	Variação Volumétrica (m ³ /m) (V _{n+1} - V _n)
Setembro/09	-179,280	0,000
Maio/2010	189,280	368,560
Setembro/2010	-182,260	-371,540
Abril/2018	-147,080	35,180
Variação Volumétrica Final (m³/m):		32,200

Fonte: O Autor (2018).

Quadro 21 – Variação volumétrica de sedimentos do perfil 28, “Setor C” da praia de Bairro Novo, Olinda-PE.

P E R F I L 28		
Mês	Volume (m ³ /m)	Variação Volumétrica (m ³ /m) (V _{n+1} - V _n)
Setembro/09	-121,800	0,000
Maio/2010	-125,110	-3,310
Setembro/2010	-122,040	3,070
Abril/2018	-55,040	67,000
Variação Volumétrica Final (m³/m):		66,760

Fonte: O Autor (2018).

Quadro 22 – Variação volumétrica de sedimentos do perfil 29, “Setor C” da praia de Bairro Novo, Olinda-PE.

P E R F I L 2 9		
Mês	Volume (m ³ /m)	Variação Volumétrica (m ³ /m) (V _{n+1} - V _n)
Setembro/09	-205,180	0,000
Maio/2010	-229,840	-24,660
Setembro/2010	-228,800	1,040
Abril/2018	-209,760	19,040
Variação Volumétrica Final (m³/m):		-4,580

Fonte: O Autor (2018).

Quadro 23 – Variação volumétrica de sedimentos do perfil 30, “Setor C” da praia de Bairro Novo, Olinda-PE.

P E R F I L 3 0		
Mês	Volume (m ³ /m)	Variação Volumétrica (m ³ /m) (V _{n+1} - V _n)
Setembro/09	-341,710	0,000
Maio/2010	-339,970	1,740
Setembro/2010	-343,060	-3,090
Abril/2018	-318,070	24,990
Variação Volumétrica Final (m³/m):		23,640

Fonte: O Autor (2018).

Os resultados demonstrados pelos quadros acima, elaborados para os perfis 01 a 10, inseridos no “Setor A”, assim como para os perfis 21 a 30, compreendidos pelo “Setor C”, revelam com fidelidade a interpretação visual dos perfis transversais e longitudinal, apresentados através das figuras 65 a 80, através dos quais se vê que se configura um cenário de déficit sedimentar que vem se consolidando no “Setor A”, enquanto no “Setor C” se observa que vem ocorrendo um processo de progradação gradativa.

Com o objetivo de proporcionar uma melhor compreensão do comportamento da variação volumétrica de sedimentos de cada perfil, bem como do setor a que pertence cada seção analisada, dada a grande quantidade de compartimentos, foi elaborado um resumo da variação volumétrica de cada setor (Quadro 24).

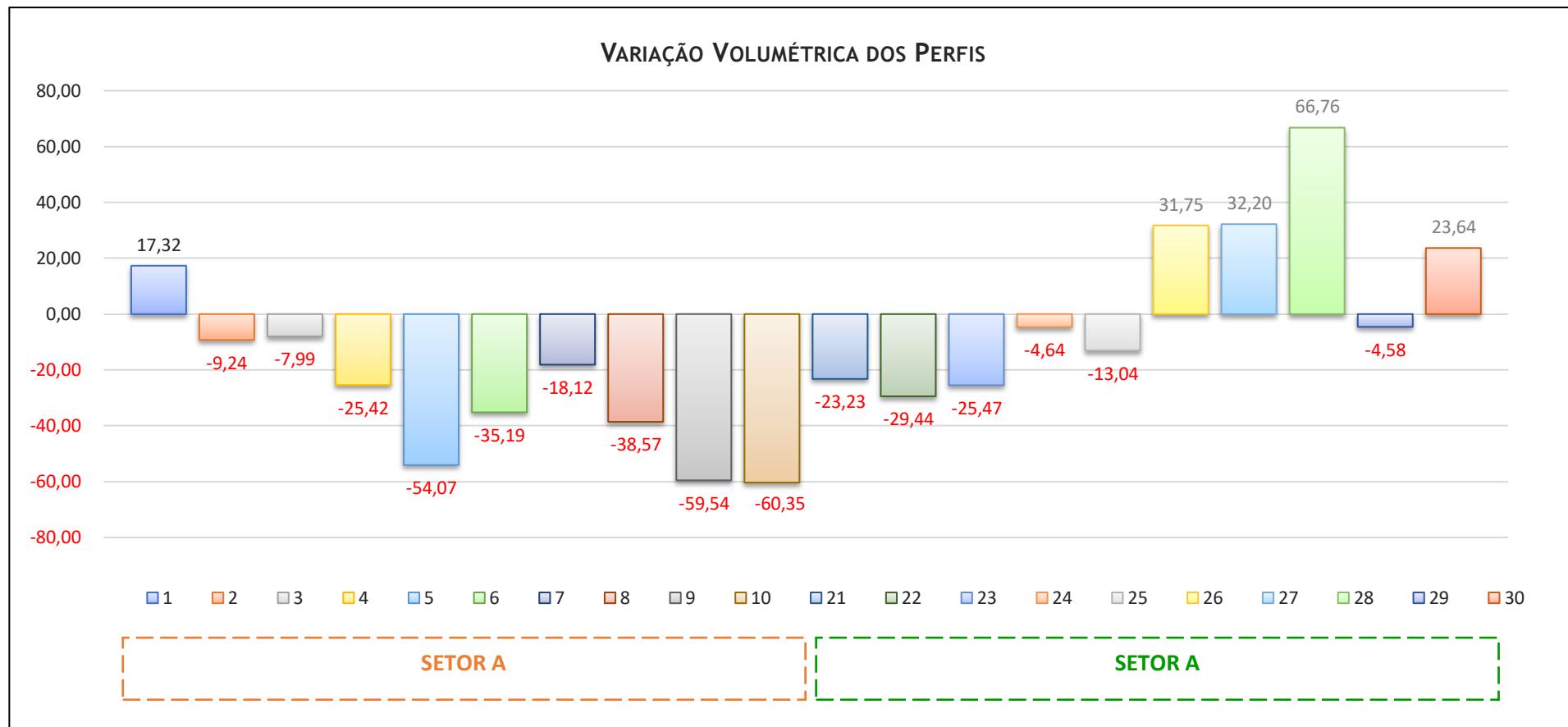
Quadro 24 – Variação volumétrica de sedimentos dos perfis, e seus respectivos setores A e C, da praia de Bairro Novo, Olinda-PE.

PERFIL		VARIAÇÃO VOLUMÉTRICA	
"SETOR A"	1	17,32	-291,17
	2	-9,24	
	3	-7,99	
	4	-25,42	
	5	-54,07	
	6	-35,19	
	7	-18,12	
	8	-38,57	
	9	-59,54	
	10	-60,35	
"SETOR C"	21	-23,23	53,95
	22	-29,44	
	23	-25,47	
	24	-4,64	
	25	-13,04	
	26	31,75	
	27	32,20	
	28	66,76	
	29	-4,58	
	30	23,64	
TOTAL:		-237,22	

Fonte: O Autor (2018)

Estes resultados podem ser melhor visualizados através do histograma de variação volumétrica (Figura 82), elaborado para os setores “A” e “C”, identificados na praia de Bairro Novo.

Figura 82 – Histograma de variação volumétrica dos perfis praiais e seus respectivos setores, identificados ao longo da praia de Bairro Novo, Olinda-PE.



Fonte: O Autor (2018)

6.3 MORFOLOGIA DA PLATAFORMA CONTINENTAL

Diante da necessidade da investigação da superfície de fundo, com a finalidade de caracterizar a morfologia, bem como de determinar o balanço sedimentar da plataforma, foi realizado o estudo batimétrico da área de estudo, um dos métodos geofísicos que permitem a investigação das áreas de plataforma continental rasa, e que tem a capacidade de definir com precisão a conformação morfológica de fundo que, por sua vez, reflete a configuração do tipo de substrato existente, traduzindo suas características sedimentares e hidrodinâmicas.

Esse levantamento se dá a partir do reconhecimento da morfologia do fundo de corpos d'água, tais como rios, lagoas ou áreas oceânicas, através da medição de um conjunto de pontos com coordenadas e profundidades.

6.3.1 Estudo batimétrico da praia de Bairro Novo

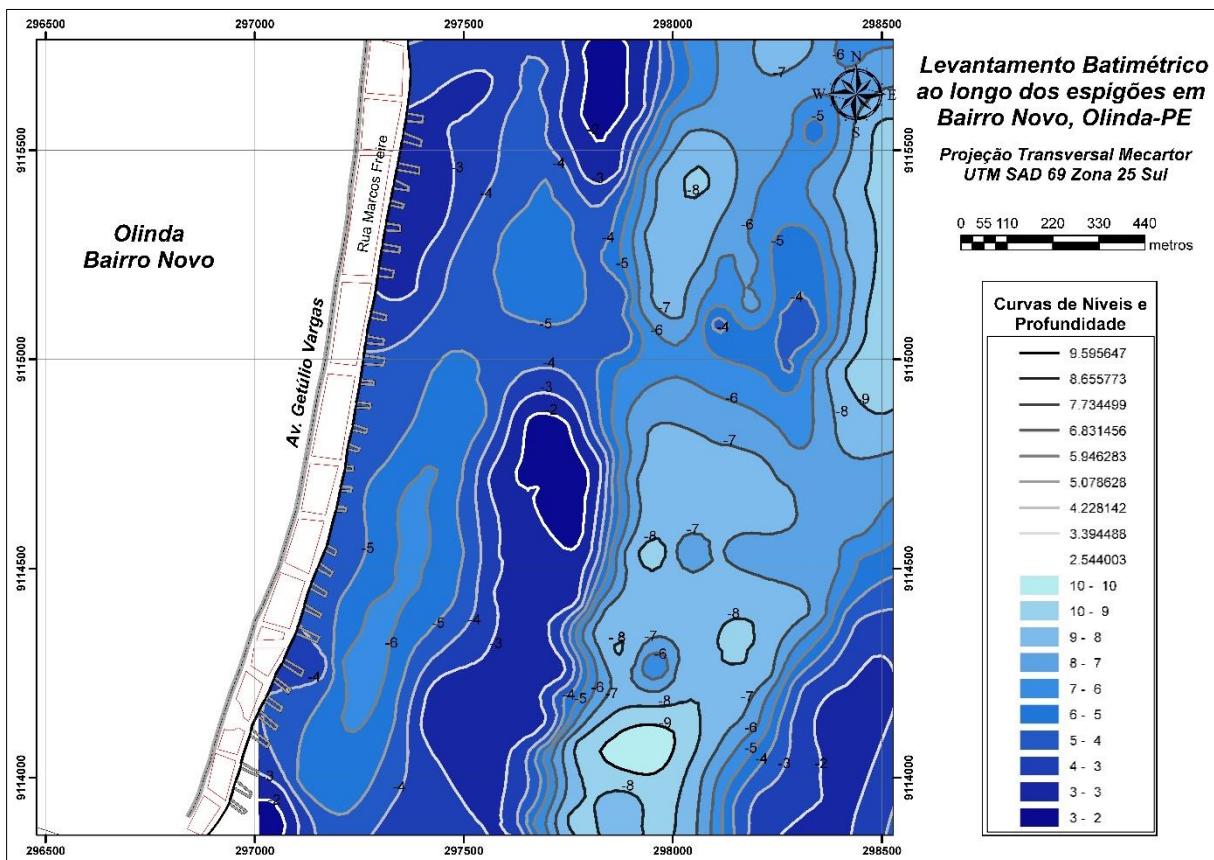
Com o objetivo de uma investigação mais apurada a respeito da morfologia de fundo da plataforma adjacente à praia de Bairro Novo, que possibilitasse, além do conhecimento de seu atual estado, revelar o comportamento dessa superfície, mostrando sua evolução recente, o estudo batimétrico foi subdividido em três etapas:

- A primeira etapa consistiu na compilação dos dados batimétricos apresentados por Gois (2011) para a praia de Bairro Novo, entre os quais constavam as principais características da morfologia de fundo marinho apresentadas naquela ocasião;
- Coube à segunda etapa a realização de um levantamento batimétrico que permitiu identificar a atual configuração superficial do fundo marinho da área de estudo;
- Na terceira etapa foi feito, a partir do estudo comparativo, por meio da sobreposição de superfícies e de perfis batimétricos, entre as batimetrias de 2011 e 2018, o cálculo do balanço sedimentar da plataforma continental adjacente à praia de Bairro Novo, em Olinda, durante o intervalo de 07 anos.

6.3.1.1 Levantamento batimétrico 2011

Segundo Gois (op. cit.), a batimetria da plataforma continental interna adjacente à praia de Bairro Novo (Figura 83) revelou uma morfologia do fundo marinho da área caracterizada por “*um relevo bastante acidentado, proporcionado diretamente pela presença de construções recifais, em sua maioria algálicas, cujas superfícies e contornos são irregulares*”. Ainda de acordo com o autor, a plataforma é “*atapetada em quase sua totalidade por uma camada de areia bioclástica*”.

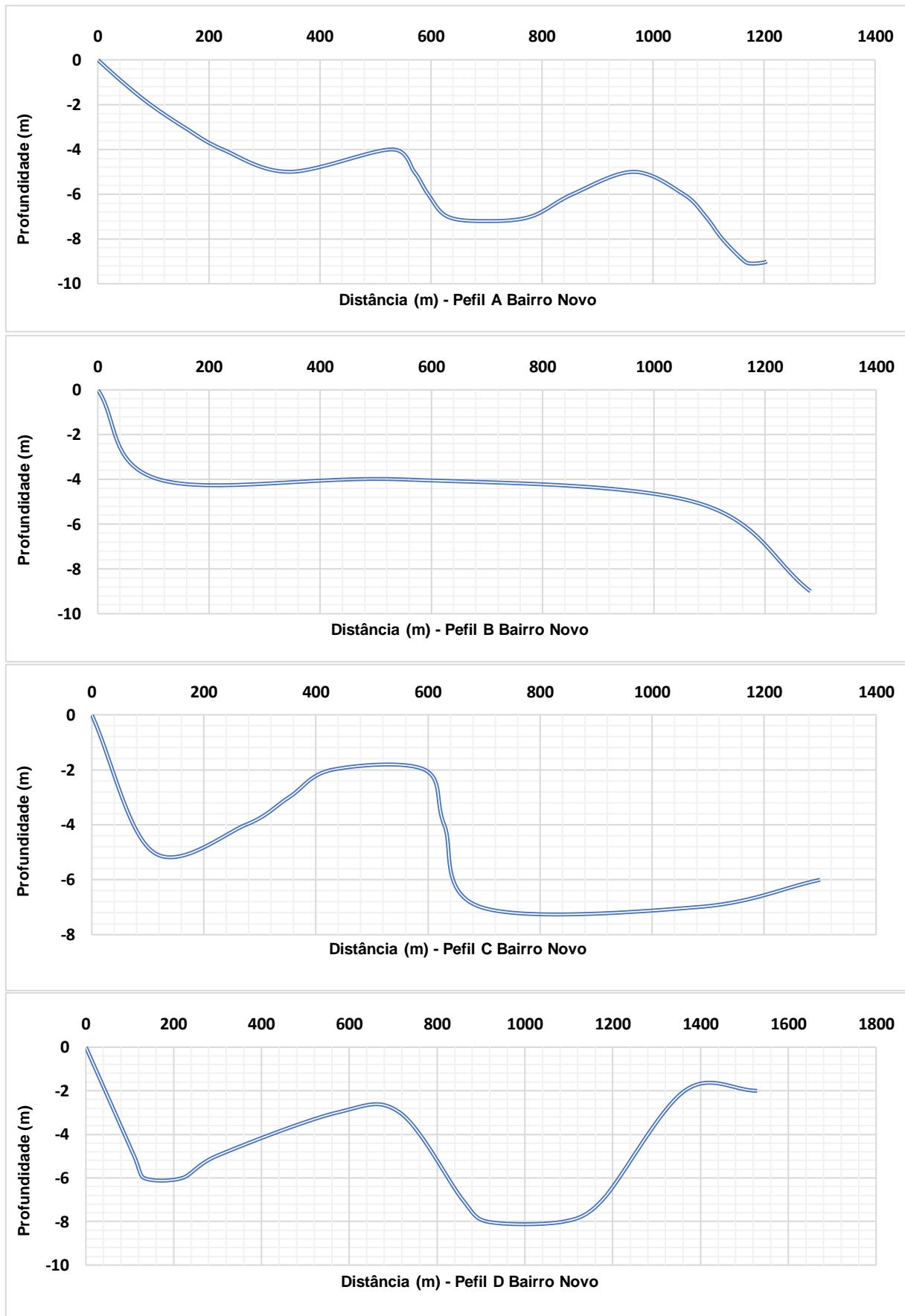
Figura 83 – Mapa batimétrico da plataforma continental adjacente da praia de Bairro Novo, Olinda-PE.



Fonte: Modificado de Gois (2011)

A implantação de 04 perfis (Figura 84) no mapa batimétrico permitiu identificar que o relevo, morfologicamente, apresenta-se bastante acidentado, sobretudo pela presença de duas construções recifais e do canal que as separam.

Figura 84 – Perfis batimétricos (A, B, C e D) da praia de Bairro Novo, Olinda-PE.



Fonte: Modificado de Gois (2011).

O levantamento batimétrico contemplou uma área cujo afastamento máximo da costa foi da ordem de 1,5 km, onde as cotas batimétricas mais rasas foram identificadas nas áreas mais próximas da faixa de praia, e nas linhas de recifes naturais – na parte central da primeira linha (mais próxima da costa) e ao sul da segunda linha – que se identificam nas curvas de nível das isóbatas de -3,0 m e -2,0 m, respectivamente.

Foi observado, ainda, que situado entre as duas construções recifais encontra-se um rebaixamento do leito marinho, representado por um canal natural, paralelo à linha de costa, de direção N-NE, no qual se localizam as cotas mais profundas da área de estudo, atingindo em alguns pontos profundidades superiores a 9,0 metros.

6.3.1.2 Levantamento batimétrico 2018

O levantamento batimétrico executado para este trabalho, contemplando a plataforma continental adjacente à praia de Bairro Novo, teve uma cobertura de 100% da área de estudo (Figura 85).

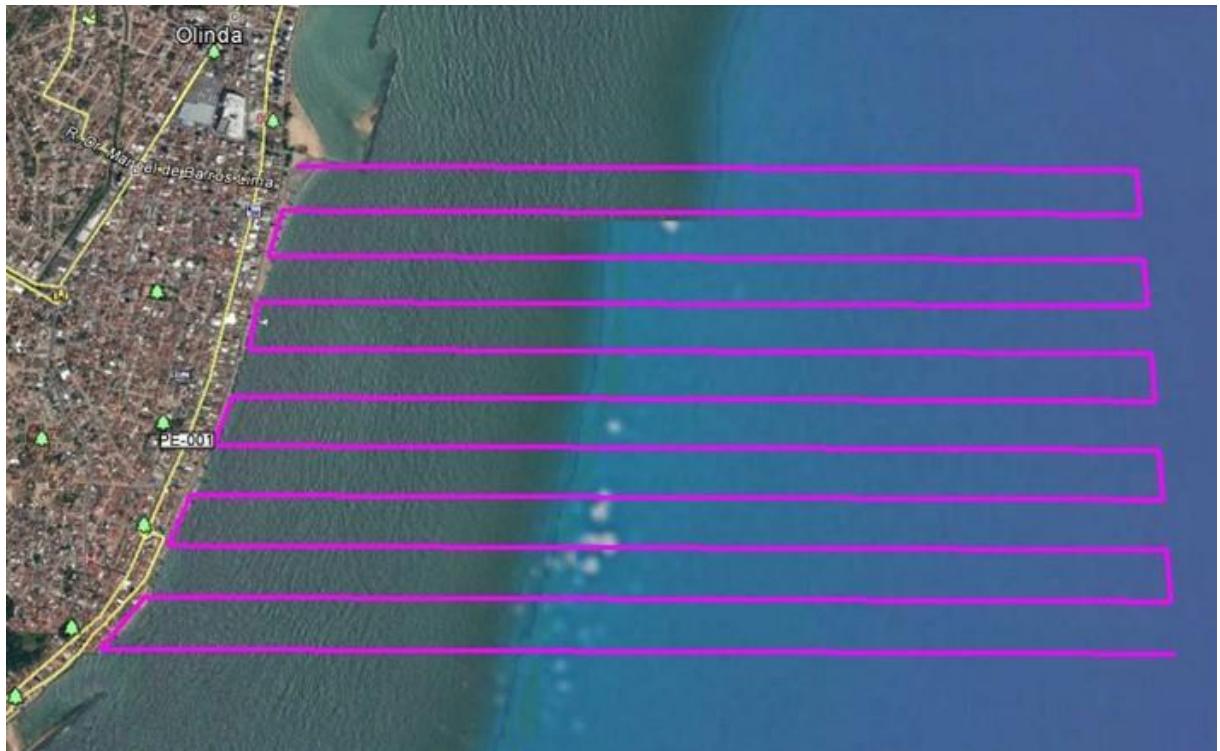
Figura 85 – Abrangência do levantamento batimétrico da praia de Bairro Novo, Olinda-PE.



Fonte: O Autor (2018).

A batimetria foi obtida a partir da implantação de 11 perfis, em uma malha de 200,0 m de intervalo, com extensão percorrida de aproximadamente 44,0 Km (Figura 86).

Figura 86 – Malha de implantação dos perfis no levantamento batimétrico da plataforma adjacente à praia de Bairro Novo, Olinda-PE.

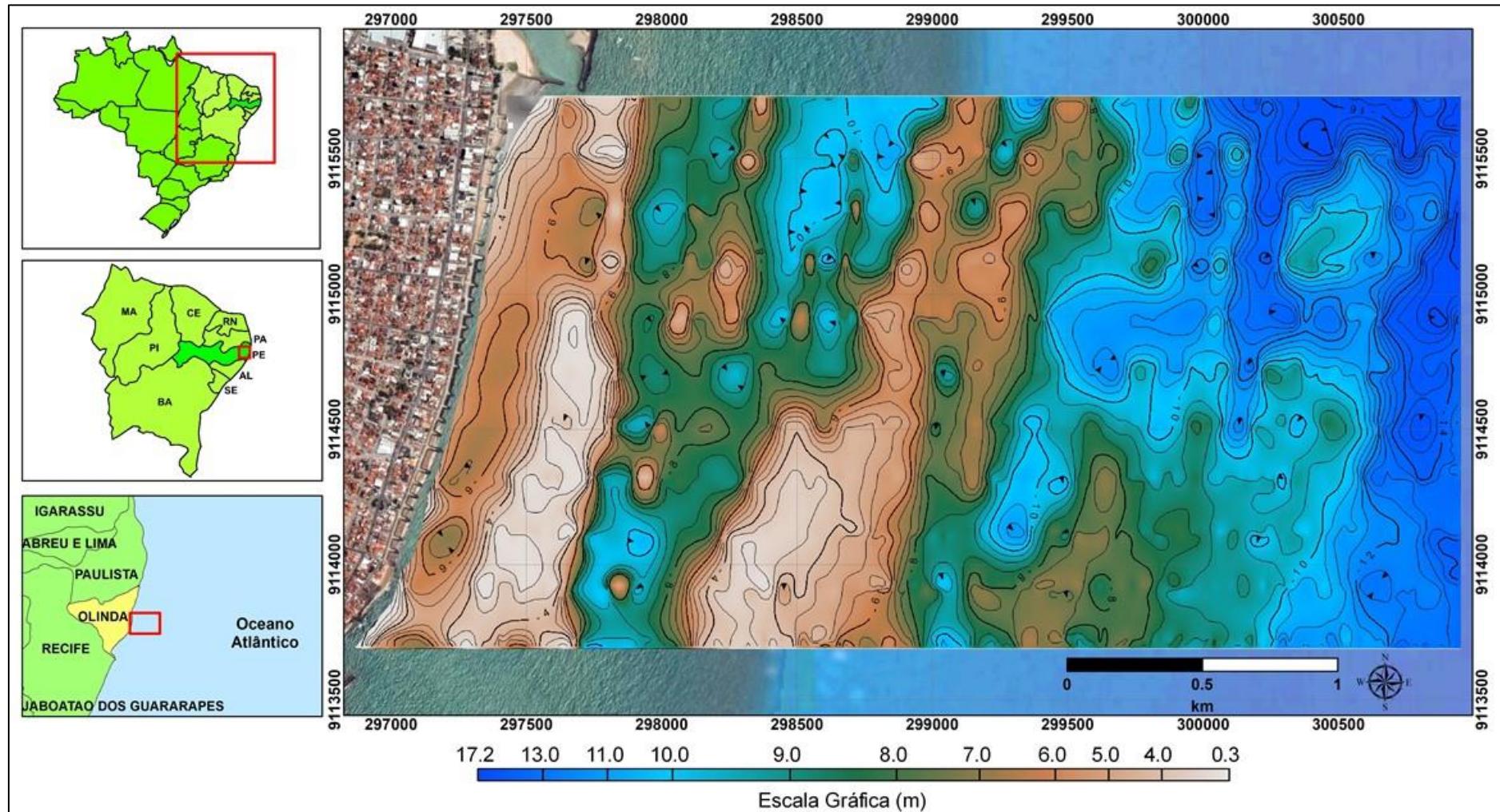


Fonte: Modificado de *Google Earth* (2018).

A batimetria obtida para a plataforma continental interna adjacente à praia de Bairro Novo está representada graficamente pelo mapa batimétrico (Figura 87), elaborado a partir do levantamento batimétrico da superfície de fundo da plataforma adjacente à praia de Bairro Novo, e abrange uma superfície do assoalho oceânico, cuja área possui um afastamento da costa com extensão de aproximadamente 2,5 km, para o qual foram adotadas curvas de nível com equidistâncias de 1,0 m.

A análise das superfícies batimétricas possibilitou a identificação da ocorrência de significativas alterações no relevo, cujas profundidades variaram entre 0 e 16,0 metros. Tendo sido observada, também, a presença de significativas feições paralelas à linha de costa.

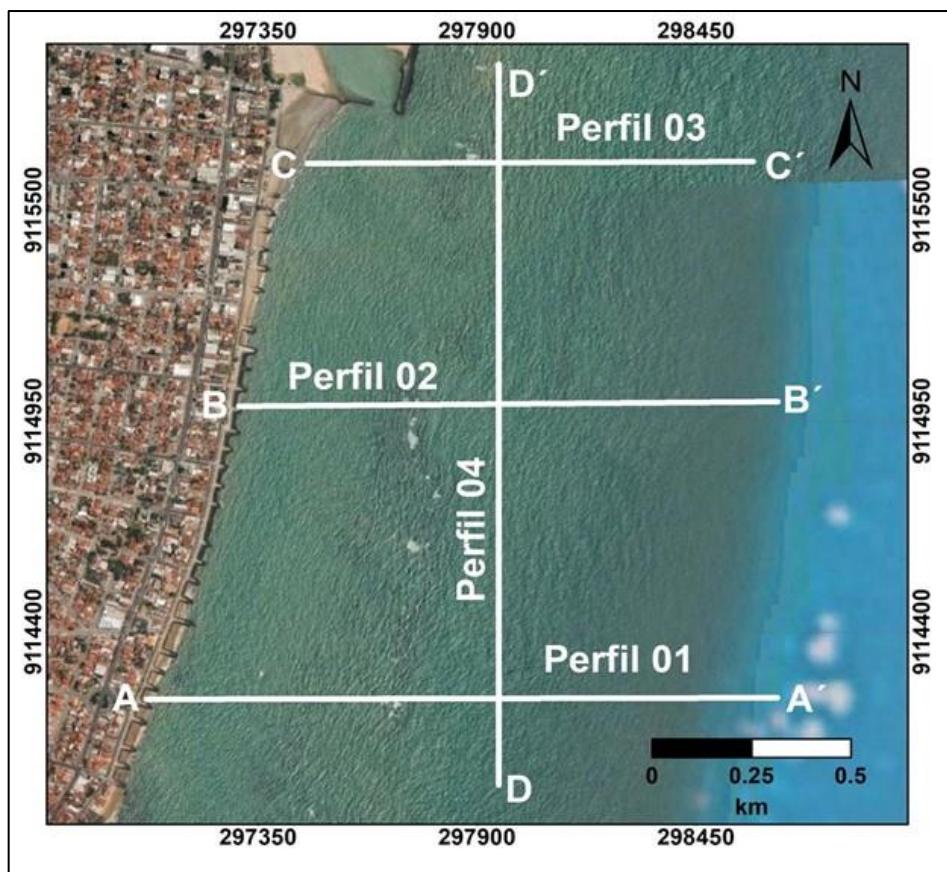
Figura 87 – Mapa batimétrico da plataforma continental adjacente à praia de Bairro Novo, Olinda-PE.



Fonte: O Autor (2018).

Visando proporcionar uma melhor compreensão das variações morfológicas apresentadas pelo levantamento batimétrico, foram implantados quatro cortes (A-A', B-B', C-C' e D-D') no mapa batimétrico, sendo três cortes transversais e um corte longitudinal (Figura 88).

Figura 88 – Posicionamento dos perfis implantados na batimetria realizada no ano de 2018 para a plataforma continental adjacente à praia de Bairro Novo, Olinda-PE.



Fonte: O Autor (2018)

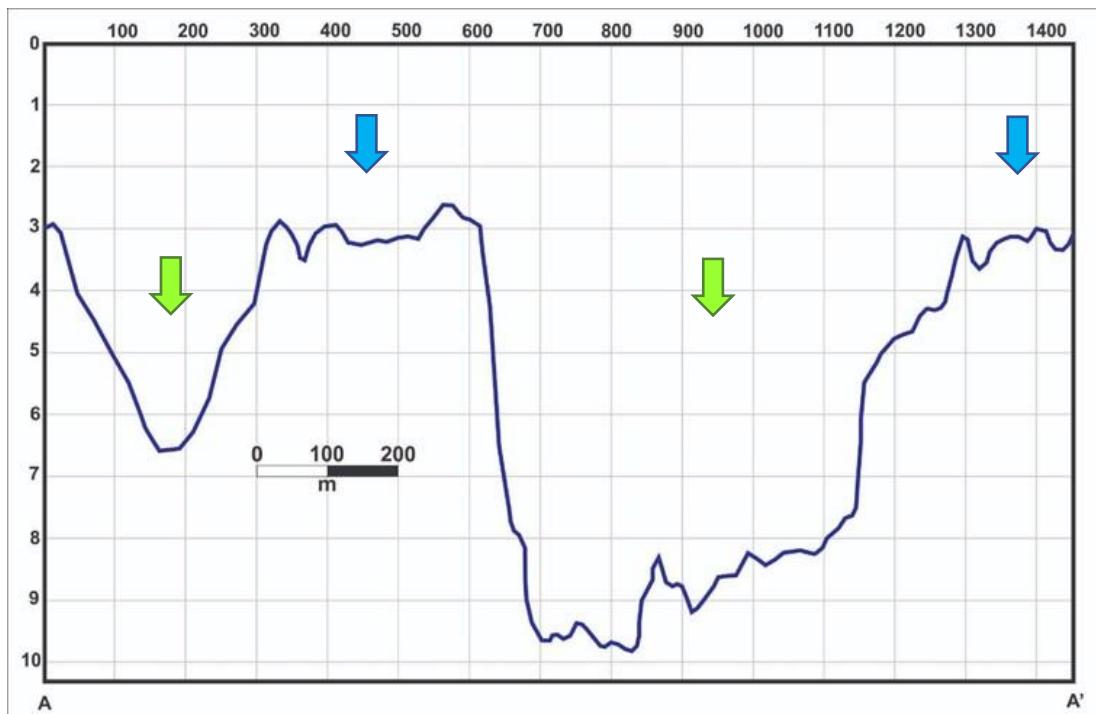
A partir desses cortes na superfície batimétrica, foram gerados 04 perfis batimétricos – três perfis transversais e um perfil longitudinal – relativos aos cortes A-A', B-B', C-C' e D-D', implantados na batimetria, pelos quais podem ser visualizadas as variabilidades de comportamento da morfologia de fundo da praia de Bairro Novo, permitindo, inclusive, a análise detalhada do balanço sedimentar.

Os locais nos quais foram implantados os perfis do mapa batimétrico correspondem, na faixa praial, aos três setores identificados no capítulo 6 deste estudo, para os quais foram atribuídos comportamentos morfológicos distintos entre si.

É possível observar pelo perfil A-A', implantado na extremidade sul do mapa batimétrico da praia de Bairro Novo, a ocorrência de dois tipos de feições. A primeira corresponde à presença de duas linhas de recifes de corais (setas azuis – Figura 89), com largura de aproximadamente 500,0 metros, cada, apresentando cotas mais rasas em torno de 3,0 metros de profundidade.

A segunda feição observada refere-se à ocorrência de dois canais escavados (setas verdes – Figura 89), de cotas mais profundas. O primeiro canal, de menor expressão, apresenta uma seção bem definida com declividade de aproximadamente 2,3% e profundidade máxima em torno de 6,50 metros. Este canal ocorre próximo à linha de costa, onde se encontra o enrocamento aderente. Enquanto o segundo canal, mais largo e mais profundo – com cota máxima de fundo em torno de 10,0 metros – ocorre paralelamente à costa entre as duas linhas de recifes.

Figura 89 – Perfil A-A' implantado no mapa batimétrico da praia de Bairro Novo, Olinda-PE.



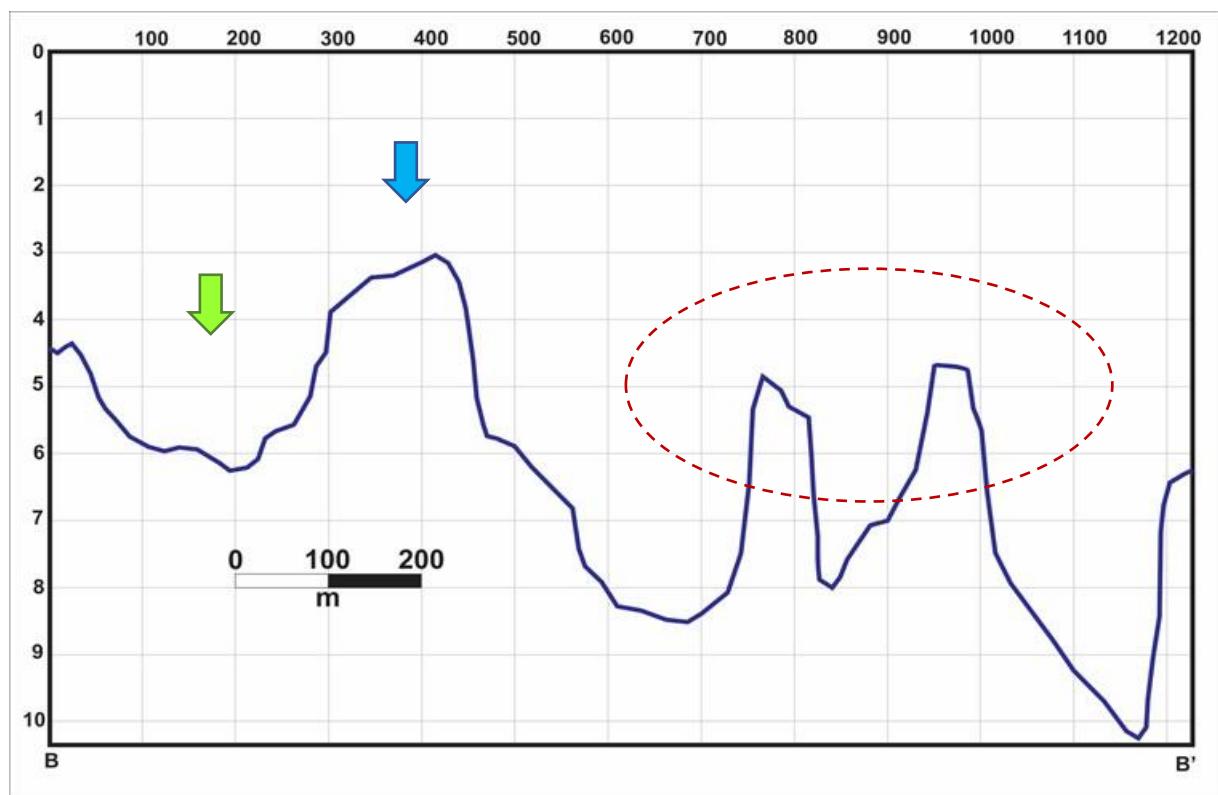
Fonte: O Autor (2018)

No perfil B-B”, implantado na porção média do mapa batimétrico da praia de Bairro Novo, é possível identificar outra perspectiva das feições observadas anteriormente. Neste perfil, partindo da linha de costa em direção à plataforma continental, percebe-se que o primeiro canal apresenta uma calha de superfície menos acidentada (seta

verde – Figura 90), mais extensa e, por esta razão, de menor declividade, limitando-se à leste pela ocorrência do primeiro cordão de recifes (seta azul – Figura 90), que nessa porção da batimetria apresenta em seu topo uma largura de aproximadamente 130,0 metros, inferior ao que apresenta no trecho sul (perfil A-A').

É possível perceber, ainda no perfil B-B', a interferência das duas linhas de recife sobre o leito do segundo canal (demarcação vermelha – Figura 90), cuja morfologia se apresentou bastante acidentada em razão da presença de porções remanescentes dessas construções recifais.

Figura 90 – Perfil B-B' implantado no mapa batimétrico da praia de Bairro Novo, Olinda-PE.



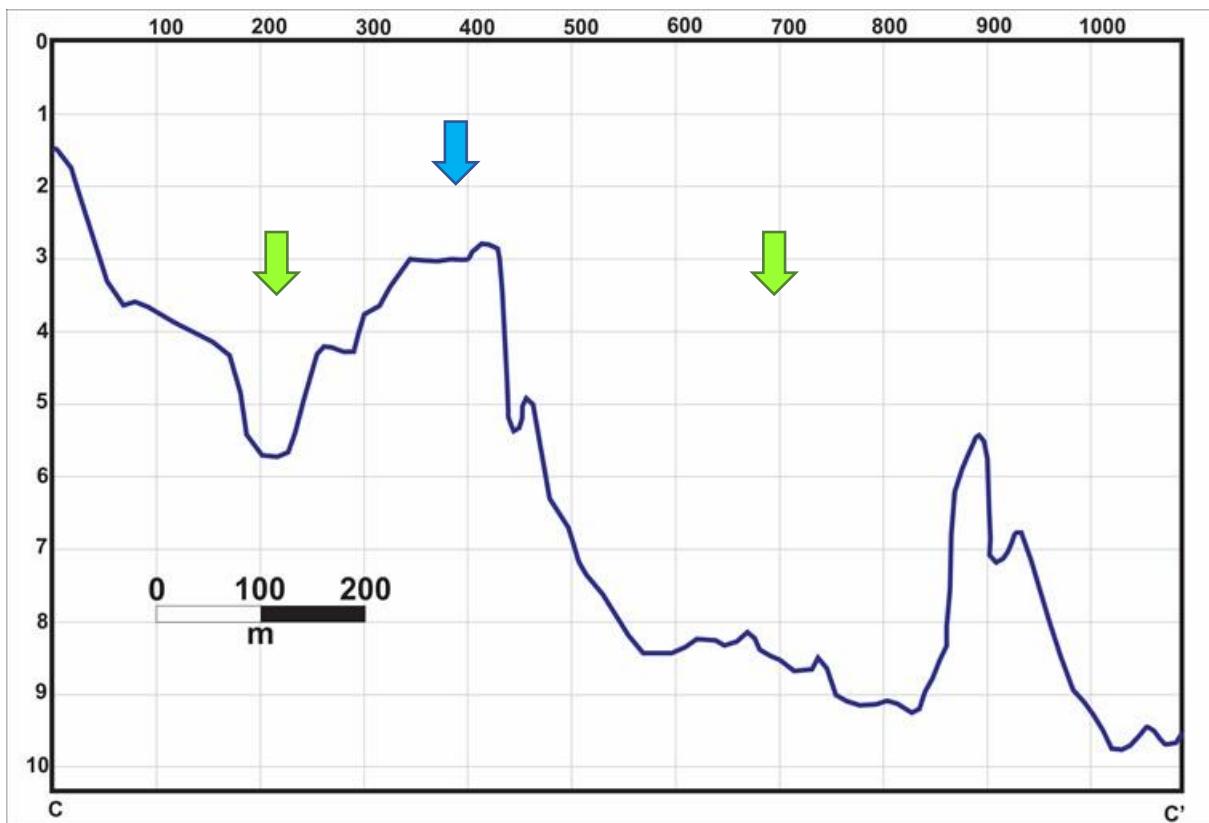
Fonte: O Autor (2018)

O perfil C-C', implantado na extremidade norte da batimetria de Bairro Novo, retrata os dois canais (setas verdes – Figura 91) – já identificados anteriormente – alternados pela presença da primeira linha de recifes (seta azul – Figura 91).

No que se refere aos recifes, é possível ver integralmente, neste perfil, apenas a seção do primeiro cordão de recifes, localizado mais próximo da costa, cuja superfície de

topo se revelou mais estreita, com largura de aproximadamente 200,0 metros, e muito acidentada.

Figura 91 – Perfil C-C' implantado no mapa batimétrico da praia de Bairro Novo, Olinda-PE.

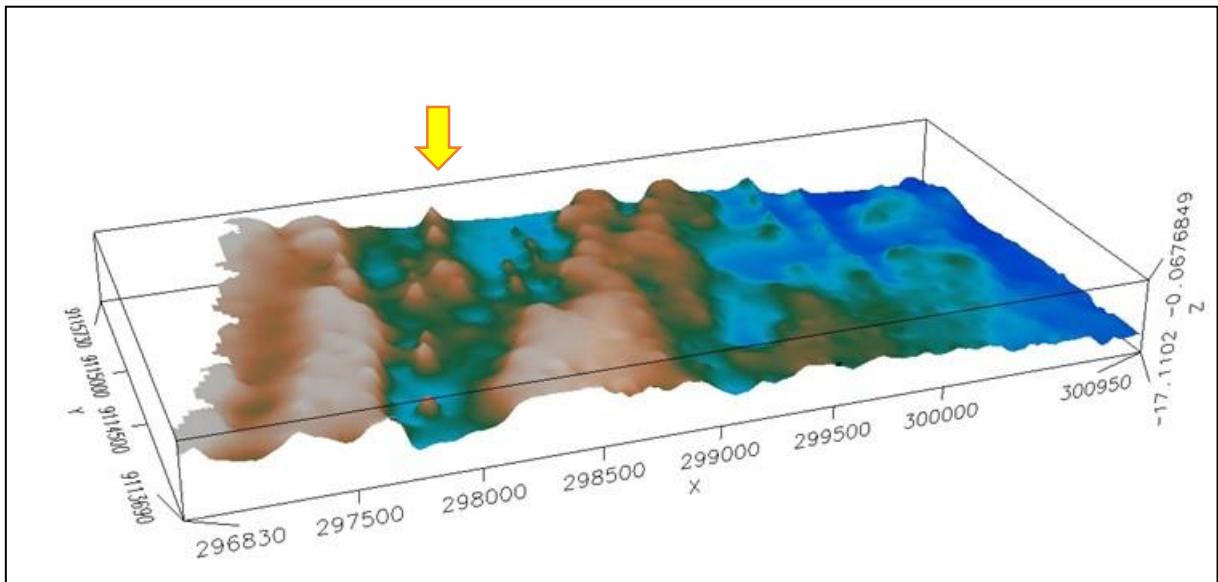


Fonte: O Autor (2018)

É possível ver, ainda neste trecho da plataforma, que o primeiro canal apresenta uma seção bastante irregular, com declividade de 2,6% e uma calha de superfície muito acidentada. Enquanto a seção do segundo canal, neste trecho da batimetria, revelou uma conformação morfológica bastante irregular, com relevo bastante alterado, refletindo, ainda, a interferência dos cordões de recifes em sua superfície, a exemplo do que ocorreu no perfil 02.

Quanto aos registros de porções remanescentes das linhas de recifes existentes, presentes no leito do segundo canal (demarcação vermelha – Figura 90), são mais facilmente percebidos no mapa 3D (seta amarela – Figura 92) produzido para a superfície batimétrica da área de estudo.

Figura 92 – Mapa 3D produzido para a superfície batimétrica da praia de Bairro Novo, Olinda-PE.



Fonte: O Autor (2018).

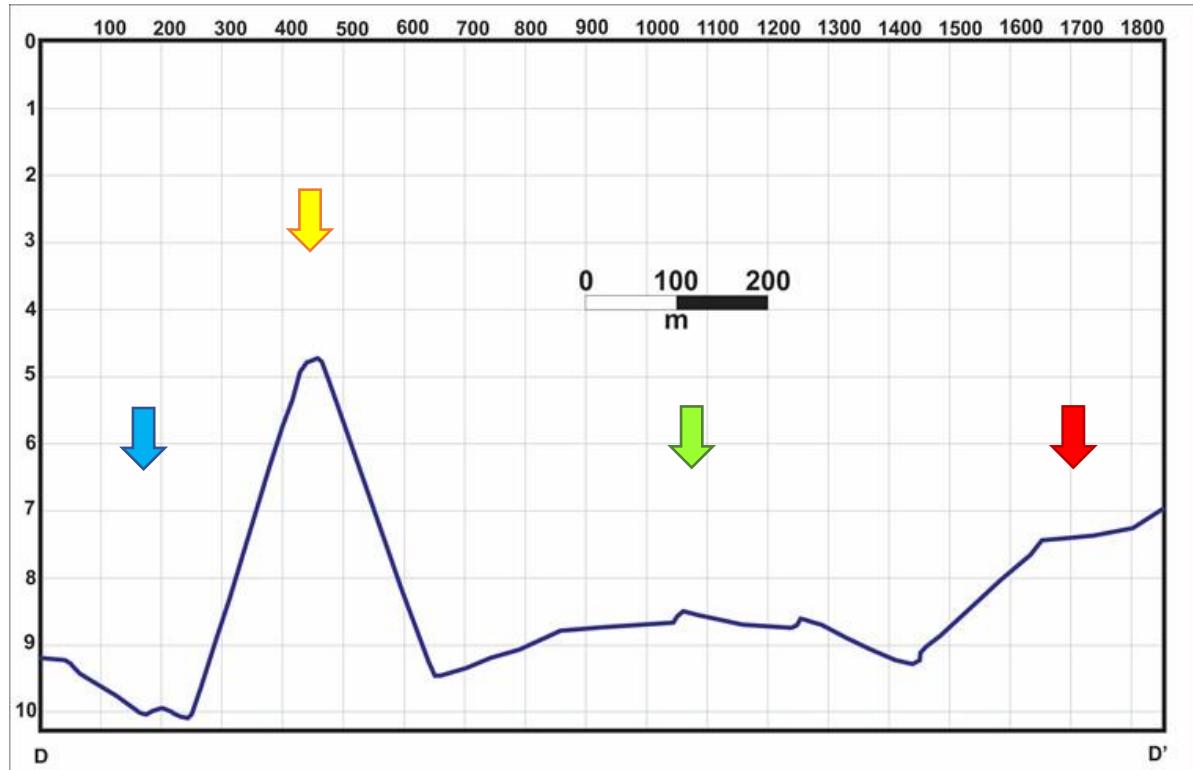
Quanto ao perfil D-D', implantado longitudinalmente na porção média do levantamento batimétrico da praia de Bairro Novo, se apresenta disposto quase paralelamente à linha de costa, com um afastamento da costa da ordem de 600,0 metros (Figura 93).

Neste perfil, com extensão de aproximadamente 1,85 km, percebe-se uma conformação morfológica bastante irregular, com feições bem diferenciadas onde, inicialmente, se vê – de sul para norte – que a primeira feição (seta azul – Figura 93), de leve conformação, se encontra numa profundidade que varia entre 9,0 e 10,0 metros, com declividade de 0,36%.

Esta formação é interrompida por uma segunda feição (seta amarela – Figura 93), que apresenta uma forte elevação na superfície, que se estende ao norte por aproximadamente 400,0 metros, com inclinação em torno de 2,7% e cotas de profundidade que variam entre 4,5 e 10,0 metros. A terceira feição (seta verde – Figura 93), disposta entre 650,0 m e 1.450,0 m, representando aproximadamente 50% do perfil, caracteriza-se por uma plataforma suave, de baixíssima declividade – em torno de 0,23% – e de poucas irregularidades em sua superfície.

A quarta e última feição (seta vermelha – Figura 93), compreendida pelo perfil, com aproximadamente 400,0 metros de extensão, tem superfície pouco acidentada, que se caracteriza por uma leve inclinação para o norte, em torno de 0,6% de declividade.

Figura 93 – Perfil D-D' (paralelo à costa) implantado no mapa batimétrico da praia de Bairro Novo, Olinda-PE.



Fonte: O Autor (2018).

6.4 BALANÇO SEDIMENTAR DA PLATAFORMA CONTINENTAL

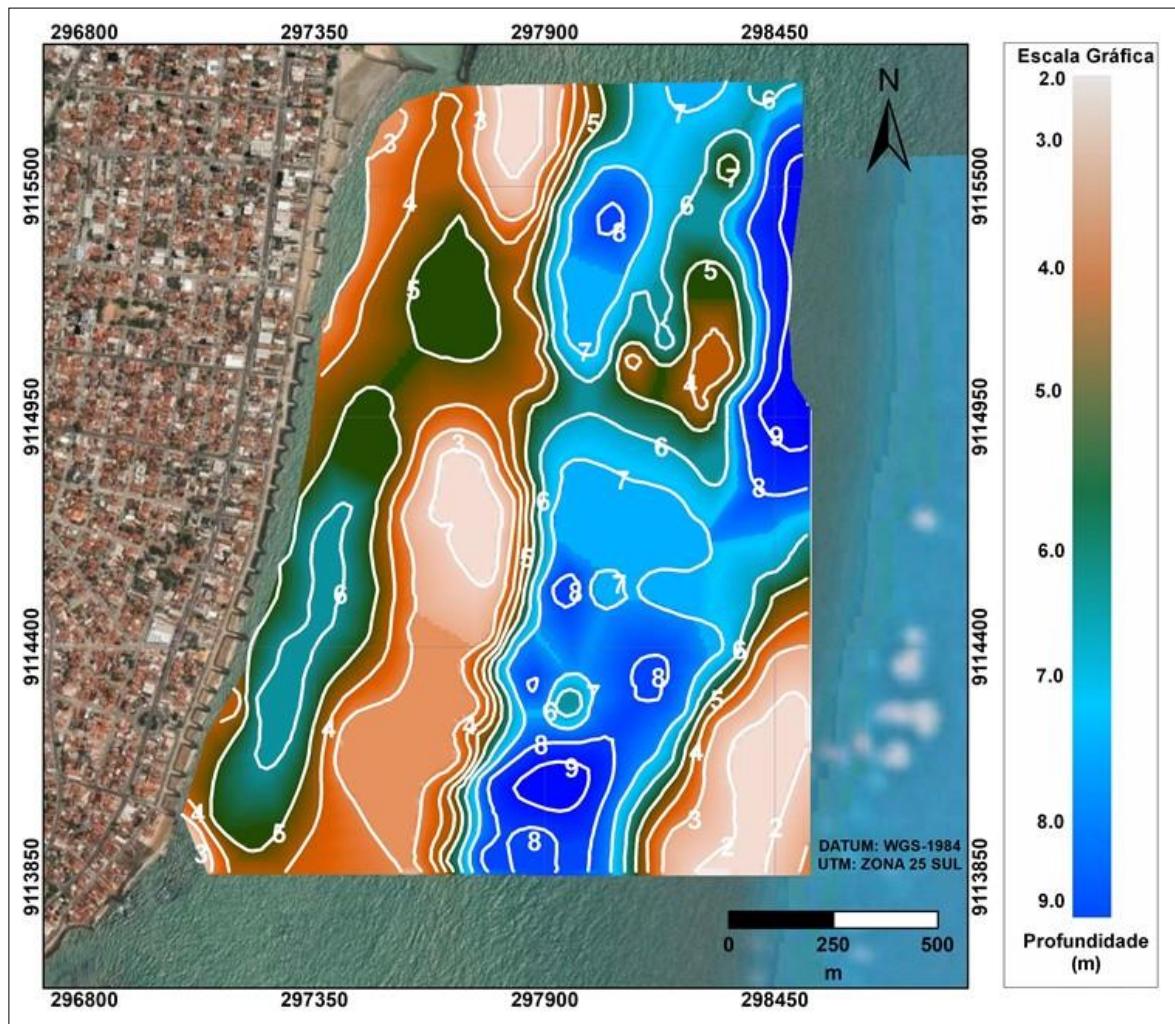
Dentre as consequências decorridas do desequilíbrio das áreas costeiras, a mais impactante, do ponto de vista ambiental, social e econômico, é a alteração no balanço sedimentar, sobretudo quando é identificada a instalação dos processos erosivos costeiros. Essa quantificação do volume estabelecido entre a areia que chega e que sai de um determinado trecho litorâneo tem se constituído, portanto, em ferramenta essencial para diferenciar um processo erosivo (consolidado) de um estado erosivo (condição de momento).

Nesse sentido, este estudo buscou, a partir da quantificação do balanço sedimentar da plataforma continental adjacente à praia de Bairro Novo, conhecer a evolução sedimentar da área estudada, e identificar a existência de correlação entre o comportamento da plataforma e da linha de costa.

O balanço sedimentar para a plataforma continental da praia de Bairro Novo foi obtido, portanto, a partir da sobreposição das superfícies batimétricas resultantes dos levantamentos batimétricos realizados nos anos de 2011 e 2018.

Para uma melhor visualização do comportamento da morfologia de fundo estabelecida, também, a partir da sobreposição de perfis, foi elaborada a atualização do mapa batimétrico de 2011 (Figura 94) nos mesmos moldes a que foi submetido o levantamento batimétrico de 2018.

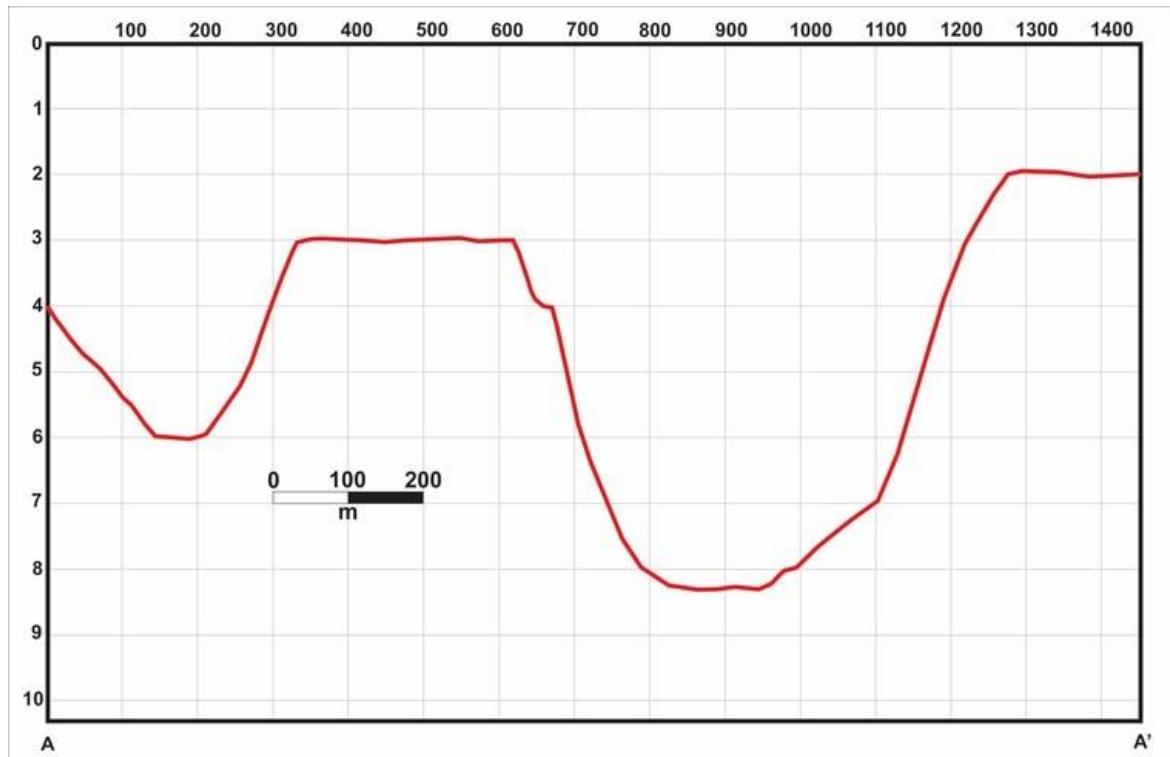
Figura 94 – Atualização do mapa batimétrico de 2011 para a praia de Bairro Novo, Olinda-PE.



Fonte: O Autor (2018).

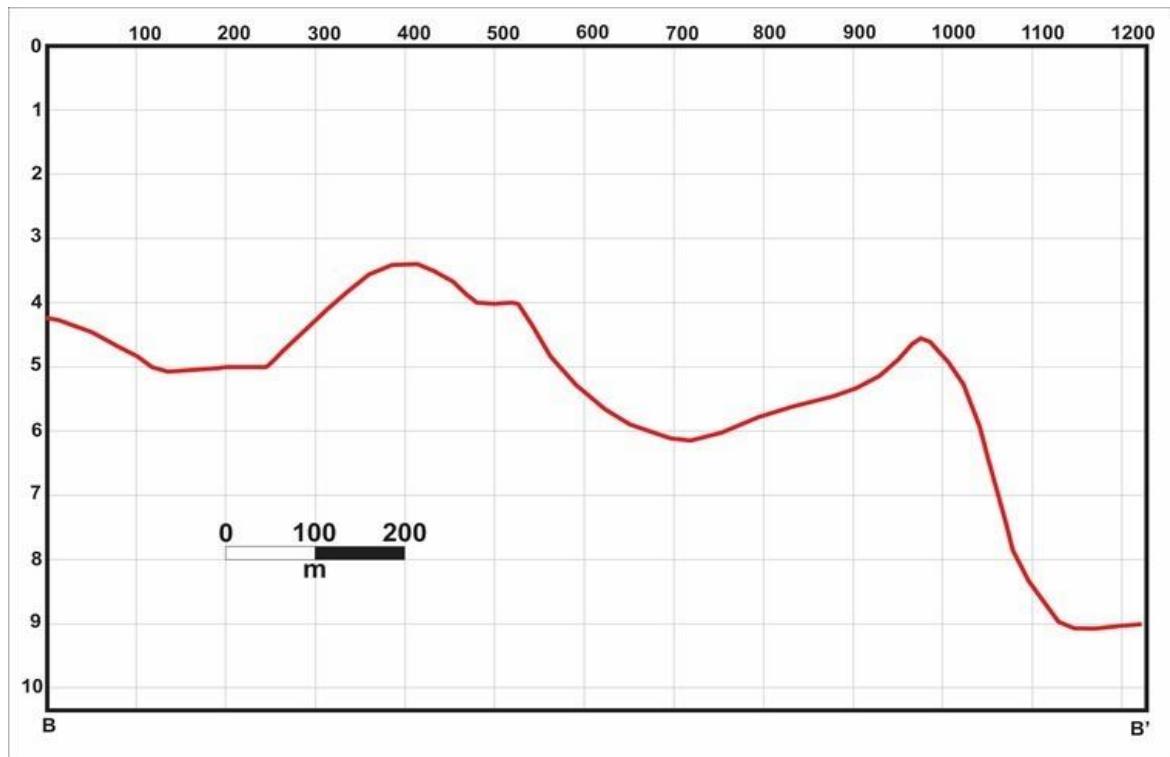
A atualização do mapa batimétrico elaborado no ano de 2011 para a praia de Bairro Novo possibilitou a implantação dos perfis batimétricos (Figuras 95 a 98), implantados nas mesmas condições do mapa batimétrico de 2018 (Figura 87).

Figura 95 – Perfil transversal A-A' implantado no mapa batimétrico da praia de Bairro Novo realizado no ano de 2011.



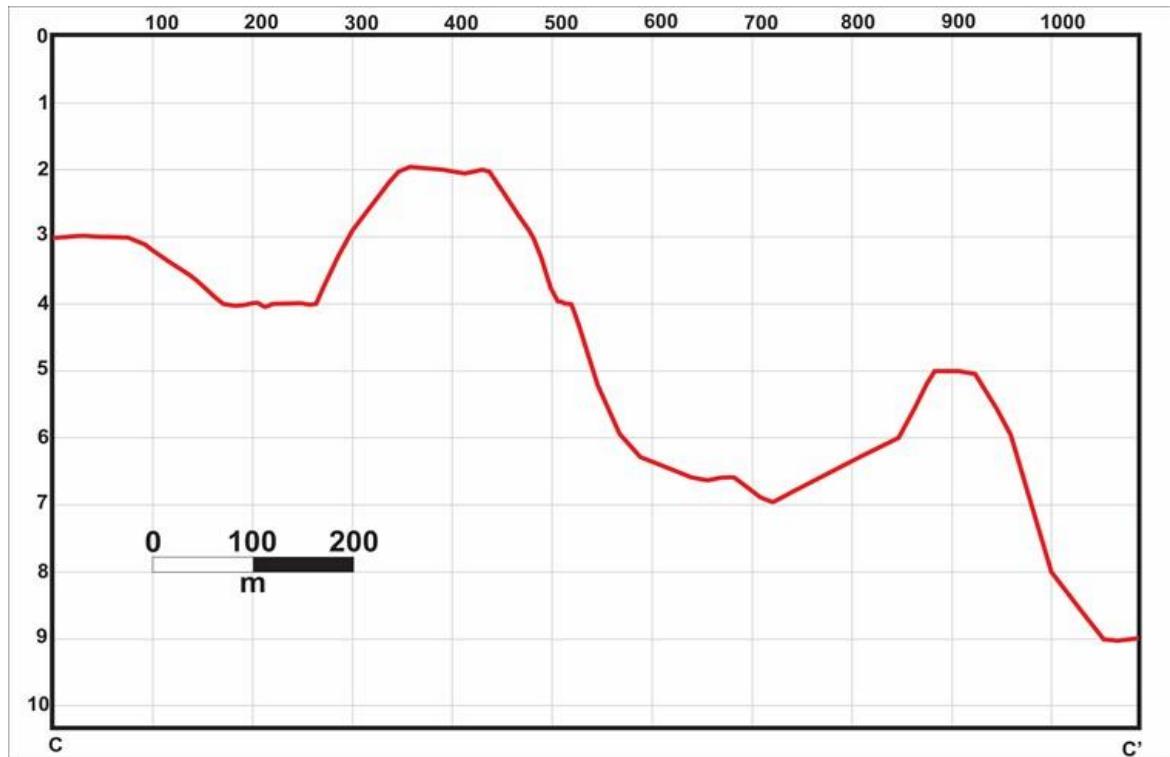
Fonte: O Autor (2018).

Figura 96 – Perfil transversal B-B' implantado no mapa batimétrico da praia de Bairro Novo realizado no ano de 2011.



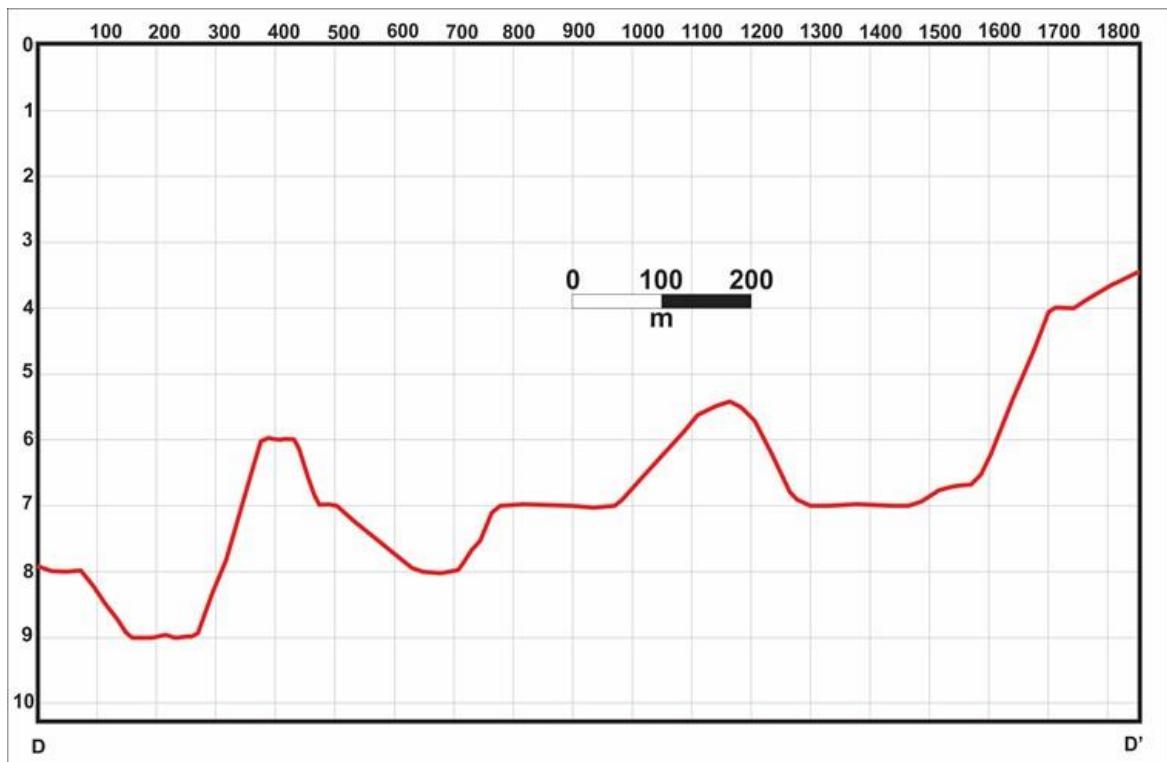
Fonte: O Autor (2018).

Figura 97 – Perfil transversal C-C' implantado no mapa batimétrico da praia de Bairro Novo realizado no ano de 2011.



Fonte: O Autor (2018).

Figura 98 – Perfil longitudinal D-D' implantado no mapa batimétrico da praia de Bairro Novo realizado no ano de 2011.



Fonte: O Autor (2018).

6.4.1 Quantificação do balanço sedimentar da plataforma continental da praia de Bairro Novo

Visando obter uma melhor percepção das possíveis variações morfológicas apresentadas pelas batimetrias realizadas no intervalo de sete anos, bem como de favorecer o cálculo de cubagem para a definição do balanço sedimentar da plataforma adjacente à praia de Bairro Novo, foi elaborado um estudo comparativo estabelecido entre as superfícies batimétricas, assim como para seus respectivos perfis batimétricos, referentes aos levantamentos realizados nos anos de 2011 e 2018.

A análise dos dados apresentados nas batimetrias revela as áreas nas quais possam ocorrer acréscimo ou redução de profundidade, alterações na morfologia de fundos e, principalmente, o resultado do balanço sedimentar que possa refletir a existência de processo erosivo ou deposicional na plataforma continental da área de estudo.

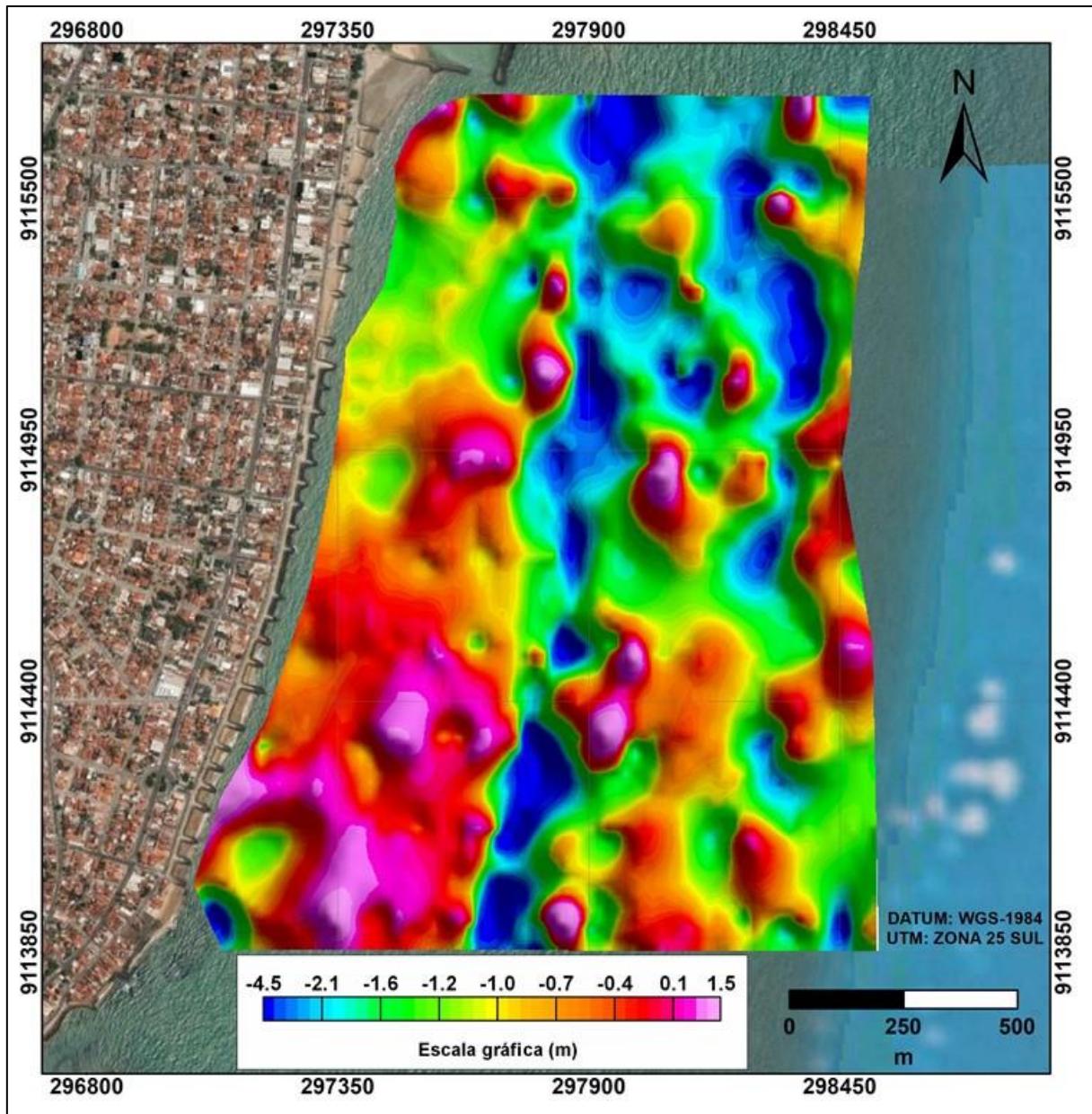
6.4.1.1 Análise comparativa das superfícies batimétricas

A análise das superfícies batimétricas da praia do Bairro Novo, em Olinda, revelou que a batimetria mais antiga, realizada no ano de 2011, e que abrange uma área menor, apresenta cotas batimétricas mais rasas nas proximidades da faixa de praia e nas linhas de recifes naturais (na parte central da primeira linha e ao sul da segunda), representadas pelas curvas de nível de 2,0 e 3,0 metros, respectivamente, no mapa.

Na parte mais distal, não coberta pela batimetria mais antiga, é possível identificar uma região elevada ao sul da área, que pode representar uma terceira faixa dos recifes naturais, na qual se vê uma plataforma inclinada em direção ao alto mar, onde se localizam as maiores cotas, podendo atingir mais de 16,0 metros de profundidade.

Estas diferenças de cotas na morfologia de fundo são mais facilmente observadas a partir da figura 99, que corresponde ao mapa de subtração entre as superfícies batimétricas de 2011 e 2018 para a praia de Bairro Novo, através do qual é possível identificar, com o uso da escala gráfica, as ocorrências de erosão e/ou acreção na área estudada.

Figura 99 – Mapa de subtração dos valores de profundidade dos levantamentos batimétricos dos anos de 2011 e 2018 para a plataforma continental da praia de Bairro Novo, Olinda-PE.



Fonte: O Autor (2018).

Os valores negativos representam os locais nos quais ocorreram erosão (balanço sedimentar negativo), enquanto os valores positivos representam os locais onde ocorreram processos de acreção (balanço sedimentar positivo).

As cores mais frias no mapa, nas tonalidades em azul, equivalem aos locais nos quais ocorreram os maiores rebaixamentos no fundo marinho (de 2,0 a 4,5 metros de profundidade) e, consequentemente, maior perda de sedimentos.

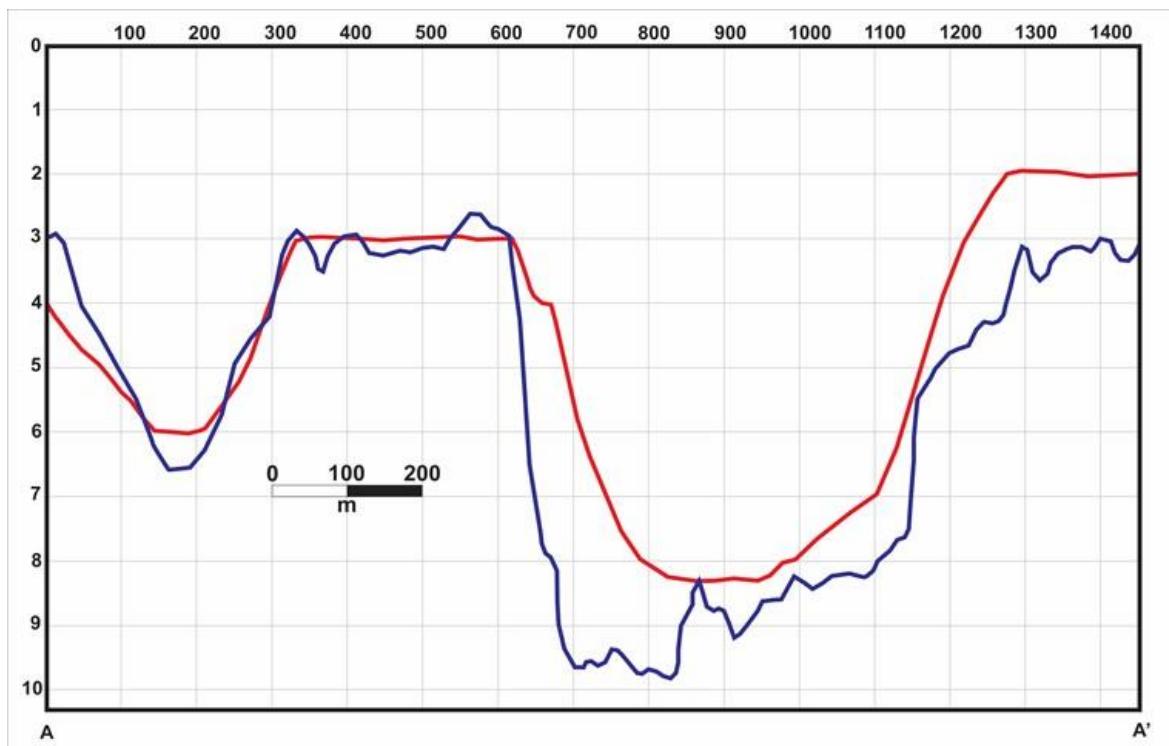
As tonalidades de verde a amarelo representam os rebaixamentos do leito com variação de 1,0 a 2,0 metros, enquanto as cores em tons de vermelho equivalem às áreas nas quais ocorreram os menores rebaixamentos (até 0,50 metros).

Os tons de rosa, para os quais são apropriados os valores positivos, representam os locais nos quais ocorreram os processos de acreção (balanço sedimentar positivo).

6.4.1.2 Análise comparativa dos perfis batimétricos

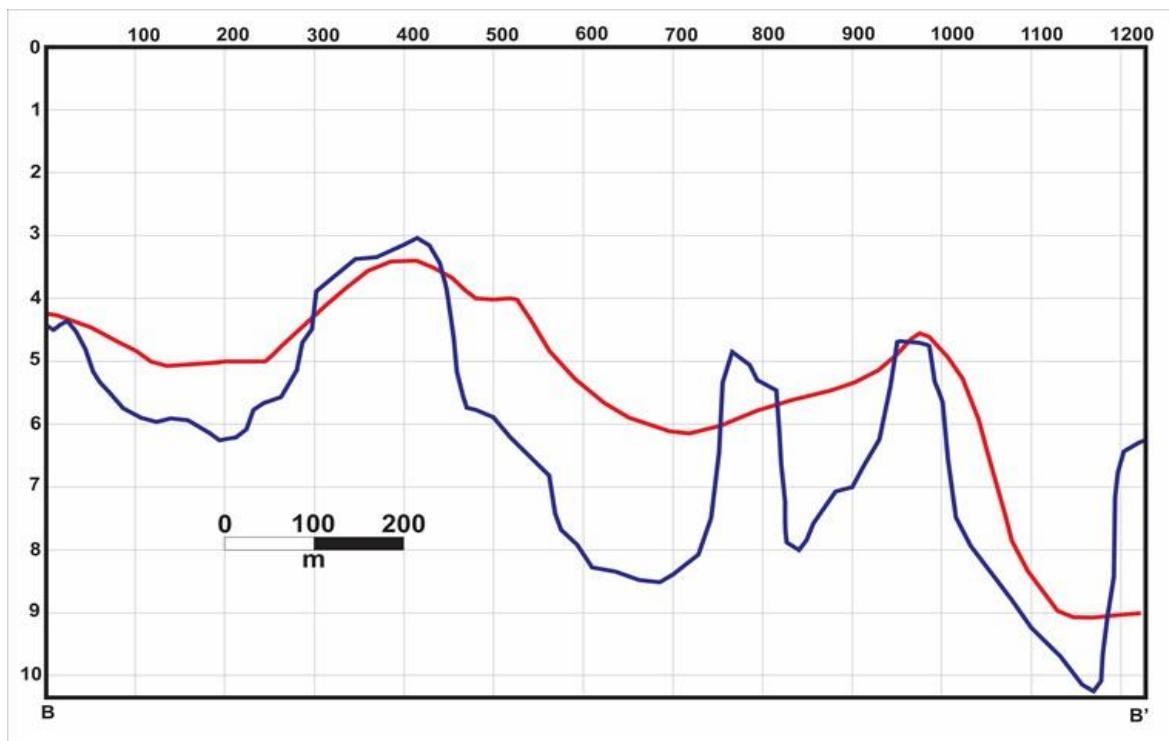
A visualização dos pontos de erosão, bem como de acreção, podem ser percebidos a partir da sobreposição dos perfis A-A', B-B', C-C' e D-D' (Figuras 100 a 103), implantados, respectivamente, nos mapas batimétricos dos anos de 2011 e 2018, onde a ocorrência do perfil de 2011 (vermelho) acima do perfil 2018 (azul) indica que ocorreu, nesse intervalo de sete anos, um rebaixamento do leito (erosão), enquanto que a ocorrência do perfil de 2018 (azul) posicionado acima do perfil 2011 (vermelho) aponta a ocorrência de elevação do leito (acresção).

Figura 100 – Sobreposição dos perfis batimétricos A-A' implantados respectivamente nas batimetrias realizadas nos anos de 2011 (vermelho) e 2018 (azul) para a plataforma continental adjacente à praia de Bairro Novo, Olinda-PE.



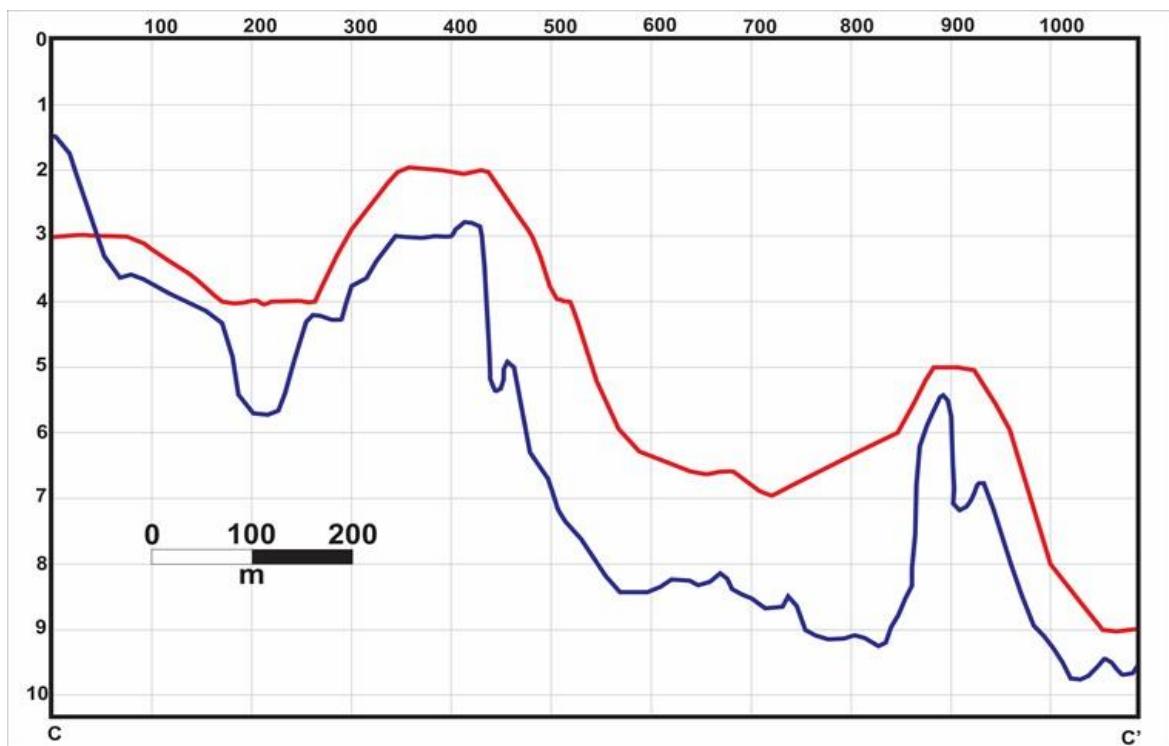
Fonte: O Autor (2018).

Figura 101 – Sobreposição dos perfis batimétricos B-B' implantados respectivamente nas batimetrias realizadas nos anos de 2011 (vermelho) e 2018 (azul) para a plataforma continental adjacente à praia de Bairro Novo, Olinda-PE.



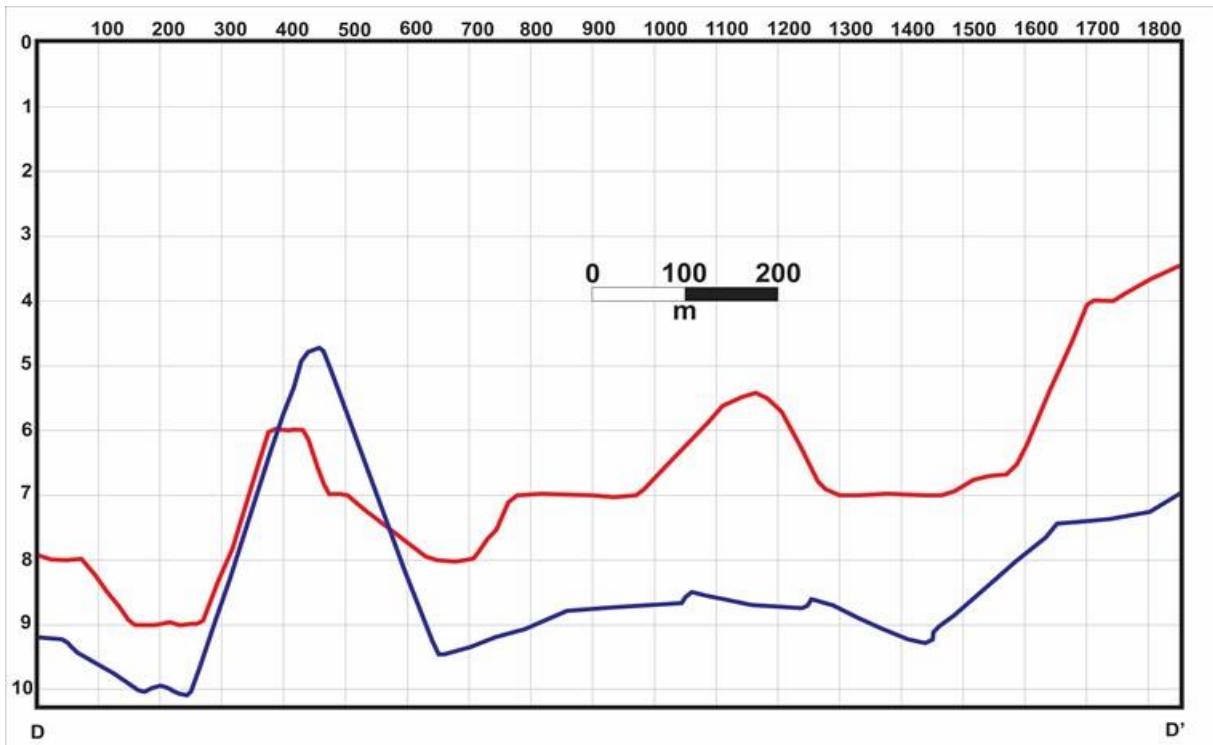
Fonte: O Autor (2018).

Figura 102 – Sobreposição dos perfis batimétricos C-C' implantados respectivamente nas batimetrias realizadas nos anos de 2011 (vermelho) e 2018 (azul) para a plataforma continental adjacente à praia de Bairro Novo, Olinda-PE.



Fonte: O Autor (2018).

Figura 103 – Sobreposição dos perfis batimétricos D-D' implantados respectivamente nas batimetrias realizadas nos anos de 2011 (vermelho) e 2018 (azul) para a plataforma continental adjacente à praia de Bairro Novo, Olinda-PE.



Fonte: O Autor (2018).

A sobreposição de perfis batimétricos revelou com mais clareza o processo de rebaixamento do fundo marinho, ao qual vem sendo submetida a plataforma continental adjacente à praia de Bairro Novo, em Olinda.

A sobreposição dos perfis A-A', implantados no “Setor A” da praia – extremo sul da área de estudo – mostrou uma pequena variação na morfologia de fundo nos setores mais proximais, distantes em torno de 100,0 metros da costa, onde o leito apresentou um acréscimo sedimentar em torno de 1,0 metro.

No entanto, imediatamente após esta área, na faixa compreendida entre 130,0 e 230,0 metros da costa, notou-se um leve aprofundamento no leito canal, com aumento de profundidade de aproximadamente 0,70 m. Processo também identificado no segundo canal, porém com maior relevância, em razão dos acréscimos de profundidades de mais de 3,0 m.

Quanto às duas linhas de recifes naturais, a evolução dos perfis A-A' demonstrou um comportamento uniforme na morfologia da primeira linha, sem alterações significativas. Porém, no setor mais distal da costa, onde está a segunda linha de recifes, observou-se alterações significativas, com profundidades acrescidas em torno de 2,0 metros.

Os perfis B-B' foram implantados no “Setor B” da praia de Bairro Novo, área em que foi observada, na praia, o maior déficit sedimentar.

Na sobreposição destes perfis foi evidenciado um comportamento quase uniforme quanto ao rebaixamento do assoalho marinho, sendo observados acréscimos de profundidades com mais de 2,0 metros. Condição esta que não se aplicou apenas ao primeiro cordão de recifes que, a exemplo do que revelou a sobreposição dos perfis A-A', manteve-se com sua superfície pouco alterada mostrando, inclusive, uma leve redução de profundidade (em torno de 0,20m).

O comportamento da sobreposição dos perfis C-C', implantados no “Setor C” – na extremidade norte da praia de Bairro Novo – refletiu nas proximidades da praia um comportamento idêntico aos perfis A-A, quando foi observado um processo de acreção, desta feita, porém, com elevação do fundo em aproximadamente 1,50 metros.

Neste setor C-C', a partir de 50,0 metros de distância da costa, foi identificado um comportamento linear de rebaixamento do fundo marinho, apresentando variações de profundidade entre 0,30 e 3,50 metros.

A sobreposição dos perfis longitudinais D-D', implantados paralelamente à linha de costa, refletiu um comportamento de rebaixamento do leito em quase sua totalidade, sobretudo na porção média da seção, correspondente ao “Setor B” da praia.

6.4.1.3 Cubagem do balanço sedimentar da plataforma continental da praia de Bairro Novo entre os anos de 2011 e 2018

A quantificação do volume (cubagem) resultante da sobreposição dos mapas batimétricos elaborados para a plataforma interna da praia de Bairro Novo, nos anos de 2011 e 2018, foi obtida a partir da elaboração de um projeto com o uso do programa HYPACK-2017.

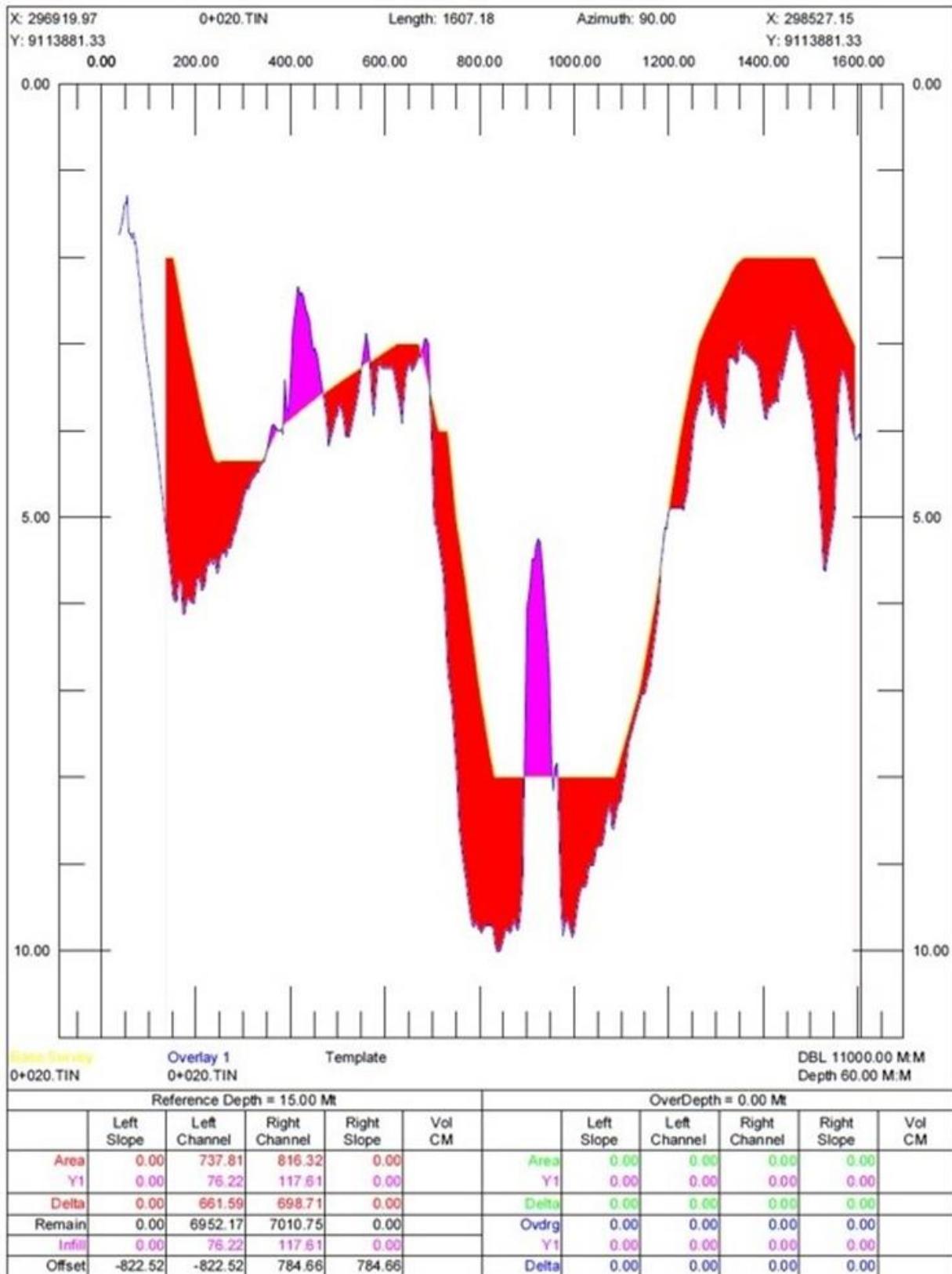
Para esse projeto foi adotado um total de 92 seções, espaçadas a cada 20,0 metros, tendo sido fixada a cota de projeto em 15,0 metros de profundidade, cota que foi compatibilizada com a maior profundidade registrada pelos levantamentos batimétricos utilizados.

A figuras 104 e 105 representam duas seções transversais (0+020 e 0+040) – primeira e última, respectivamente – dentre as 92 seções que compuseram o projeto de cubagem do volume que representa o balanço sedimentar da plataforma continental adjacente à praia de Bairro Novo.

A linha de contorno na cor amarela é referente à batimetria feita em 2011, enquanto a linha de contorno azul é referente à batimetria executada no ano de 2018.

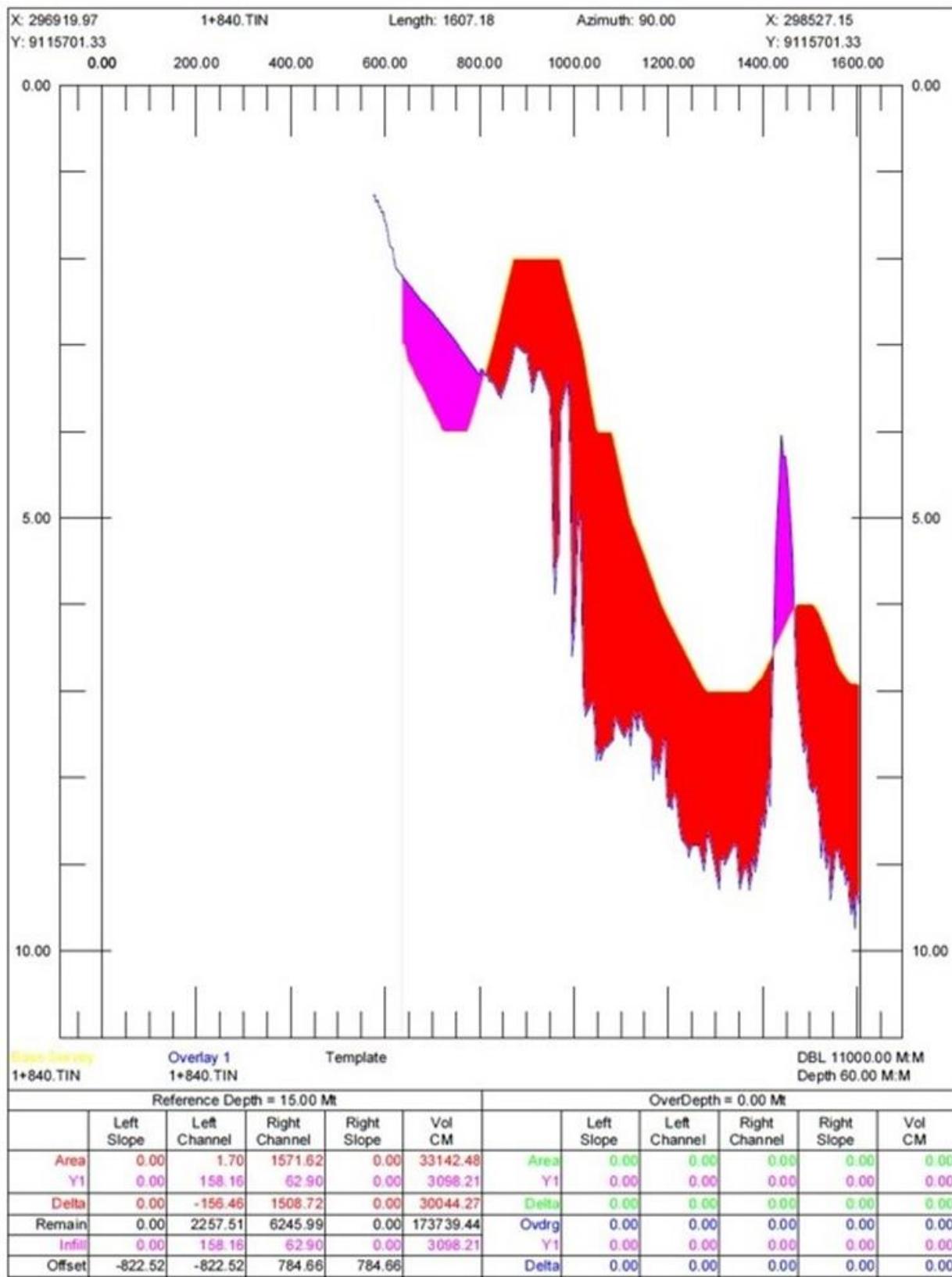
As áreas preenchidas na cor vermelha são referentes aos locais nos quais ocorreram rebaixamento do leito (erosão), enquanto as áreas preenchidas na cor rosa correspondem aos locais em que houve ganho (acreção).

Figura 104 – Seção transversal (0+020) que compõe o projeto de cubagem para determinação do balanço sedimentar da plataforma continental adjacente à praia de Bairro Novo, Olinda-PE.



Fonte: O Autor (2018).

Figura 105 – Seção transversal (1+840) que compõe o projeto de cubagem para determinação do balanço sedimentar da plataforma continental adjacente à praia de Bairro Novo, Olinda-PE.



Fonte: O Autor (2018).

A partir das 92 seções geradas, foi gerado um mapa de cubagem (Figura 106), no qual são detalhados o volume total de sedimentos perdidos e o volume total de sedimentos ganhos pela plataforma continental durante o intervalo analisado.

Figura 106 – Mapa de cubagem resultante das 92 seções obtidas com a sobreposição dos mapas batimétricos elaborados em 2011 e 2018 para a plataforma interna da praia de Bairro Novo, Olinda-PE.

Office Engineering Section, Survey Branch					
Run: 24/03/2018 09:23:52					
Dredging Quantities Summary					
Materials	Gross Material	Infill	Net Material		
Total Removed To Project Depth	2556706.06	161093.93	2395612.13		
Total Pay Removed In Overdepth	0.00	0.00	0.00		
Total Pay Removed	2556706.06	161093.93	2395612.13		
Total Removed	2556706.06	161093.93	2395612.13		
Total Remaining Above Project Depth .	19949972.26		19949972.26		
Total Overdredged Material	0.00	0.00	0.00		
Total Infill Material		161093.93			
Philadelphia Options					
Template Option		Side Slope			
Set Sideslope Overdepth to 0.00		false			
Limit DBL To Pre Dredge Above Sub Depth Side Slope		true			
Toe Pay Option		All			
Dredging Option		Contour			
Set Project Depth		false			
Line Summary					
Stat.	Filename	CenterDepthDist	Prev Line	OverDepth	Left Slope Right Slope
0+020.TIN	0+020.TIN	15.00m	0.00m	15.00m	0.00\1 0.00\1
0+040.TIN	0+040.TIN	15.00m	20.00m	15.00m	0.00\1 0.00\1
0+060.TIN	0+060.TIN	15.00m	20.00m	15.00m	0.00\1 0.00\1
0+080.TIN	0+080.TIN	15.00m	20.00m	15.00m	0.00\1 0.00\1
0+100.TIN	0+100.TIN	15.00m	20.00m	15.00m	0.00\1 0.00\1
0+120.TIN	0+120.TIN	15.00m	20.00m	15.00m	0.00\1 0.00\1
0+140.TIN	0+140.TIN	15.00m	20.00m	15.00m	0.00\1 0.00\1
0+160.TIN	0+160.TIN	15.00m	20.00m	15.00m	0.00\1 0.00\1
0+180.TIN	0+180.TIN	15.00m	20.00m	15.00m	0.00\1 0.00\1
0+200.TIN	0+200.TIN	15.00m	20.00m	15.00m	0.00\1 0.00\1
0+220.TIN	0+220.TIN	15.00m	20.00m	15.00m	0.00\1 0.00\1
0+240.TIN	0+240.TIN	15.00m	20.00m	15.00m	0.00\1 0.00\1
0+260.TIN	0+260.TIN	15.00m	20.00m	15.00m	0.00\1 0.00\1
0+280.TIN	0+280.TIN	15.00m	20.00m	15.00m	0.00\1 0.00\1
0+300.TIN	0+300.TIN	15.00m	20.00m	15.00m	0.00\1 0.00\1
0+320.TIN	0+320.TIN	15.00m	20.00m	15.00m	0.00\1 0.00\1
0+340.TIN	0+340.TIN	15.00m	20.00m	15.00m	0.00\1 0.00\1

Fonte: O Autor (2018).

De acordo com o mapa obtido, durante o intervalo de 07 anos (2011 a 2018) a plataforma continental adjacente à praia de Bairro Novo apresentou um ganho de sedimentos de 161.093,93m³ e uma perda de volume sedimentar de 2.556.706,06m³, produzindo um balanço negativo de 2.395.612,13m³ de sedimentos.

6.5 ESTUDO SEDIMENTOLÓGICO DA PRAIA DE BAIRRO NOVO

Visando compreender o comportamento sedimentar da área de estudo, foi realizado o estudo sedimentológico da praia e da plataforma continental da área de estudo.

6.5.1 Sedimentologia – ambiente praial

Para a sedimentologia da praia, foram selecionados 30 pontos de coletas, correspondendo a cada uma das células que compõem toda a extensão da orla de Bairro Novo. Em algumas células foi possível a coleta de 03 amostras de sedimentos, uma amostra na base do enrocamento (A-1), outra no estirâncio médio (A-2) e a outra no estirâncio superior (A-3). Em outras células, em razão de um curto estirâncio apresentado na praia, a quantidade de coleta por ponto foi limitada a duas amostras, sendo uma amostra na base do enrocamento aderente (A-1) e a outra no estirâncio médio (A-2).

Destaca-se, ainda, o fato de que em três células (11-12, 15-16 e 18-19), referentes, respectivamente, aos pontos de coleta P11, P15 e P18, não foi possível a coleta de sedimentos em razão da grande profundidade apresentada à frente da base do enrocamento. Sendo coletadas, portanto, ao longo dos 30 compartimentos, 42 amostras de sedimentos e, posteriormente, encaminhadas para laboratório, para as quais os resultados são demonstrados na Tabela 02.

Jesus & Andrade (2013), ao referenciar Martins (2003), Davis Jr & FitzGerald (2004), e Friedman (1967), esclarecem que a granulação dos sedimentos de praia, em geral, varia de areia muito fina à média, enquanto a granulação dos sedimentos fluviais varia de areia média à grossa. Porém, quando a oferta de sedimentos é muito grande, a praia pode ser composta tanto por areia e cascalho (seixo, granulo), como por silte. Os sedimentos finos (lama) tendem a se acumular em ambientes de baixa energia de ondas, enquanto os sedimentos tamanho areia tendem a se acumular em ambientes de alta energia de ondas. A atuação de eventos de tempestade, no entanto, pode alterar temporariamente a energia do ambiente, favorecendo a deposição momentânea de sedimentos mais grossos. A proporção de sedimentos mais grossos é maior em praias contíguas às desembocaduras fluviais, em função da proximidade da área fonte.

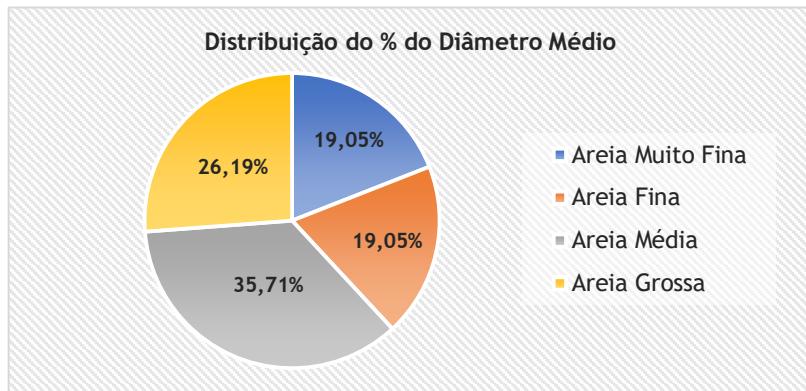
TABELA 02 – Sedimentologia da praia de Bairro Novo, Olinda-PE.

Amostra	Média (Φ)	Classificação	Mediana	Seleção	Classificação
Perfil 1 - A2	2,113	Areia fina	1,941	0,6617	Moderadamente selecionado
Perfil 1 - A3	3,109	Areia muito fina	2,911	0,612	Moderadamente selecionado
Perfil 2 - A1	2,53	Areia fina	2,712	0,5539	Moderadamente selecionado
Perfil 2 - A3	3,141	Areia muito fina	2,98	0,6538	Moderadamente selecionado
Perfil 3 - A2	2,119	Areia fina	2,539	0,9676	Moderadamente selecionado
Perfil 4 - A1	2,06	Areia fina	1,863	0,6558	Moderadamente selecionado
Perfil 4 - A3	3,009	Areia muito fina	2,802	0,6297	Moderadamente selecionado
Perfil 5 - A1	1,74	Areia média	1,751	0,8333	Moderadamente selecionado
Perfil 5 - A2	2,402	Areia fina	2,668	0,7907	Moderadamente selecionado
Perfil 6 - A2	1,038	Areia média	0,8168	0,6974	Moderadamente selecionado
Perfil 7 - A2	1,704	Areia média	1,71	0,8648	Moderadamente selecionado
Perfil 7 - A3	2,545	Areia fina	2,724	0,5798	Moderadamente selecionado
Perfil 8 - A1	2,109	Areia fina	1,924	0,6418	Moderadamente selecionado
Perfil 8 - A2	1,252	Areia média	0,997	1,323	Pobremente selecionado
Perfil 19 - A1	1,091	Areia média	0,8656	0,7438	Moderadamente selecionado
Perfil 21 - A2	1,071	Areia média	0,8577	0,5113	Moderadamente selecionado
Perfil 21 - A3	0,9847	Areia grossa	0,7703	0,7845	Moderadamente selecionado
Perfil 22 - A2	0,5154	Areia grossa	0,709	0,5872	Moderadamente selecionado
Perfil 22 - A3	0,1764	Areia grossa	-0,03279	0,6826	Moderadamente selecionado
Perfil 22 - A4	1,121	Areia média	0,9178	0,5224	Moderadamente selecionado
Perfil 23 - A2	0,7428	Areia grossa	0,7453	0,7995	Moderadamente selecionado
Perfil 23 - A3	0,1581	Areia grossa	-0,0245	0,5301	Moderadamente selecionado
Perfil 24 - A1	1,365	Areia média	1,559	0,5157	Moderadamente selecionado
Perfil 24 - A2	0,1144	Areia grossa	-0,1248	0,6624	Moderadamente selecionado
Perfil 25 - A1	1,479	Areia média	1,686	0,5994	Moderadamente selecionado
Perfil 25 - A2	0,7446	Areia grossa	0,7588	0,9512	Moderadamente selecionado
Perfil 25 - A3	0,9904	Areia grossa	0,7808	0,645	Moderadamente selecionado
Perfil 25 - A4	1,334	Areia média	1,514	0,519	Moderadamente selecionado
Perfil 26 - A1	1,052	Areia média	0,84	0,6122	Moderadamente selecionado
Perfil 26 - A2	0,4543	Areia grossa	0,6624	0,6704	Moderadamente selecionado
Perfil 26 - A3	1,462	Areia média	0,9111	1,545	Pobremente selecionado
Perfil 27 - A1	0,8181	Areia grossa	0,7828	0,8851	Moderadamente selecionado
Perfil 27 - A2	0,1664	Areia grossa	-0,02065	0,6065	Moderadamente selecionado
Perfil 28 - A1	1,464	Areia média	1,677	0,6515	Moderadamente selecionado
Perfil 28 - A2	1,623	Areia média	1,575	0,8669	Moderadamente selecionado
Perfil 28 - A3	3,029	Areia muito fina	3,564	1,164	Pobremente selecionado
Perfil 29 - A1	1,774	Areia média	1,765	0,7968	Moderadamente selecionado
Perfil 29 - A2	2,713	Areia fina	2,767	1,018	Pobremente selecionado
Perfil 29 - A3	3,042	Areia muito fina	3,569	1,055	Pobremente selecionado
Perfil 30 - A1	3,057	Areia muito fina	2,856	0,6467	Moderadamente selecionado
Perfil 30 - A2	3,394	Areia muito fina	3,64	0,6463	Moderadamente selecionado
Perfil 30 - A3	3,123	Areia muito fina	2,965	0,6576	Moderadamente selecionado

Fonte: O Autor (2018).

De acordo com a classificação granulométrica de Wentworth (1920), os sedimentos que compõe a praia de Bairro Novo, conforme análise das amostras coletadas, apresentaram diâmetro médio variando entre os seguintes intervalos, em mm: Areia Muito Fina ($0,125 - 0,0625$) = 19,05%; Areia Fina ($0,25 - 0,125$) = (19,05%); Areia Média ($0,5 - 0,25$) = 35,71%; e Areia Grossa ($0,5 - 1,0$) = 26,19%, (Figura 107).

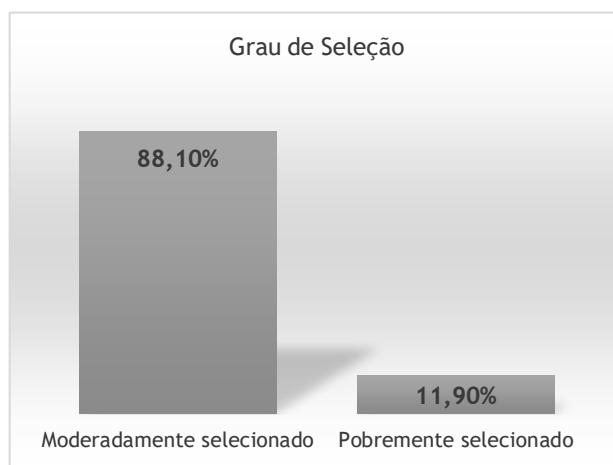
Figura 107 – Gráfico de distribuição granulométrica dos sedimentos da praia de Bairro Novo, Olinda-PE.



Fonte: O Autor (2018)

De acordo com as análises sedimentológicas, quanto ao grau de seleção, os sedimentos que compõem a praia de Bairro Novo se caracterizaram majoritariamente como “Moderadamente Selecionados”, com 88,1% das amostras, enquanto 11,9% dos sedimentos foram classificados como “Pobremente Selecionados” (Figura 108).

Figura 108 – Grau de seleção dos sedimentos da praia de Bairro Novo, Olinda-PE.



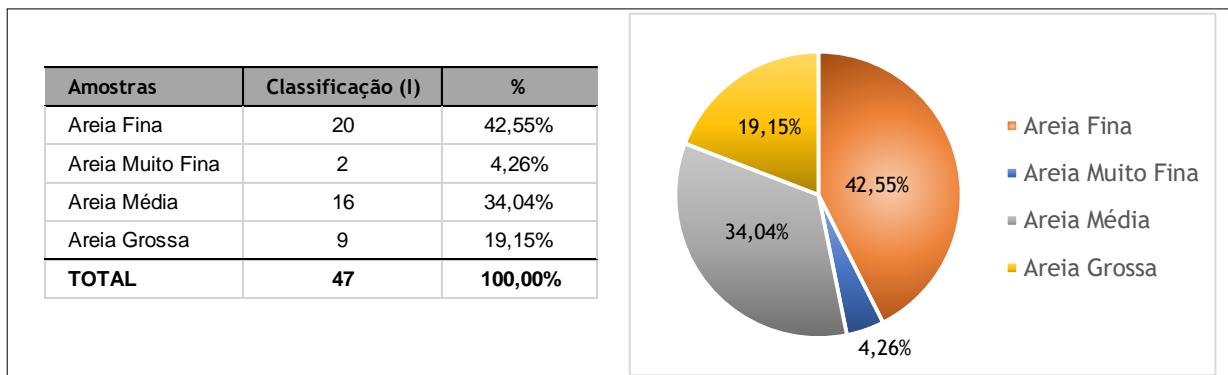
Fonte: O Autor (2018)

A distribuição granulométrica dos sedimentos da praia de Bairro Novo reflete a influência que este segmento costeiro recebe dos processos relacionados à descarga

fluvial, uma vez que esta área se encontra localizada, de forma equidistante, entre duas desembocaduras fluviais, o rio Doce ao norte, na divisa com o município de Paulista, e o rio Beberibe ao sul, na divisa com a cidade de Recife.

Os dados sedimentológicos apresentados por Gois (2011) para a mesma área indicam ter havido neste intervalo de sete anos um acréscimo gradual na granulação dos sedimentos (Figura 109).

Figura 109 – Distribuição granulométrica dos sedimentos da praia de Bairro Novo em 2011.



Fonte: Modificado de Gois (2011)

Ao comparar os dados sedimentológicos de 2011 e 2018, com enfoque individual no comportamento dos sedimentos de cada célula, foi possível identificar que essa tendência de acréscimo na granulação dos sedimentos se concentrou nos últimos compartimentos (extremo norte da praia), conforme pode ser visto na figura 110.

Figura 110 – Células que representaram um aumento gradual na granulação dos sedimentos da praia de Bairro Novo entre os anos de 2011 e 2018.

2011			2018		
Amostra	Média (Φ)	Classificação	Amostra	Média (Φ)	Classificação
P26, A01	1.163	Areia média	Perfil 26 - A1	1,052	Areia média
P26, A02	1.055	Areia média	Perfil 26 - A2	0,4543	Areia grossa
P27, A01	2.103	Areia fina	Perfil 27 - A1	0,8181	Areia grossa
P27, A02	1.779	Areia média	Perfil 27 - A2	0,1664	Areia grossa
P28, A01	1.547	Areia média	Perfil 28 - A1	1,464	Areia média
P28, A02	1.039	Areia média	Perfil 28 - A2	1,623	Areia média
P29, A01	3.067	Areia muito fina	Perfil 29 - A1	1,774	Areia média
P29, A02	2.722	Areia fina	Perfil 29 - A2	2,713	Areia fina
P30, A01	2.772	Areia fina	Perfil 30 - A1	3,057	Areia muito fina
P30, A02	3.108	Areia muito fina	Perfil 30 - A2	3,394	Areia muito fina

Fonte: O Autor (2018).

6.5.2 Sedimentologia – plataforma continental

Para a análise sedimentológica da plataforma interna da praia de Bairro Novo, foram definidos 55 pontos de coleta de amostras, tomados a partir da rota traçada pela embarcação, quando da realização do levantamento batimétrico, conforme detalhado na Figura 111.

Figura 111 – Localização dos 55 pontos de coleta de sedimentos na plataforma interna adjacente à praia de Bairro Novo, Olinda-PE.



Fonte: O Autor (2018).

A exemplo do que foi realizado na sedimentologia da praia, a análise granulométrica das 55 amostras de sedimentos da plataforma interna da praia de Bairro Novo foi baseada na metodologia adotada pelo Laboratório de Geologia Marinha (LGGM), da Universidade Federal de Pernambuco, para as quais se apresentam os resultados na Tabela 03.

TABELA 03 – Sedimentologia da plataforma continental adjacente à praia de Bairro Novo, Olinda-PE.

Amostra	Coordenadas UTM		Média (Φ)	Classificação	Mediana	Seleção	Classificação
BN 01	297528	9115710	3,745	Areia muito fina	3,745	0,3556	Bem selecionado
BN 02	297682	9115655	0,1275	Areia grossa	-1,042	1,837	Pobremente selecionado
BN 03	298250	9115710	2,733	Areia fina	2,733	0,4582	Bem selecionado
BN 04	298850	9115710	3,023	Areia muito fina	2,812	0,4971	Bem selecionado
BN 05	299950	9115710		QUANTIDADE INSUFICIENTE DA AMOSTRA			
BN 06	297403	9115510	3,727	Areia muito fina	3,727	0,4868	Bem selecionado
BN 07	297657	9115510	1,155	Areia média	0,9615	1,164	Pobremente selecionado
BN 08	298230	9115510	2,751	Areia fina	2,751	0,5911	Moderadamente selecionado
BN 09	298850	9115510	3,164	Areia muito fina	2,921	1,149	Pobremente selecionado
BN 10	299950	9115510		DUPLICIDADE DE AMOSTRA			
BN 11	297364	9115309	3,737	Areia muito fina	3,737	0,5525	Moderadamente selecionado
BN 12	297620	9115311	0,6661	Areia grossa	0,7376	1,005	Pobremente selecionado
BN 13	298200	9115310	0,6382	Areia grossa	0,6179	0,9642	Moderadamente selecionado
BN 14	298850	9115310		QUANTIDADE INSUFICIENTE DA AMOSTRA			
BN 15	299950	9115310	3,56	Areia muito fina	3,61	0,7933	Moderadamente selecionado
BN 16	297330	9115093	0,6844	Areia grossa	0,6589	0,9936	Moderadamente selecionado
BN 17	297587	9115110	1,34	Areia média	1,506	0,5264	Moderadamente selecionado
BN 18	298150	9115110	2,723	Areia fina	2,723	0,3968	Bem selecionado
BN 19	298850	9115110	2,435	Areia fina	2,646	0,5081	Moderadamente selecionado
BN 20	299950	9115110	4,028	Silte grosso	3,923	0,6226	Moderadamente selecionado
BN 21	297294	9114931	3,126	Areia muito fina	2,949	0,6595	Moderadamente selecionado
BN 22	297534	9114911	0,3823	Areia grossa	0,5851	0,6341	Moderadamente selecionado
BN 23	298100	9114910	1,37	Areia média	1,501	1,226	Pobremente selecionado
BN 24	298850	9114910	-0,9003	Areia muito grossa	-1,192	0,961	Moderadamente selecionado
BN 25	299950	9114910	-0,3034	Areia muito grossa	-0,3937	1,345	Pobremente selecionado
BN 26	297269	9114736	0,8881	Areia grossa	0,8319	0,9483	Moderadamente selecionado
BN 27	297481	9114710	0,382	Areia grossa	0,6191	0,8165	Moderadamente selecionado
BN 28	298050	9114710	1,073	Areia média	0,8476	0,7236	Moderadamente selecionado
BN 29	298850	9114710		QUANTIDADE INSUFICIENTE DA AMOSTRA			
BN 30	299950	9114710	-0,9374	Areia muito grossa	-1,197	0,9649	Moderadamente selecionado
BN 31	297209	9114510	3,099	Areia muito fina	2,887	0,6285	Moderadamente selecionado
BN 32	297431	9114510	0,4526	Areia grossa	0,6742	0,7526	Moderadamente selecionado
BN 33	298000	9114510		QUANTIDADE INSUFICIENTE DA AMOSTRA			
BN 34	298850	9114510		QUANTIDADE INSUFICIENTE DA AMOSTRA			
BN 35	299950	9114510	0,4923	Areia grossa	0,6309	1,393	Pobremente selecionado
BN 36	297160	9114310	0,06665	Areia grossa	-1,131	1,893	Pobremente selecionado
BN 37	297377	9114310	0,3844	Areia grossa	0,6101	0,8274	Moderadamente selecionado
BN 38	297950	9114310		QUANTIDADE INSUFICIENTE DA AMOSTRA			
BN 39	298850	9114310	2,405	Areia fina	2,617	0,5125	Moderadamente selecionado
BN 40	299950	9114310	1,846	Areia média	2,664	1,334	Pobremente selecionado

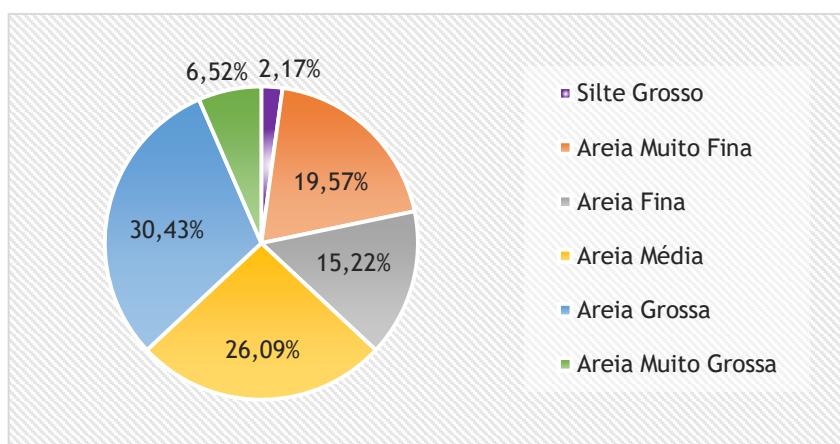
TABELA 03: (Continuação)

Amostra	Coordenadas UTM		Média (Φ)	Classificação	Mediana	Seleção	Classificação
BN 41	297061	9114110	3,121	Areia muito fina	2,885	0,6042	Moderadamente selecionado
BN 42	297342	9114110	0,4286	Areia grossa	0,7103	1,161	Pobremente selecionado
BN 43	297930	9114110	1,636	Areia média	1,688	0,9726	Moderadamente selecionado
BN 44	298850	9114110	1,479	Areia média	2,594	1,908	Pobremente selecionado
BN 45	299950	9114110	0,855	Areia grossa	0,8227	1,169	Pobremente selecionado
BN 46	297004	9113910		QUANTIDADE INSUFICIENTE DA AMOSTRA			
BN 47	297300	9113910	1,649	Areia média	1,732	1,153	Pobremente selecionado
BN 48	297900	9113910	1,453	Areia média	1,662	0,6044	Moderadamente selecionado
BN 49	298850	9113910	2,369	Areia fina	2,568	0,524	Moderadamente selecionado
BN 50	299950	9113910	0,7296	Areia grossa	0,7394	0,7832	Moderadamente selecionado
BN 51	297050	9113710	1,987	Areia média	1,781	0,893	Moderadamente selecionado
BN 52	297272	9113710	2,035	Areia fina	1,825	0,6062	Moderadamente selecionado
BN 53	297850	9113710	2	Areia média	1,796	0,6245	Moderadamente selecionado
BN 54	298850	9113710		QUANTIDADE INSUFICIENTE DA AMOSTRA			
BN 55	299950	9113710	1,063	Areia média	0,8656	0,6909	Moderadamente selecionado

Fonte: O Autor (2018).

De acordo com a classificação granulométrica de Wentworth (1920), os sedimentos da plataforma interna da praia de Bairro Novo apresentaram diâmetro médio variando entre os seguintes intervalos, em mm: Silte Grosso (0,0625 a 0,03125) = 2,17%; Areia Muito Fina (0,125 - 0,0625) = 19,57%; Areia Fina (0,25 - 0,125) = 15,22%; Areia Média (0,5 - 0,25) = 26,09%; Areia Grossa (0,5 - 1,0) = 30,43%; e Areia Muito Grossa (1,0 a 2,0) = 6,52%, conforme se apresenta no gráfico (Figura 112).

Figura 112 – Gráfico de distribuição granulométrica dos sedimentos da plataforma continental adjacente à praia de Bairro Novo, Olinda-PE.

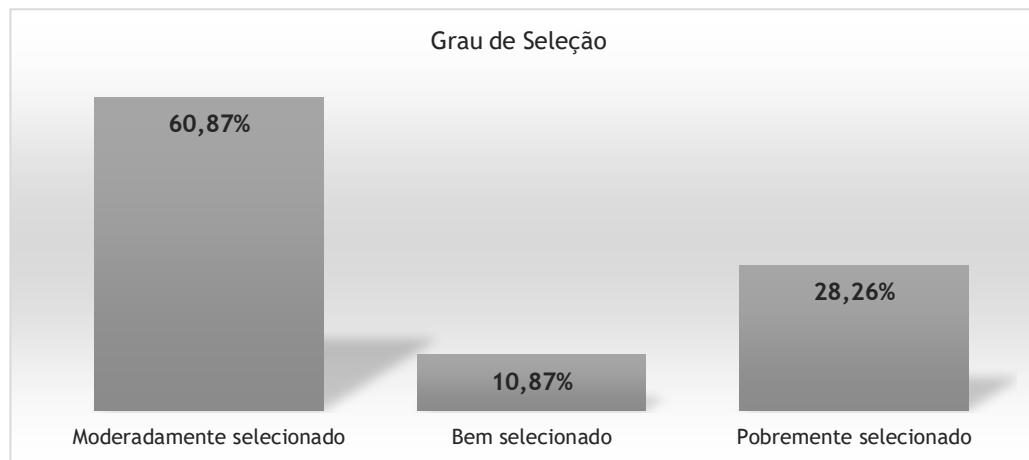


Fonte: O Autor (2018)

A análise das amostras coletadas, na plataforma continental adjacente à praia de Bairro Novo aponta para a predominância de sedimentos constituídos por areia grossa (30,43%), areia média (26,09%), areia muito fina (19,57%) e areia fina (15,22%).

No que se refere ao grau de seleção, os sedimentos que compõem a plataforma interna da praia de Bairro Novo se caracterizaram majoritariamente como “Moderadamente Selecionados” (60,87%), seguidos por 28,26% de “Pobremente Selecionados” e uma pequena parcela que se enquadra como “Bem Selecionados” (10,87%), (Figura 113).

Figura 113: Grau de seleção dos sedimentos da plataforma continental adjacente à praia de Bairro Novo, Olinda-PE.



Fonte: O Autor (2018)

Com a finalidade de analisar setorialmente o comportamento sedimentológico na plataforma interna da praia de Bairro Novo, quanto à distribuição granulométrica dos sedimentos de fundo, as amostras foram subdivididas em linhas paralelas à linha de costa (Figura 114), numeradas a partir da costa, na direção leste, distribuindo-se da seguinte forma:

- Amostras: 01, 06, 11, 16, 21, 26, 31, 36, 41, 46 e 51 ⇒ 1^a linha (azul);
- Amostras: 02, 07, 12, 17, 22, 27, 32, 37, 42, 47 e 52 ⇒ 2^a linha (vermelha);
- Amostras: 03, 08, 13, 18, 23, 28, 33, 38, 43, 48 e 53 ⇒ 3^a linha (verde);
- Amostras: 04, 09, 14, 19, 24, 29, 34, 39, 44, 49 e 54 ⇒ 4^a linha (branca);
- Amostras: 05, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50 e 55 ⇒ 5^a linha (amarela).

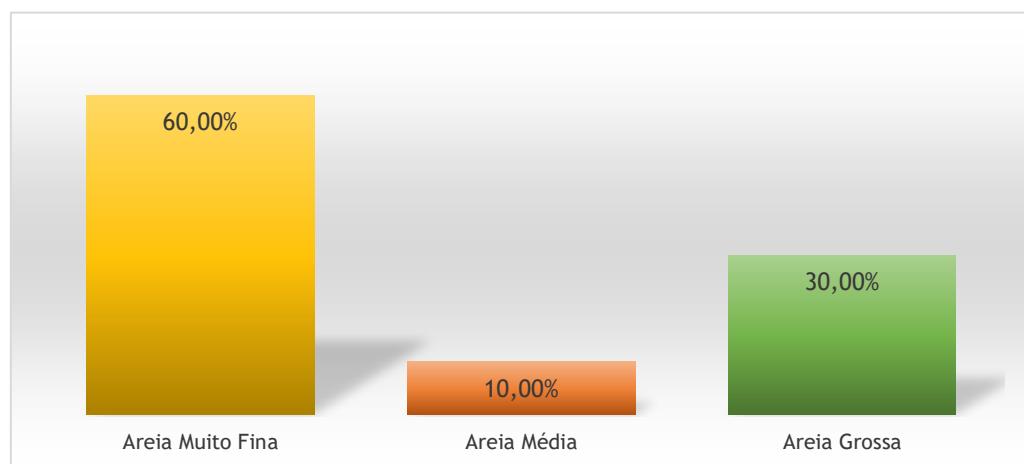
Figura 114 – Localização dos pontos de coletas das amostras da plataforma continental adjacente à praia de Bairro Novo, conforme afastamento em relação à costa.



Fonte: O Autor (2018)

A análise setorial dos sedimentos coletados revelou que a primeira linha de amostras da plataforma, região mais proximal da costa, a cerca de 30,0 metros da faixa de praia, é composta por areia muito fina (60,0%), areia grossa (30,0%) e areia média (10,0%), conforme figura 115.

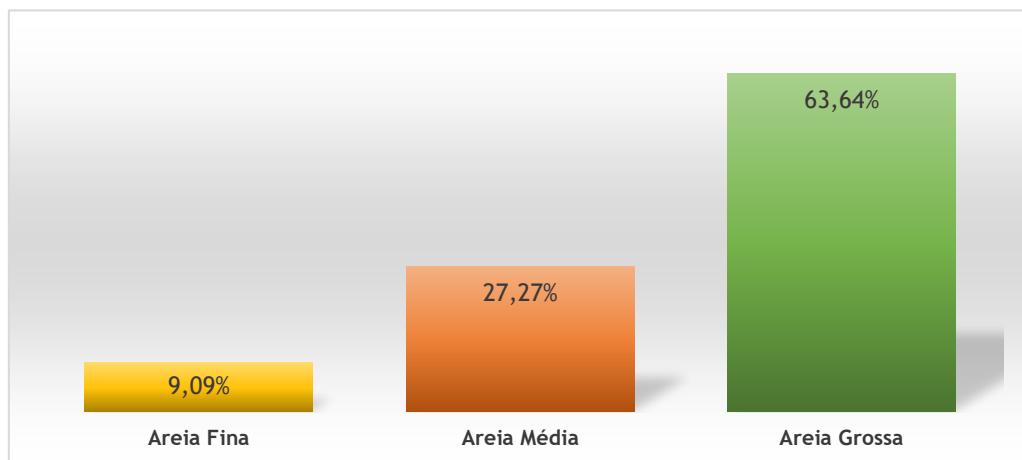
Figura 115 – Distribuição granulométrica da 1^a linha de amostras de sedimentos coletadas na plataforma interna da praia de Bairro Novo, Olinda-PE.



Fonte: O Autor (2018).

A distribuição de amostras da segunda linha (Figura 116), distando aproximadamente 270,0 metros da praia, é constituída por areia grossa (63,64%), areia média (27,27%) e areia fina (9,09%).

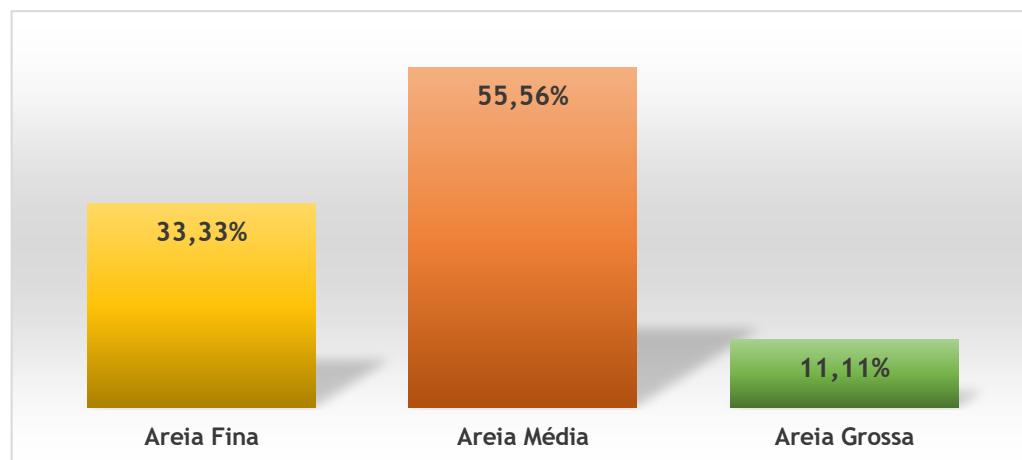
Figura 116 – Distribuição granulométrica da 2^a linha de amostras de sedimentos coletadas na plataforma interna da praia de Bairro Novo, Olinda-PE.



Fonte: O Autor (2018)

Com um afastamento de aproximadamente 800,0 metros da linha de costa, a terceira linha de amostras de sedimentos é constituída de 55,56% de areia média, 33,33% de areia fina e 11,11% de areia grossa (Figura 117)

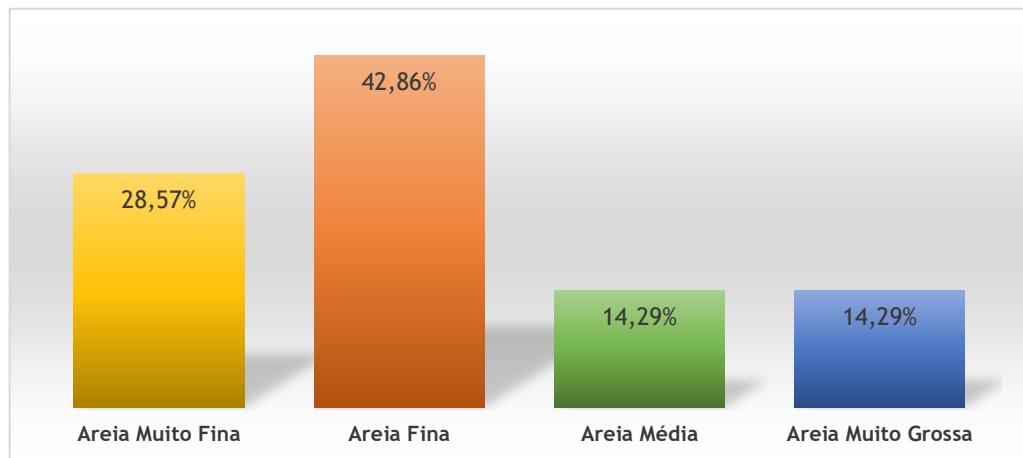
Figura 117 – Distribuição granulométrica da 3^a linha de amostras de sedimentos coletadas na plataforma interna da praia de Bairro Novo, Olinda-PE.



Fonte: O Autor (2018).

A análise granulométrica das amostras coletadas na quarta linha (Figura 118), afastada da costa em média de 1,6 km, revelou que este setor da plataforma é predominantemente constituído por areia fina (42,86%), areia muito fina (28,57%) e secundariamente por areia média e areia grossa, com 14,29% cada uma (Figura 101).

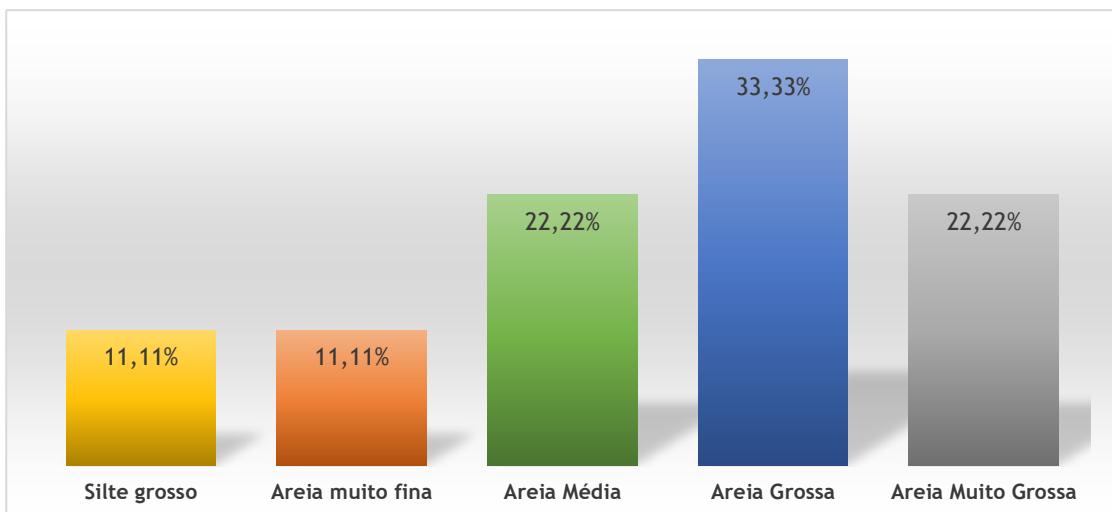
Figura 118 – Distribuição granulométrica da 4^a linha de amostras de sedimentos coletadas na plataforma interna da praia de Bairro Novo, Olinda-PE.



Fonte: O Autor (2018).

No entanto, a quinta e última linha de amostras coletadas refletiu uma área da plataforma constituída de sedimentos com a maior variação granulométrica (Figura 119), com 33,33% de areia grossa, 22,22% de areia muito grossa, 22,22% areia média, 11,11% de areia muito fina e 11,11%, de silte grosso.

Figura 119 – Distribuição granulométrica da 5^a linha de amostras de sedimentos coletadas na plataforma interna da praia de Bairro Novo, Olinda-PE.

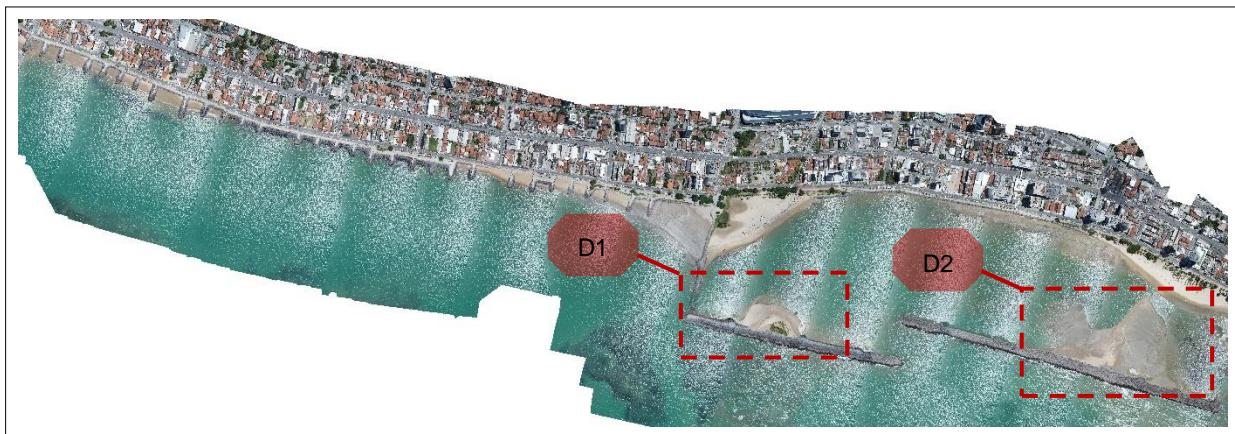


Fonte: O Autor (2018).

6.5.3 Sedimentologia – setor adjacente à área de estudo

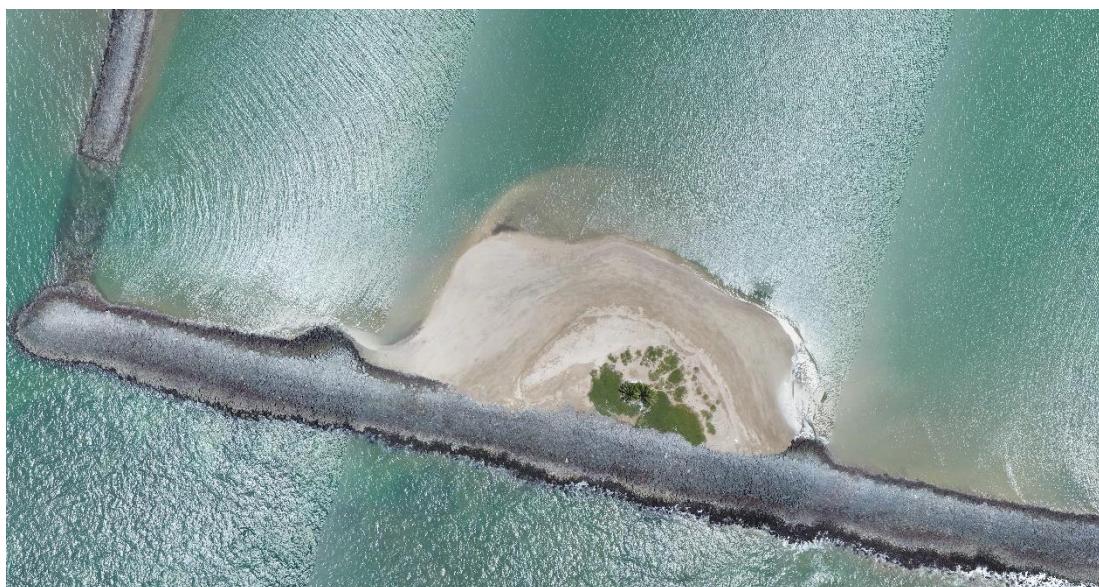
A partir de observações de campo, bem como da aerofotogrametria realizada com a utilização de uma RPA (Aeronave remotamente pilotada), associadamente às imagens de satélites, foi identificado após a extremidade norte da praia de Bairro Novo, num setor contíguo à área de elaboração deste estudo, um processo de acreção que vem ocorrendo na parte interna (voltada para a praia) dos dois primeiros quebra-mares (demarcações vermelhas – Figura 120) da praia de Casa Caiada, direção S-N, conforme detalhes D1 (Figuras 120 e 121) e D2 (Figuras 120 e 122).

Figura 120 – Aerofotogrametria da área de estudo, compreendendo os 02 quebra-mares localizados na praia de Casa Caiada, Olinda-PE, ao norte da área de estudo.



Fonte: O Autor (2018).

Figura 121 – Detalhe D1: Setor de acreção localizado no 1º quebra-mar da praia de Casa Caiada, Olinda-PE.



Fonte: O Autor (2018).

Figura 122 – Detalhe D2: Setor de acresção localizado no 2º quebra-mar da praia de Casa Caiada, Olinda-PE.



Fonte: O Autor (2018).

Baseado no déficit sedimentar observado por este estudo no ambiente praial e na plataforma continental adjacente à praia de Bairro Novo, a opção pela análise sedimentar desse setor, subsequente à área de estudo, se deu, também, em razão de que as correntes de deriva atuantes no litoral da RMR ocorrem predominantemente de Sul para Norte, fato este que pode indicar a possibilidade de que parte desses sedimentos que estão migrando das áreas erodidas possam estar sendo depositados à frente dos quebra-mares da praia de Casa Caiada, favorecendo a formação dos tómbolos identificados.

Por se tratarem de pequenas áreas, cuja extensão é da ordem de 150,0 metros, para o primeiro quebra-mar, e de aproximadamente 300,0 metros para o segundo quebra mar, foram coletadas 03 amostras (A1, A2 e A3) em cada um dos quebra-mares, com os pontos de coleta tendo sido posicionados ao longo de suas extensões, na porção média da faixa de areia em cada uma das respectivas áreas de acreção (Figura 123).

Figura 123 – Pontos de coleta das amostras de sedimentos nos quebra-mares da praia de Casa Caiada, Olinda-PE.



Fonte: O Autor (2018).

A análise granulométrica das amostras coletadas foi realizada seguindo os mesmos critérios adotados para a análise sedimentológica da praia e da plataforma continental em Bairro Novo, já descritas anteriormente, baseada na metodologia adotada pelo Laboratório de Geologia Marinha (LGGM), da Universidade Federal de Pernambuco, para as quais se apresentam os resultados na Tabela 04.

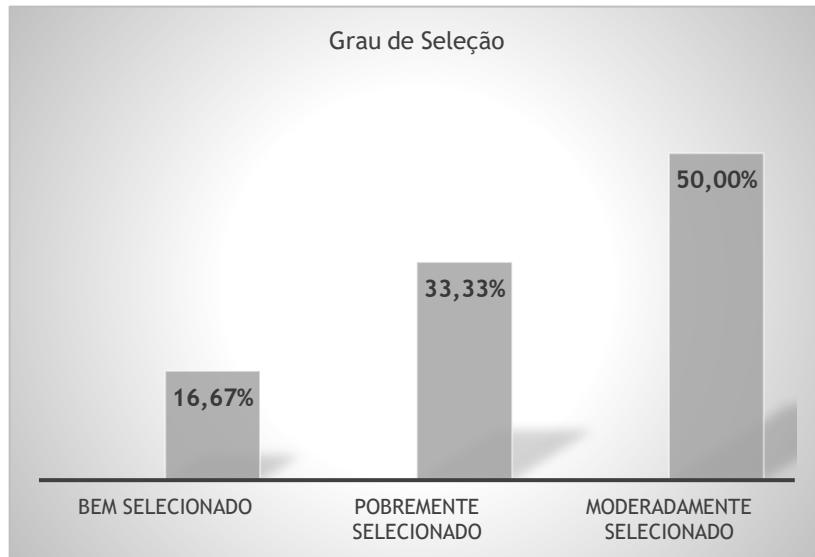
TABELA 04 – Sedimentologia das áreas de acreção dos quebra-mares 01 e 02 da praia de Casa Caiada, setor contíguo da praia de Bairro Novo, Olinda-PE.

Amostra	Média (Φ)	Classificação	Mediana	Seleção	Classificação
Q1 - A1	2,925	Areia fina	2,97	0,9314	Moderadamente selecionado
Q1 - A2	2,754	Areia fina	2,754	0,3922	Bem selecionado
Q1 - A3	2,765	Areia fina	2,761	0,8252	Moderadamente selecionado
Q2 - A1	1,12	Areia média	0,8711	0,6697	Moderadamente selecionado
Q2 - A2	1,85	Areia média	1,895	1,051	Pobremente selecionado
Q2 - A3	1,666	Areia média	1,537	1,037	Pobremente selecionado

Fonte: O Autor (2018).

A análise granulométrica das amostras coletadas revela um predomínio de sedimentos constituídos apenas por areia fina (50%) e areia média (50%), apresentando, de acordo com o grau de seleção, sedimentos que variam predominantemente de “Pobremente Selecionados” a “Moderadamente Selecionados” (Figura 124).

Figura 124 – Grau de seleção dos sedimentos coletados nos dois primeiros quebra-mares (S-N) da praia de Casa Caiada, Olinda-PE.



Fonte: O Autor (2018).

De acordo com os resultados apresentados pelas amostras coletadas, é possível constatar que a granulação dos sedimentos que compõem os processos de acreção, identificados na porção oeste das estruturas dos quebra-mares da praia de Casa Caiada, apresentaram características compatíveis com os sedimentos analisados no ambiente praial de Bairro Novo, sobretudo no que se refere ao grau de seleção.

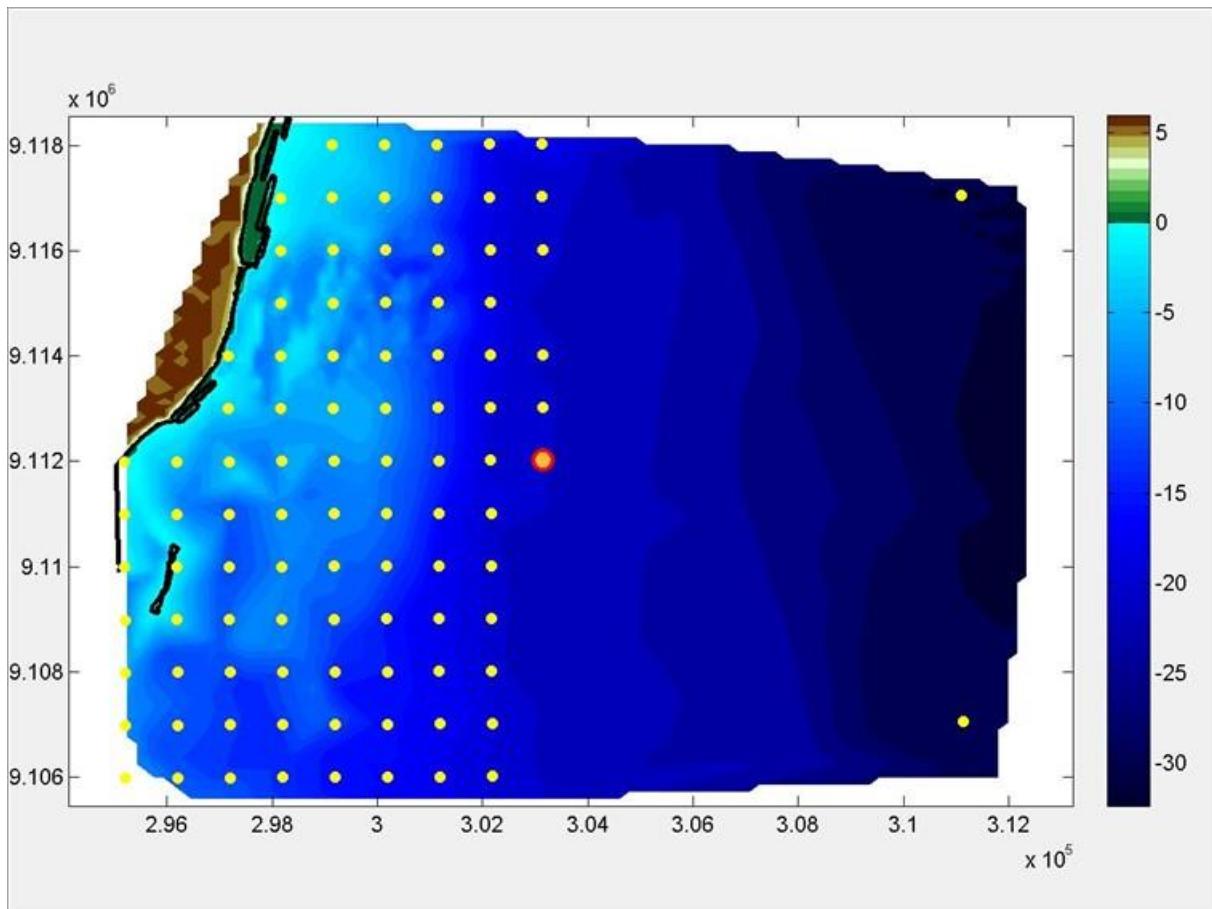
Outro fator a ser considerado, na possibilidade desses sedimentos que estão favorecendo o processo de acreção nos quebra-mares da praia de Casa Caiada serem provenientes da praia e/ou da plataforma continental adjacente à praia de Bairro Novo, é que as formações de tómbolos (cúspides), como já visto no capítulo 4 desta tese, em estruturas artificiais ou naturais, paralelas à praia, ocorrem comumente no sentido continente-estrutura, consequência do processo da interferência do quebra-mar na minimização da energia das ondas incidentes, diferentemente do processo acrescivo que está ocorrendo nas duas estruturas da praia de Casa Caiada, o qual vem favorecendo que a formação dos tómbolos se dê no sentido estrutura-continente.

6.6 APLICAÇÃO DO SISTEMA DE MODELAGEM COSTEIRA (SMC-BRASIL) NA CARACTERIZAÇÃO HIDRODINÂMICA DA PRAIA DE BAIRRO NOVO

A caracterização da dinâmica das ondas requer, para um resultado mais preciso, que as ondas atuantes sejam propagadas desde águas profundas, de forma que a origem do trem de ondas, propagados nos cálculos do programa para atingir a zona de interesse, não receba a influência do assoalho marinho.

Para a caracterização da hidrodinâmica da praia de Bairro Novo, o ponto DOW – de propagação da onda em águas profundas –, selecionado na base de dados do SMC-Brasil para os cálculos de probabilidade, está limitado pelas coordenadas UTM 303000m E; e 9112000m S (Figura 125).

Figura 125 – Ponto de propagação selecionado para os cálculos de probabilidade no SMC-Brasil.

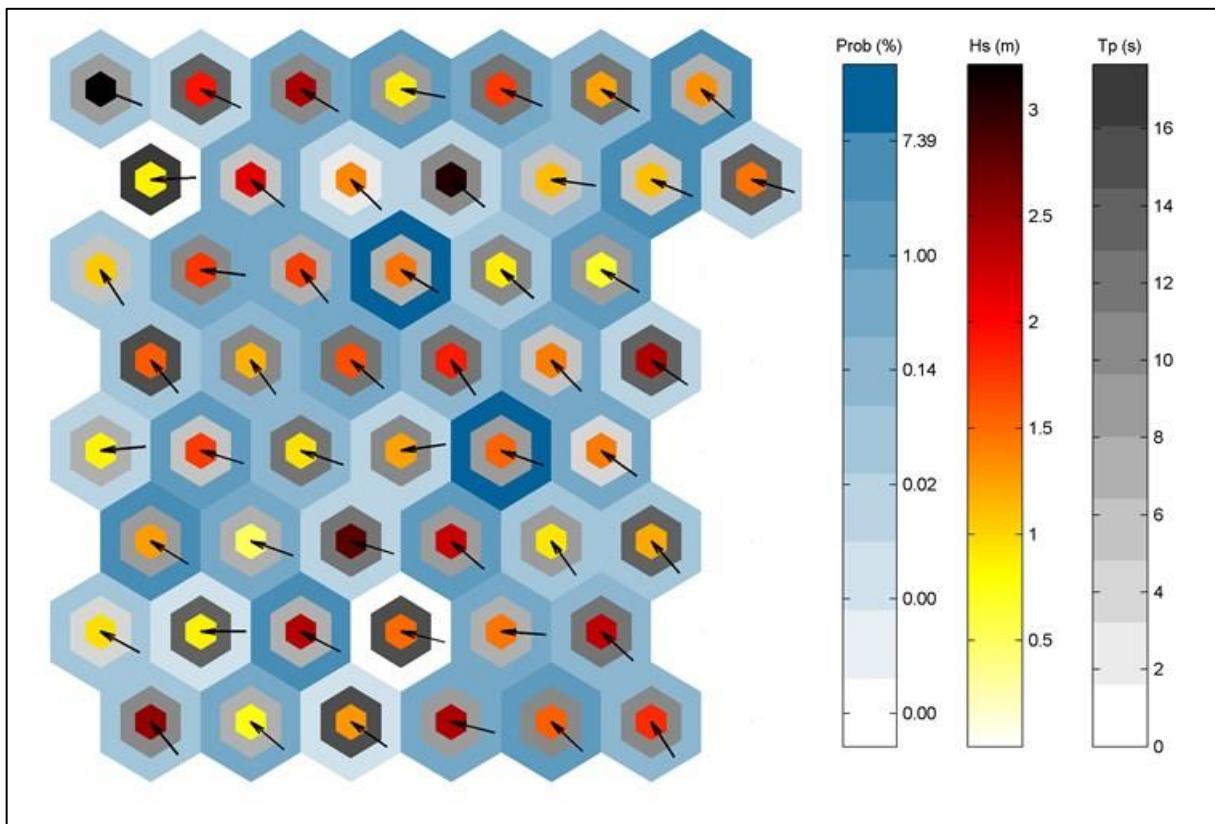


Fonte: O Autor (2018).

Com a utilização dos dados da base GOT, do SMC-Brasil, foi obtida a classificação das ondas que foram propagadas a partir do ponto DOW em direção à área de estudo,

quanto à altura significativa, período de pico e sentido da onda, assim como a probabilidade de ocorrência (Figura 126).

Figura 126 – Representação gráfica da classificação das ondas propagadas até a área de estudo.



Fonte: O Autor (2018).

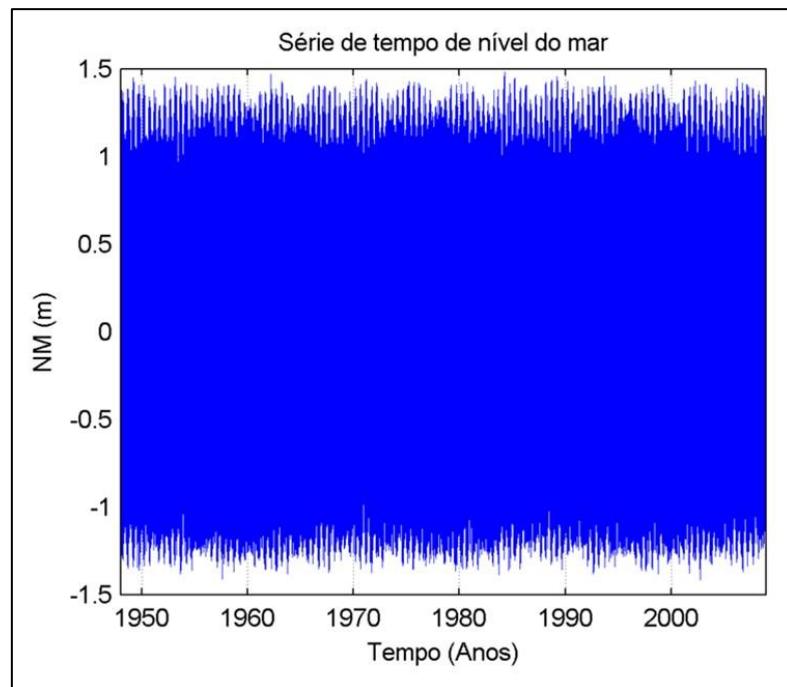
Como valores de marés (cheia, média e seca) utilizados para os cálculos no programa, foram adotados os dados apresentados pelo Centro de Hidrografia da Marinha do Brasil, cujos valores de referência para maré alta foram de 2,70 m, para o nível médio foi de 1,4 m, enquanto para a maré baixa foi considerado o nível de 0 m.

Com a aplicação desses dados nos cálculos, interpolados pela batimetria de detalhe (elaborada em 2018 para este estudo), foram caracterizadas as marés astronômica e meteorológica para a praia de Bairro Novo, além do clima de ondas local.

6.6.1 Nível do mar

Com um regime de oscilação do nível do mar governado por uma maré astronômica, as oscilações na série temporal apresentaram, para as últimas décadas, variáveis compreendidas entre -1,25 m e +1,4 m (Figura 127).

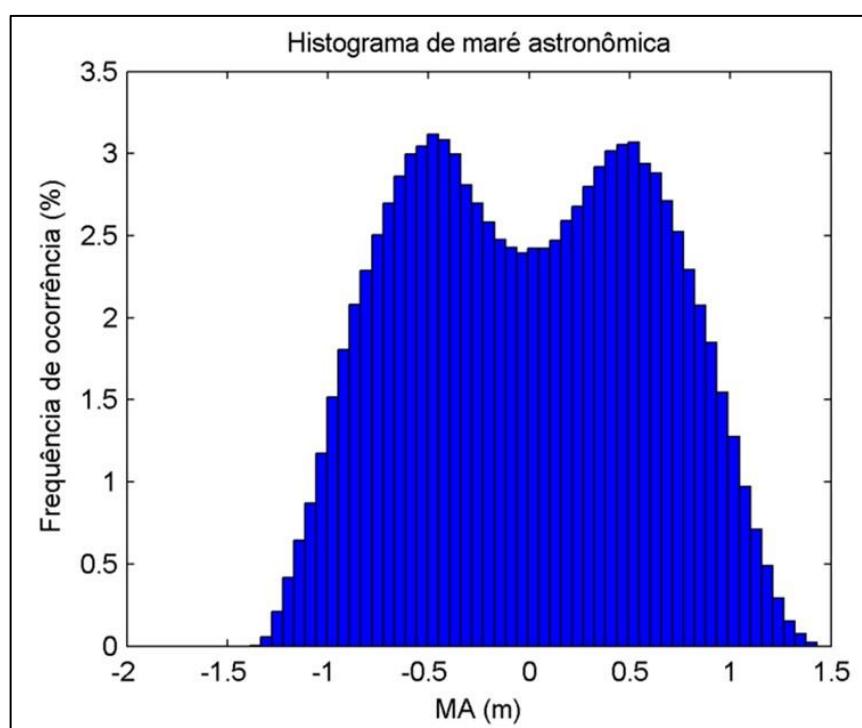
Figura 127 – Série histórica da oscilação do NMM sob condições de maré astronômica.



Fonte: O Autor (2018).

Quanto às oscilações entre preamares e baixa-mares com maior probabilidade de ocorrência sob condições de maré astronômica, de acordo com o histograma (Figura 128), estas ficaram compreendidas entre -0,75 m e +0,75 m.

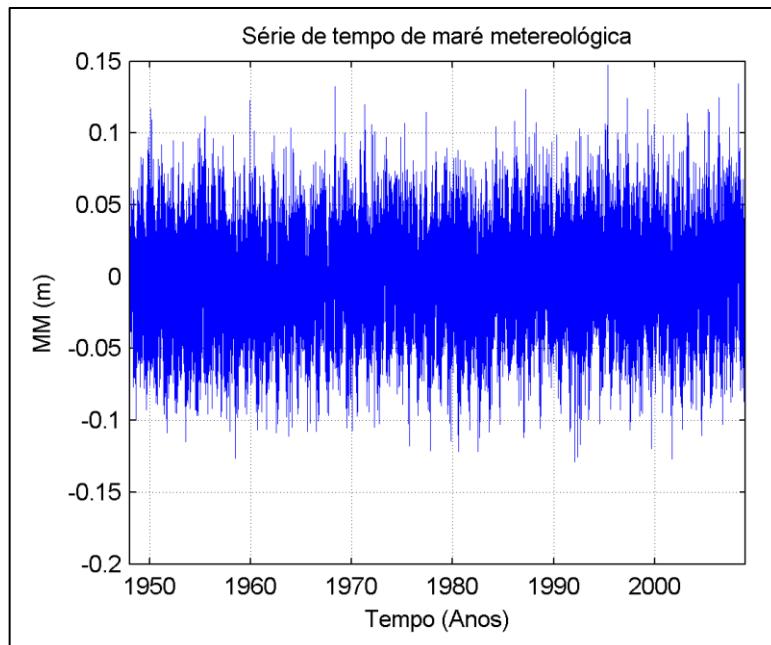
Figura 128 – Histograma de maré astronômica (MA) para a praia de Bairro Novo.



Fonte: O Autor (2018).

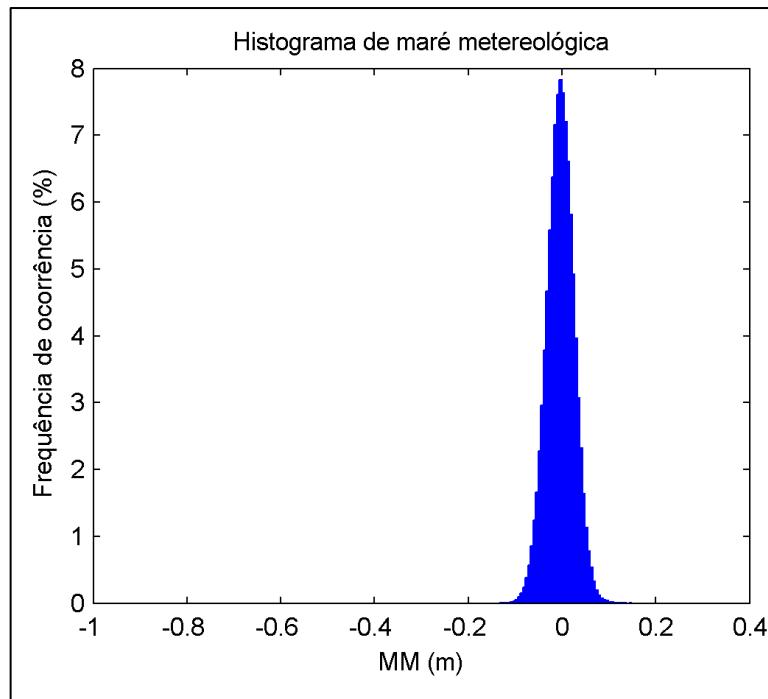
Sob condições de maré meteorológica, de acordo com a série temporal, as oscilações se mostraram insignificativas nas últimas décadas, compreendidas entre -0,1 m e +0,1 m (Figura 129), assim como ocorreu em relação às oscilações entre preamares e baixa-mares, que ficaram compreendidas entre -0,15 m e +0,15 m (Figura 130).

Figura 129 – Série histórica da oscilação do NMM sob condições de maré meteorológica.



Fonte: O Autor (2018).

Figura 130 – Histograma de maré meteorológica (MM) para a praia de Bairro Novo.



Fonte: O Autor (2018).

6.6.2 Clima de ondas

Para a praia de Bairro Novo foram identificadas três direções de ondas distintas (E, E-SE e SE). Porém, relevantes para o estudo, destacaram-se as direções E-SE com 72,7%, e as ondas de SE que apresentaram 26% de probabilidade de ocorrência, perfazendo um total de 98,7% das ondas que incidem na praia, como pode ser visto na tabela estatística de probabilidade das ondas atuantes na área de estudo (Figura 131).

Figura 131 – Tabela estatística para probabilidade de direção e altura da onda.

TABELA ESTATÍSTICAS BÁSICAS					
Variável medida:Hs	prob.direção	Hs _{50%}	Hs _{90%}	Hs _{99%}	Hs ₁₂
direções(°)					
N	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
NNE	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
NE	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
ENE	0.0001	1.2805	1.3471	1.3657	1.3658
E	0.0106	1.2031	1.5395	1.8168	1.9291
ESE	0.7266	1.4649	1.9197	2.3559	2.6832
SE	0.2605	1.5429	1.9426	2.3756	2.5946
SSE	0.0021	1.5120	1.7637	2.0019	2.1092
S	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
SSW	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
SW	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
WSW	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
W	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
WNW	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
NW	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
NNW	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

Fonte: O Autor (2018).

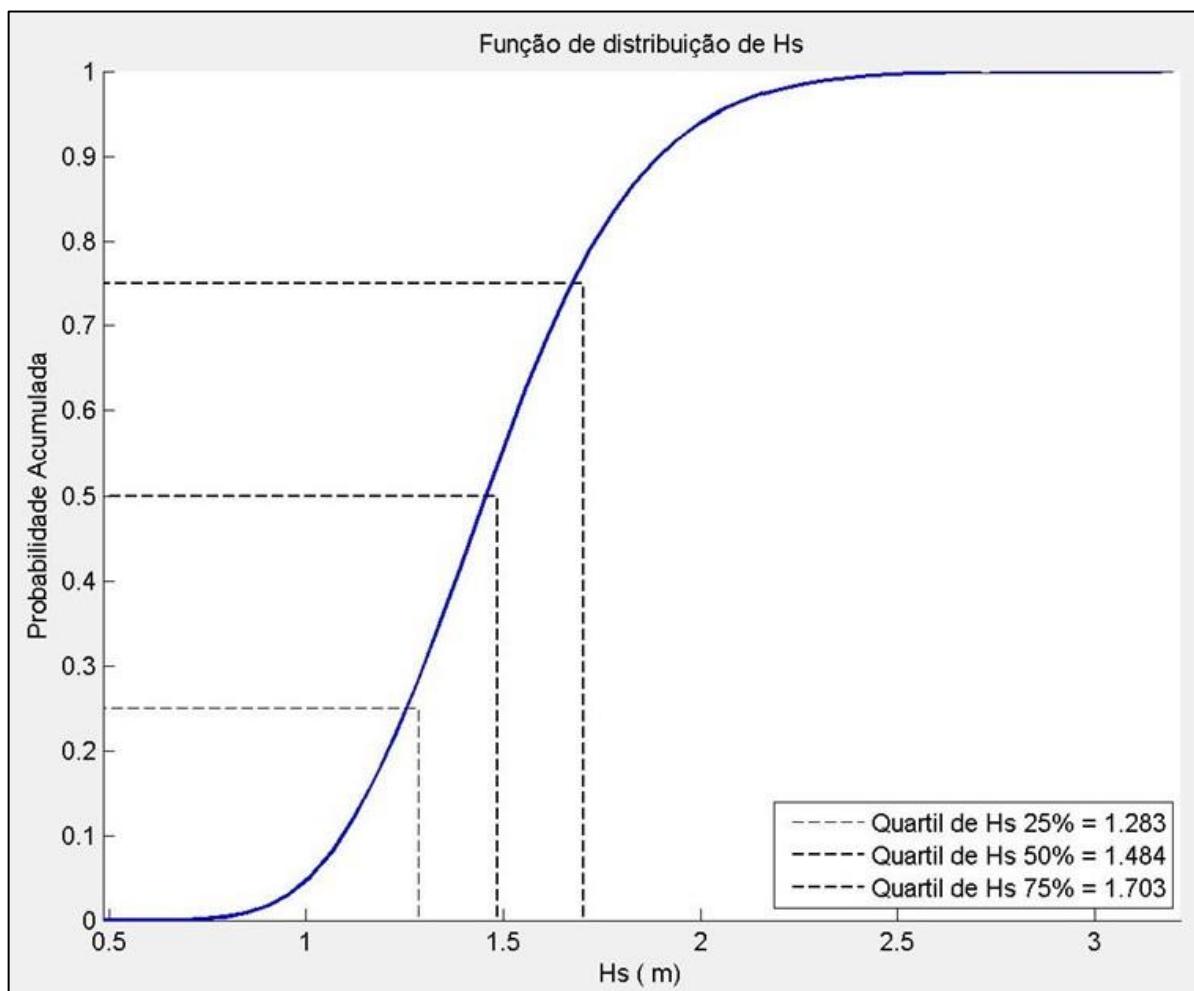
Considerando a probabilidade de direção demonstrada na tabela estatística, do total de 98,70% das ondas que atingem a área de estudo, para o período de 01 ano:

- A altura significativa média anual, ou seja, 50% das ondas que atingem a praia de Bairro Novo se mostraram com altura significativa variando entre 1,46 m e 1,54 m;
- 10% das ondas apresentaram altura significativa variando entre 1,92 m e 1,94 m;
- 1% das ondas tiveram altura significativa variando entre 2,36m e 2,38m; e

- Durante apenas 12 horas (marés de tempestade) ocorreram ondas cujas alturas significativas variaram entre 2,59m e 2,68m.

Considerando a probabilidade acumulada da série temporal, para a função de distribuição de altura de onda, a ocorrência de 50% dos casos de ondas que chegam à praia de Bairro Novo apresentou ondas com altura significativa compreendida entre os valores de 1,283 m e 1,703 m (Figura 132).

Figura 132 – Distribuição das alturas de onda que chegam à praia de Bairro Novo, Olinda-PE.

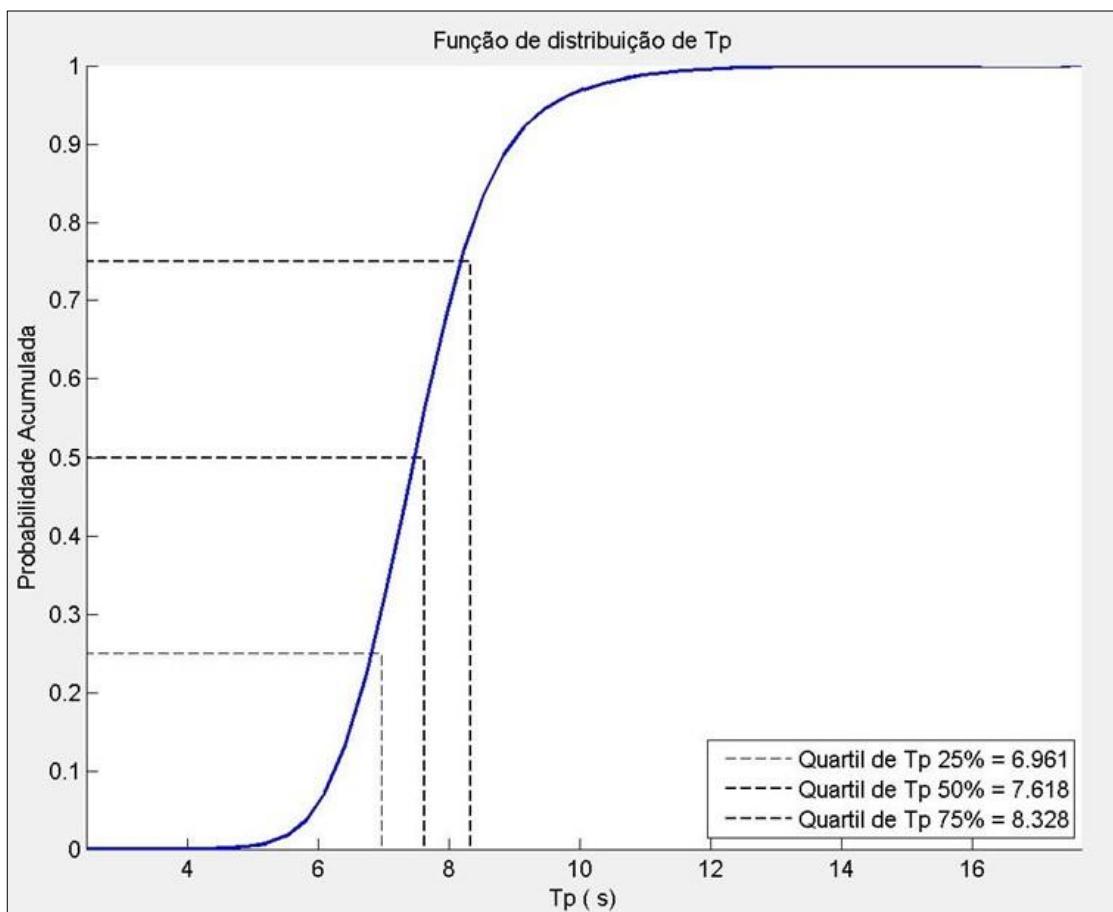


Fonte: O Autor (2018).

De acordo com o gráfico, do total de ondas que atinge a área de estudo, 25% das ocorrências apresentaram alturas com valores abaixo de 1,283 m, 25% acima de 1,703 m, e uma altura média de 1,484 m.

Considerando a probabilidade acumulada da série temporal, para a função de distribuição do período de pico da onda, ocorreram em 50% dos casos a frequência para picos com valores compreendidos nos intervalos de tempo entre 6,961 s e 8,328 s (Figura 133).

Figura 133 – Distribuição do período de pico de onda que chega à praia de Bairro Novo, Olinda-PE.

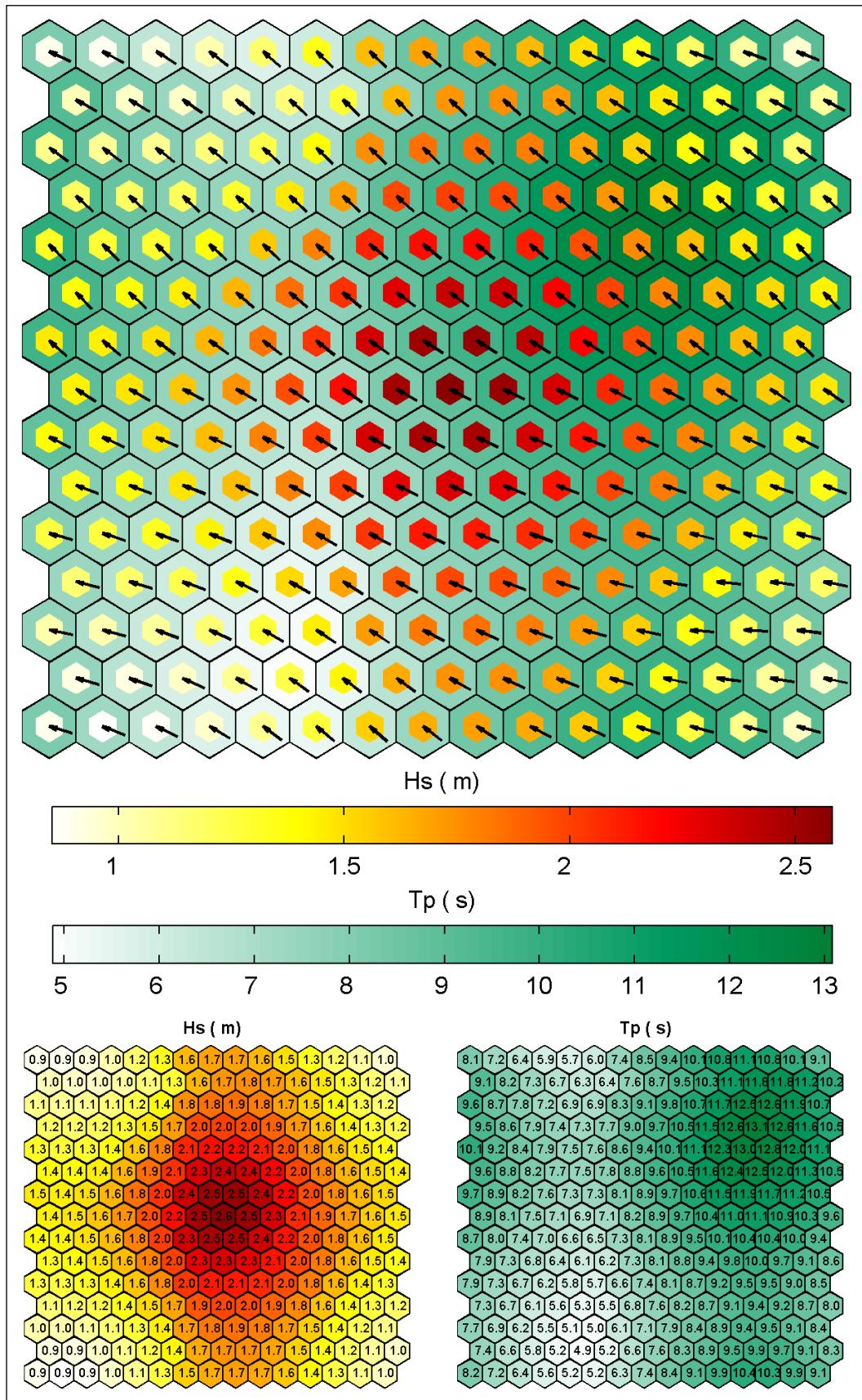


Fonte: O Autor (2018).

De acordo com o gráfico, do total de ondas que atinge a área de estudo, 25% das ocorrências apresentaram período de pico com valores inferiores a 6,961 s, 25% acima de 8,328 s, e um valor médio de período de pico igual a 7,618 s.

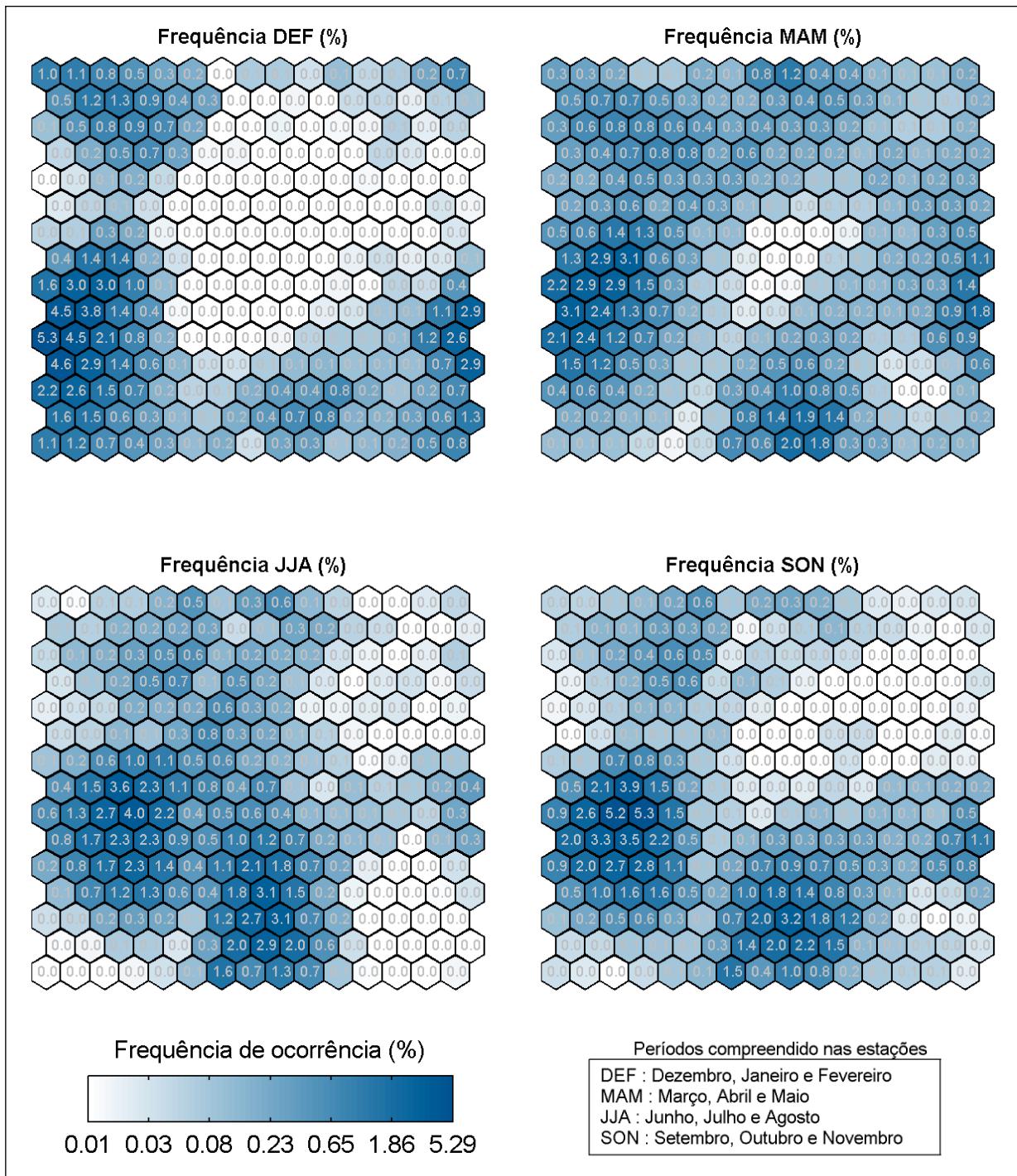
A partir da análise multivariada do clima de ondas (Figuras 134 e 135), foi possível identificar o comportamento da altura significativa da onda (H_s), assim como do período de pico da onda (T_p) e a direção média (θ_m), e suas respectivas distribuições ao longo das estações do ano.

Figura 134 – Distribuição da altura de onda e período de pico que chegam à praia de Bairro Novo, Olinda-PE.



Fonte: O Autor (2018).

Figura 135 – Distribuição do período de pico de onda que chega à praia de Bairro Novo, Olinda-PE.



Fonte: O Autor (2018).

A análise da distribuição de ocorrência das ondas, de acordo com as estações do ano, mostra que em Bairro Novo as maiores alturas significativas de onda (1,7 m a 2,6 m), ocorreram nos períodos de outono e inverno, assim como os maiores períodos de pico (9,0 s a 13,1 s), sendo estes mais frequentes durante o outono.

Em contrapartida, durante os períodos de primavera e verão, foram registrados os maiores percentuais de ocorrência das ondas de menores alturas significativas (0,9 m a 1,3 m), assim como dos menores períodos de pico, condições estas que foram observadas mais frequentemente durante o verão.

Sendo assim, podemos considerar que a área de estudo recebe a influência de ondas do tipo “Swell”, ou seja, formadas longe da costa, nos períodos de outono e inverno, e que recebe a influência de ondas do tipo “Vagas”, formadas por ventos mais próximos da costa, durante o verão.

Ao considerar as rosetas estacionais de ocorrência das ondas no “Ponto Dow” – propagadas para a área de estudo – é possível identificar que há a predominância de ondas provenientes de E-SE. Observa-se, porém, que no período de outono e inverno há um aumento significativo das ondas originadas no quadrante SE (Figura 136).

Durante o verão observou-se que as alturas significativas de ondas se apresentaram da seguinte forma:

- Do total de 85% das ondas provenientes de E-SE:
 - ↳ 40% das ondas tiveram $0,86 \text{ m} \leq H_s \leq 1,29 \text{ m}$;
 - ↳ 40% das ondas apresentaram $1,29 \text{ m} \leq H_s \leq 1,71 \text{ m}$;
 - ↳ 4% das ondas se mostraram com $1,71 \text{ m} \leq H_s \leq 2,14 \text{ m}$; e
 - ↳ 1% das ondas tiveram $2,14 \text{ m} \leq H_s \leq 2,57 \text{ m}$.
- Dos 15% correspondentes às ondas do quadrante de SE:
 - ↳ Cerca de 6% das ondas tiveram $0,86 \text{ m} \leq H_s \leq 1,29 \text{ m}$;
 - ↳ Aproximadamente 7% das ondas apresentaram $1,29 \text{ m} \leq H_s \leq 1,71 \text{ m}$;
 - ↳ 1,5% das ondas registraram $1,71 \text{ m} \leq H_s \leq 2,14 \text{ m}$; e
 - ↳ 0,5% das ondas ficaram com $2,14 \text{ m} \leq H_s \leq 2,57 \text{ m}$.

No decorrer do outono, as alturas significativas de onda apresentaram o seguinte comportamento:

- Do total de 68% das ondas provenientes de E-SE:
 - ↳ 27% das ondas tiveram $0,86 \text{ m} \leq H_s \leq 1,29 \text{ m}$;
 - ↳ 33% das ondas apresentaram $1,29 \text{ m} \leq H_s \leq 1,71 \text{ m}$;

- ↳ 7% das ondas se mostraram com $1,71 \text{ m} \leq H_s \leq 2,14 \text{ m}$; e
- ↳ 1% das ondas tiveram $2,14 \text{ m} \leq H_s \leq 2,57 \text{ m}$.
- Do total de 32% das ondas provenientes de SE:
 - ↳ 7% das ondas tiveram $0,86 \text{ m} \leq H_s \leq 1,29 \text{ m}$;
 - ↳ 18% das ondas apresentaram $1,29 \text{ m} \leq H_s \leq 1,71 \text{ m}$;
 - ↳ 6% das ondas se mostraram com $1,71 \text{ m} \leq H_s \leq 2,14 \text{ m}$; e
 - ↳ 1% das ondas ficaram com $2,14 \text{ m} \leq H_s \leq 2,57 \text{ m}$.

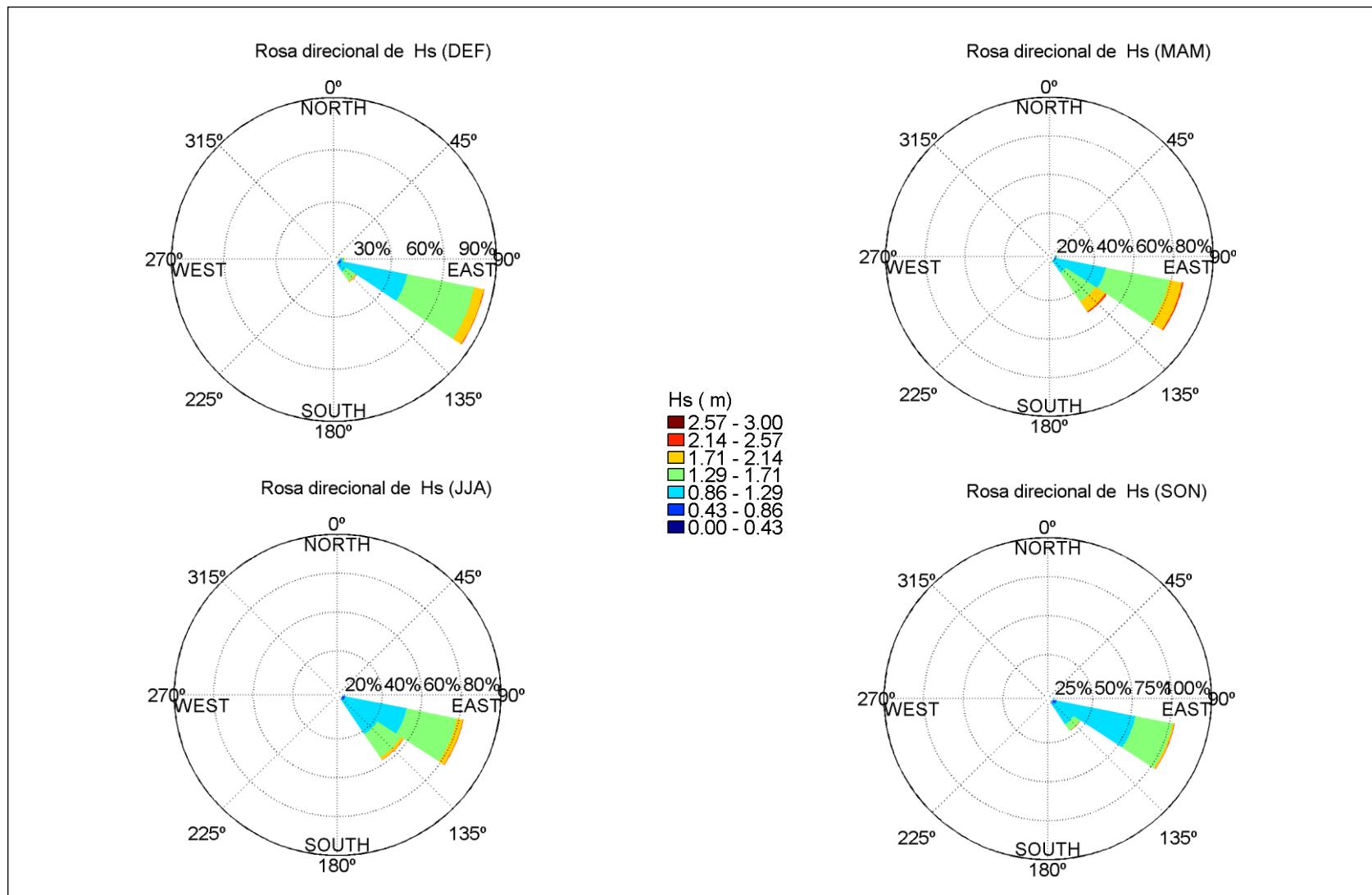
No inverno, as alturas significativas de onda se comportaram da seguinte forma:

- Do total de 62,5% das ondas provenientes de E-SE:
 - ↳ 32% das ondas tiveram $0,86 \text{ m} \leq H_s \leq 1,29 \text{ m}$;
 - ↳ 27,5% das ondas apresentaram $1,29 \text{ m} \leq H_s \leq 1,71 \text{ m}$;
 - ↳ 2,5% das ondas se mostraram com $1,71 \text{ m} \leq H_s \leq 2,14 \text{ m}$; e
 - ↳ 0,5% das ondas ficaram com $2,14 \text{ m} \leq H_s \leq 2,57 \text{ m}$.
- Do total de 37,5% das ondas provenientes de SE:
 - ↳ 22% das ondas apresentaram $0,86 \text{ m} \leq H_s \leq 1,29 \text{ m}$;
 - ↳ 13% das ondas ficaram com $1,29 \text{ m} \leq H_s \leq 1,71 \text{ m}$;
 - ↳ 2% das ondas se mostraram com $1,71 \text{ m} \leq H_s \leq 2,14 \text{ m}$; e
 - ↳ 0,5% das ondas tiveram $2,14 \text{ m} \leq H_s \leq 2,57 \text{ m}$.

Durante a primavera, as alturas significativas de onda se comportaram da seguinte forma:

- Do total de 78% das ondas provenientes de E-SE:
 - ↳ 53% das ondas apresentaram $0,86 \text{ m} \leq H_s \leq 1,29 \text{ m}$;
 - ↳ 23,5% das ondas registraram $1,29 \text{ m} \leq H_s \leq 1,71 \text{ m}$;
 - ↳ 1% das ondas se mostraram com $1,71 \text{ m} \leq H_s \leq 2,14 \text{ m}$; e
 - ↳ 0,5% das ondas tiveram $2,14 \text{ m} \leq H_s \leq 2,57 \text{ m}$.
- Do total de 22% das ondas provenientes de SE:
 - ↳ 15% das ondas apresentaram $0,86 \text{ m} \leq H_s \leq 1,29 \text{ m}$;
 - ↳ 6% das ondas registraram $1,29 \text{ m} \leq H_s \leq 1,71 \text{ m}$;
 - ↳ 0,5% das ondas se mostraram com $1,71 \text{ m} \leq H_s \leq 2,14 \text{ m}$; e
 - ↳ 0,5% das ondas tiveram $2,14 \text{ m} \leq H_s \leq 2,57 \text{ m}$.

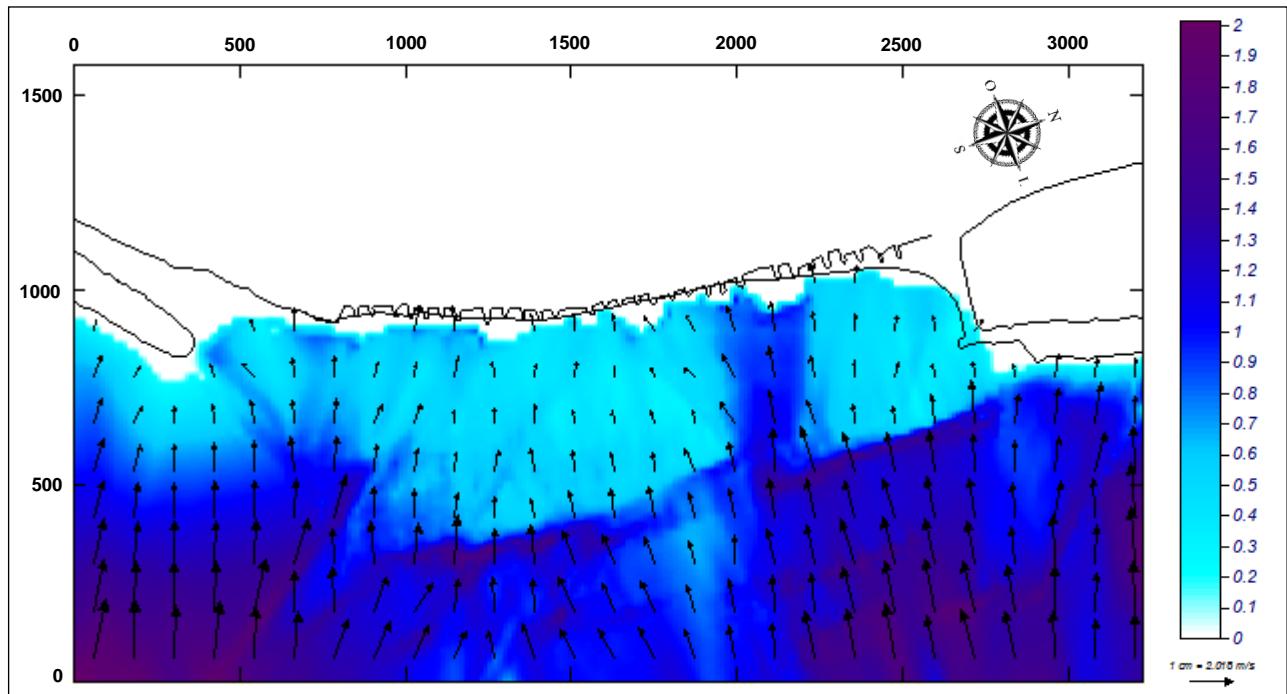
Figura 136 – Rosetas estacionais de caracterização das alturas significativas de ondas (Hs) ocorridas no “Ponto Dow”.



Fonte: O Autor (2018).

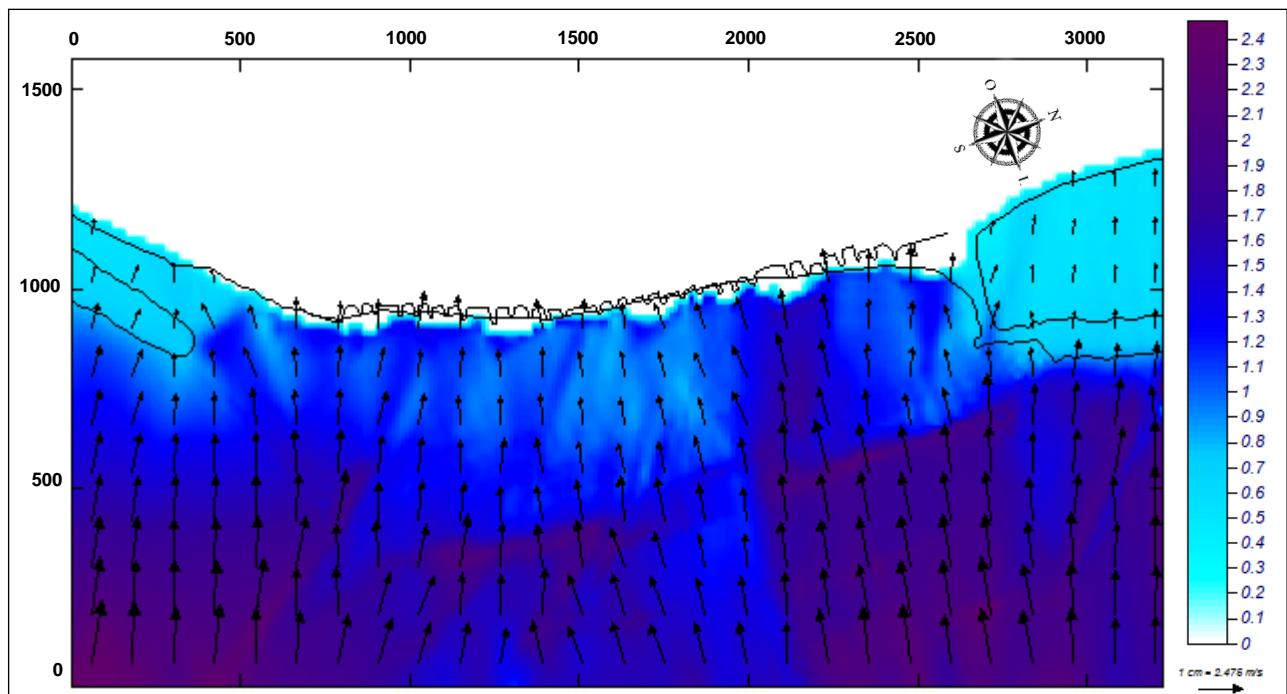
Os resultados obtidos com o SMC na propagação e simulação de ondas, conforme o nível de maré, estão demonstrados pelos gráficos de vetores e magnitude (Figuras 137, 138, 139).

Figura 137 – Gráfico de magnitude de ondas em nível de maré baixa.



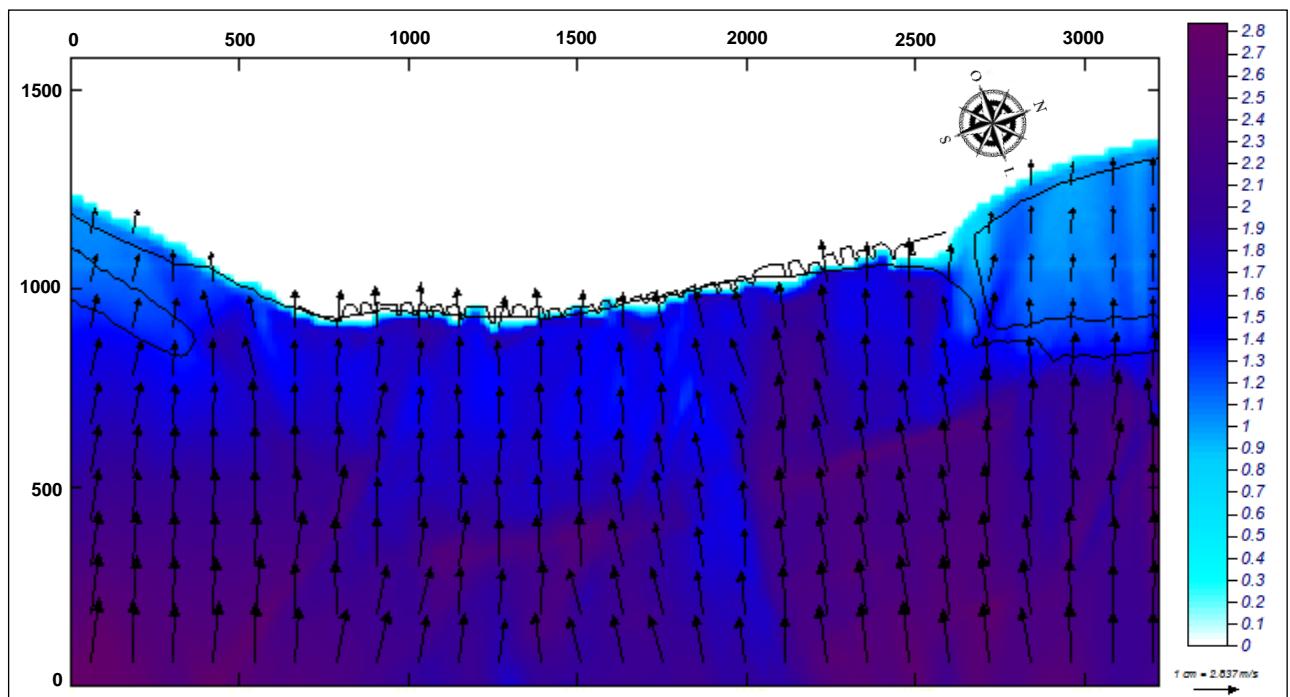
Fonte: O Autor (2018).

Figura 138 – Gráfico de magnitude de ondas em nível de maré média.



Fonte: O Autor (2018).

Figura 139 – Gráfico de magnitude de ondas em nível de maré alta.



Fonte: O Autor (2018).

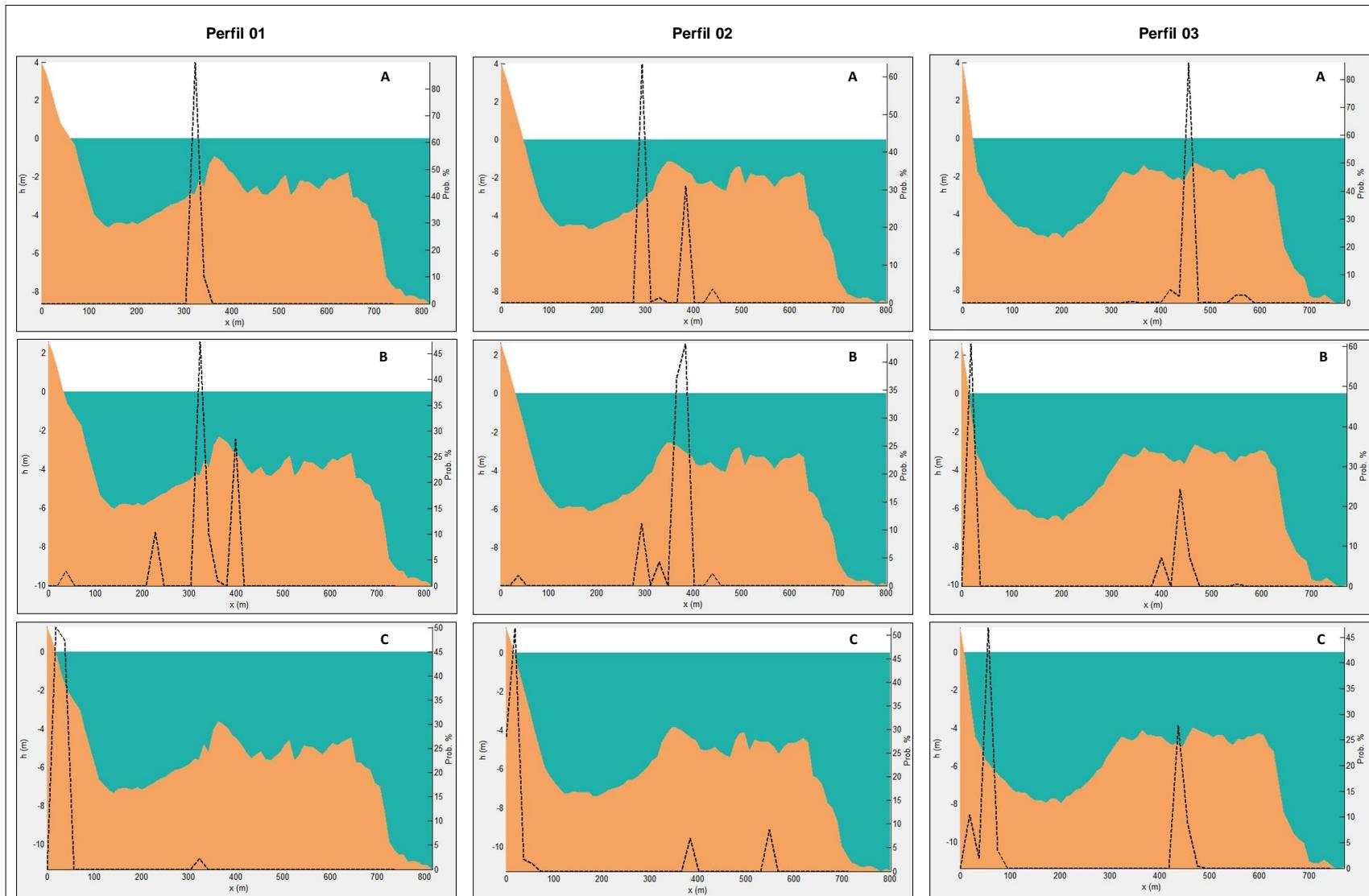
O que se observa pelos gráficos é que, apesar da existência de *beachrocks* paralelas à praia, estes não demonstraram eficiência na desaceleração das ondas e, consequentemente, a frente de ondas que chega à costa não tem sua energia dissipada.

Nas praias onde o trem de ondas atinge diretamente a face praial, sem que ocorra a minimização da energia na plataforma, quer seja por barreiras naturais (bancos de areias ou recifes), ou artificiais (molhes, quebra-mares, etc.), existe uma forte tendência a ser desencadeado um processo erosivo mais severo do que ocorreria caso a praia estivesse protegida naturalmente, ou mesmo artificialmente. Situação esta que pode ser observada nas áreas adjacentes – ao sul e ao norte da área de estudo –, nas quais, embora a batimetria de detalhe não as tenha abrangido, o modelo apresentado pelo SMC revelou que as estruturas ali existentes têm minimizado a energia das ondas incidentes, sobretudo, quando da ocorrência da maré baixa e maré média.

6.6.3 Arrebentação

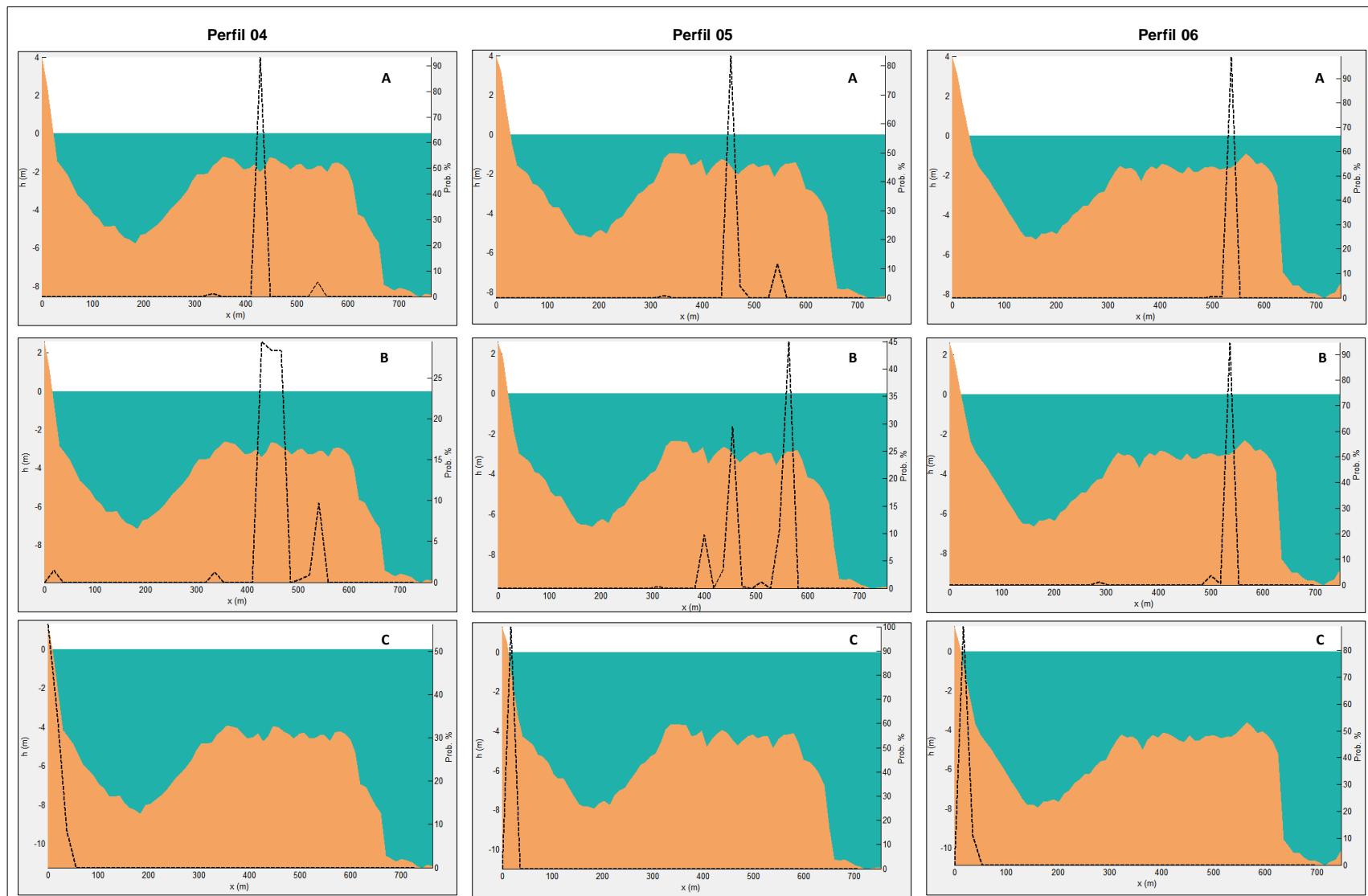
A caracterização da probabilidade de quebra de ondas foi obtida a partir da implantação de um perfil, nos três níveis de maré (baixa, média e alta), partindo da extremidade dos espiões 01 a 30, ao longo de toda a extensão da praia de Bairro Novo (Figuras 140 a 149).

Figura 140 – Probabilidade de quebra de ondas, nos três níveis de maré (A – Baixa, B – Média, C – Alta) – Perfis 01 a 03



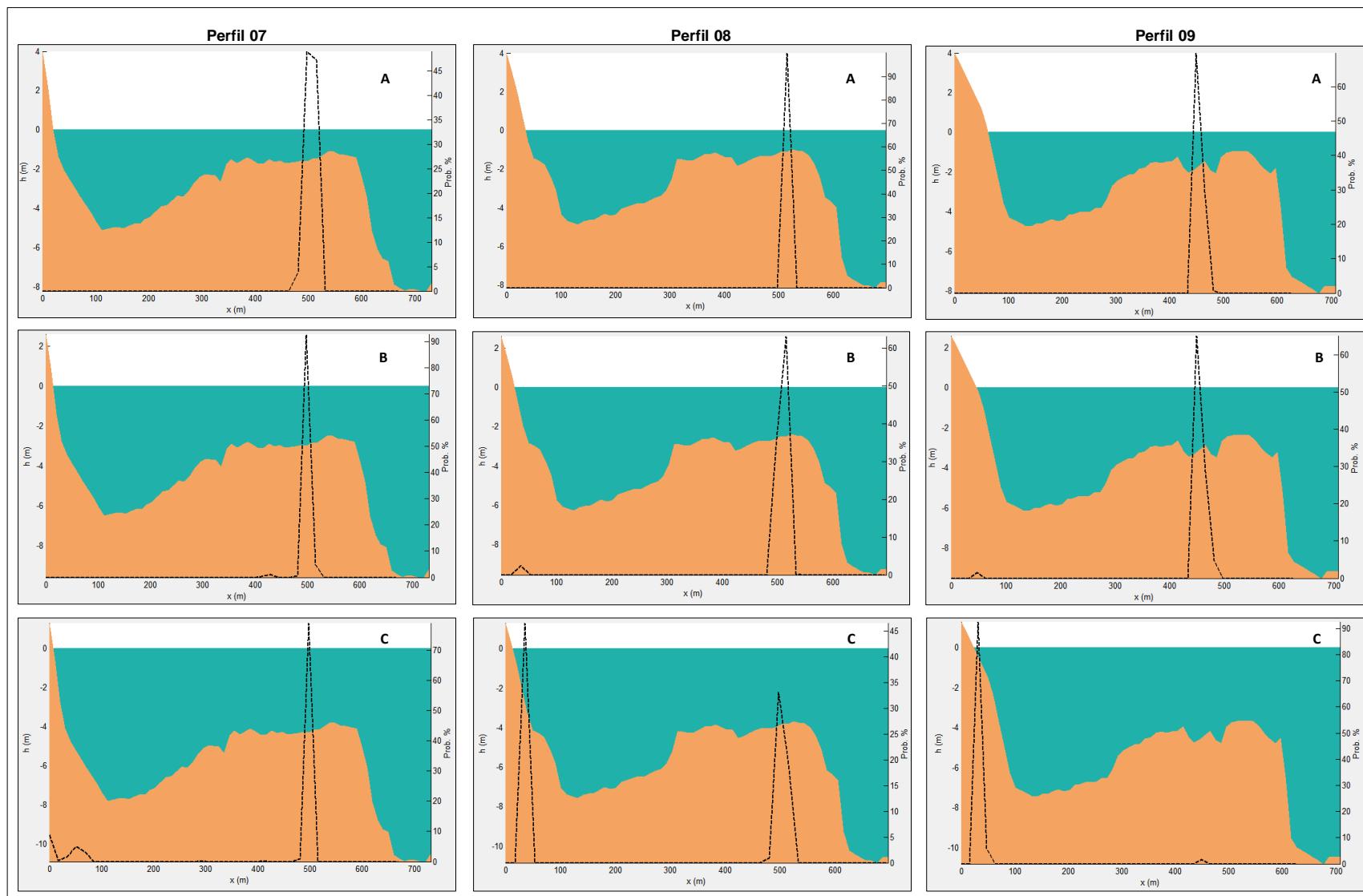
Fonte: O Autor (2018).

Figura 141 – Probabilidade de quebra de ondas, nos três níveis de maré (A – Baixa, B – Média, C – Alta) – Perfis 04 a 06



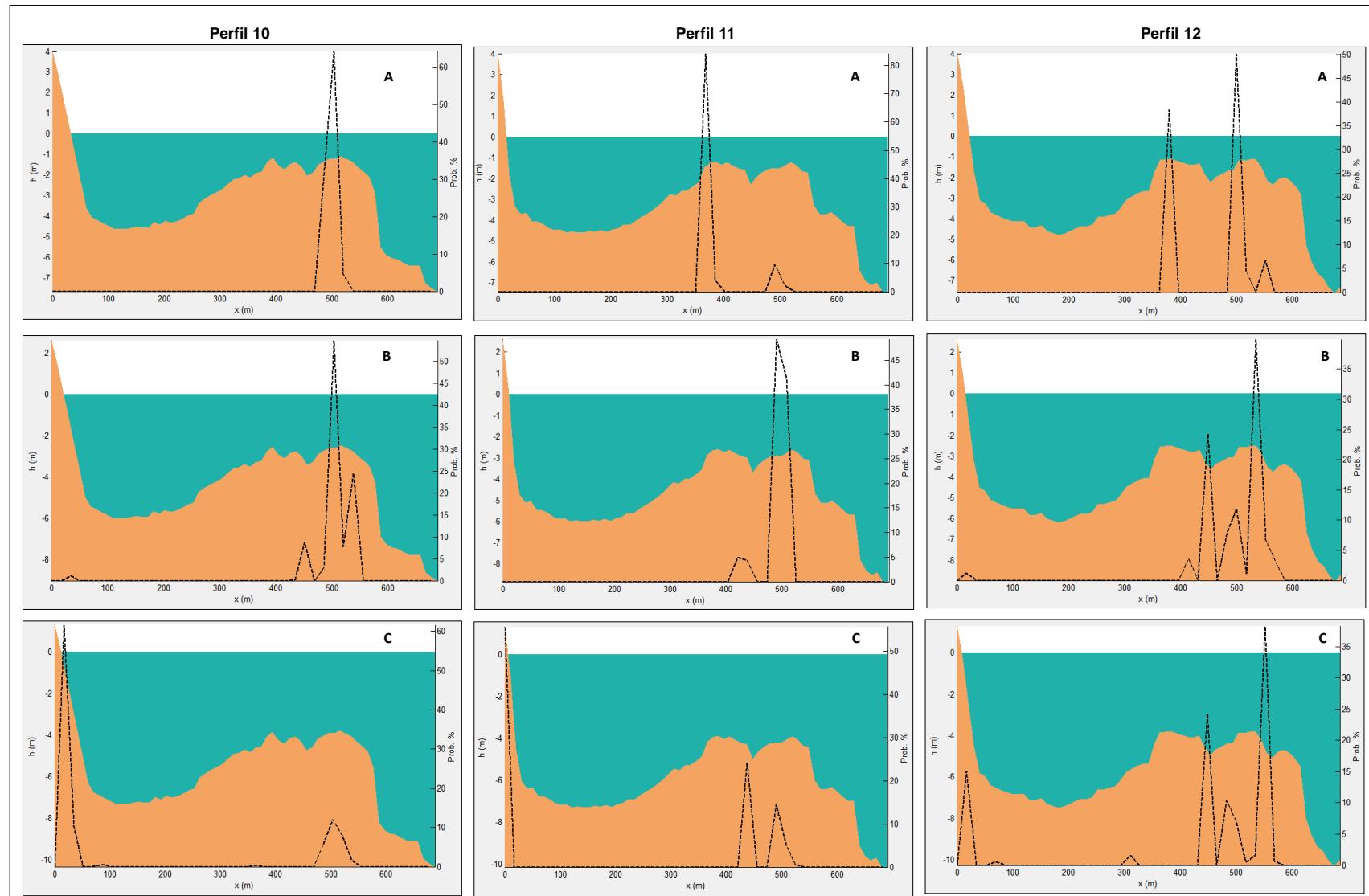
Fonte: O Autor (2018).

Figura 142 – Probabilidade de quebra de ondas, nos três níveis de maré (A – Baixa, B – Média, C – Alta) – Perfis 07 a 09



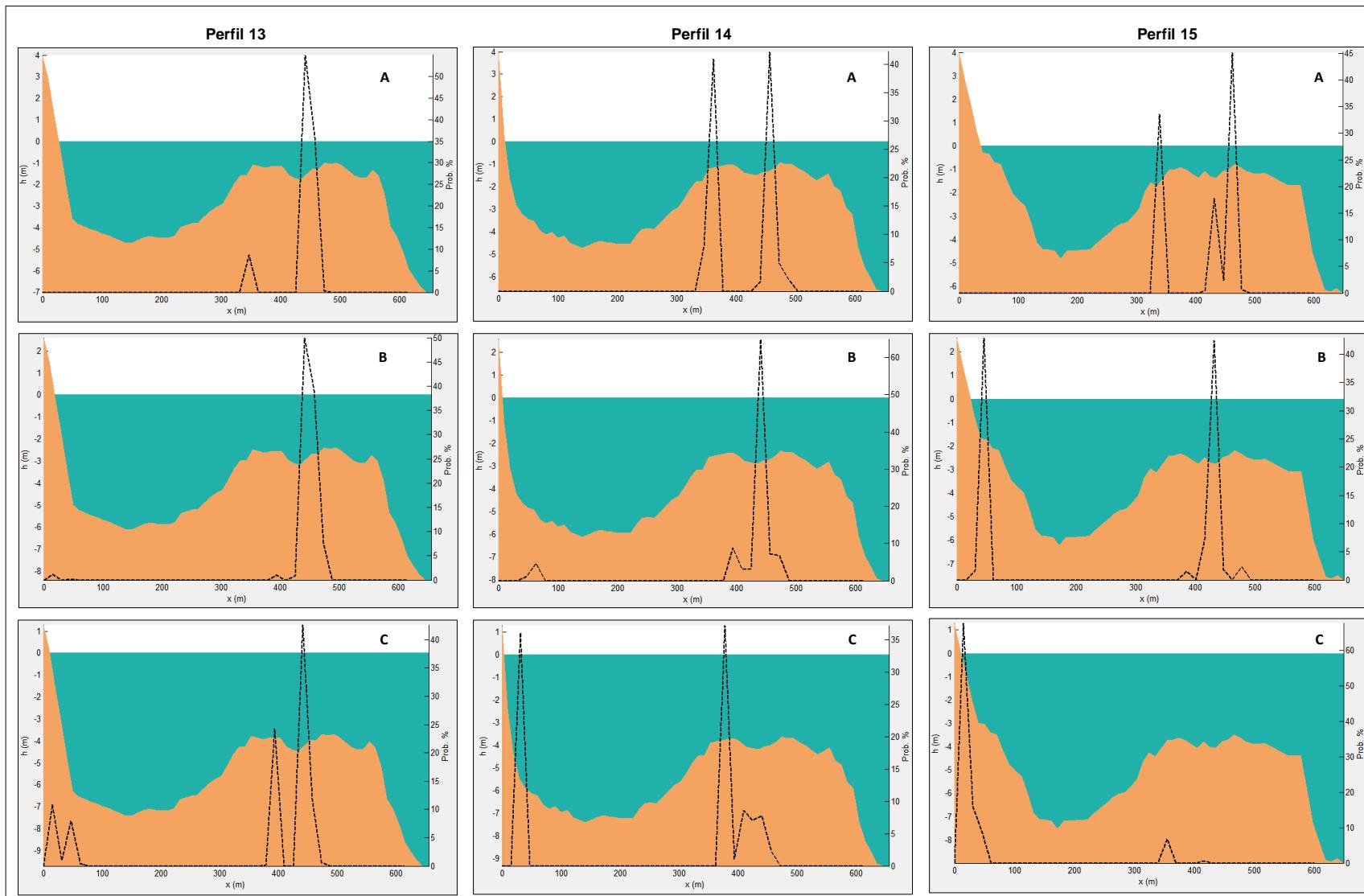
Fonte: O Autor (2018).

Figura 143 – Probabilidade de quebra de ondas, nos três níveis de maré (A – Baixa, B – Média, C – Alta) – Perfis 10 a 12



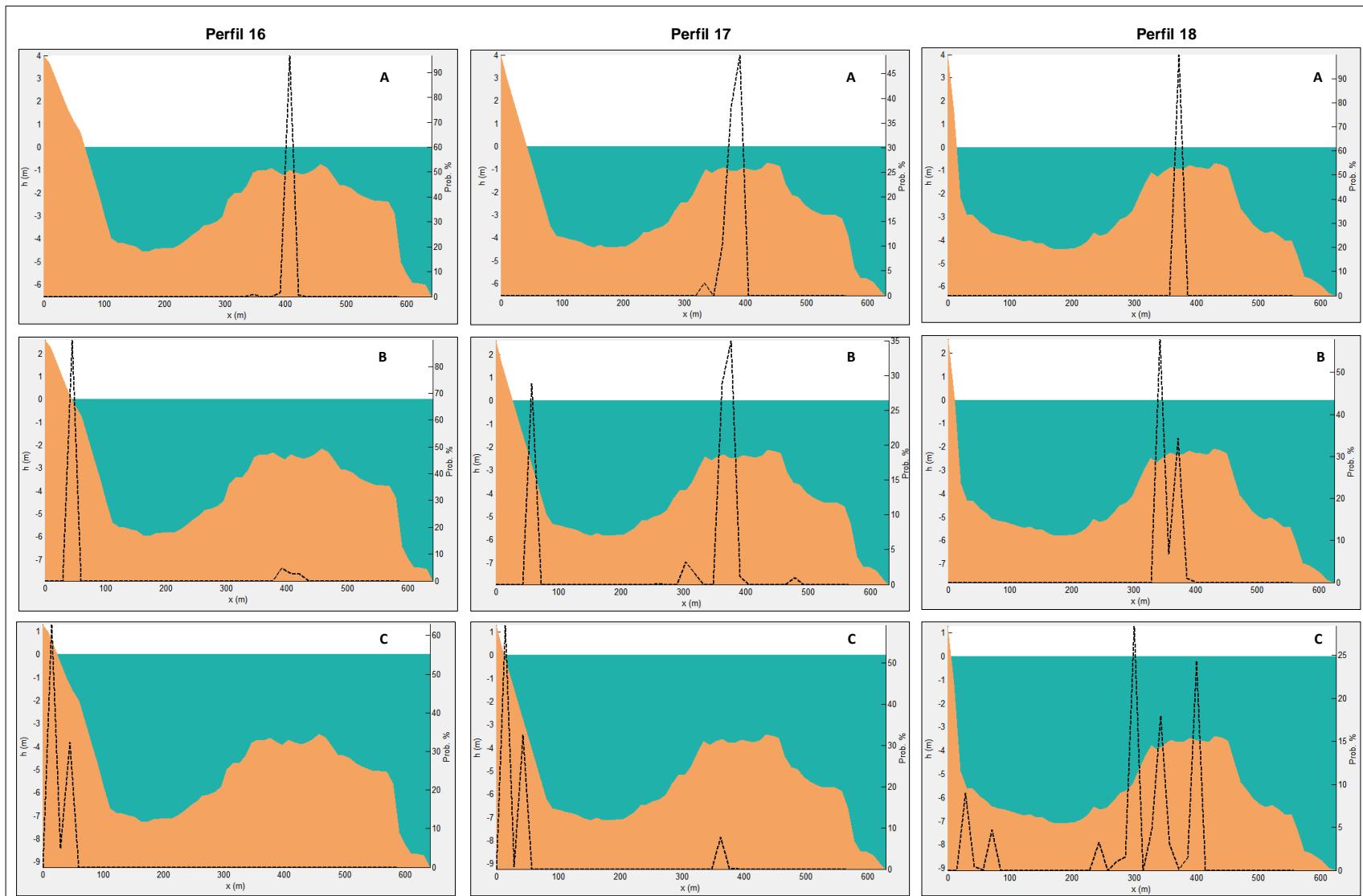
Fonte: O Autor (2018).

Figura 144 – Probabilidade de quebra de ondas, nos três níveis de maré (A – Baixa, B – Média, C – Alta) – Perfis 13 a 15



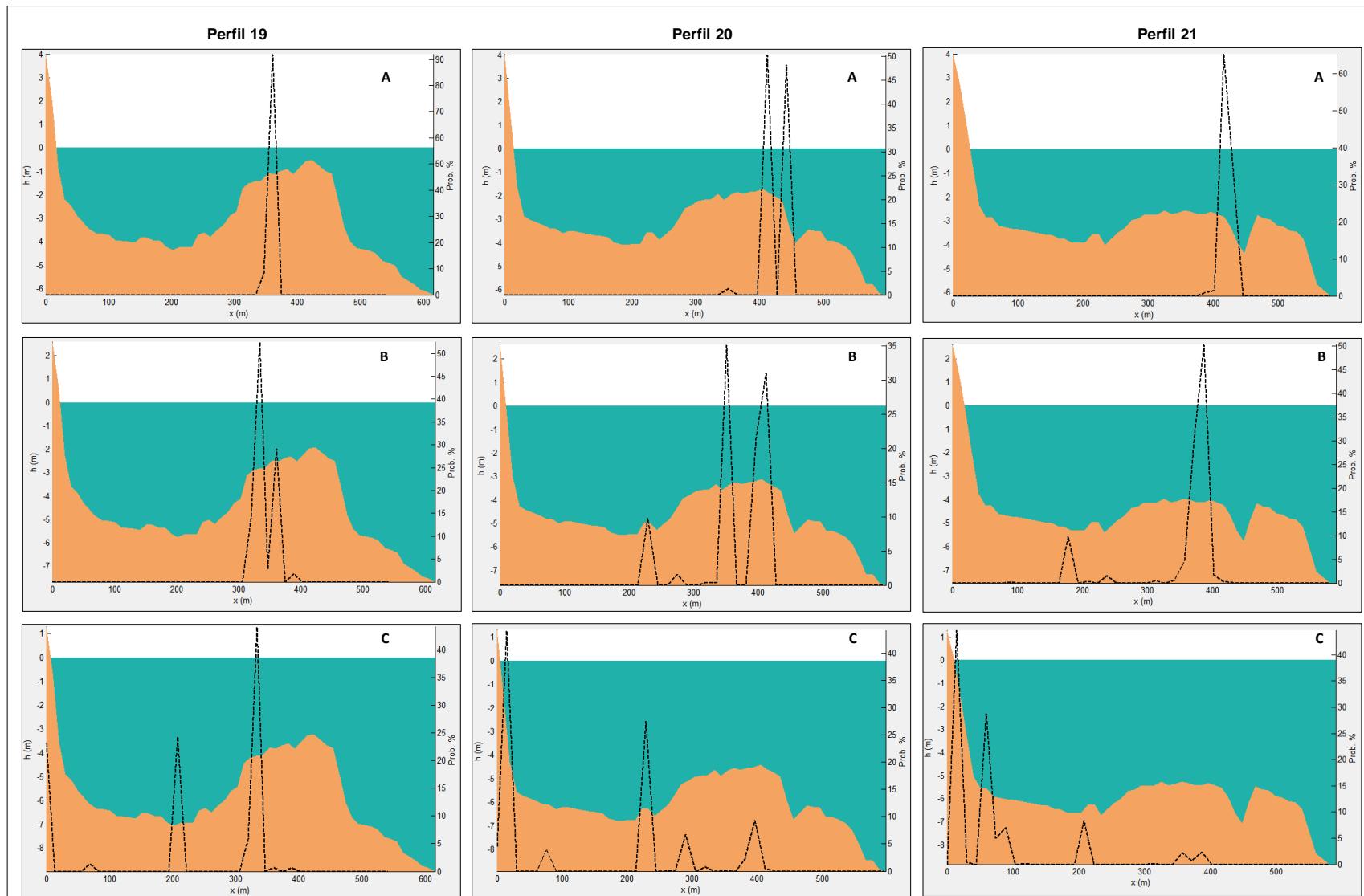
Fonte: O Autor (2018).

Figura 145 – Probabilidade de quebra de ondas, nos três níveis de maré (A – Baixa, B – Média, C – Alta) – Perfis 16 a 18



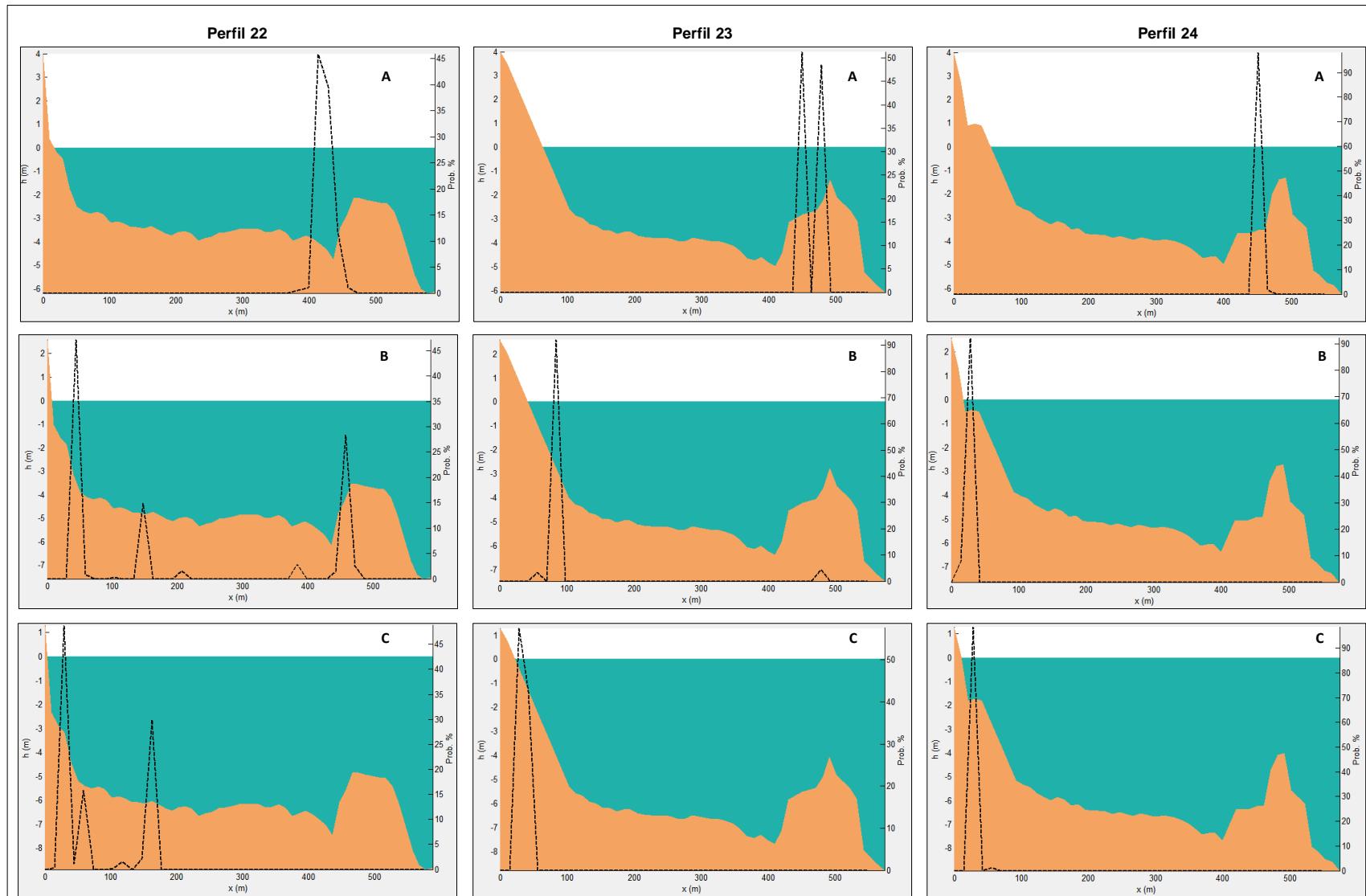
Fonte: O Autor (2018).

Figura 146 – Probabilidade de quebra de ondas, nos três níveis de maré (A – Baixa, B – Média, C – Alta) – Perfis 19 a 21



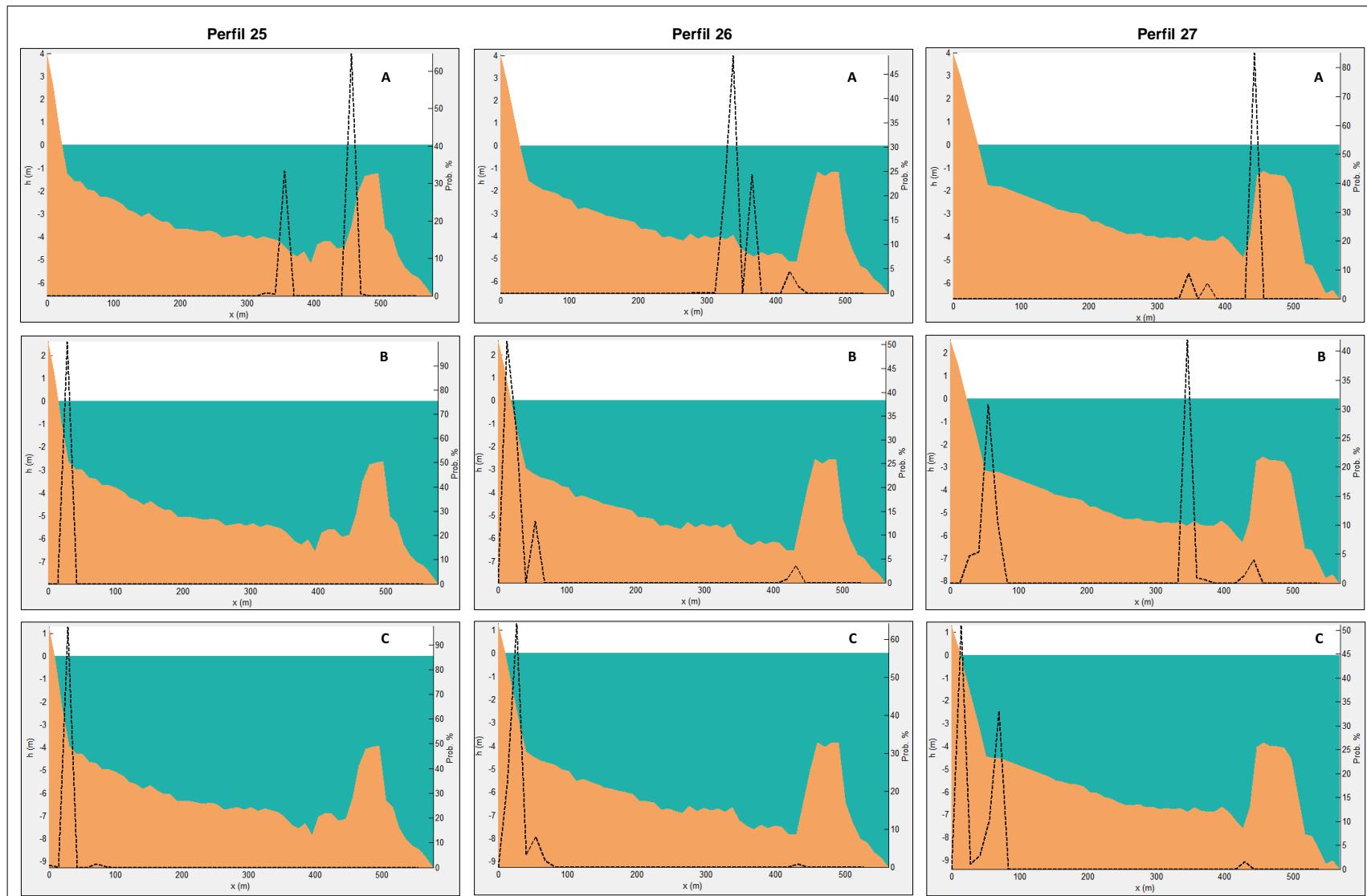
Fonte: O Autor (2018).

Figura 147 – Probabilidade de quebra de ondas, nos três níveis de maré (A – Baixa, B – Média, C – Alta) – Perfis 22 a 24



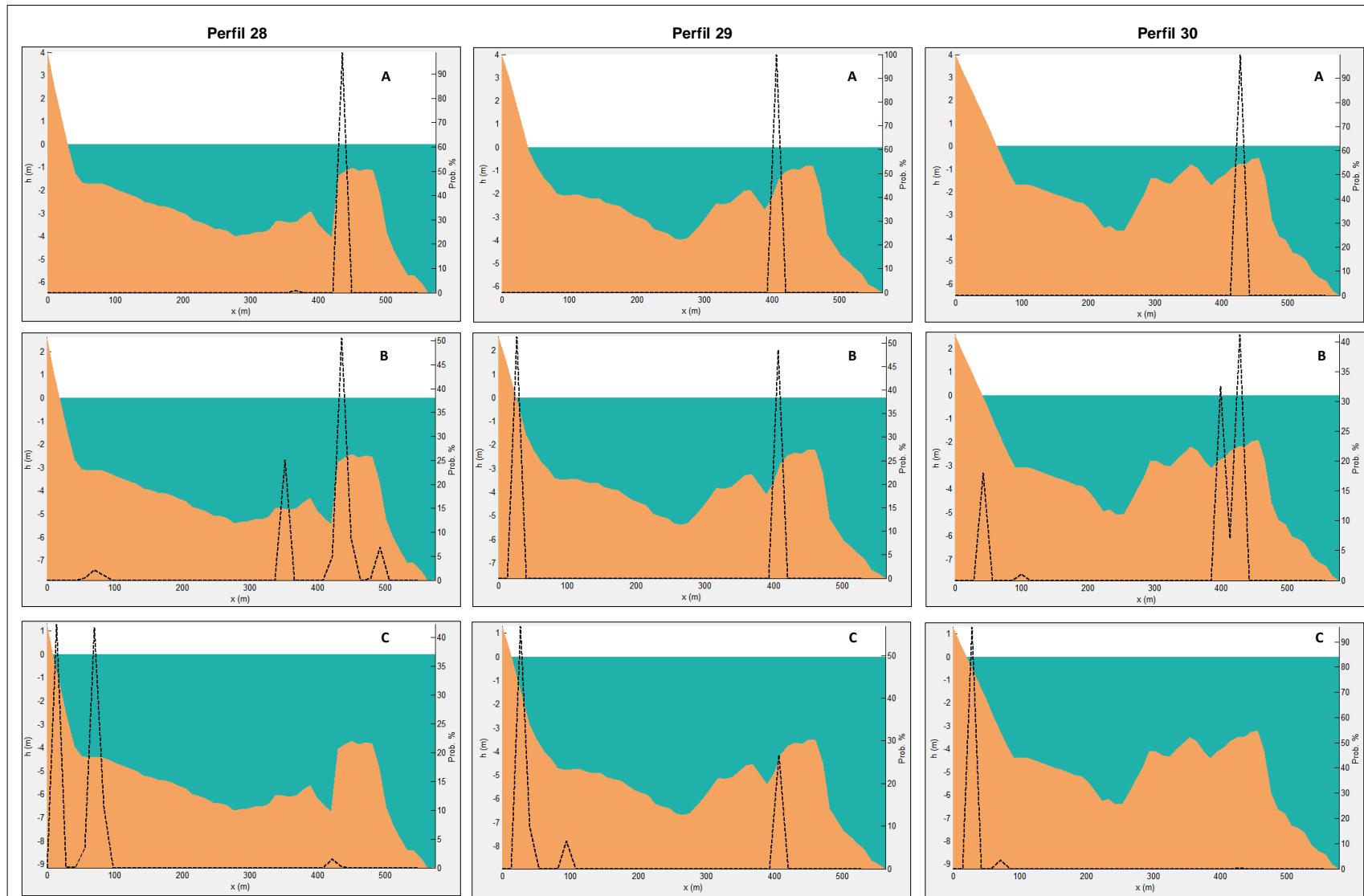
Fonte: O Autor (2018).

Figura 148 – Probabilidade de quebra de ondas, nos três níveis de maré (A – Baixa, B – Média, C – Alta) – Perfis 25 a 27



Fonte: O Autor (2018).

Figura 149 – Probabilidade de quebra de ondas, nos três níveis de maré (A – Baixa, B – Média, C – Alta) – Perfis 28 a 30



Fonte: O Autor (2018).

Analisando a probabilidade de quebra de ondas nos perfis, conforme a setorização da praia, proposta neste estudo, temos que:

– **No Setor A (espingões 01 a 10):**

- ↪ Nos períodos de maré baixa: o SMC apontou para a probabilidade de quebra das ondas na faixa compreendida entre 300,0 e 600,0 metros de distância da costa, área que corresponde à faixa na qual se encontra a 1^a linha de *beachrocks*.
- ↪ Nos períodos de maré média: à exceção do perfil 03, onde a probabilidade de quebra das ondas se deu no encabeçamento dos espingões (extremidade da estrutura no mar) – apontando uma abertura existente na linha de *beachrocks* –, a maior probabilidade de quebra se deu também na faixa em que se encontra a 1^a linha de *beachrocks*, com predomínio de ocorrências na porção mais distal da costa, a cerca de 500,0 metros.
- ↪ Nos períodos de maré alta: O SMC revelou uma ocorrência majoritária (90% dos perfis) de probabilidade de quebra das ondas se dando no encabeçamento dos espingões.

– **No Setor B (espingões 11 a 20):**

- ↪ Nos períodos de maré baixa: a maior probabilidade de quebra das ondas, de acordo com o SMC, se deu essencialmente sobre a linha de *beachrocks*, à uma distância média de aproximadamente 400,0 metros.
- ↪ Nos períodos de maré média: 70% dos perfis apresentaram probabilidade de quebra das ondas acima da 1^a linha de *beachrocks*. Condição esta que não se aplica aos perfis 15 e 17, nos quais a probabilidade de quebra das ondas se dividiu entre a faixa em que se encontra a 1^a linha de *beachrocks* e o encabeçamento dos espingões, bem como no perfil 16, onde a probabilidade de quebra das ondas se concentrou no encabeçamento do espingão.
- ↪ Nos períodos de maré alta: à exceção dos perfis 15, 16 e 17, nos quais a probabilidade de quebra das ondas foi de, majoritariamente, ocorrer no encabeçamento dos espingões, os demais perfis desse setor apresentaram uma alternância de probabilidade de quebra das ondas, ora se dando no encabeçamento dos espingões, ora sobre a 1^a linha de *beachrocks*.

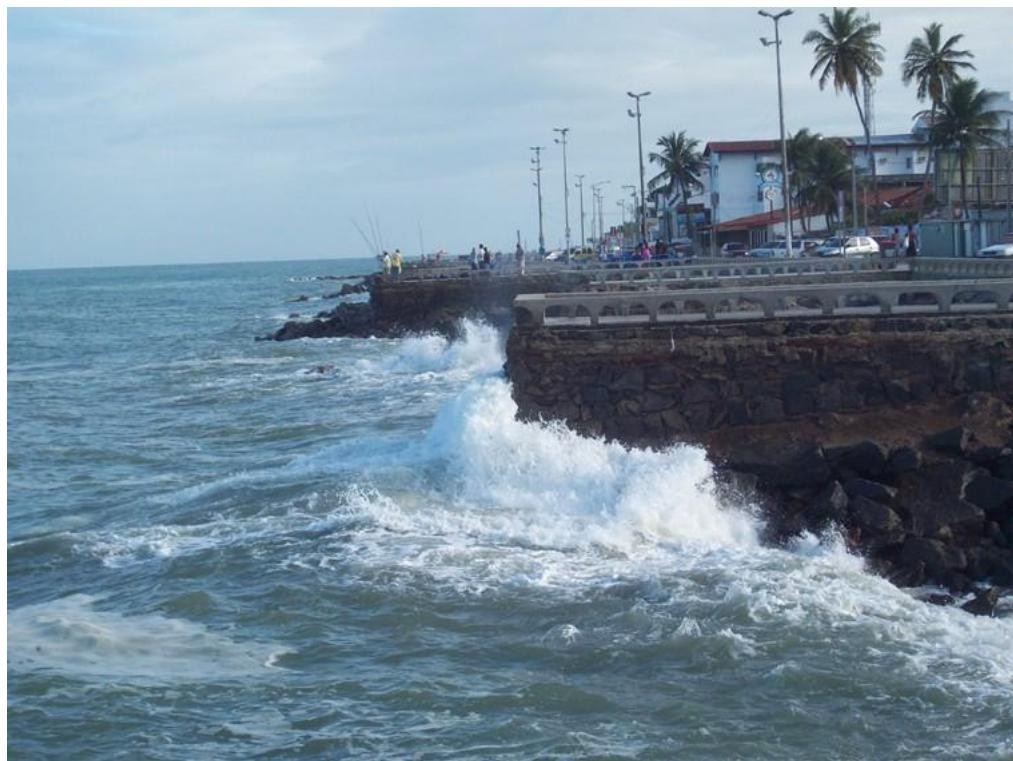
– **No Setor C (espingões 21 a 30):**

- ↪ Nos períodos de maré baixa: nesse setor, o SMC revelou que a maior parte dos perfis (cerca de 80%) apresentou probabilidade de quebra das ondas ocorrendo na faixa compreendida entre 400,0 e 500,0 metros de distância da costa, área na qual se encontra a 1^a linha de *beachrocks*. Apenas os perfis 25 e 26 representaram probabilidade de quebra das ondas ocorrendo essencialmente entre 300,0 e 500,0 metros de distância da costa, também sobre a linha de *beachrocks*. Ressaltando que o SMC apontou, ainda, a ocorrência de um estreitamento na cota de topo da linha *beachrocks* nos perfis 22 a 28.
- ↪ Nos períodos de maré média: de acordo com os perfis, em apenas 20% dos perfis (21 e 28) não foi identificada probabilidade de quebra das ondas no encabeçamento dos espingões. 40% dos perfis apresentaram variação de comportamento na probabilidade de quebra das ondas – ora se dando na faixa correspondente à 1^a linha de recifes, ora se dando no encabeçamento dos espingões – e em 40% dos perfis (23, 24, 25 e 26), refletindo a descontinuidade existente na linha de *beachrocks*, a probabilidade de quebra ocorreu essencialmente no encabeçamento dos espingões.
- ↪ Nos períodos de maré alta: o SMC revelou que a probabilidade de quebra das ondas se deu de forma majoritária no encabeçamento dos espingões.

No “Setor C” foi possível identificar, ainda, que entre os perfis 23 e 26, onde ocorre a descontinuidade da 1^a linha de *beachrocks*, a probabilidade de quebra de ondas antes de se chocar com os encabeçamentos desses espingões, ou mesmo de chegar à praia, é praticamente nula.

Esta condição de quebra das ondas de encontro aos encabeçamentos dos espingões revela que a presença dos espingões impõe uma condição de arrebentação que se dá, tão somente, em razão da presença dessa barreira física (Figura 150) e que, caso a presença física dos espingões não existisse, esta quebra se daria na região mais proximal da praia, permitindo, inclusive, que ocorresse o espraiamento, nos trechos em que há a presença de praia arenosa (Figura 151).

Figura 150 – Onda quebrando no encabeçamento do espião da praia de Bairro Novo, Olinda-PE.



Fonte: O Autor (2007).

Figura 151 – Espraiamento da onda em compartimento de praia arenosa na praia de Bairro Novo, Olinda-PE.



Fonte: O Autor (2007).

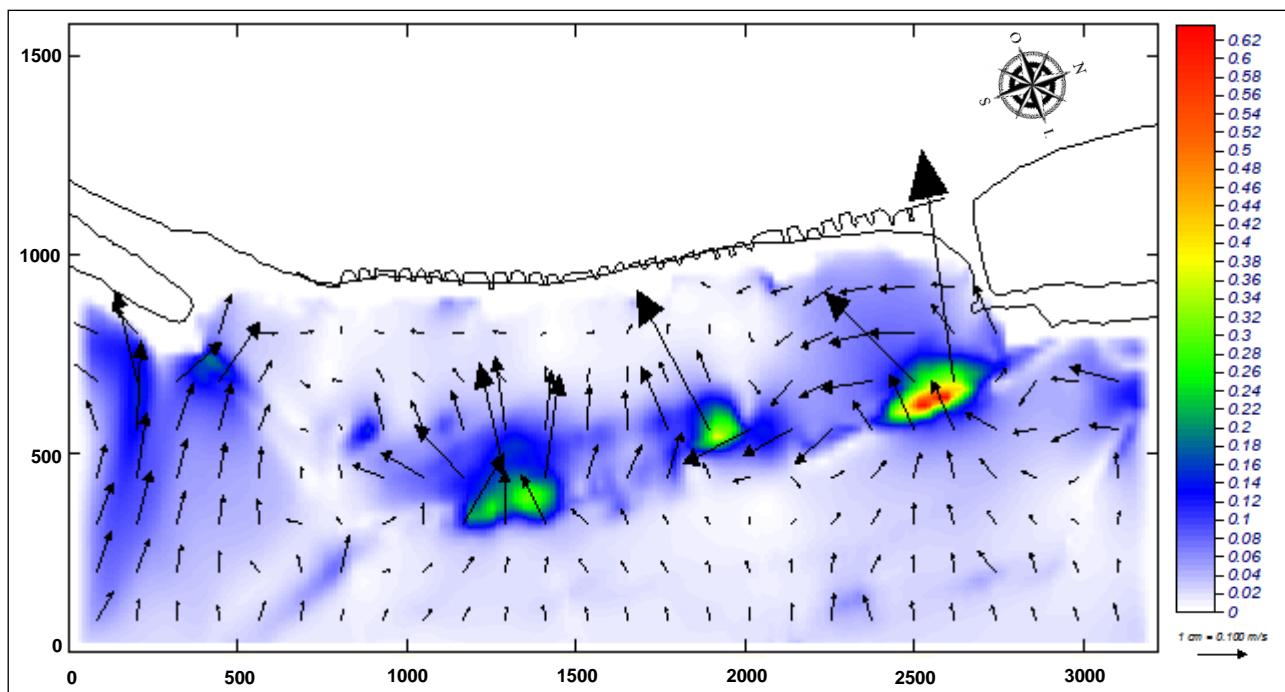
6.6.4 Correntes

As ondas que chegam à praia geram uma série de correntes, cujo padrão depende do ângulo de incidência.

O estudo das correntes costeiras realizado para esta tese foi baseado em modelagem da propagação das ondas, que tem como consequência a estimativa das correntes e do transporte de sedimento geradas por estas ondas, tendo seus resultados demonstrados por meio da análise dos vetores de propagação.

Nos períodos de maré baixa (Figura 152), observa-se pelo gráfico de magnitude que as estruturas existentes na plataforma respondem pela intensificação da velocidade das correntes. Percebe-se, ainda, que estas correntes têm produzido um efeito de turbilhonamento.

Figura 152 – Gráfico de magnitude das correntes em nível de maré baixa.

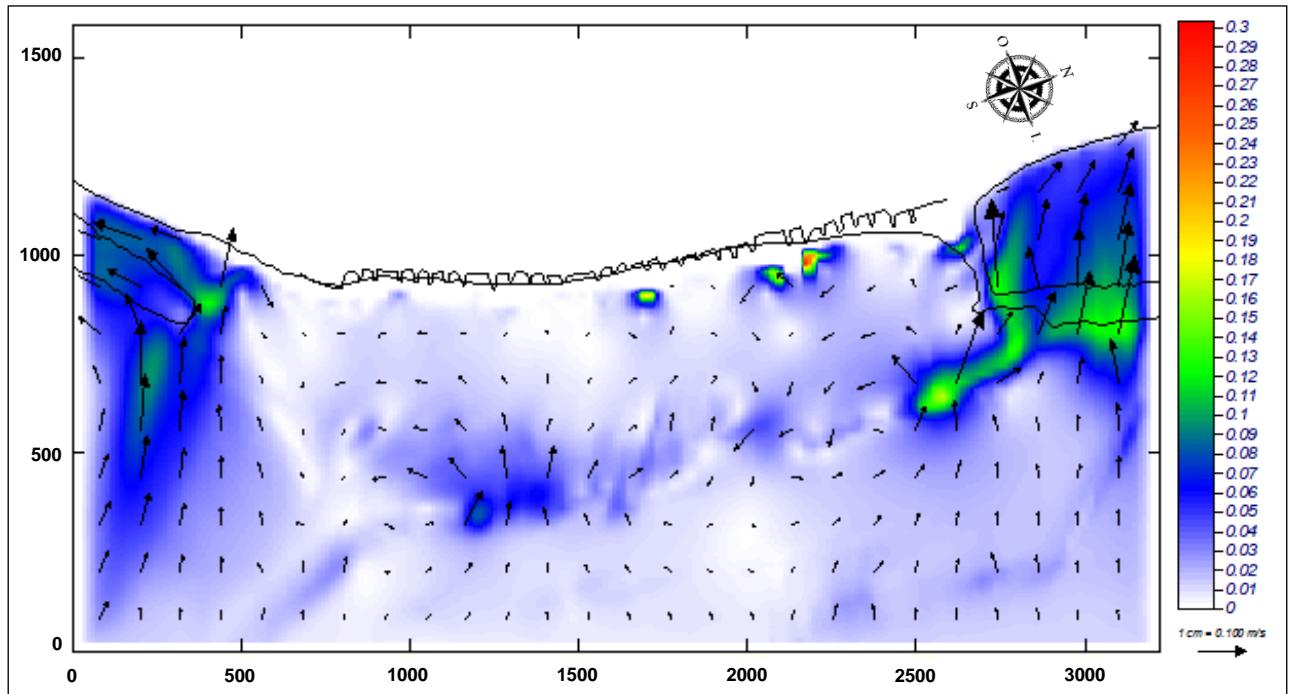


Fonte: O Autor (2018).

De acordo com os gráficos de magnitude, percebe-se que, tanto na maré média (Figura 153), quanto na maré alta (Figura 154), as zonas de turbilhonamento avançam da plataforma em direção aos espiões. Esse turbilhonamento, demonstrado em

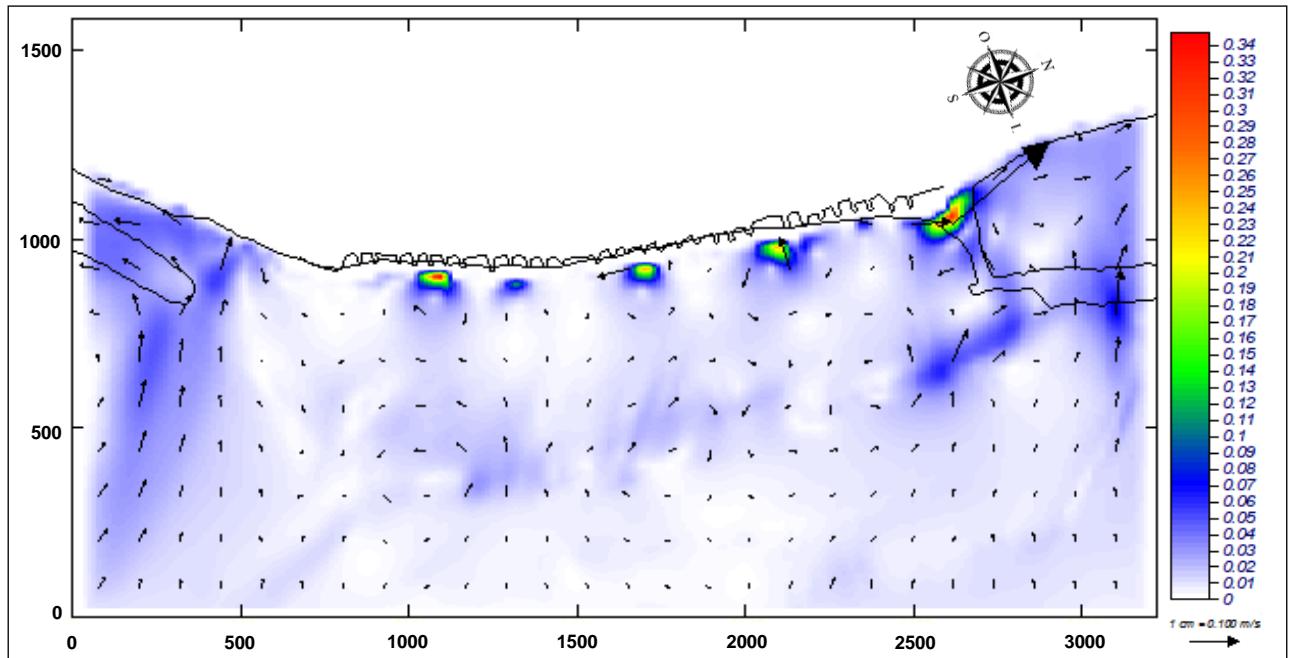
modelo, faz com o que o sedimento permaneça em suspensão na coluna d'água, não permitindo sua deposição no fundo.

Figura 153 – Gráfico de magnitude das correntes em nível de maré média.



Fonte: O Autor (2018).

Figura 154 – Gráfico de magnitude das correntes em nível de maré alta.



Fonte: O Autor (2018).

6.6.5 Transporte de sedimentos

A análise do comportamento do transporte de sedimentos dentro de um perfil permite avaliar quantitativamente se na praia houve perda ou ganho dos sedimentos carreados pela corrente e redistribuídos pelas ondas.

O cálculo do balanço do transporte litorâneo pode indicar se está havendo processo erosivo, onde células que perdem mais do que recebem (déficit no estoque de areia recebida pela praia), se está ocorrendo progradação (acréscimo de sedimentos em sua faixa de areia), ou mesmo se está havendo equilíbrio.

A conceituação do transporte local de sedimentos foi obtida por meio do uso dos perfis já adotados para o cálculo da arrebentação e, tendo os resultados para a energia que as ondas chegam à praia, a probabilidade da arrebentação e a velocidade de correntes, o programa modelou o quanto as ondas mobilizam de sedimento e o quanto as correntes são capazes de transportar este sedimento.

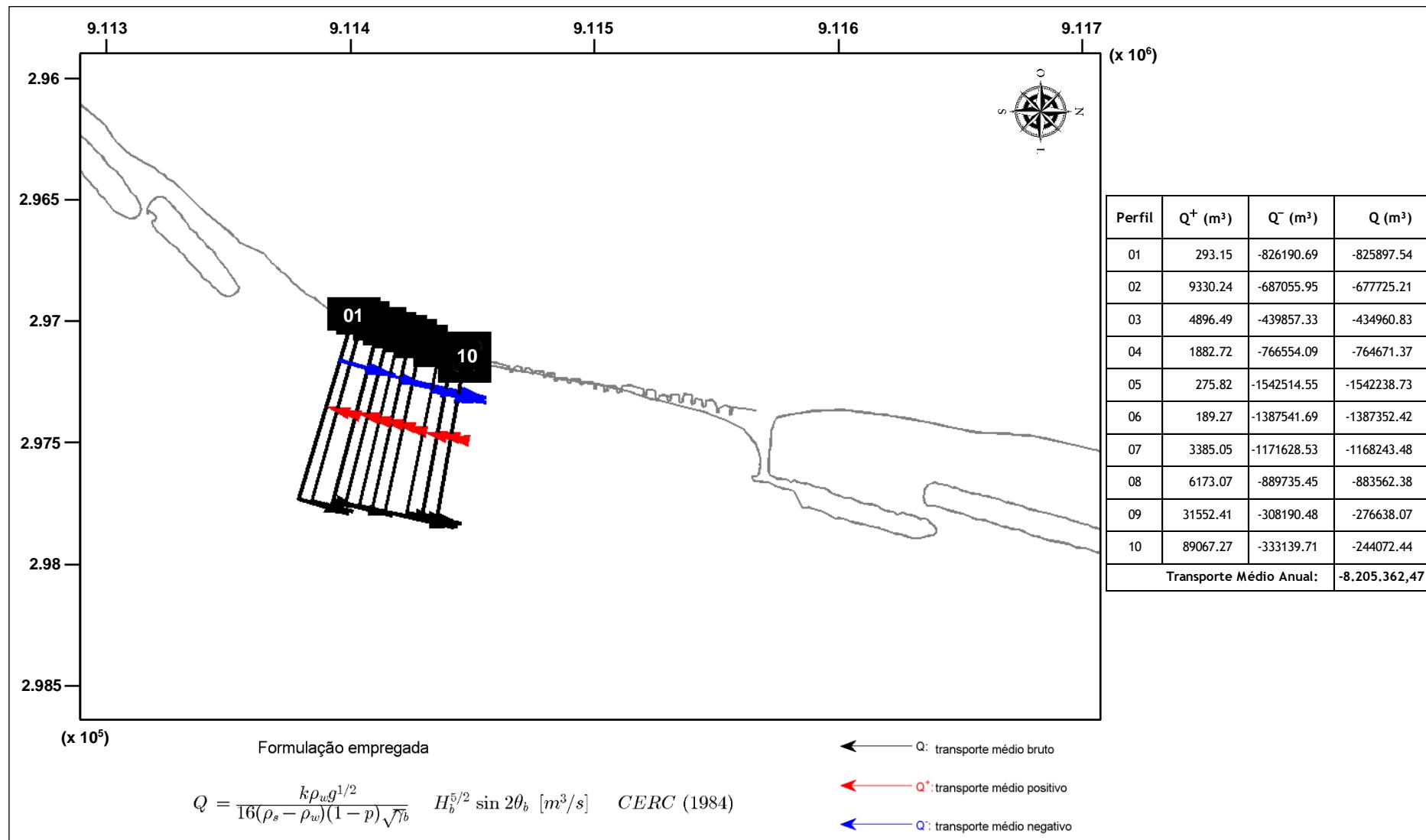
Como parâmetro de entrada, optou-se por um período sazonal de tempo, de janeiro a dezembro, enquanto, visando compatibilizar os resultados apresentados graficamente com a setorização proposta neste estudo, a delimitação dos cálculos foi dividida em três setores: A – Células 01 a 10; B – Células 11 a 20; e C – Células 21 a 30.

Os mapas de transporte de sedimentos, obtidos com o SMC, apresentaram os seguintes volumes, resultantes da diferença entre o volume que entra e o volume que sai de cada setor:

- Setor A: -8.205.362,47m³ (Figura 155)
- Setor B: -5.585.725,00m³ (Figura 156)
- Setor C: -2.626.975,50m³ (Figura 157)

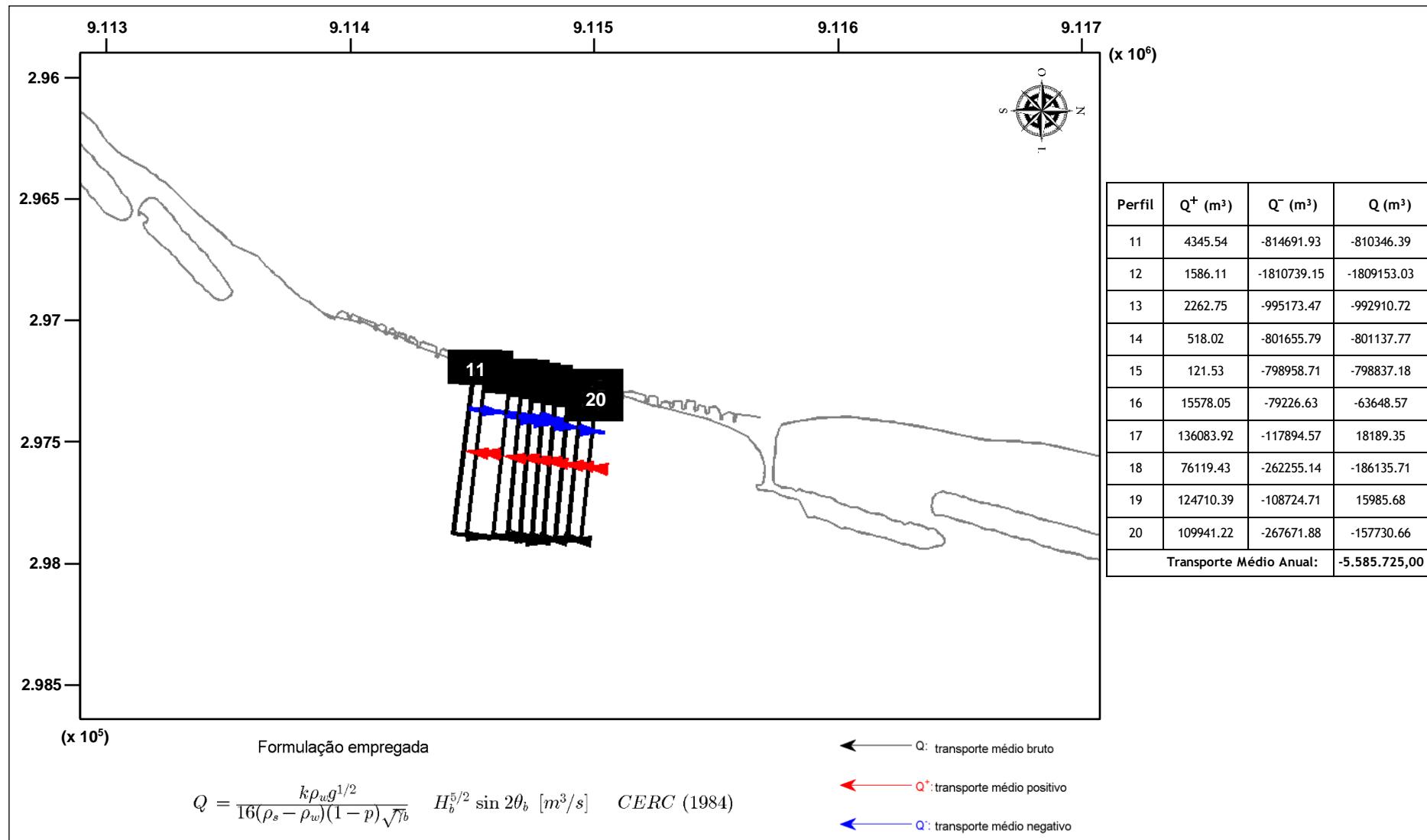
Os resultados apresentados pelo SMC para o transporte de sedimentos revelaram um estado de perda ocorrendo ao longo dos três setores (A, B e C) da praia de Bairro Novo. A considerar o saldo de transporte médio, conforme quadros anexos aos mapas elaborados para cada setor, o litoral de Bairro Novo apresenta um déficit sedimentar da ordem 16,5 milhões de m³/ano.

Figura 155 – Mapa de transporte médio de sedimentos por ano, no “Setor A” da praia de Bairro Novo.



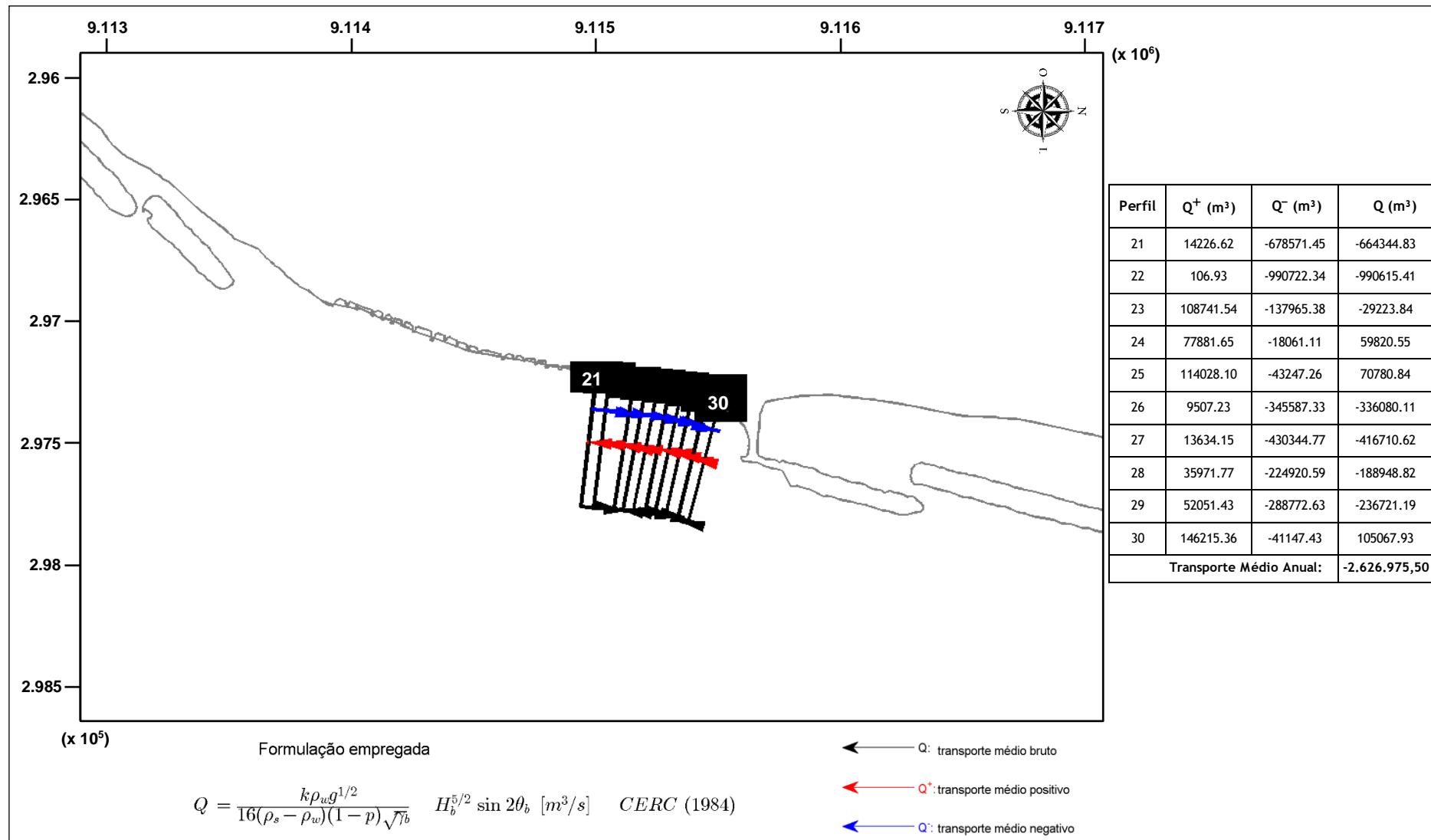
Fonte: O Autor (2018).

Figura 156 – Mapa de transporte médio de sedimentos por ano, no “Setor B” da praia de Bairro Novo.



Fonte: O Autor (2018).

Figura 157 – Mapa de transporte médio de sedimentos por ano, no “Setor C” da praia de Bairro Novo.



Fonte: O Autor (2018).

6.7 CARACTERIZAÇÃO DAS ESTRUTURAS DE DEFESA COSTEIRA DA PRAIA DE BAIRRO NOVO

A praia de Bairro Novo é constituída por 02 (dois) tipos de estruturas de defesa costeira (espingões e enrocamento aderente), que se dispõem ao longo de toda a sua extensão.

6.7.1 Espigões

A partir do levantamento planimétrico do sistema de defesa costeira da praia de Bairro Novo (Anexo A), elaborado para este estudo, foi possível identificar e catalogar cada um dos espingões, suas respectivas dimensões (comprimentos e larguras), assim como o afastamento existente entre os mesmos (Quadro 25).

Quadro 25 – Relação de proporção “comprimento x afastamento” entre os espingões da praia de Bairro Novo, Olinda-PE.

ESPIGÕES			ESPIGÕES			ESPIGÕES		
Nº	C ↔ A	PROPORÇÃO (2C ≤ A ≤ 3C)	Nº	C ↔ A	PROPORÇÃO (2C ≤ A ≤ 3C)	Nº	C ↔ A	PROPORÇÃO (2C ≤ A ≤ 3C)
01	35,42 > 30,39	NÃO ATENDE	11	35,03 > 40,96	NÃO ATENDE	21	42,37 > 35,64	NÃO ATENDE
02	36,41 > 29,06	NÃO ATENDE	12	31,20 > 37,00	NÃO ATENDE	22	36,22 > 86,53	ATENDE
03	38,48 > 55,58	NÃO ATENDE	13	24,55 > 94,15	NÃO ATENDE	23	42,76 > 44,64	NÃO ATENDE
04	41,71 > 25,00	NÃO ATENDE	14	31,19 > 34,83	NÃO ATENDE	24	46,61 > 31,10	NÃO ATENDE
05	35,15 > 28,26	NÃO ATENDE	15	28,42 > 34,53	NÃO ATENDE	25	37,97 > 36,28	NÃO ATENDE
06	38,18 > 34,23	NÃO ATENDE	16	30,25 > 36,74	NÃO ATENDE	26	37,27 > 29,82	NÃO ATENDE
06	38,18 > 34,23	NÃO ATENDE	17	32,58 > 30,89	NÃO ATENDE	27	36,90 > 31,38	NÃO ATENDE
07	37,67 > 35,74	NÃO ATENDE	18	31,68 > 39,78	NÃO ATENDE	28	37,53 > 51,05	NÃO ATENDE
08	48,68 > 73,22	NÃO ATENDE	19	28,34 > 40,26	NÃO ATENDE	29	46,56 > 40,01	NÃO ATENDE
09	57,55 > 39,29	NÃO ATENDE	20	33,48 > 89,57	ATENDE	20	C = Comprimento A = Afastamento	
10	33,76 > 38,52	NÃO ATENDE	21	42,37 > 89,57	ATENDE			
10	33,76 > 38,52	NÃO ATENDE						
11	35,03 > 38,52	NÃO ATENDE						

Fonte: O Autor (2018)

Ao considerar a relação de proporção do comprimento dos espiões da praia de Bairro Novo – desde a berma até a sua extremidade no mar – e o afastamento existente entre eles, conforme recomenda a literatura nos casos de adoção de uma bateria de espiões como sistema de defesa costeira, de acordo com a planimetria realizada, mais de 90% dos espiões se mostraram inadequados, não apresentando nenhum critério de correlação com os afastamentos existentes entre as estruturas (Figura 158).

Figura 158 – Relação de proporção “Comprimento x Afastamento” dos espiões da praia de Bairro Novo, Olinda-PE.



Fonte: Autor (2018).

Dos 30 compartimentos (células) que compõem a área de estudo, apenas 02 (dois) atenderam o critério de afastamento.

O compartimento formado entre os espiões 20 e 21 está inserido no “Setor B” da praia e, embora tenha se enquadrado na relação de proporção, não apresenta nenhum registro de sedimentos na célula. Em contrapartida, o compartimento 22-23 apresenta uma grande quantidade de sedimento que se distribui ao longo da célula, inclusive, a ponto de se sobrepor ao enrocamento aderente. Este compartimento, pertencente ao “Setor C” da praia, corresponde à área em que, no ano de 2004, foi realizada a supressão de um espião.

6.7.2 Enrocamento aderente

Dada a ineficiência dos espiões em promover o acúmulo de sedimentos, assim como em estabilizar a costa, desde suas implantações, a orla de Bairro Novo permaneceu exposta ao avanço do mar e, consequentemente, à retrogradação da linha de costa.

Diante dessa exposição e das consequentes avarias, foram sendo distribuídos blocos rochosos, gradativamente, ao longo dos compartimentos existentes entre os espiões, porém, sem que fosse dada a esses blocos uma configuração de uma estrutura aderente.

Essa condição somente lhe foi atribuída a partir de 2004, quando a Prefeitura de Olinda, visando a reestruturação da urbanização da orla, bem como a estabilização da linha de costa, impedindo que novos processos de recuo atingisse a sua principal via de acesso, implantou um sistema de enrocamento aderente ao longo de toda a extensão da praia de Bairro Novo.

Em 2005, diante de uma série de problemas causados à urbanização, decorrentes do spray e sobrepassagem das ondas (Figura 159), que atingia o calçadão em alguns trechos da orla, foram alteradas as proporções de inclinação dos taludes do enrocamento de alguns compartimentos.

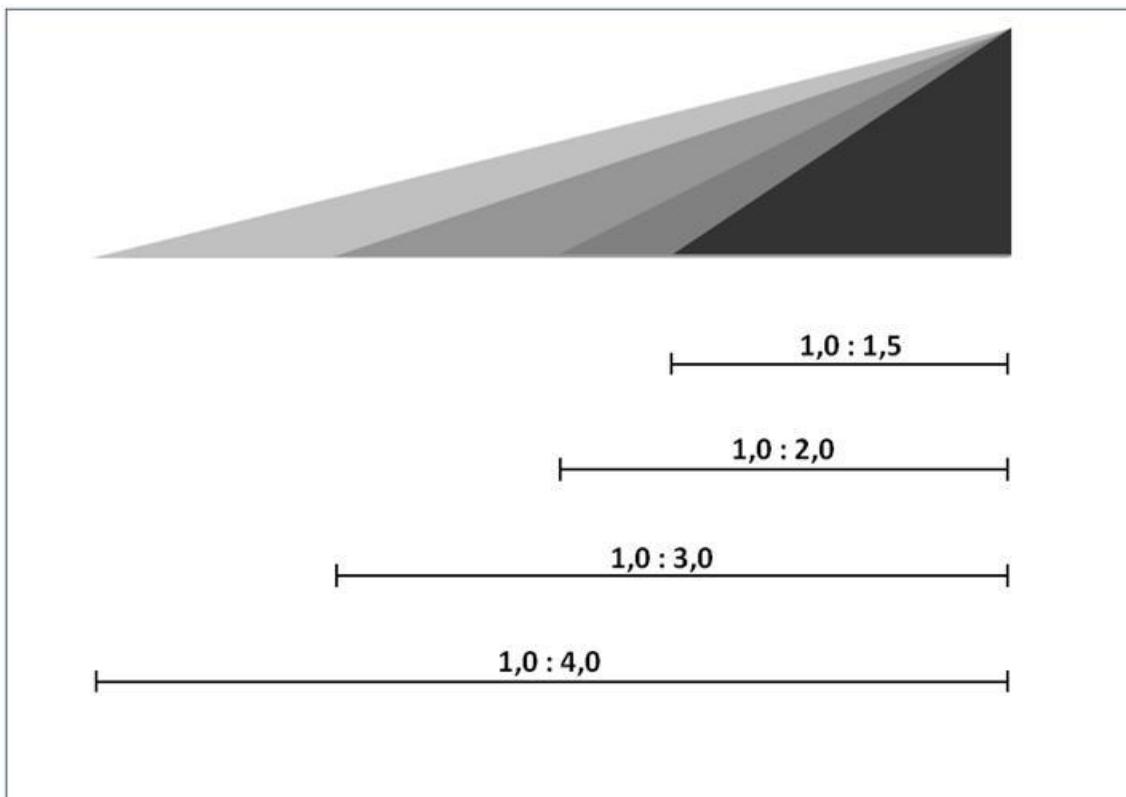
Figura 159 – Danos causados à urbanização pela sobrepassagem das ondas sobre o enrocamento.



Fonte: O Autor (2005).

As inclinações dos taludes, antes predefinidas em projeto para todas as células na proporção mínima de “1,0 : 1,5” – recomendadas para praias urbanas, com a finalidade de não comprimir a faixa de praia e preservar a área recreacional (Figura 160) – foram modificadas para “1,0 : 3,0” nas células 13-14, 14-15, 15-16, 16-17 e 20-21, todas pertencentes ao “Setor B”.

Figura 160 – Representação esquemática da proporção de inclinação do talude para uma seção de enrocamento aderente.



Fonte: O Autor (2011).

A partir de 2005, quando da implantação da alteração de proporção dos taludes, a estrutura do enrocamento aderente da praia de Bairro Novo recebeu, até o ano de 2016, algumas poucas intervenções de caráter preventivo e/ou corretivo, por meio de um contrato de manutenção das estruturas de defesa costeira do município, com a finalidade de preservar suas configurações de projeto.

7 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Em conformidade com a setorização da praia de Bairro Novo, apresentada por Gois (2011), os estudos morfodinâmicos, realizados nos anos de 2009, 2010 e 2018, revelaram que:

- Os compartimentos 01 a 10 (Setor A) apresentaram perfis em cujas seções se identificam dois elementos: enrocamento e praia arenosa. Durante o período estudado, os perfis desse setor apresentaram seções com um leve rebaixamento do perfil na faixa de 0,0 a 5,0 metros – a partir da cota de coroamento do enrocamento aderente em direção à praia –, revelando que o enrocamento aderente vem sofrendo um processo gradativo de recalque em sua estrutura. Comportamento este que se estende para o estirâncio, a partir de 5,0 metros, onde se observou o rebaixamento do terreno natural à frente da estrutura.
- Os compartimentos 11 a 20 (Setor B), mesmo durante as menores marés de sizígia, não há a presença de faixa de praia, sendo visto apenas o enrocamento aderente. Nesse setor ocorre um rebaixamento mais acentuado ao longo de toda a seção, com rebaixos de até 2,80 metros, em relação ao perfil de set/2010, e de até 3,00 metros, em relação ao perfil de set/2009, razão pela qual se justifica a ausência de uma faixa mínima de praia, mesmo nas menores marés.
- Os compartimentos 21 a 30 (Setor C), diferentemente dos demais setores, apresentam seções com estirâncio bem definido, mesmo nos casos onde ocorreram avanços da urbanização, inclusive, com alguns compartimentos tendo o enrocamento aderente totalmente coberto por sedimentos. Neste setor, nos 04 primeiros compartimentos (21 a 24) ainda se observou o rebaixamento de perfis. A partir dos compartimentos 25 a 30 vem ocorrendo um comportamento progradacional gradativo, que se expande de sul para norte, com elevações nos perfis de até 2,90 metros, em relação ao levantamento realizado no ano de 2010, e de até 3,10 metros em relação ao de 2009.

Os perfis longitudinais – elaborados nos anos de 2010 e 2018 – evidenciaram o comportamento distinto dos 03 setores identificados, e para os quais destacam-se as seguintes características:

- No “Setor A”, com cerca de 500,0 metros de extensão, as cotas variaram entre 0,71 m e 1,54 m acima do NMM, com apenas uma cota abaixo do NMM, de 0,23 m;

- O “Setor B”, com aproximadamente 600,0 metros, apresentou todas as cotas negativas, abaixo do NMM, com variação de -1,69 a -3,11 metros;
- O “Setor C”, localizado no extremo norte da praia de Bairro Novo, com aproximadamente 700,0 metros, apresentou a maior variação de cotas, com mínima de 0,40 metros e máxima de 3,86 metros, todas acima do NMM.

O cálculo da variação volumétrica, apresentado apenas para os perfis dos “Setores A e C”, visto que não há registro de sedimentos nos perfis do “Setor B”, revelou que, no intervalo de aproximadamente 09 anos:

- O “Setor A” apresentou um déficit sedimentar da ordem de 300,0 m^3/m ;
- Para o “Setor C”, o cálculo da variação volumétrica retratou com fidelidade a tendência progradacional identificada em sua porção média, com volumes suficientes para proporcionar a esse setor um balanço sedimentar positivo, da ordem de 54,0 m^3/m , no intervalo de aproximadamente 09 anos.

Porém, a análise integrada da variação volumétrica dos setores A e C apontou um balanço negativo, com déficit sedimentar da ordem de 240,0 m^3/m , volume que corresponde a um total de 432.000 m^3 para 1,8 km de costa em 9 anos. Esse volume, equivalente a 48.000 m^3/ano , representa uma perda de sedimentos do ambiente praial de aproximadamente 132 m^3/dia . Essa condição ganha maiores proporções quando consideramos que em toda a extensão do “Setor B” não ocorre disponibilidade de sedimentos ao longo de seus perfis de praia, agravando o cenário de déficit sedimentar e ratificando o estado erosivo que permanece na praia de Bairro Novo.

A análise morfodinâmica da plataforma continental revelou, por meio do levantamento batimétrico realizado em 2018, as mesmas feições geomorfológicas apresentadas na batimetria de 2011, porém, quando comparados os mapas batimétricos, foram identificados alguns rebaixamentos no leito marinho ao longo desses 07 anos.

A cubagem, obtida por meio da sobreposição dos mapas batimétricos (2011 e 2018), revelou que, enquanto ocorreu um incremento de 161.093,93 m^3 de sedimentos em alguns setores da plataforma, outros setores houve perda de 2.556.706,06 m^3 de sedimentos, correspondendo a um balanço sedimentar negativo de 2.395.612,13 m^3 , em 07 anos, o que evidencia que a plataforma interna da praia de Bairro Novo vem

sofrendo um processo erosivo no fundo marinho, cuja taxa de erosão é de 342.230,30 m³/ano, equivalente a uma perda de sedimento da ordem de 940m³/dia.

Essa perda significativa de sedimentos na plataforma continental, e no ambiente praial, reflete a interferência direta, e negativa, dos espiões na dinâmica sedimentar da praia de Bairro Novo. Esses espiões, que têm se mostrado por mais de 50 anos uma escolha inadequada e, consequentemente, equivocada como obra de defesa costeira para este segmento litorâneo, não encontram respaldo técnico na literatura para a sua adoção, tampouco para sua permanência na praia de Bairro Novo.

A hidrodinâmica atuante no litoral olindense já havia sido considerada pelo Laboratório de Grenoble, em 11/02/1958, como incompatível com o uso de estruturas transversais à costa, quando, respaldado pelas conclusões do “Congresso de Navegação de Veneza”, afirmava que *“No caso das costas sem corrente predominante, submetidas à ação preponderante das ondas, se não existir qualquer fonte de materiais podendo caminhar ao longo da praia, ou se a ação preponderante das ondas se exerce segundo uma direção normal à costa, os espiões não podem ter qualquer utilidade, e não há outra proteção possível senão por obras longitudinais”*.

Esse posicionamento, contrário ao uso dos espiões em Olinda, que se respalda tecnicamente na literatura, que não recomenda o uso de estruturas perpendiculares, quando o transporte de sedimentos litorâneos é insuficiente para recompor a praia, se fortaleceu quando, durante ensaios realizados pelo Laboratório de Grenoble, o uso de espiões de pedras não apresentou resultado positivo, nem evitou erosões, repetindo o insucesso obtido com o experimento do D.P.R.C. nos anos de 1950-51.

Não obstante o fato de que os espiões não se apropriam à praia de Bairro Novo como obra defesa costeira, o critério adotado para a implantação de uma bateria de espiões – sucessão de três ou mais espiões dispostos subsequentemente – não foi seguido conforme preconiza a literatura e, conforme demonstrado neste estudo, mais de 90% dos compartimentos formados pelos espiões não atendem à relação de “Comprimento x Afastamento”, demonstrando que a adoção de espiões como obra de defesa costeira em Bairro Novo se deu muito mais em razão das exaustivas e frustrantes tentativas de frear o avanço do mar, do que por respaldo técnico, tendo

recebido aquiescência do Laboratório de Sogreah, tão somente, baseado em casos bem-sucedidos em outras regiões do país e do exterior, conforme depoimento do diretor do 7º D.P.R.C ao DP de 21/09/1962 (Anexos).

A caracterização da quebra das ondas, obtida com o SMC, identificou que a presença dos espigões tem se constituído em uma barreira que, além de impedir a arrebentação da onda, não permite que ocorra o espraiamento em trechos onde há a presença de praia arenosa, nem que a onda perca energia ao galgar as estruturas do enrocamento aderente, nos setores que não possuem estirâncio.

Os choques das ondas nos encabeçamentos dos espigões têm feito com que as ondas arrebentem sem que haja a dissipaçāo da energia. Esse mecanismo – abordado no capítulo 03 desta tese – provoca um turbilhonamento ao largo das estruturas, dando origem à formação de células de circulação dentro do compartimento e, consequentemente, à produção de correntes de retorno que promovem a expulsão do sedimento, e causam severos danos aos próprios espigões. Comportamento observado desde o ano de 1967, quando da conclusão da construção dos espigões, quando, ainda naquele ano, já eram registradas as primeiras avarias em suas estruturas, motivando numerosas tentativas de supressão daquelas estruturas – vide publicações (Anexos) nos anos de 1962/64/67/71/73/75/81/82/83).

A interferência dos espigões no comportamento sedimentar da praia de Bairro Novo se fortalece diante do estudo do transporte de sedimentos, apresentado pelo SMC, cujo resultado, obtido pela diferença de volume, que entra e que sai de cada setor (A, B e C), apontou para a existência de déficit sedimentar em todos os setores, com perda de sedimentos de 16.418.062,97 m³/ano, direcionados para o norte.

Esse direcionamento para o norte – de acordo com os mapas de transportes do SMC – associado às análises dos sedimentos coletados nos 02 primeiros quebra-mares da praia de Casa Caiada (S-N), área contígua à praia de Bairro Novo, cujos resultados se mostraram compatíveis com os sedimentos analisados no ambiente praial de Bairro Novo, sobretudo no que se refere ao grau de seleção, reforçam a concepção de que os setores que estão sendo progradados à frente das estruturas (lado oeste), estão recebendo o aporte sedimentar proveniente da praia de Bairro Novo.

Os resultados aqui expostos constatam que os espiões da praia de Bairro Novo vêm proporcionando o rebaixamento dos perfis praiais, e diante das desconformidades apresentadas, essas estruturas se tornaram inadequadas, passando a produzir alterações nos padrões das correntes locais e, consequentemente, alterando a morfologia de fundo da plataforma, impondo-lhe um severo estado erosivo, razões pelas quais se conclui que a permanência desses espiões representa uma ameaça à estabilidade de toda essa faixa litorânea.

Quanto ao enrocamento aderente, é possível concluir que, em sua atual configuração, não representa interferência significativa na fixação dos sedimentos que chegam à praia, sendo observado, inclusive, que em alguns compartimentos do “Setor C” os sedimentos aportados estão se sobrepondo a essas estruturas. Merece ser ressaltado, porém, que, dada a impropriedade do uso de espiões como obra de defesa costeira, a permanência do enrocamento aderente é, tão somente, o que vem garantindo a linha de costa estabilizada em sua atual posição, na praia de Bairro Novo.

A análise sedimentológica permitiu compatibilizar as amostras coletadas no ambiente praial com as amostras da plataforma continental, revelando que os sedimentos que compõem o “Setor C” da praia – nos quais o processo de aporte sedimentar é mais intenso e se propaga para as demais células – apresentam granulações idênticas aos sedimentos da 2^a linha de amostras da plataforma continental, caracterizando que esses sedimentos aportados no “Setor C”, antes de atingir a costa, encontram-se originalmente à frente da 1^a linha de recifes, e que a abertura identificada, frontal ao setor, tem favorecido o aporte desses sedimentos para a praia.

Assim sendo, dada a importância da preservação dos sedimentos que estão sendo aportados no “Setor C” da praia de Bairro Novo, assim como pela necessidade de eliminar o processo erosivo que atinge, sobretudo, os setores “A e B”, e que se propaga até a plataforma continental, recomendam-se ações imediatas que contemplem a supressão gradativa dessas estruturas, a exemplo do que ocorreu no ano de 2005, e que proporcionou a ampliação da faixa de praia no início do “Setor C”, além de promover a expansão do processo progradacional para células subsequentes.

REFERÊNCIAS

- ALFREDINI, Paolo; ARASAKI, Emilia (2014). **Engenharia Portuária**. Ed. Blucher. 1307p. São Paulo – SP -Brasil.
- ALMEIDA, T. L. M. (2018). **Caracterização da dinâmica costeira de Itamaracá-PE: aplicação do sistema de modelagem costeira do Brasil**. Tese de Doutorado (Geociências). Universidade Federal de Pernambuco. Recife, 171f.
- ALVO, Pedro Henrique dos Santos (2008). **Aplicação do modelo numérico COBRAS-UC ao estudo da interacção de ondas com protecções marginais**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Lisboa: Universidade Técnica de Lisboa. 2008, 71 p.
- ARAÚJO, Maria Christina B.; SOUZA, Stella T.; CHAGAS, Alessandra Carla O.; BARBOSA, Scheyla C. T.; COSTA, Monica F. (2007). **Análise da Ocupação Urbana das Praias de Pernambuco, Brasil**. Revista de Gestão Costeira Integrada / Journal of Integrated Coastal Zone Management, 7(2): 97-104 (2007). ISSN: 1677-4841.
- ARAÚJO, Rita de Cássia Barbosa de (2007). **As praias e os dias: história social das praias do Recife e de Olinda**. Recife: Fundação de Cultura Cidade do Recife, Recife, 547p.
- ARAÚJO, Rita de Cássia Barbosa de (2013). **A cultura da praia: urbanização, sociabilidade e lazer no Brasil, 1840- 1940**. Acta Científica de XXIX Congreso de la Asociación Latinoamericana de Sociología. Facultad de Ciencias Sociales de la Universidad de Chile. Santiago de Chile. Disponível em: <http://actacientifica.servicioit.cl/biblioteca/gt/GT23/GT23_deCassiaBarbosa.pdf>. Acesso em: 12 set. 2017
- ARAÚJO, Tereza C. M., SILVA, V. B., CARVALHO, J. A. R. (2006). **Classificação da tipologia da orla da cidade de Olinda-PE: delimitação e caracterização**. Revista Brasileira de Geociências, Ano 7, n.º 1 (2006) 27-32. ISSN: 0375-7563.
- CASA DE BANHOS – SÉCULO XIX. **ec_banhos.jpg**. 1 gravura, color., Altura: 306 pixels. Largura: 552 pixels. 72 dpi. 56,4 Kb. Formato: JPG. Disponível em: <http://www.longoalcance.com.br/brecife/banco/ec_banhos.htm>. Acesso em: 16 fev. 2018.
- CEPE – Companhia editora de Pernambuco (2014). **Rugindo e destruindo... Na praia dos Milagres, em Olinda, a ressaca não deixou pedra sobre pedra**. In: Acervo CEPE. Coleção do Jornal Diário da Manhã (1927-1985). Edição de 29 de janeiro de 1928. Imagem digitalizada. Altura: 632 pixels. Largura: 438 pixels. 96 dpi. 49 Kb. Formato: JPG. Disponível em: <<http://200.238.101.22/docreader/docreader.aspx?bib=DM1928>>. Acesso em: 18 fev. 2018.
- BARBOSA, José Antônio (2004). **Evolução da Bacia Paraíba durante o Maastrichtiano-Paleoceno – Formações Gramame e Maria Farinha, NE do**

Brasil. Dissertação de Mestrado (Geociências). Recife: Universidade Federal de Pernambuco – UFPE. 2004, 207p.

BARBOSA, José Antônio; FILHO, Mário Lima, (2006). **Os domínios da Bacia da Paraíba.** CONGRESSO BRASILEIRO DE P&D EM PETRÓLEO E GÁS, 3, 2005, Salvador. Anais do 3º Congresso Brasileiro de P&D em Petróleo e Gás. Salvador/BA: Instituto Brasileiro de Petróleo & Gás, 2005.

Boletim de Geociências da Petrobrás, 14(2):287-304, Rio de Janeiro, RJ, Brasil. Disponível em: <<http://vdpf.petrobras.com.br/vdpf/todasEdicoes.do>>. ISSN: 0102-9304.

BARBOSA, J.A. & LIMA FILHO, M.F. Os domínios da Bacia Paraíba. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE P&D EM PETRÓLEO E GÁS, 3, 2005, Salvador. Anais... Salvador: Instituto Brasileiro de Petróleo & Gás, 2005. CD-ROM.

BARBOSA, José Antônio; FILHO, Mário Lima, (2006). **Aspectos estruturais e estratigráficos da faixa costeira Recife - Natal: observações em dados de poços.** Boletim de Geociências da Petrobrás, 14(2):287-304, Rio de Janeiro, RJ, Brasil. Disponível em: <<http://vdpf.petrobras.com.br/vdpf/todasEdicoes.do>>. ISSN: 0102-9304.

BEEHARRY, Y.; Makoondlall-Chadee, T.; Bokhoree, C. (2014). **Policy Analysis for Performance Assessment of Integrated Coastal Zone Management Initiatives for Coastal Sustainability.** APCBEE Procedia, 9:30–35. DOI: 10.1016/j.apcbee. 2014.01.006

BIRD, Eric. C. F., (1985). **Coastline changes – global review.** J. Wiley & Sons, New York, 219 p.

BITTENCOURT, A.C.S.P.; MARTIN, L.; VILAS BOAS, G.S.; FLEXOR, J.M. (1979). **The marine formations of the coast of the State of Bahia.** In: 1 INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON COASTAL EVOLUTION IN THE QUATERNARY, I, São Paulo, 1978, Proceedings, São Paulo, IGCP,Project 61, p.232-253.

BRASIL. Decreto N.º 5.300 de 7 de dezembro de 2004. **Lex:** N.º 7.661, de 16 de maio de 1988, que institui o Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro – PNGC. Brasília, DF, 7 dez. 2004; 183º da Independência e 116º da República.

CALLIARI, Lauro Júlio; MUEHE, Dieter; HOEFEL, Fernanda Gemael; TOLDO JR. Elírio (2003). **Morfodinâmica praial: uma breve revisão.** Revista Brasileira de Oceanografia, São Paulo, v. 51, p. 63 – 78, 2003.

CASTRO, Lourival de Almeida (1975). **Porto do Recife: Síntese retrospectiva de sua evolução.** Quebra-mar: revista informativa do Porto do Recife. Recife, Ano I, n.º 1, p. 11-14, setembro. 1975.

CASTRO, Lourival de Almeida (1976). **Porto do Recife: Síntese retrospectiva de sua evolução.** Quebra-mar: revista informativa do Porto do Recife. Recife, Ano I, n.º 2, p. 7-10, novembro/dezembro/janeiro. 1976.

CASTRO, Lourival de Almeida (1976). **Porto do Recife: Síntese retrospectiva de sua evolução**. Quebra-mar: revista informativa do Porto do Recife. Recife, Ano I, n.º 3, p. 9-11, fevereiro/maio. 1976.

CERC – Coastal Engineering Research Center (1984). **Shore Protection Manual**. U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station Coastal Engineering Research Center, P.O. Box 631, Vicksburg, Miss. 39180.

CIRIA/CUR – Construction Industry Research and Information Association (1991). **Manual on the use of rock in coastal and shoreline engineering**. Special Publication 83, 1991. Center for Civil Engineering Research and Codes. Report 154.

COASTALCARE.ORG (2018). **hardenened-beach-structures.jpg**. 1 fotografia, color. Altura: 430 pixels. Largura: 588 pixels. 96 dpi. 78,6 Kb. Formato: JPG. Disponível em: < <http://coastalcare.org/wp-content/images/get-involved/join-us/hardenened-beach-structures.jpg> > Acesso em: 03 dez. 2018.

COUTINHO, Paulo da Nóbrega (1976). **Geologia marinha da plataforma continental Alagoas – Sergipe**. Recife. 119p. Tese (Livre Docência). Universidade Federal de Pernambuco.

COUTINHO, Paulo da Nóbrega, et al. (1993). **Análise Ambiental do Setor Costeiro entre Recife (PE) e Pitimbu (PB)**. In: Reunião Anual da Sociedade Brasileira para o Progresso da Ciência, Recife. Anais, SBPC. 1993. v. 1. p. 650.

CPRH – Companhia Pernambucana de Meio Ambiente (2000) - **Monitoramento do litoral de Olinda, Olinda – Relatório Final**. 51p. CPRH – Companhia Pernambucana de Meio Ambiente, Recife, PE, Brasil.

CPRH – Companhia Pernambucana de Meio Ambiente (2001) - **diagnóstico socioambiental – litoral sul**. 89p. CPRH – Companhia Pernambucana de Meio Ambiente, Recife, PE, Brasil.

CSIRO – Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation (2016). **State of the climate 2016**. CSIRO Annual Report 2016-17. Australia.

DAVIS JR., R. A. & FITZGERALD, D.M. (2004). **Beaches and Coasts**. 1^a ed. _Blackwell Publishing, 2004, 419p. 3. Bird, E. C. Coastal geomorphology: an introduction. 2^a ed. _ New York: John Wiley & Sons, 2008. 436 p.

DIAS, J. M. Alveirinho (1987). **Dinâmica sedimentar e evolução recente da plataforma continental portuguesa setentrional**. Tese de doutorado (Geologia), 384p. Universidade de Lisboa, Lisboa. Portugal.

DOMINGUEZ, José Maria Landim, et al. (1990). **Geologia do quaternário costeiro do estado de Pernambuco**. Revista Brasileira de Geociências 20 (1-4): 208-215, março/dezembro de 1990. ISSN: 0375-7563.

EPA – U.S. Environmental Protection Agency (2016). **Climate change indicators in the United States, 2016**. Fourth edition. EPA 430-R-16-004. www.epa.gov/climate-indicators.

FARINACCIO, F.; TESSLER, M.G. (2010) – **Avaliação de Impactos Ambientais no Meio Físico Decorrentes de Obras de Engenharia Costeira – Uma Proposta Metodológica**. Revista de Gestão Costeira Integrada / Journal of Integrated Coastal Zone Management, 10(4):419-434.

FEITOSA, E. C. & FEITOSA, F. A. C. 1986. **Considerações sobre a Bacia Potiguar: bacia costeira Pernambuco-Paraíba**. Estudos Geológicos, Recife, 8: 71-78.

FEITOSA E.C., FEITOSA, F.A.C., LIRA, H.M.P. (2002). **Relações estratigráficas e estruturais entre a Bacia Potiguar e a bacia costeira PE/PB: uma hipótese de trabalho**. Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, 12, Florianópolis, Anais: 4p

FEMAR – Fundação de Estudos do Mar (2001). **Manguezais: educar para proteger**. Organizado por Jorge Rogério Pereira Alves. 96 p. Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável – SEMADS, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

FERREIRA, Aurélio Buarque de Holanda (2009). **Novo dicionário Aurélio da língua portuguesa**. – 4 ed. – Curitiba: Ed. Positivo, 2009. ISBN 978-85-385-2825-8

FERREIRA JR., Antônio Vicente (2010). **Mapeamento e estudo petrológico de arenitos de praia (beachrocks): evidências da variação no nível do mar no holoceno, na costa central de Pernambuco**. Recife, 127 p. Tese de doutorado (Geociências). Universidade Federal de Pernambuco.

GALVIN, C. J., (1968). **Breaker type classification on three laboratory beaches**. Journal of Geophysical Research, [S.1.], v.73, p.3651-3659.

GOIS, Luis A.; OLIVEIRA, Niédja M. G. A. (2010). **A contribuição do escoamento superficial e da drenagem de águas pluviais para os processos erosivos no litoral de Olinda, Pernambuco, Brasil**. Revista da Gestão Costeira Integrada, CTTMar UNIVALI, Itajaí, v.10(4), p. 457-481, 2010. Disponível em: <http://www.aprh.pt/rgci/pdf/rgci-221_Gois_small.pdf>. ISSN 1646-8872.

GOIS, Luis Augusto de (2011). **Avaliação das opções de proteção costeira: praia de Boa Viagem, Recife-PE e praia de Bairro Novo, Olinda-PE**. Dissertação de Mestrado (Tecnologia Ambiental para Recuperação de Ambientes Degradados). Recife: Instituto de Tecnologia de Pernambuco – ITEP. 2011, 168p.

GOIS, Luis A.; OLIVEIRA, Niédja M. G. A. (2011). **A intensificação de processos erosivos costeiros em decorrência do uso de estruturas impermeáveis em obras de contenção do avanço do mar**. VI Congresso Sobre Planejamento e Gestão das Zonas Costeiras dos Países de Expressão Portuguesa, Ilha da Boa Vista, Cabo Verde, África.

GOMES, Fernando Velozo (2007). **A Gestão da zona costeira portuguesa.** Revista da Gestão Costeira Integrada, CTTMar UNIVALI, Itajaí, v.7(2), p. 83-95, 2007. Disponível em: <http://www.aprh.pt/rgci/pdf/rgci7f2_1.velosogomes.pdf>. Acesso em: 04 abr. 2009. ISSN 1646-8872.

GOOGLE EARTH PRO (2018). **Arquivo JPG.** Imagem de satélite. Praia de Bairro Novo, Olinda-PE. 1 fotografia aérea, color. Altura: 738 pixels. Largura: 1536 pixels. 96 dpi. 384 Kb.

GOOGLE EARTH PRO (2018). **Imagen histórica: 10/2017.** Imagem de satélite. Praia de Bairro Novo, Olinda-PE. 1 fotografia aérea, color. Altura: 738 pixels. Largura: 1536 pixels. 96 dpi. 706 Kb.

GOOGLE EARTH PRO (2018). **Imagen histórica: 1/2003.** Imagem de satélite. Praia de Bairro Novo, Olinda-PE. 1 fotografia aérea, color. Altura: 738 pixels. Largura: 1536 pixels. 96 dpi. 372 Kb.

GUERRA, Antonio J. T.; CUNHA, Sandra B. da. (2012). **Degradação Ambiental.** In: GUERRA, Antonio J. T.; CUNHA, Sandra B. da. (orgs.) *Geomorfologia e Meio Ambiente*. pp. 337-379, EDITORA BERTRAND BRASIL LTDA., 11^a Ed., Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

GUERRA, Flávio (1977). **História Antiga e Popular de Um Velho Porto.** Quebramar: revista informativa do Porto do Recife. Recife, Ano II, n.º 5 e 6, p. 28-29, dezembro/março.

GUSMÃO FILHO, Jaime de A. (2001) – **Os solos de Olinda.** In: Jaime de A. Gusmão Filho (org.), *A cidade histórica de Olinda: problemas e soluções de engenharia*, pp.59-68, Editora Universitária da UFPE, Recife, PE, Brasil.

HOEFEL, Fernanda Gemael (1998). **Morfodinâmica de praias arenosas oceânicas: uma revisão bibliográfica.** Ed. Univali. 92p. Itajaí, SC, Brasil.

HOLANDA, R. M.; MEDEIROS, R. M.; LORENA, E. M. G.; FERREIRA, L. G.; BEZERRA, A. P. X. G.; SOUTO, T. J. M. P. (2016). **Precipitação pluvial e suas variabilidades no grande Recife – PE, Brasil.** In: XVI JEPEX 2016 – Jornada de Ensino, Pesquisa e Extensão.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE (2010). **Censo demográfico de 2010.** Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE (2017). **Estimativas populacionais para os municípios e para as Unidades da Federação brasileiros em 01.07.2017.** Disponível em <<https://ww2.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/estimativa2017/>> Acesso em: 12 set. 2017.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE (2011). **Censo Demográfico 1940/2000; e Sinopse do Censo Demográfico 2010.** In: IBGE. Sidra: sistema IBGE de recuperação automática. Rio de Janeiro, 2011. Disponível em:

<<http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/tabela/listabl.asp?z=cd&o=3&i=P&c=1298>>. Acesso em: 12 set. 2017.

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change (2007). **Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. Core Writing Team, Pachauri, R.K. and Reisinger, A. (Eds.). Cambridge University Press, Cambridge, UK, pp. 881.

JATOBÁ, Lucivânia; LINS, Rachel C. (2008). **Introdução à geomorfologia**. Ed. Bagaço. 5^a Ed., Recife, PE, Brasil.

JESUS, L. V.; ANDRADE, A. C. S. (2013). **Parâmetros granulométricos dos sedimentos da Praia dos Artistas, Aracajú-SE**. Scientia Plena vol. 9, N.^o 5.

LAFFOLEY, D. & BAXTER, J. M. (editors). 2016. **Explaining ocean warming: Causes, scale, effects and consequences**. Full report. Gland, Switzerland: IUCN. 456 pp.

LANFREDI, N. W.; FRAMIÑAN, M. B., (1986). **Field Study and Prediction of Longshore Currents, Argentine Coast**. Journal of Coastal Research, 2(4): 409-417. ISSN: 1551-5036

LIRA, L.; WOR, C.; HAZIN, F. H.V.; BRAGA JÚNIOR, H. A. C.; SANTOS, J. C. P. (2010). **Estudos de correntes marinhas por meio do lançamento de cartões de deriva no litoral do estado de Pernambuco**, Brasil. Arquivo de Ciências do Mar, Fortaleza/CE, 43 (1) 30:37.

MAI – Projeto Monitoramento Ambiental Integrado (2009) – **Avaliação dos Processos de Erosão Costeira nos Municípios de Paulista, Olinda, Recife e Jaboatão dos Guararapes – Relatório Final**. Vol. I, 171 p., Vol. II, 145 p., Vol. III, 141 p. Universidade Federal de Pernambuco. Recife, PE, Brasil.

MABESOONE, J.M. & ALHEIROS, M.M. (1988). **Origem da bacia sedimentar costeira Pernambuco-Paraíba**. Revista Brasileira de Geociências, São Paulo, 18(4): 476-482.

MANSO, Valdir. A. V.; LIMA FILHO, M. F.; PEDROSA, F. J. A.; MEDEIROS, A. B.; COUTINHO, P. N.; MARTINS, M. H. A.; LIRA, A. R. (1994). **Estudo da Erosão Marinha na Região Metropolitana do Recife: Um exemplo de impacto ambiental causado pela falta de planejamento**. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 1994, Camboriú. Anais . . . Camboriú - SC SBG, 1994. v. 3. p. 509-510.

MANSO, Valdir. A. V. et al. (1995). **Estudo da erosão costeira na praia de Boa Viagem**. Relatório Técnico, 101p. Prefeitura da Cidade do Recife.

MANSO, Valdir do Amaral Vaz, et al. (2006). **Erosão e progradação do litoral brasileiro – Pernambuco**. In: Dieter Muehe (org.) *Erosão e progradação do litoral brasileiro*. pp. 181-196, CDU, 2^a Ed., Brasília, DF, Brasil.

MANSO, Valdir. A. V., CORRÊA, Iran. C. S., GUERRA, Núbia C. (2003). **Morfologia e sedimentologia da plataforma continental interna entre as praias Porto de Galinhas e Campos – litoral sul de Pernambuco, Brasil.** Pesquisas em Geociências, 30(2): 17-25, 2003. Instituto de Geociências, UFRGS, Porto Alegre, RS – Brasil. ISSN 1518-2398.

MASSELINK, G. & HUGHES, M. (1998). **Field Investigation of Sediment Transport in Swash Zone.** *Continental Shelf Research.* v. 18. p. 1179-1799. 1998.

MOTTA, Lucas Marchi da. (2011). **Balanço de sedimentos arenosos no litoral médio do Rio Grande do Sul.** Porto Alegre, 66p. Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

MUEHE, Dieter (2006). **O litoral brasileiro e sua compartimentação.** In: Sandra Baptista da Cunha e Antonio José Teixeira Guerra (orgs.), *Geomorfologia do Brasil*, pp.273-349, Bertrand Brasil, 4^a ed., Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

MUEHE, Dieter (2008). **Aspectos gerais da erosão costeira no Brasil** (general aspects of coastal erosion in Brazil). **Mercator**, Fortaleza, v. 4, n. 7, nov. 2008. ISSN 1984-2201. Available at: <<http://www.mercator.ufc.br/mercator/article/view/113>>. Date accessed: 02 abr. 2018.

NASCIMENTO, Eliane Maria Vasconcelos do (2008). **Olinda: Uma leitura histórica e psicanalítica da memória sobre a cidade.** Tese de doutorado (História Social). Salvador, BA. Universidade Federal da Bahia – UFBA. 2008, 388p.

NASCIMENTO, Marcos Antonio Leite (2003). **Geologia, geocronologia, geoquímica e petrogênese das rochas ígneas cretácicas da província magmática do Cabo e suas relações com as unidades sedimentares da Bacia de Pernambuco (NE do Brasil).** Tese de doutorado (Geodinâmica). Natal, RN. Universidade Federal do Rio Grande do Norte.

NETO, Olímpio Bonald (1992) – **Os Gigantes Foliões em Pernambuco.** Olinda: ed. Fundação Centro de Preservação dos Sítios Históricos de Olinda, 1992. 108p.

NEVES, Cláudio F. (2005). **O nível médio do mar: uma realidade física ou um critério de engenharia?** *Vetor – Revista de Ciências Exatas e Engenharias*, 15(2): 19-33, Rio Grande, RS, Brasil. ISSN: 0102-7352

OLIVEIRA, Niédja Maria Galvão Araújo e, (2009). **Peculiaridades de los sistemas costeros continentales e insulares tropicales: de lás restingas y manglares em Pernambuco e Cuba.** Revista da Ciência da Administração – versão eletrônica – v.2, Ago. / Set. 2009. FCAP-UPE. Disponível em <<http://fcap.adm.br/revistas/RCA/HTML/V02/RCAv02a03.htm>>. ISSN 1982-2065. ISSN 1982-2065.

PEDROSA, Fábio José de Araújo (2007). **Aspectos da evolução da linha de costa e da paisagem litorânea do município de Olinda entre 1915 e 2004: evidências do tecnógeno em Pernambuco.** Tese de Doutorado (Geociências). Universidade Federal de Pernambuco. 175p.

PEREIRA, Alexandre Queiroz (2012). **Das cidades às metrópoles litorâneas: o papel da vilegiatura marítima moderna no nordeste do Brasil.** GEOUSP (USP), v. 31, p. 5-15, 2012.

PILKEY JR, Orrin H.; THIELE, E. Robert (1992). **Erosion of the united states shoreline.** Quaternary Coasts of the United States: Muine and Lacusvine Systems.

PONTES FILHO, Glauco (1998). **Estradas de rodagem projeto geométrico.** Editora Bidim. São Carlos: GP Engenharia, 1998. 432p.

REEVE, Dominic; CHADWICK, Andrew; FLEMING, Christopher (2012). **Coastal engineering: processes, theory and design practice.** British Library Cataloguing in Publication Data, by Spon Press, Ed. 2, 514 p.

PREFEITURA MUNICIPAL DE OLINDA (2012). **PONTOS CARDEAIS DE OLINDA.PNG.** In: Sala de informação e planejamento em saúde – Olinda. Secretaria de saúde de Olinda. Diretoria de planejamento em saúde de Olinda. 1 gravura, color., Altura: 723 pixels. Largura: 1024 pixels. 128 Kb. Formato: PNG. Disponível em: <<http://testesaude.shservidores04.com.br/DPS/images/PONTOS%20CARDEIAS%20DE%20OLINDA.png>>. Acesso em: 25 jan. 2018.

RESTAURANTE Samburá. **002.jpg.** 1 fotografia, p&b. Altura: 570 pixels. Largura: 879 pixels. 72 dpi. 46,6 Kb. Formato: JPG. Disponível em: <<http://imagensehpalavras.blogspot.com/2018/04/o-restaurante-sambura.html>>. Acesso em: 17 fev. 2018.

SANTOS, Cláudia Regina dos (2007). **Proposta de critérios de ordenamento para a área de influência direta sobre a Área de Preservação Permanente (vegetação de restinga fixadora de dunas) do litoral catarinense: bases para uma gestão costeira integrada.** Revista da Gestão Costeira Integrada, CTTMar UNIVALI, Itajaí, 2009. Disponível em: <http://www.aprh.pt/rgci/pdf/rgci7_4__Santos.pdf>. Acesso em: 25 abr. 2009.

SEDAC – Socioeconomic Data and Applications Center (2007). **Percentage of total population living in coastal areas.** Columbia University's Socioeconomic data and Applications Center. Julho, 2007. Disponível em: <http://sedac.ciesin.columbia.edu/es/papers/Coastal_Zone_Pop_Method.pdf>. Acesso em: 25 jan. 2018.

SILVA, Cleverson Guizan, et al., (2004). **Ambientes de sedimentação costeira e processos morfodinâmicos atuantes na linha de costa.** In: José Antônio Baptista Neto, Vera Regina Abelin Ponzi e Susanna Eleonora Sichel (orgs.), *Introdução à Geologia Marinha*, Ed. Interciência, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

SILVA, Jorge José Araujo da (2011). **O manguezal e a sociedade Pernambucana-Brasil.** Revista Geográfica de América Central, vol. 2, julho-dezembro, 2011, pp.1-22. Universidad Nacional, Heredia, Costa Rica. ISSN: 1011-484X.

SMC-BRASIL (2014a). **Manual do usuário do Sistema de Modelagem Costeira Versão 3.0.** Disponível em: <http://smcbrasil.ihcantabria.com/descargas.htm>

SILVA JÚNIOR, Joab Silas da (2018). **"O que é difração?"**. *Brasil Escola*. 1 fotografia, color. Altura: 310 pixels. Largura: 500 pixels. 72 dpi. 54,9 Kb. Formato: JPG. Disponível em <<https://brasilescola.uol.com.br/o-que-e/fisica/o-que-e-difracao.htm>>. Acesso em: 04 dez. 2018.

SMC-BRASIL. (2014b). **Manual do usuário do Sistema de Modelagem Costeira TOOLS Versão 3.0.** Disponível em: <http://smcbrasil.ihcantabria.com/descargas.htm>

SOUZA, Célia Regina de Gouveia (2009). **A Erosão costeira e os desafios da gestão costeira no Brasil.** Revista da Gestão Costeira Integrada, CTTMar UNIVALI, Itajaí, 2009. Disponível em: <http://www.aprh.pt/rgci/pdf/rgci-147_Souza.pdf>. Acesso em: 11 abr. 2009. ISSN 1646-8872.

SOUZA C. R. de G.; LUNA, G. C. (2009). **Taxas de retrogradação e balanço sedimentar em praias sob risco muito alto de erosão no município de Ubatuba (Litoral Norte de São Paulo).** Quaternary and Environmental Geosciences, 1(1):25-41. ISSN: 2176-6142 (revista eletrônica - <http://ojs.c3sl.ufpr.br/ojs2/index.php/abequa/issue/view/814>).

SOUZA, Luiz Antonio Pereira de, (2006). **Revisão crítica da aplicabilidade dos métodos geofísicos na investigação de áreas submersas rasas.** Tese de Doutorado (Oceanografia Química e Geológica). Instituto Oceanográfico, Universidade de São Paulo. 311p.

SOUZA, Luiz Antonio Pereira de; SILVA, Mariucha da; DEMARCO Larissa F.W. (2015). **Batimetria de alta resolução aplicada a estudos de reservatórios de água.** Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo – IPT, In: Fourteenth International Congress of the Brazilian Geophysical Society held in Rio de Janeiro, Brazil, August 3-6, 2015.

SOUZA, Roberta Medeiros de (2006). **Alterações na paisagem urbana: uma análise morfodinâmica da área do entorno do Manguezal Chico Science, Olinda PE.** Dissertação de Mestrado (Geografia). Recife: Universidade Federal de Pernambuco – UFPE. 2006, 115p.

SOUZA, Roberto Silva de (2011). **Território municipal de Olinda (PE): parcelamento do solo e diversidade dos espaços urbanos na região metropolitana do Recife.** Disponível em: <https://ww2.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/estimativa2017/>. Acesso em: 07 abr. 2018.

STROHAECKER, Tânia Marques (2009). **A dinâmica socioespacial da zona costeira brasileira.** In: XII Encuentro de Geógrafos de América Latina, 2009, Montevideo. Anais do XII Encuentro de Geógrafos de América Latina, 2009.

SUGUIO, Kenitiro (1973). **Introdução à sedimentologia.** São Paulo: Editora Edgard Blücher Ltda, 318p.

SUGUIO, Kenitiro, MARTIN, L. (1978). **Formações quaternárias marinhas do litoral paulista e sul fluminense (Quaternary marine formations of the State of São Paulo and southern Rio de Janeiro)**. In: *Internacional Symposium on Coastal Evolution in the Quaternary*, São Paulo, 1978. São Paulo, SBG/IGUSP, Special Publication, nº 1, 55p.

SUGUIO, Kenitiro et al. (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*, Volume 15. 1985, p. 273-286.

SUGUIO, Kenitiro (2003) **Tópicos de geociências para o desenvolvimento sustentável: As regiões litorâneas**. *Revista do Instituto de Geociências da USP*, 2003.

SUGUIO, Kenitiro (2005). **Introdução**. In: Célia Regina de Gouveia Souza, Kenitiro Suguio, Antonio Manoel dos Santos Oliveira e Paulo Eduardo de Oliveira (orgs.). *Quaternário do Brasil*. p. 21-27, Holos, Ribeirão Preto, SP, Brasil.

USACE – US Army Corps of Engineers (2002). **CEM – Coastal Engineering Manual. Engineers**. U. S. Army Corps of Engineers, Part-I-Chap-2, Coastal Diversity, p. I-2.16.

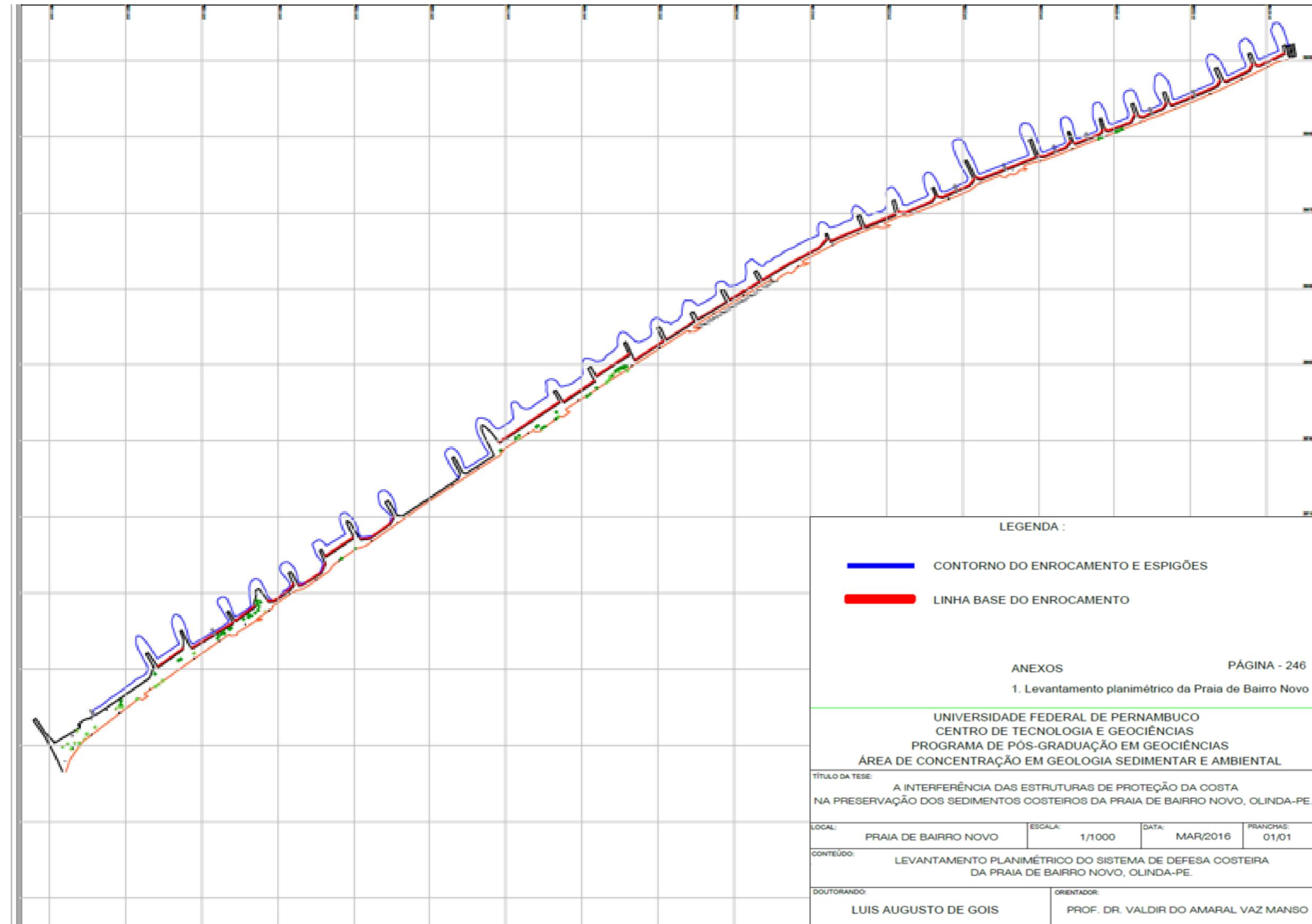
TESSLER, M., & GOYA, S. (2011). **Processos Costeiros Condicionantes do Litoral Brasileiro**. *Revista do Departamento De Geografia*, 17, 11-23.

VILWOCK, Jorge Alberto, et al. (2005). **Geologia e geomorfologia de regiões costeiras**. In: Célia Regina de Gouveia Souza, Kenitiro Suguio, Antonio Manoel dos Santos Oliveira e Paulo Eduardo de Oliveira (orgs.). *Quaternário do Brasil*. pp. 94-113, Holos, Ribeirão Preto, SP, Brasil.

WIKIPEDIA (2017). **Two-Slit_Diffraction.png**. *Wikipedia*. Altura: 900 pixels. Largura: 1125 pixels. 72 dpi. 638 Kb. Formato: PNG. Disponível em <https://pt.wikipedia.org/wiki/Ficheiro:Two-Slit_Diffraction.png>. Acesso em: 12 jan. de 2018.

SILVA JÚNIOR, Joab Silas da (2018). **"O que é difração?"**. *Brasil Escola*. 1 fotografia, color. Altura: 310 pixels. Largura: 500 pixels. 72 dpi. 54,9 Kb. Formato: JPG. Disponível em <<https://brasilescola.uol.com.br/o-que-e/fisica/o-que-e-difracao.htm>>. Acesso em: 04 dez. de 2018.

ANEXO A – LEVANTAMENTO PLANIMÉTRICO DA PRAIA DE BAIRRO NOVO



ANEXO B – MATÉRIAS DE JORNAIS – REPORTAGENS DAS DÉCADAS DE 1920-30-40-50-60-70-80

- DIARIO DA MANHÃ – DOMINGO, 29 DE JANEIRO DE 1928

Rugindo e destruindo ...

*Na praia dos Milagres, em Olinda, a ressaca não deixou pedra sobre pedra
E a Prefeitura não toma a menor providencia em defesa das propriedades
damnificadas*

- DIARIO DA MANHÃ – QUARTA-FEIRA, 14 DE JUNHO DE 1933

Os prejuízos causados pelas “ressacas” ás praias de Olinda

Sugestões que o prefeito do vizinho município pretende encaminhar ao governo da União, afim de evitar maiores damnificações

As chuvas torrenciaes cahidas de sabbado para domingo ultimo, aggravadas por uma forte agitação do mar, produziram grandes estragos nas praias de Olinda, no trecho comprehendido entre os Milagres e o Pharol, destruindo uma parte do novo caes do Carmo e attingindo varias casas, que se acham na imminencia de desabar.

Não têm sido raros, aliás, de certo tempo a esta parte, os prejuízos causados ás praias da vizinha cidade pela acção destruidora das correntes marítimas, nos dias de inverno mais tempestuosos.

- DIARIO DE PERNAMBUCO – DOMINGO, 06 DE JUNHO DE 1954

Defesa definitiva da praia de Olinda

Providencias do Departamento de Portos, Rios e Canais – Estudos hidráulicos RIO, 6 (Meridional) – A propósito das ameaças á praia de Olinda, o sr. Hildebrando de Gois, diretor do Departamento de Rios e Canais, fez as seguintes declarações exclusivas á Meridional: <A semelhança do que ocorre a inúmeras outras praias do nordeste brasileiro, a de Olinda vem sendo continuadamente erodida pela ação do mar que avança progressivamente sobre a terra. Junto a grandes cidades, pela natureza e vulto das construções existentes, essa ação se torna ainda mais prejudicial, obrigando a execução de vultosos trabalhos de defesa. Os tipos de obra mais comumente adotados são os espiões. Empregam-se; também, diques longitudinais tendo êsse último recurso o principal defeito de fazer desaparecer a praia. O Departamento iniciou as respectivas obras de defesa, adotando como solução a construção de espiões de madeira que tão bons resultados vinham dando, nas praias de Cabedelo.

Do relatório dos trabalhos do 7.º Distrito dos Portos e Rios, com jurisdição em Pernambuco e relativo ao ano de 1952, destaca-se o seguinte trecho: <Em virtude dos estragos produzidos nos espiões construídos em 1950 e 1951, modificamos sua locação, dando-lhes um ângulo de 12 graus para o norte, com relação á praia e reduzindo o espaçamento entre os mesmos. Não conseguimos, entretanto, melhor resultado. Na época invernosa do ano findo, quando os ventos mudam para o quadrante, foram destruídos quatro espiões construídos, apesar da assistência que lhes demos mantendo uma conservação permanente. Mais adiante, diz que o Departamento já teve os necessários entendimentos, com a administração do Porto do Recife, para que, com os recursos da taxa de emergência, contrate com um laboratório de hidráulica experimental o estudo das obras indispensáveis á defesa do porto do Recife, contra a agitação que se faz sentir junto á muralha de dez metros para a conservação das profundidades nos vários trechos do cais e zona da Base Naval, a fim de que se mantenham independentemente a dragagem e finalmente, para a defesa da praia de Olinda.

A Administração do Porto do Recife incumbiu o Laboratório Neyrpic de realizar os estudos preliminares para atender aos fins em vista. Só depois disto, é que serão indicadas obras mais aconselháveis para a defesa definitiva da praia de Olinda.

▪ DIARIO DE PERNAMBUCO – QUARTA-FEIRA, 18 DE DEZEMBRO DE 1957

AGITAÇÃO DA BACIA

Tendo em vista a agitação criada pelas ondas provocadas pelos fatos que acabamos de expor, os tecnicos de Grenoble concluiram que a solução ideal seria a construção de espingões convenientemente dispostos e de dimensões ditadas pelos <modelos reduzidos>, assim como a complementação do molhe de Olinda, com o seu possível prolongamento, a fim de atenuar os efeitos e inconveniências das ondas difratadas e refletidas.

▪ DIARIO DE PERNAMBUCO – SÁBADO, 21 DE JUNHO DE 1958

Concluidos os estudos complementares sobre a defesa de Olinda contra as ressacas

Unicos a faltar para a abertura da concorrência

O laboratório hidráulico de Genoble já os enviou ao Brasil – Os planos, tramitação burocrática e inicio das obras

Com destino ao Rio de Janeiro, transitaram, por esta cidade, os engenheiros Million e Laszlo, o primeiro diretor do Instituto de Sogreah e o segundo representante desse laboratório de hidráulica no Brasil.

Falando sobre os estudos de proteção às praias de Olinda, a cargo daquele Instituto, o dr. Million informou que o segundo relatório (definitivo) já fôra concluído.

Como se sabe, houve uma pequena controvérsia quanto ao primeiro relatório. Este, nas suas conclusões, abrangia apenas a parte compreendida entre a praia dos Milagres e a do São Francisco, quando os estudos deveriam abranger desde a Raiz do Molhe até a praia do Farol, o que foi feito agora neste segundo relatório.

▪ DIARIO DE PERNAMBUCO – TERÇA-FEIRA, 29 DE JULHO DE 1958

Preparativos para execução do plano de defesa das praias de Olinda

SERÃO INICIADOS NO MÊS VINDOURO PELO DEP. NACIONAL DE PORTOS

Carta recebida do Laboratório Hidráulico de Grenoble – Reforço de emergência no enrocamento Por todo mês de agosto, o Departamento Nacional de Portos, Rios e Canais espera concluir o projeto das obras de defesa das praias de Olinda, providenciando depois a abertura da concorrência pública para execução dos serviços. Isso é o que se depreende da carta que o Deputado Barreto Guimarães acaba de receber do eng. Canedo de Magalhães, diretor geral dos Portos, comunicando que, após visitar o Recife recentemente, insistiria junto ao Laboratório de Hidráulica de Grenoble, no sentido de apressar a remessa ao Brasil dos estudos complementares solicitados sobre o avanço do mar na vizinha cidade.

▪ DIARIO DE PERNAMBUCO – TERÇA-FEIRA, 19 DE AGOSTO DE 1958

Sofreu Olinda as mais fortes ressacas do ano; chegaram ao Rio os ultimos estudos de Grenoble

Vai entrar na fase de execução o plano de defesa da vizinha cidade

Dentro de um mês, estará possivelmente julgada a concorrência para realização das obras – Enrocamento de emergência

O diretor do 7.o Distrito do Departamento dos Portos, Rios e Canais, eng. Lourival de Almeida Castro, que ante-ontem viajou para o Rio, informou pelo telefone, ao seu substituto, eng. Rubem Bezerra, e ao dep. Barreto Guimarães, que chegaram domingo ao D.N.P.R.C., enviados pelo Laboratorio de Hidráulica de Grenoble, na França, os ultimos estudos sobre o plano de defesa definitiva da praia de Olinda contra as ressacas. Imediatamente, a comissão de engenheiros federais que estuda o problema, e da qual faz parte o dr. Lourival reuniu-se para examinar o relatório dos técnicos franceses e dar seu parecer sobre o assunto.

Isso demonstra – afirmou-nos o dep. Barreto Guimarães – o interesse com que o Departamento Nacional dos Portos, presidido pelo eng. Canedo de Magalhães, e o Setimo Distrito vem cuidando desse assunto. A reunião da comissão para dar parecer ao ultimo relatório de Grenoble

é motivada pela necessidade de urgencia no encaminhamento do problema. O D.N.P.R.C. não quer retardar a abertura da concorrência para a execução dos trabalhos que, julgo, deverá ter seus editais publicados ainda este mês.

Dentro de 30 dias, já se saberá qual a firma que vem trabalhar em Olinda, nas obras de proteção contra o avanço do mar. Os créditos para o inicio dos serviços já existem á disposição do D.N.P.R.C. São eles o especial de 20 milhões e o orçamentario de 15 milhões. Também, prevendo a continuidade dos trabalhos, o orçamento federal de 59 consigna para as obras os recursos necessários>.

FORTE RESSACA: CONTINUA O ENROCAMENTO

Informou-nos o dep. Barreto Guimarães que ante-ontem ocorreram as mais fortes ressacas (que em agosto atingem seu ponto mais perigoso) das praias de Olinda, sendo atingidas inclusive as do Bairro Novo e do Rio Tapado. Foram mantidos por aquele parlamentar entendimento com o eng. Rubem Bezerra, a fim de que o Sétimo Distrito ampliasse os serviços de emergência até aquelas praias, o que espera seja providenciado a partir de hoje.

Esses serviços, constantes de enrocamento, vinham sendo feitos nas praias do Farol, Milagres, Carmo e São Francisco, indo agora estender-se a Rio Tapado e Bairro Novo.

Os prejuizos causados pelas ressacas de agosto, em vista desses trabalhos, vem sendo menores do que nos anos anteriores.

■ DIARIO DE PERNAMBUCO – DOMINGO, 24 DE AGOSTO DE 1958

O plano de obras definitivas: Quebra-mares e espiões para a defesa de Olinda contra as ondas do Atlântico

[...]

O eng. Lourival de Almeida Castro, diretor do 7.o Distrito do Departamento Nacional de Portos, regressou ontem do Rio, onde fôra reunir-se aos técnicos brasileiros daquele órgão federal, para exame do último relatório chegado da França ao DNPRC sobre o sistema de defesa das praias de Olinda. Desembarcado pela madrugada, às 9 horas da manhã estava a conferenciar com o dep. Barreto Guimarães sobre o assunto, a quem comunicou que o edital de concorrência para execução dos serviços na vizinha cidade já fôra encaminhado a publicação, devendo as propostas ser julgadas no dia 22 de outubro próximo.

AS RECOMENDAÇÕES DE GRENOBLE SÔBRE A DEFESA DE OLINDA

A solução recomendada pelo Laboratório francês consiste nas seguintes obras:

- 1.o) construção, na frente das praias dos Milagres, Carmo e São Francisco, de dois quebra-mares paralelos à costa, com 550 metros cada um, completando a defesa natural dos recifes;
- 2.o) construção, de uma parte da outra da zona acima, de dois ou três espiões curtos, com enrocamento para evitar a erosão da costa nas extremidades da zona protegida. São espiões mergulhantes, com um metro de altura e espaçados de 150 a 200 metros;
- 3.o) revestimento das zonas mais estreitas do ístmo e, em particular, da situada em frente do cotovelo do rio Beberibe, em grandes blocos naturais ou artificiais;
- 4.o) revestimento da margem esquerda do cotovelo do rio Beberibe, com enrocamento;
- 5.o) implantação, eventualmente, de outros “espiões curtos” ao longo do ístmo, para evitar, se preciso, o basculamento do conjunto de ondas.

■ DIARIO DE PERNAMBUCO – DOMINGO, 24 DE AGOSTO DE 1958

AINDA ÉSTE ANO O INÍCIO DOS TRABALHOS

A propósito da conclusão, pelo Laboratório de Grenoble dos estudos para os trabalhos de defesa das praias de Olinda e do parecer da comissão especial do Departamento Nacional de Portos, Rios e Canais, o deputado Barreto Guimarães prestou as seguintes declarações ao DIARIO:

- Estou plenamente satisfeito com os resultados dos estudos que se processaram no Laboratório de Grenoble para a defesa das praias de Olinda..

■ DIARIO DE PERNAMBUCO – SÁBADO, 28 DE NOVEMBRO DE 1959

Início, Amanhã, Das Obras De Defesa Das Praias De Olinda

Iniciam-se, amanhã, as obras de defesa das praias de Olinda. Ao ato, que será solene e se realizará às 9 horas, na praça do Carmo, naquela cidade, comparecerão o governador Cid Sampaio, o ministro Amaral Peixoto, o engenheiro Canêdo de Magalhães e outras autoridades civis, militares e eclesiásticas, especialmente convidadas pelos engenheiros Lourival de Almeida Castro e professor Barreto Guimarães, respectivamente chefe do 7.o Distrito de Portos, Rios e Canais e Prefeito de Olinda.

Em palestra com o engenheiro Lourival Castro disse-nos esse técnico:

<As obras de defesa que vão ser executadas são as recomendadas pelo Laboratório da Sogreah (Société Grenobloise d'Etudes e Applications Hydrauliques).

Como já é do conhecimento público, nos anos de 1950 e 1951 o 7.o Distrito de Portos, Rios e Canais ensaiou uma defesa por meio de obras transversais (espingões), dada a convicção que, então, tínhamos de que o arrasto litorâneo, ao longo daquelas praias, se dava de norte para sul. Com o insucesso dos espingões e as observações que, então, puderam ser feitas verificamos que não havia essa preponderância do arrasto de norte para sul e já no relatório que anualmente apresentamos ao Departamento Nacional de Portos, Rios e Canais, dizíamos, em 1952:

<A conclusão a que chegamos é a de que nas praias de Olinda não há preponderância como parecia, do arrasto do Norte para o Sul. Durante uma época do ano, a estival, quando dominam os ventos do quadrante ENE-SSE, com predominância dos ventos ENE, o arrasto se processa do Norte para o Sul, mas na época invernal, quando predominam os ventos SSE, esse movimento é do Sul para o Norte. Essa inversão desaconselha a defesa transversal, descontinua, parecendo-nos que somente com estudos em Laboratório de Hidráulica Experimental poderemos fixar a obra necessária à proteção daquelas praias.

Aceita essa sugestão pelo Departamento Nacional de Portos, Rios e Canais foi, então, o problema da defesa das praias de Olinda levado ao estudo do Laboratório francês da SOGREAH. Primeiramente, esse Laboratório enviou ao Recife uma Comissão de técnicos para colher os dados necessários ao estudo do problema, em modelo reduzido, conforme o contrato que assinou no dia 7 de agosto de 1954.

Essa Comissão permaneceu no Recife de 25 de agosto a 26 de dezembro de 1954, quando concluiu os trabalhos, apresentando Relatório circunstanciado dessa <campanha de medição>, em abril de 1955.

No dia 27 de novembro de 1954, novo contrato foi assinado com o mesmo Laboratório para o estudo, em modelo reduzido, da defesa das praias de Olinda, da raiz do molhe à praia do Farol. Dos seus trabalhos o Laboratório apresentou os seguintes relatórios:

- Relatório 4.453, de setembro de 1957 – Regime dos ventos e das vagas no Recife.
- Relatório 4.534, de abril de 1957 – Nota provisória sobre os diversos tipos de defesa ensaiados no modelo das praias de Olinda.
- Relatório 4.543, de maio de 1957 – Estudos preliminares em bacia especial e regulagem do modelo.
- Relatório 4.605, de agosto de 1957 – Estudo da estabilidade do dique de pre-arrebentação proposto para a defesa da praia. Determinação da eficiência da obra.
- Relatório 4.629, de novembro de 1957 – Análise dos resultados dos ensaios de proteção por quebra-mar submerso. Ensaios do aterro artificial da parte alta da praia. Solução proposta.
- Relatório 4.819, de maio de 1958 – Ensaios complementares e solução proposta.

Nesses relatórios o Laboratório explica detalhadamente os estudos feitos para determinar o sistema de defesa que deveria ser executado, encarando o problema nos diversos trechos:

- 1 – Praia dos Milagres, Carmo e São Francisco;
- 2 – Praia do Farol;
- 3 – Parte norte do Istmo de Olinda;
- 4 – Istmo de Olinda;

A solução recomendada pelo Laboratório consiste:

- 1 – Na construção, nas frentes das praias dos Milagres, Carmo e São Francisco, de dois quebra-mares paralelos à costa, completando a defesa natural dos recifes;
- 2 – Na construção, de uma parte e da outra da zona acima, de dois ou três <espingões curtos>, em enrocamento;
- 3 – No revestimento das partes mais estreitas do Istmo de Olinda, em particular em frente ao cotovelo do Rio Beberibe, com grandes blocos naturais ou artificiais;

- DIARIO DE PERNAMBUCO – DOMINGO, 29 DE NOVEMBRO DE 1959

Começarão Hoje As Obras De Defesa Das Praias Olindenses: 92 Milhões

- DIARIO DE PERNAMBUCO - DOMINGO, 3 DE ABRIL DE 1960

Defesa das praias de Olinda

Na Marcha Em Que Vão As Obras Sómente Estarão Terminadas Daqui A Seis Anos

Reportagem de SEVERINO BARBOSA

Estão atrasados de dois meses os trabalhos de defesa das praias de Olinda, entregues à responsabilidade de Pedreiras Reunidas LTDA. e fiscalizados pelo DNPRC.

[...]

Agrava a situação o fato de estarem próximas as ressacas de maio e junho, período crítico, quando os acidentes assumem, para moradores das praias de Olinda, aspectos trágicos e de consequências as mais impressionantes.

CASTIGO DE MEIO SÉCULO

O problema do avanço do mar nas praias de Olinda data de longos anos. Tanto é assim que fotografias, tiradas há mais de trinta anos, apresentam casas de madeira, construídas na praia dos Milagres, sobre estacas, uma espécie de palafitas, o que vem revelar uma forma de defesa dos seus moradores, contra as ressacas do mar. Quase meio século de castigos inflingidos à velha cidade, abatendo-se, em todos os anos, como terrível pesadelo sobre sua população, especialmente aquela gente que reside nas praias.

[...]

Centenas de casas foram feitas ruínas. Isto no correr de quase meio século.

QUANDO O PERIGO SE APROXIMA

Os olindenses temem novas ressacas. Em maio e junho, datas sinistras para moradores das praias dos Milagres e Bairro Novo, voltam as grandes cheias e o mar avança sobre ruas e casas, derrubando tudo na sua violência.

- DIARIO DE PERNAMBUCO - QUARTA-FEIRA, 11 DE MAIO DE 1960

Estaria Técnicamente Errada A Construção Do Sistema Defensivo Das Praias De Olinda

A reportagem foi informada, em fontes técnicas dignas de crédito, que todo sistema de defesa das praias de Olinda estaria sendo construído erradamente pela firma “Pedreiras Reunidas”. E somente uma solução seria possível, a esta altura das obras: destruir tudo que foi feito até agora e começar de novo a construção, em obediência aos planos aprovados pelo Laboratório Hidráulico de Grenoble.

Desde o começo do ano, vinham circulando rumores de que os trabalhos de defesa das praias olindenses não estavam sendo executados a contento. Faltavam à firma contratante os equipamentos indispensáveis, inclusive caminhões de grande tonelagem para o transporte de materiais. Os serviços se arrastavam morosamente, porque a empresa não teria recebido as verbas federais. Essas denúncias perderam eco depois, quando se revelou que o Ministério da Viação estava no firme propósito de assegurar todos os recursos indispensáveis para que a obra terminasse no prazo previsto de 18 meses.

Agora, porém, surgiu a denúncia mais grave: a empresa “Pedras Reunidas” não estaria obedecendo às especificações técnicas aprovadas em Grenoble e estabelecidas no contrato que firmou ao vencer a concorrência pública, aberta pelo Departamento de Portos, Rios e Canais.

- DIARIO DE PERNAMBUCO – QUARTA-FEIRA, 24 DE MAIO DE 1961

Diretor Nacional dos Portos promete conclusão das obras de defesa de Olinda em começos de 62

AVANÇO DO MAR CONTINUA

[...]

Enquanto isso, o avanço do mar em Olinda continuou inexorável. Calcula-se que o oceano tenha avançado numa extensão de três e quatro quilometros, destruindo um patrimônio material valioso. O Bairro Novo já está fortemente ameaçado pelas ressacas e basta a aproximação dos meses de julho e agosto – como agora sucede – para toda população olindense se tomar de panico.

- **DIARIO DE PERNAMBUCO - TERÇA-FEIRA, 26 DE SETEMBRO DE 1961**

Levantamento Topográfico Da Avenida Beira Mar Em Olinda, Paulista E Jaboatão

A Delegacia do Patrimônio da União abriu concorrência pública para execução do levantamento topográfico e planta da faixa da avenida Beira Mar, nos municípios de Olinda, Jaboatão e Paulista.

[...]

<São objetos da concorrência, o levantamento topográfico e a elaboração da planta cadastral dos trechos da orla marítima das partes compreendidas entre o limite de Jaboatão com Recife no sentido Sul numa extensão de 15 quilômetros entre a Casa Caiada (no ponto da linha da preamarmédio já aprovada), no Município de Olinda em direção Sul numa extensão de 8 quilômetros, e entre a ponte do Rio Doce no limite de Olinda e Paulista, na direção Norte numa extensão de 21 quilômetros>.

- **DIARIO DE PERNAMBUCO – QUINTA-FEIRA, 21 DE DEZEMBRO DE 1961**

NOVAMENTE AMEAÇADAS DE PARAR AS OBRAS DE DEFESA DAS PRAIAS DE OLINDA: PREFEITO PROTESTA

Poderão parar, a qualquer momento, os trabalhos de construção do cais de defesa das praias de Olinda, realizados pela “Pedreiras Reunidas” e que se arrastam lenta e morosamente, há dois anos.

[...]

Tem havido uma série de aprovação de verbas, mas é que o dinheiro não sai e “Pedreiras” já desviou metade de sua frota de caminhões para atender uma obra do 3.o Distrito Naval.

- **DIARIO DE PERNAMBUCO - SEXTA-FEIRA, 09 DE MARÇO DE 1962**

DEFESA DAS PRAIAS DE OLINDA

[...]

Quanto aos espiões transversais, frisou o sr. Lourival que as obras estão tendo andamento normal. Já foram construídos 16 espiões, os quais defendem uma extensão de praia superior a 700 metros, com excelentes resultados.

- **DIARIO DE PERNAMBUCO - SEXTA-FEIRA, 21 DE SETEMBRO DE 1962**

D.N.P.R.C. Iniciou Trabalho De Proteção Em Olinda: 20 Mil M3 De Rocha Empregará

O 7.o Distrito de Portos, Rios e Canais, iniciou ontem a colocação de pedras nos locais afetados, as medidas de emergência visando conter a ação das ressacas nas praias de Bairro Novo e Milagres, no município de Olinda, numa operação em que empregará cerca de mil metros cúbicos de rochas, esperando concluir as obras em menos de um mês.

Em declarações à Agência Nacional, o engenheiro Lourival de Almeida Castro, chefe daquele Distrito sediado em Pernambuco, informou ainda que, posteriormente passada essa fase, serão de imediato recompostos os espiões de proteção que foram danificados, bem como terá prosseguimento a construção de outros em direção ao norte da praia.

20 ESPIGÕES FORAM CONSTRUIDOS

Segundo o sr. Lourival de Almeida Castro, o 7.o Distrito já construiu naquelas localidades, desde novembro passado, cerca de 20 espingões transversais em pedra, a fim de defender o litoral da impetuosidade das vagas, como também para favorecer o acúmulo de areia entre eles, cuja sedimentação futuramente constituirá faixas de terra estaveis.

A implantação desses espingões, não faz parte dos estudos realizados pelo laboratorio de Hidráulica Experimental de Grenoble, que consultado a respeito foi favoravel a sua utilização, vez que seu uso tem aprovado em outras regiões do país e do exterior.

- DIARIO DE PERNAMBUCO - TERÇA-FEIRA, 25 DE SETEMBRO DE 1962
MINISTRO DA VIAÇÃO CONSIDERA DE CALAMIDADE PÚBLICA SITUAÇÃO DE OLINDA: AVANÇO DO MAR
- DIARIO DE PERNAMBUCO – DOMINGO, 14 DE JUNHO DE 1964
ATÉ O FIM DO ANO TERMINARÃO ÓBRAS DE DEFESA DAS PRAIAS OLINDESES

TRABALHO CONTINUA

Adiantou existir, no momento, uma concorrência pública, aberta pelo Departamento Nacional de Portos e Vias Navegáveis, para a colocação das restantes 50 mil de toneladas de pedras e retirada de 10 mil toneladas de enrocamento do molhe de acesso, com o aproveitamento desse material nos espingões que completam a defesa recomendada por Grenoble, no Bairro Novo.

BAIRRO NOVO

Sobre o ataque às praias do Bairro Novo, respondeu o engenheiro Lourival de Almeida Castro que, do Farol para o Norte, até às instalações do quartel de artilharia costeira, teve inicio logo após os estudos executados pelo Laboratorio de Grenoble, antes mesmo de serem iniciadas as defesas das praias do Carmo, Milagres, São Francisco e parte do Farol.

Já em 1956, o Distrito reclamava ao prefeito de Olinda a construção de uma galeria na rua Cel. Luciano de Melo, despejando águas pluviais no mar. Essa foi a causa inicial dos ataques àquelas praias.

Em setembro de 1958, o diretor do Nono Distrito comunicou-se com o Laboratorio de Grenoble, enviando a seguinte pergunta: "Em face das observações no modelo, não obstante tratar-se de zona situada no limite do mesmo, aliadas à experiência desse laboratorio, a construção de espingões curtos, semelhantes aos indicados para a defesa da praia do Farol, terão eficiência na defesa das praias até o rio Tapado?"

Respondeu o Laboratorio:

"O ataque na zona correspondente deve ser menos violento, dada a mudança de orientação da costa: uma defesa do mesmo tipo por espingões curtos seria muito provavelmente eficaz, pois o ataque deve ser menos frontal nessa zona, mas, não parece útil construir desde logo esses espingões, se uma erosão não for constatada. Pensamos que será sempre tempo de proceder à sua construção, se um recuo da praia se manifestar."

Com essa opinião, o Nono Distrito iniciou a construção de espingões no Bairro Novo, do Farol para o norte. Já foram construídos 34 espingões, cobrindo toda extensão até às proximidades do bar Maringá. "Se não temos tido um resultado total – afirmou o diretor do Nono do 9.o Distrito – temos, contudo, conseguido barrar o avanço do mar, e obtido, mesmo, o engordamento de alguns trechos".

A propósito do desmoronamento que se verifica em varios desses espingões, respondeu o engenheiro Lourival de Almeida Castro:

"A condição a que deve satisfazer um espingão, de impermeabilidade às areias, obriga a colocação de pedras de pequenas dimensões de pernmeio às de maior peso".

▪ DIARIO DE PERNAMBUCO – QUINTA-FEIRA, 05 DE JANEIRO DE 1967

Concluem-se As Obras De Defesa Das Praias De Olinda

O governador Paulo Guerra, o secretário Barreto Guimarães, e o engenheiro Lourival de Almeida Castro, diretor da 4a. Região de Portos e Vias Navegáveis, dentre outras autoridades, assistirão, hoje, às 16 horas, em Olinda, à conclusão das obras de defesa das praias contra o avanço do mar...

Trata-se de um cais de enrocamento de 2.500 metros nas direções norte-sul, dotado de 45 espigões transversais, à altura do Bairro Novo, como complementação da obra. Os trabalhos foram iniciados a 29 de novembro de 1959, na administração do então prefeito Barreto Guimarães e os estudos realizados por técnicos do Laboratório de Grenoble, na França, os quais levaram três anos em experiências, em pequenos cais submersos.

▪ DIARIO DE PERNAMBUCO – DOMINGO, 24 DE SETEMBRO DE 1967

Enrocamento Das Praias De Olinda é Pequeno Para Deter Avanço Do Oceano

Texto de Humberto Ponzzo, especial para o DIARIO DE PERNAMBUCO

O mar de Olinda continua avançando numa frente de seis quilômetros, e os moradores da orla marítima, desde os Milagres ao Bairro Novo, estão preocupados ante a ameaça de novos estragos. Os proprietários de prédios do Bairro Novo temendo a destruição de suas residências, estão procurando localizar-se em Casa Caiada e Rio Doce e até mesmo no Janga, onde os banhos salgados são mais tranquilos.

INVESTIDA

O mar, num movimento envolvente pelos flancos, investiu nas duas extremidades, abrindo profundas brechas nos Milagres e Bairro Nôvo, não obstante os espigões transversais colocados na última dessas praias. As toneladas de pedra que o Departamento de Portos e Vias Navegáveis jogou em tóda a extensão litorânea, têm servido apenas para retardar o avanço, sabendo-se que frequentemente são arrastadas pelas águas.

▪ DIARIO DE PERNAMBUCO – QUINTA-FEIRA, 15 DE FEVEREIRO DE 1968

Govêrno Do Estado Ajuda Prefeitura De Olinda A Urbanizar Avenida Beira Mar

A Prefeitura de Olinda, contando com a colaboração do Governo do Estado, através da Secretaria de Obras e Serviços Públicos, iniciou, os trabalhos de topografia e outros levantamentos técnicos, para as obras de pavimentação e iluminação da avenida Beira-Mar, no trecho da praia dos Milagres até o Quartel do GACosM.

[...]

O secretário disse que o objetivo da visita foi observar, "in loco", com o prefeito Benjamin Machado, as primeiras providências para o início da construção da avenida Beira Mar, partindo dos Milagres.

▪ DIARIO DE PERNAMBUCO – TERÇA-FEIRA, 09 DE FEVEREIRO DE 1971

Ubiratan retira bares da orla marítima para iniciar avenida

Os restaurantes da orla marítima de Olinda vão recuar em direção ao mar, para construção da nova avenida Atlântica, a ser construída desde o Carmo até Casa Caiada, e em cujas obras serão aplicados recursos superiores a Cr\$ 500 mil.

Os espigões transversais localizados nas extremidades do cais de enrocamento, construído pelo Departamento Nacional de Portos e Vias Navegáveis servirão de alicerce à construção de modernos hotéis, dentro dos planos de turismo da Municipalidade.

▪ DIARIO DE PERNAMBUCO – TERÇA-FEIRA, 16 DE MARÇO DE 1971

Olinda aguarda medidas para sua defesa

O Departamento Nacional de Portos e Vias Navegáveis não autorizou a construção de restaurantes nos espiões transversais, ao longo da orla marítima de Olinda. Mas não impedirá que os proprietários de bares aproveitem o enrocamento para os erguerem ali.

O DNPVN considera que, na eventualidade de um avanço do mar, no referido trecho, será forçado a empreender os reparos necessários para reforço dos espiões, independentemente de indenização dos prejuízos resultantes da retificação das obras da hidráulica.

AVENIDA

O prefeito Ubiratan de Castro anunciou, há dias, dentro dos planos de urbanismo da cidade, a construção de uma estrada pavimentada ao longo da orla marítima, partindo do Carmo, passando pelo Bairro Nôvo e alcançando o Rio Doce, toda arborizada e iluminada.

Para tanto, os restaurantes, em número de dez, avançarão 20 a 30 metros pelo mar, aproveitando os espiões transversais e possibilitando o alargamento da avenida Beira Mar, que, em alguns pontos, torna-se bastante estreita.

O prefeito Ubiratan de Castro acredita que os melhoramentos introduzidos ao longo do cais de enrocamento pelos proprietários de restaurantes sómente benefícios trarão ao sistema de defesa implantado no referido trecho. Afirmou que serão os donos de bares os fiscais da obra, impedindo que o mar destrua suas propriedades.

▪ DIARIO DE PERNAMBUCO – QUARTA-FEIRA, 28 DE ABRIL DE 1971

Prefeito de Olinda quer ajuda contra o mar

O mar continua danificando os espiões transversais colocados nas extremidades do cais de enrocamento, no Bairro Novo, em Olinda. O Departamento Nacional de Portos e Vias Navegáveis já solicitou recursos à direção central, a fim de corrigir o sistema de defesa ali construído.

REIVINDICAÇÃO

Ao falar na possibilidade de novas ressacas nos meses de julho e agosto, o prefeito Ubiratan de Castro admitiu que o Bairro Nôvo poderá ser invadido pelo mar. Os espiões continuam sendo erodidos pelas ondas, e a ameaça de inundação vem preocupando seriamente os moradores daquele subúrbio.

▪ DIARIO DE PERNAMBUCO – QUARTA-FEIRA, 05 DE MAIO DE 1971

Olinda recebe verba para conter o avanço do mar

O Departamento Nacional de Portos e Vias Navegáveis acaba de liberar recursos destinados a conter o avanço do mar em Olinda, que continua ameaçando uma vasta faixa litorânea. Espiões transversais foram danificados, pondo em alerta, milhares de famílias residentes nos Milagres, São Francisco e Bairro Nôvo.

▪ DIARIO DE PERNAMBUCO – SÁBADO, 31 DE JULHO DE 1971

ESPIGÕES

O mar continua arrastando para dentro d'água os espiões transversais (pedras) colocados no Bairro Nôvo, na extremidade do cais de enrocamento, preocupando seriamente, aos moradores da referida área, cujas famílias já começam – disse – a ser retirar para lugares mais seguros.

▪ DIARIO DE PERNAMBUCO – SÁBADO, 20 DE MAIO DE 1972

Olinda terá novo sistema de defesa

O Departamento Nacional de Portos e Vias Navegáveis decidiu realizar obras de reforço no sistema de defesa das praias de Olinda, na altura do Bairro Novo, para evitar o avanço do mar provocado pelo deslocamento de grande quantidade de pedras dos espiões transversais.

DIMENSIONAMENTO

O Instituto Nacional de Pesquisas Hidroviárias, órgão do DNPVN – disse o comandante Boghossian – realizará estudos visando à obtenção de novos dimensionamentos dos espiões, não somente em comprimento como em direção, a fim de solucionar de uma vez o problema.

- DIARIO DE PERNAMBUCO – QUINTA-FEIRA, 21 DE SETEMBRO DE 1972

Defesa de praia estará pronta em março de 73

Os trabalhos de reforço do cais de enrocamento das praias de Olinda estão se desenvolvendo dentro dos planos traçados pela Diretoria Geral do Departamento Nacional de Portos e Vias Navegáveis e autorizados pelo Ministério dos Transportes.

A conclusão dos serviços, a cargo da Companhia Brasileira de Dragagem, está prevista para março do próximo ano, quando 40 mil toneladas de pedras terão sido lançadas ao longo de uma faixa marítima de Casa Caiada ao Farol. Na obra, serão aplicados recursos financeiros da ordem de Cr\$ 2 milhões.

SATISFAÇÃO

O vice-governador Barreto Guimarães mostrou-se satisfeito com o andamento dos trabalhos de enrocamento, sobretudo no Bairro Novo, área das mais afetadas pelas erosões e onde os espiões transversais vinham sendo arrastados pelas ondas.

- DIARIO DE PERNAMBUCO – SEGUNDA-FEIRA, 09 DE ABRIL DE 1973

Proteção de Olinda com 40 mil toneladas de pedra

As obras de enrocamento das praias de Olinda, nas quais o DNPVN empregará 40.000 toneladas de pedras ao longo da orla marítima, desde Casa Caiada até o Farol, deverão estar concluídas em julho ou o mais tardar em agosto, época em que normalmente ocorrem as marés altas.

- DIARIO DE PERNAMBUCO – QUINTA-FEIRA, 28 DE JUNHO DE 1973

Praias de Olinda já estão com os reforços concluídos

O engenheiro Fernando de Almeida Castro, do Departamento Nacional de Portos e Vias Navegáveis, anunciou ontem, o término dos trabalhos de reforço do sistema de defesa das praias de Olinda, com a colocação de 40.000 toneladas de pedras.

- DIARIO DE PERNAMBUCO – DOMINGO, 20 DE ABRIL DE 1975

Ressaca castiga Olinda há cinquenta anos

- DIARIO DE PERNAMBUCO – TERÇA-FEIRA, 12 DE AGOSTO DE 1975

Empresa estuda em laboratório meios de evitar o avanço do mar em Olinda

No Bairro Novo, os espiões transversais continuam cedendo, necessitando de uma retificação, como foi feito há cerca de dois anos.

- DIARIO DE PERNAMBUCO – SEGUNDA-FEIRA, 24 DE OUTUBRO DE 1977

Defesa de Olinda se limita a Casa Caiada e Pedras Altas

Em Bairro Novo deverão ser substituídos os espiões transversais colocados em caráter de emergência, por dique submersos que complementarão os arrecifes naturais existentes e aumentarão a cota.

▪ DIARIO DE PERNAMBUCO – SEGUNDA-FEIRA, 16 DE JANEIRO DE 1978

Ainda as praias olindenses

Os espingões transversais além de não terem apresentado a eficácia esperada, riscaram o Bairro Novo do mapa balneário de Olinda, além de serem um foco de poluição. [...]. O que não se pode é deixar a praia do Bairro Novo como se encontra atualmente.

▪ DIARIO DE PERNAMBUCO – QUARTA-FEIRA, 21 DE NOVEMBRO DE 1979

Bairro Novo sem espingões

... Segundo Pascoal, os espingões transversais foram colocados como obra de emergência pelo antigo Departamento Nacional de Portos e Vias Navegáveis para serem depois substituídos. Decorridos cerca de 20 anos, as pedras continuam sendo arrastadas pela fúria das ondas.

▪ DIARIO DE PERNAMBUCO – SEGUNDA-FEIRA, 10 DE MARÇO DE 1980

Governo deverá retirar espingão do Bairro Novo

Os espingões transversais que descaracterizam o cenário natural das praias de Olinda, colocados há cerca de 20 anos para conter o avanço do mar no Bairro Novo, devem ser retirados em breve. Segundo o vereador Antônio Pascoal, os espingões transversais foram colocados ali provisoriamente e deveriam ser substituídos por cais submersos. Na época, os técnicos de Grenoble, da França, já tinham concluído os estudos para a implantação de um dique de pré-arrebentação de 1.100 metros, em frente ao Carmo.

“O mar continua avançando nos Milagres, no Farol, Bairro Novo e em Casa Caiada, o Governo prometeu a implantação de novos sistemas de defesa para proteção do litoral olindense”, lembrou o vereador, adiantando que, até agora, não foi cumprida a promessa.

▪ DIARIO DE PERNAMBUCO – TERÇA-FEIRA, 28 DE ABRIL DE 1981

Enrocamento cede e mar avança livre em Olinda

“As pedras dos espingões transversais, no Bairro Novo, estão sendo arrastadas pelas águas, ameaçando dezenas de casas na orla marítima, pois o calçamento já está sendo danificado pelas ondas. A situação poderá piorar com as marés altas normais nos meses de junho e julho”, denunciou ontem o vereador Antônio Pascoal em pronunciamento dirigido à Portobrás.

▪ DIARIO DE PERNAMBUCO – SEGUNDA-FEIRA, 15 DE NOVEMBRO DE 1982

Ondas arrastam os espingões em Olinda ameaçando as casas

O mar está avançando no Bairro Novo, em Olinda, arrastando as pedras dos espingões transversais ali colocadas há cerca de 30 anos, como sistema de emergência para evitar a destruição de dezenas de casas modernas ao longo da orla marítima – segundo o vereador Vanildo Ático Leite, do PMDB, que alertou as autoridades federais contra o perigo das ressacas do próximo ano.

As ondas estão ultrapassando o cais, levando, em muitos pontos, o calçamento e ameaçando destruí-lo. Há oito anos, os espingões foram reforçados com 200 mil toneladas de pedras. Mas, a partir daí, nada mais foi feito para conter o avanço do mar. As pedras descaracterizaram o panorama da praia transformando-se em local preferido dos ratos.

▪ DIARIO DE PERNAMBUCO – SEXTA-FEIRA, 18 DE MARÇO DE 1983

Mar já avança muito em Olinda

– O mar continua avançando numa larga frente em Olinda, ameaçando dezenas de casas ao longo da orla marítima. Na área do Bairro Novo, os espingões transversais estão cedendo e sendo arrastado pelas ondas, que estão pondo em perigo o calçamento da Avenida Beira Mar – denunciou ontem na Câmara Municipal o vereador Antônio Pascoal (PMDB).

ANEXO C – ANAIS DA ASSEMBLÉIA LEGISLATIVA DO ESTADO DE PERNAMBUCO

- **16 de junho de 1980** – Ata da Sexagésima Primeira Reunião Ordinária da Terceira Sessão Legislativa da Nona Legislatura:
“É verdade que algumas obras já foram realizadas, os diques submersos para a proteção de uma parte da praia dos Milagres, do Carmo, São Francisco, e Farol, numa extensão de mil e cem metros, já foram construídos. Uma obra temporária, os espiões no Bairro Novo, também foi implantada e deve ser substituída pela obra definitiva que se constitui na construção de dique submerso...”
- **04 de junho de 1981** – Ata da Quinquagésima Primeira Reunião Ordinária da Terceira Sessão Legislativa da Nona Legislatura:
“Finalmente, os espiões transversais do Bairro Novo que provocam poluição e não asseguram grande estabilidade, além de serem condenados sob o ponto de vista estético e eliminarem o aproveitamento balneário de um grande trecho de praia em Olinda, serão substituídos, também, por diques submersos”.