



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
INSTITUTO DE CIÊNCIAS DO MAR
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS MARINHAS TROPICAIS

MÔNICA VIRNA DE AGUIAR PINHEIRO

**EVOLUÇÃO GEOAMBIENTAL DAS DUNAS DE TRANSPASSE DO ESTADO DO
CEARÁ**

FORTALEZA

2015

MÔNICA VIRNA DE AGUIAR PINHEIRO

EVOLUÇÃO GEOAMBIENTAL DAS DUNAS DE TRANSPASSE DO ESTADO DO
CEARÁ

Tese apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Ciências Marinhas Tropicais da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para obtenção do título de Doutor em Ciências Marinhas Tropicais. Área de concentração: Utilização e Manejo de Ecossistemas Marinhos e Estuarinos.

Orientador: Prof. Dr. Luis Parente Maia

FORTALEZA
2015

MÔNICA VIRNA DE AGUIAR PINHEIRO

EVOLUÇÃO GEOAMBIENTAL DAS DUNAS DE TRANSPASSE DO ESTADO DO
CEARÁ

Tese apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Ciências Marinhas Tropicais da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para obtenção do título de Doutor em Ciências Marinhas Tropicais. Área de concentração: Utilização e Manejo de Ecossistemas Marinhos e Estuarinos.

Aprovada em: ____/____/____.

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Dr. Luis Parente Maia (Orientador)

Instituto de Ciências do Mar – LABOMAR – UFC

Prof. Dr. Eugênio Marcos Soares Cunha

Universidade Federal do Rio Grande do Norte – UFRN

Profa. Dra. Marta Celina Linhares Sales

Departamento de Geografia - UFC

Prof. Dr. Fábio de Oliveira Matos

Instituto de Ciências do Mar – LABOMAR – UFC

Dr. Alexandre Medeiros de Carvalho

Instituto de Ciências do Mar – LABOMAR – UFC

À Deus pela vida.

AGRADECIMENTOS

Esse trabalho de tese é a concretização de uma etapa longa, intensa e valiosa na minha vida, um desejo profissional, construído ao longo dos últimos dez anos, entre graduação, mestrado e doutorado. O resultado desse trabalho, também faz parte da relevante contribuição de pessoas e instituições muito importantes, a quem devo agradecer.

Agradeço a Fundação Cearense de Apoio à Pesquisa – FUNCAP, pelo apoio financeiro desta pesquisa, sem o qual seria mais difícil a realização.

Ao programa de Pós-graduação em Ciências Marinhas Tropicais da UFC, na pessoa do coordenador prof. Carlos Eduardo Teixeira.

Ao meu orientador prof. Luis Parente Maia pela orientação e confiança dispensadas.

Aos professores que aceitaram e se dispuseram a contribuir com esse trabalho na banca de defesa: prof. Fábio de Oliveira Matos, profa. Marta Celina Sales, Alexandre Medeiros de Carvalho e prof. Eugênio Cunha.

Aos professores que contribuíram de forma relevante no exame de qualificação: prof. Fábio de Oliveira Matos, profa. Marta Celina Sales e Alexandre Medeiros de Carvalho.

Agradeço a minha primeira e eterna orientadora, profa. Vanda Claudino-Sales, pelo incentivo e insistência à minha entrada no doutorado e por todo aprendizado durante os anos de graduação e mestrado.

Agradeço a todos que fazem o Instituto de Ciências do Mar da UFC, em especial aos professores: Marcelo Oliveira, Lidriana Pinheiro e Maria Oziléia Menezes.

Aos funcionários do Instituto de Ciências do Mar: Gorete e Isabela pela atenção e auxílio.

Aos professores do Departamento de Geografia e Geologia da UFC e em especial aos que contribuíram durante o desenvolvimento da tese: Marta Celina Linhares, Edson da Silva (Cacau), Adryane Gorayebe, César Veríssimo e Daniel Rodrigues.

Ao meu Marcelo por ter sido durante todos esses anos o apoio, a base de sustentação, meu lado positivo. Por toda insistência e incentivo desde a entrada à finalização deste trabalho. Por dividir todos esses dias e torná-los mais leves e produtivos. Com amor e fé. Obrigada por tudo!

Agradeço a minha família, meus pais (Socorro e Humberto) e meu irmão (Humberto Filho) pelo amor, carinho e apoio depositados durante essa caminhada.

À todos os amigos do doutorado que fizeram dessa etapa um momento especial: Glacianne Maia, Aline Gama, Brígida Miola, Mariana Correa, Renan Pinheiro, Eduardo Lacerda, Gleidson Gastão (Labomar), Glória Hamelak, Vanusa, Daniel Dantas (Geologia) e Gislaine Albuquerque (Agronomia).

Aos amigos Ruth Soares, Emanuelle Leitão (Manu), Audírio Bezerra, Cláudia Germana, João Luis Olímpio e Leiliane Medeiros pelo incentivo e convívio durante parte dessa caminhada.

À Verusca Cabral pela disposição (sempre bem humorada) e ajuda na elaboração de parte do material cartográfico.

À Geoconsult e seus representantes Tadeu Dote Sá e Lucinaura Diógenes pelo apoio e materiais disponibilizados durante parte dessa caminhada.

Aos amigos Anatarino Torres, Silvana Bezerra, Liana Rocha, Wesley Rocha, Diogo Pereira, Monise Pires, Elger Santiago e Renata Medeiros pelo incentivo e bons momentos vividos durante esses anos.

À amiga Lourdes Carvalho (Lourdinha!), pelo apoio e atenção, além da importante revisão dos produtos cartográficos.

Aos amigos Kamilly Camurça, Eduardo Freitas, Nayra Fontenele, Aline Aguiar, Ingrid Paixão, Jeanny Rebouças, Nisti Almeida, Cariny Mendes, Ione Moura-Fé, Ênio Sombra, Igor Soares, Ozângela Arruda, João Correa e Simone Silva pela torcida e amizade dispensadas.

Aos amigos no Cariri, Maria Soares, Ivan Queiroz, Juliana Oliveira e Simone Ribeiro pela receptividade, incentivo e bons momentos vivenciados.

Aos órgãos públicos tão importantes na coleta de material para essa tese – Serviço Geológico do Brasil - CPRM, Superintendência Estadual de Meio Ambiente do Estado do Ceará (SEMACE) e Departamento de Obras Contra à Seca (DNOCS).

À Deus pelo dom da vida.

À todos que direta ou indiretamente fizeram parte dessa caminhada. Obrigada!

“Os cientistas dizem que somos feitos de átomos, mas um passarinho me contou que somos feitos de história.” (Eduardo Galeano)

RESUMO

Os campos de dunas de transpasse no estado do Ceará apresentam distintos contextos geoambientais e, dentre os demais elementos geomorfológicos da zona costeira, vivenciam um intenso processo de descaracterização, cuja complexa conjuntura demanda um exame particularizado sobre a atual situação desse frágil ambiente. As dunas costeiras no Ceará cumprem papel de destaque na dinâmica sedimentar atual ao contribuir para a distribuição equilibrada de sedimentos ao longo da costa, através do processo de transpasse costeiro, um delicado e significativo mecanismo que promove o balanço na distribuição sedimentar, sobretudo, ao longo de obstáculos naturais (promontórios). Tais campos de dunas, responsáveis pelo processo de transpasse, são o objeto da presente pesquisa, realizada em 5 (cinco) setores do litoral cearense (Ponta Grossa, Iguape, Pecém, Paracuru e Jericoacoara), representativos na necessária análise e interpretação do contexto espaço-temporal. Assim, a tese teve como objetivo fundamental a realização da análise geoambiental dos campos de dunas de transpasse em um recorte espacial compartimentado em 2 (dois) distintos momentos, os anos de 1958 e 2014. Para isso, tomou-se como base metodológica a análise geoambiental, suporte teórico para as atividades e técnicas pertinentes, a partir de mapeamentos temáticos, utilizando *softwares* específicos. A análise espaço-temporal realizada a partir de interpretação visual de fotografias aéreas e imagens de satélites, em diferentes contextos históricos, promoveu o entendimento da dinâmica ambiental e sócio-espacial nos setores estudados. Em todas as áreas mapeadas houve diminuição da extensão do campo de dunas. O bloqueio das áreas de transpasse, por ocasião de atividades antrópicas ocorre parcialmente nas áreas das praias de Iguape e Paracuru e, na sua totalidade, no litoral do Pecém, zonas com maiores ocupações antrópicas dentre os setores analisados. O transpasse costeiro é livre nas praias de Ponta Grossa e Jericoacoara, onde as atividades humanas ainda são restritas. Mudanças na dinâmica morfológica das dunas em Jericoacoara, com intensificação da constituição de dunas barcanas admitem a diminuição do aporte de sedimentos para dunas ao longo da faixa costeira. A confirmação da redução das áreas dos campos de dunas, assim como seu aporte de sedimentos e a intensificação do uso e ocupação de ambientes costeiros para diversos fins gera um quadro ambiental preocupante e sinaliza a importância do planejamento ambiental e restrição de uso e ocupação mais intensa para as áreas de dunas móveis, com o risco de extinção desse patrimônio ambiental da zona costeira cearense.

Palavras-Chave: Dinâmica Ambiental. Promontório. Zona Costeira. Planejamento

ABSTRACT

The bypass of dune fields in the state of Ceará have different geo-environmental contexts and among the other geomorphological elements of the coastal zone, they experience an intense process of adulteration, whose complex environment requires a particularized examination of the current situation of this fragile environment. The coastal dunes in Ceará meet prominent role in the current sediment dynamics to contribute to the balanced distribution of sediments along the coast, through the coastal bypass process, a delicate and meaningful mechanism that promotes balance in sediment distribution, especially over natural obstacles (headlands). These dune fields, responsible for bypass process, are the object of this survey, conducted in five (5) sectors of Ceará (Ponta Grossa, Iguape, Pecém, Paracuru and Jericoacoara), representing the necessary analysis and interpretation of the space environment -temporal. Thus, the thesis was the fundamental objective of the realization of geoenvironmental analysis of bypass dune fields in a spatial area compartmentalized in two (2) different times, the years 1958 and 2014. For this was taken as a methodological basis for analysis geoenvironmental, theoretical support for the activities and relevant technical, from thematic mapping, using specific software. The spatiotemporal analysis from visual interpretation of aerial photographs and satellite images, in different historical contexts, promoted the understanding of the environmental and socio-spatial dynamics in the studied sectors. In all areas there was a decrease mapped the extent of the dune field. Blocking the areas bypass, during human activities is partly in the areas of Iguape and Paracuru beaches and in its entirety, on the coast of Pecém, areas with higher anthropogenic occupations among the sectors analyzed. The coastal bypass is free in Ponta Grossa beach and Jericoacoara, where human activities are still restricted. Changes in the morphological dynamics of dunes in Jericoacoara, with intensified formation of dunes barchans admit the decrease in sediment supply to dunes along the coastal strip. Confirmation of reducing areas of dune fields, as well as their contribution of sediments and the intensification of the use and occupation of coastal environments for various purposes raises a troubling environmental framework and indicates the importance of environmental planning and the use of restraint and more intense occupation for the areas of mobile dunes, with the risk of extinction of this environmental heritage of Ceará coastal zone.

Keywords: Environmental dynamics. Headlands. Coastal Zone. Planning

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Área de estudo	18
Figura 2- Tabuleiro costeiro formando falésias e paleofalésias em Ponta Grossa	33
Figura 3 - Faixa de praia à barlavento do promontório em Iguape	35
Figura 4 - Planície de Deflação na praia do Pecém.....	37
Figura 5 - Bosque de manguezal do Rio Guriú em Jericoacoara.....	39
Figura 6 - Distribuição média mensal de precipitação no litoral cearense	45
Figura 7 - Velocidade média mensal e Direção predominante do vento em Paracuru.....	47
Figura 8 - Velocidade média mensal e Direção predominante do vento em Camocim	48
Figura 9 - Transpasse ou <i>bypass</i> de sedimentos ao longo pontas litorâneas	53
Figura 10 - Promontórios e seus respectivos campos de dunas de transpasse	57
Figura 11 - Localização das células sedimentares no litoral do Ceará.....	59
Figura 12 - Unidades de Conservação nos setores em estudo.....	67
Figura 13 - Modelo de duna parabólica e suas estruturas.....	73
Figura 14 – Dunas Parabólicas na Praia do Iguape	74
Figura 15 - Modelo de dunas Barcanas (esquerda) e Barcanóides (direita).....	74
Figura 16 - Dunas Barcanas da praia de Jericoacoara	75
Figura 17 - Fotografia aérea do litoral de Ponta Grossa.....	76
Figura 18 - Fotografia aérea do litoral de Iguape	81
Figura 19 - Fotografia aérea do litoral do Pecém	84
Figura 20 - Fotografia aérea do litoral de Paracuru	87
Figura 21 - Fotografia aérea do litoral de Jericoacoara	90
Figura 22 - Paleofalésias (esquerda) e plataforma de abrasão (direita).....	95
Figura 23 - Transpasse Costeiro em Ponta Grossa	96
Figura 24 - Ocupação antrópica na Praia de Ponta Grossa.....	98
Figura 25 - Trânsito de sedimentos à Barlar do promontório de Ponta Grossa.....	99
Figura 26 - Promontório (esquerda) e Planície Lagunar do Iguape (direita).....	100
Figura 27 - Praia à sotamar do promontório com duna de transpasse.....	104
Figura 28 - Malha urbana do Iguape sobre a barreira arenosa	106
Figura 29 - Arruamentos de loteamento sobre o promontório do Iguape	108
Figura 30 - Planície de deflação e Campo de dunas fixas	109
Figura 31 - Rodovia construída da planície de deflação do Pecém.....	111
Figura 32 – Duna de transpasse fixada, no Pecém	113

Figura 33 - Planície de deflação e Faixa praial à barlavento, em Paracuru.....	117
Figura 34 - Área de transpasse costeiro em Paracuru.....	120
Figura 35 - Fixação artificial do campo de dunas móveis em Paracuru.....	123
Figura 36 - Ocupação das dunas de Paracuru por parques eólicos.....	123
Figura 37 - Duna de transpasse na faixa costeira de Jericoacoara.....	129
Figura 38 - Marcas de trânsito de veículos e Malha urbana em Jericoacoara.....	132
Figura 39 - Quadro comparativo das áreas de dunas para os anos de 1958 e 2014	134
Figura 40 - Rodovias que interceptam o campo de dunas no Pecém	135
Figura 41 - Visão da intensa ocupação urbana da planície costeira do Iguape	137
Figura 42 - Delimitação da área do CIPP e seus projetos adjacentes.....	138
Figura 43 - Destruição de barracas pelas ondas na planície costeira de Paracuru.....	140
Figura 44 - Estruturas de contenção de erosão na praia de Jericoacoara	140

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Área de dunas em Ponta Grossa	99
Tabela 2 - Área de dunas em Iguape	108
Tabela 3 - Área de dunas em Pecém	114
Tabela 4 - Área de dunas em Paracuru	122
Tabela 5 - Área de dunas em Jericoacoara	132
Tabela 6 - Porcentagem da redução de dunas móveis nos setores analisados.....	133
Tabela 7 - Parâmetros de Análise	137
Tabela 8 - Índice de Fragilidade dos campos de dunas	139

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Principais características dos promontórios da costa cearense	56
Quadro 2 - Tipologia e Geração de Dunas nos Setores Estudados	77

LISTA DE MAPAS

Mapa 1 - Unidades Geoambientais de Ponta Grossa, Icapuí em 1958.....	79
Mapa 2 - Unidades Geoambientais do Iguape em 1958.....	82
Mapa 3 - Unidades Geoambientais do Pecém em 1958.....	85
Mapa 4 - Unidades Geoambientais de Paracuru em 1958.....	88
Mapa 5 - Unidades Geoambientais de Jericoacoara em 1958.....	91
Mapa 6 - Unidades Geoambientais de Ponta Grossa.....	94
Mapa 7 - Modelo Digital de Elevação e Perfis Topográficos de Ponta Grossa	97
Mapa 8 - Áreas de dunas nos anos de 1958 e 2014, em Ponta Grossa.....	101
Mapa 9 - Unidades Geoambientais do Iguape.....	103
Mapa 10 - Modelo Digital de Elevação e Perfis Topográficos de Iguape.....	105
Mapa 11 - Áreas de dunas nos anos de 1958 e 2014, em Iguape	107
Mapa 12 - Unidades Geoambientais do Pecém.....	110
Mapa 13 - Modelo Digital de Elevação e perfis Topográficos do Pecém.....	112
Mapa 14 - Áreas de dunas nos anos de 1958 e 2014, em Pecém	115
Mapa 15 - Unidades Geoambientais de Paracuru.....	119
Mapa 16 - Modelo Digital de Elevação e Perfis Topográficos de Paracuru	121
Mapa 17 - Áreas de dunas nos anos de 1958 e 2014, em Paracuru.....	124
Mapa 18 - Unidades Geoambientais de Jericoacoara.....	126
Mapa 19 - Modelo Digital de Elevação e Perfis Topográficos de Jericoacoara.....	128
Mapa 20 - Áreas de dunas nos anos de 1958 e 2014, em Jericoacoara.....	131

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	16
1 METODOLOGIA.....	20
1.1 A Abordagem Metodológica	21
1.2 As Técnicas Utilizadas	22
<i>1.2.1 Atividades de Gabinete</i>	<i>22</i>
<i>1.2.2 Levantamentos de Campo</i>	<i>22</i>
<i>1.2.3 Atividades em Laboratório</i>	<i>23</i>
2 GÊNESE.....	25
2.1 Origem Cretácea do Litoral Cearense	26
2.2 Mudanças Climáticas e Variações do Nível do Mar	27
2.3 O Ambiente Costeiro/Litorâneo.....	32
<i>2.3.1 Tabuleiro Costeiro</i>	<i>32</i>
<i>2.3.2 Planície Litorânea</i>	<i>34</i>
<i>2.3.2.1 Praias</i>	<i>34</i>
<i>2.3.2.2 Planície de Deflação</i>	<i>37</i>
<i>2.3.2.3 Dunas</i>	<i>38</i>
<i>2.3.3 Planície Flúvio-marinha</i>	<i>39</i>
3 DINÂMICA	41
3.1 Elementos Dinâmicos do Litoral Cearense.....	42
3.1.1 O Clima	42
<i>3.1.1.1 Regime Térmico</i>	<i>42</i>
<i>3.1.1.2 Precipitação</i>	<i>43</i>
<i>3.1.1.3 Regime Eólico</i>	<i>45</i>
3.1.2 Interface Terra-Mar	48
<i>3.1.2.1 Ondas</i>	<i>48</i>
<i>3.1.2.2 Marés.....</i>	<i>50</i>
<i>3.1.2.3 Correntes.....</i>	<i>50</i>

3.2 Dinâmica Geoambiental do Transpasse Costeiro Cearense.....	51
3.2.1 <i>Promontório-Praia-Duna</i>	51
3.2.2 <i>Domínios Morfodinâmicos: Células Sedimentares</i>	57
3.2.3 <i>Dinâmica Sócio-ambiental do Litoral Cearense</i>	61
3.2.3 <i>Proteção e Gestão dos Campos de Dunas</i>	64
4 AS DUNAS NO CEARÁ: MORFOLOGIA E DINÂMICA PRETÉRITA.....	69
4.1 Morfologia e Idade das Dunas Cearenses	71
4.1.1 <i>Primeira Geração (G1) e Segunda Geração (G2)</i>	71
4.1.2 <i>Terceira Geração (G3)</i>	72
4.1.3 <i>Quarta Geração (G4)</i>	73
4.1.4 <i>Quinta Geração (G5)</i>	75
4.2 Dinâmica Pretérita	76
4.2.1 <i>O Sobe e Desce das Dunas: O Transpasse em Ponta Grossa</i>	76
4.2.2 <i>Um Litoral Antigo: As Dunas do Iguape</i>	78
4.2.3 <i>Os Mares de Areias: Pecém e Paracuru</i>	80
4.2.4 <i>Trânsito Livre: As Dunas em Jericoacoara</i>	89
5 ANÁLISE ESPACIAL: O TRANSPASSE COSTEIRO HOJE.....	92
5.1 A Dinâmica Espaço-Temporal das Dunas de Transpasse no Ceará	93
5.1.1 <i>E o Sobe e Desce Continua: As Dunas de Ponta Grossa</i>	93
5.1.2 <i>Iguape e o Avanço do “Lazer”</i>	100
5.1.3 <i>O Escolhido: Pecém e a Estrutura Portuária</i>	108
5.1.4 <i>Paracuru: O Mar de Areia avança ou recua?</i>	117
5.1.5 <i>Jericoacoara: De Lençóis à Barcanas</i>	125
5.2 Dunas, para as Próximas Gerações?	132
CONCLUSÕES.....	141
REFERÊNCIAS	145

INTRODUÇÃO

INTRODUÇÃO

Com o objetivo de apresentar a evolução espaço-temporal dos campos de dunas de transpasse no litoral cearense, mapeou-se 05 (cinco) setores ao longo da costa leste e oeste do Ceará a fim de apresentar os cenários pretéritos e atuais e sua evolução ao longo dos últimos 58 anos.

As dunas contornam toda a faixa costeira do litoral cearense ao longo dos seus 573 km com dimensões e contextos ambientais diferenciados. Um desses contextos se refere a disposição ao longo de promontórios ou pontas litorâneas estabelecendo uma dinâmica de circulação sedimentar entre setores ao longo do litoral. A dinâmica é denominada de *bypass* ou transpasse costeiro de sedimentos realizado através de dunas que transpassam os pontais e chegam a praia adjacente realimentando a dinâmica costeira.

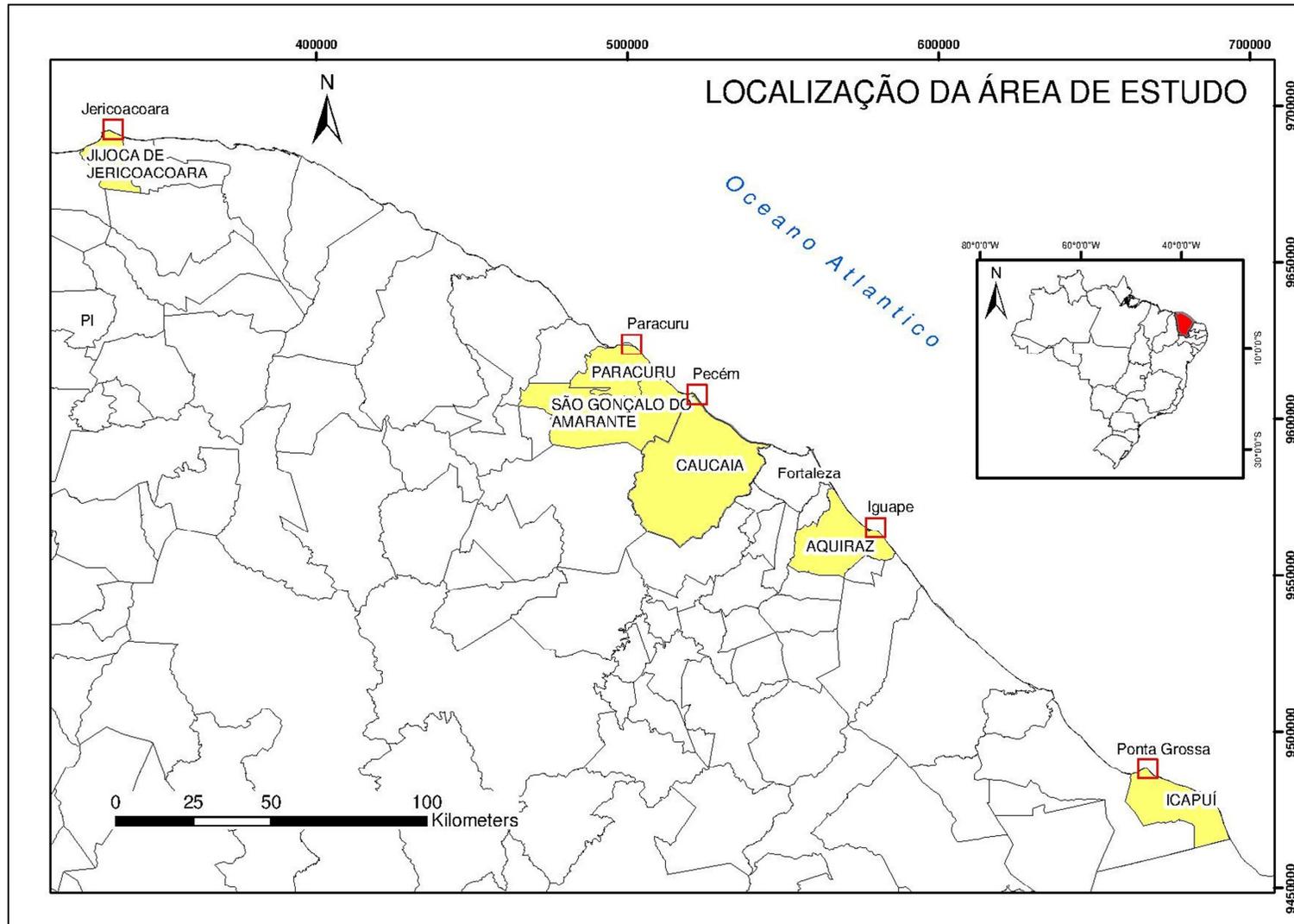
Essa dinâmica tem relevância ao estabelecer, através do campo de dunas, a ligação entre os sedimentos que saem do sistema praial para a formação de dunas e voltam para a faixa de praia adjacente, incorporando novamente parte desses sedimentos. A circulação desses sedimentos também contribui para a diminuição do déficit sedimentar que ocorre naturalmente nos setores à sotamar de promontórios.

Os campos de dunas no litoral do Estado do Ceará apresentam-se dentro do contexto de transpasse costeiro, seja por promontórios ou através de estuários que recebem esses sedimentos e os depositam novamente no sistema litorâneo, sobretudo nos períodos chuvosos, de fluxos fluviais mais acentuados. O estudo levou em consideração na escolha dos domínios analisados a ocorrência de transpasses costeiros ativos hoje ou no passado que pudessem ser visualizados através de imagens de satélite ou fotografias aéreas, além de setores que se apresentam como importantes contextos de usos atuais e futuros.

Dentro desse arcabouço elegemos as áreas de transpasse (seguindo a dinâmica das correntes litorâneas cearense – de leste para oeste) de (1) Ponta Grossa, no litoral de Icapuí; (2) Iguape, em Aquiraz, ambos no litoral leste de Fortaleza; (3) Pecém, entre os litorais dos municípios de Caucaia e São Gonçalo do Amarante; (4) Paracuru, em município homônimo e (5) Jericoacoara, em Jijoca de Jericoacoara, litoral oeste de Fortaleza (Figura 1).

A análise espaço-temporal dos campos de dunas nos setores analisados tem importância ao contribuir no conhecimento da atual situação dos campos de dunas cearenses com relação a dinâmica e processos atuantes ligados atualmente a ocupação dessas áreas e seu entorno como praias.

Figura 1 – Área de Estudo



Fonte: Mapa Político - IPECE (2014). Execução: Mônica Pinheiro (2015)

Uma gestão costeira adequada passa pelo conhecimento de todo o processo e dinâmica atuante e o entendimento de como evoluíram ao longo do processo de ocupação.

Assim, inicia-se o trabalho com a apresentação da metodologia e as técnicas utilizadas para o desenvolvimento da tese. Nesse capítulo apresenta-se a abordagem metodológica que embasa o desenvolvimento científico do trabalho, além de expor os materiais e as tecnologias adotadas divididas em atividades de gabinete, campo e laboratório.

O capítulo posterior inicia a discussão sobre a gênese de dunas a partir do entendimento da origem do litoral cearense, os fundamentais processos atuantes na sua formação, passando pelas alterações climáticas que resultaram em variações do nível do mar, importantes na compreensão da morfologia atual da zona costeira. Na sequência trata-se das unidades geoambientais encontradas no litoral cearense, suas principais características de origem e evolução.

Posteriormente, no capítulo 3 apresenta-se a dinâmica natural e sócio-ambiental no litoral cearense iniciando com os parâmetros climáticos atuantes, além da interface terra-mar das ondas, marés e correntes. Em seguida, a dinâmica dos transpasses e sua evolução são apresentados e analisados, a partir do conhecimento dos processos atuantes em setores de promontórios e a resultante formação de células sedimentares ao longo da costa. Dentro do contexto da dinâmica sócio-ambiental discute-se a situação atual em cada município integrante dos setores analisados, além da contextualização dos campos de dunas dentro da legislação ambiental brasileira.

O quarto capítulo, intitulado As Dunas no Ceará: Morfologia e Dinâmica Pretérita apresenta o enquadramento das dunas no Ceará dentro da morfologia etária particularizando sua ocorrência em cada setor estudado. Na sequência do capítulo apresenta-se e discute-se o mapeamento pretérito, no ano de 1958 realizado em cada setor proposto.

A dinâmica atual e a análise espaço-temporal são apresentadas no capítulo posterior com a discussão, a partir dos mapas geoambientais, modelos digitais de elevação e perfis topográficos, da evolução e posição de usos dos campos de dunas hoje em cada setor selecionado. Discute-se a evolução espaço-temporal dos campos de dunas selecionados e apresenta-se quantitativamente as alterações das áreas de dunas, a evolução da dinâmica de avanço e recuo das dunas, mobilização ou fixação e o crescimento da urbanização sobre esse ambiente. Finaliza-se a tese com a apresentação das conclusões extraídas com as análises realizadas a partir do referido estudo.

1 METODOLOGIA

1 METODOLOGIA

1.1 A Abordagem Metodológica

A perspectiva metodológica para análise dos campos de dunas de transpasse da zona costeira do Ceará levou em consideração a complexidade da problemática do ambiente de dunas no estado, que integra em seu bojo aspectos naturais e sociais, fundamentais no entendimento da paisagem.

No aspecto teórico, o estudo tomou como referência a análise geoambiental, de inspiração geossistêmica, que conduz ao estudo das relações de interdependência existentes entre os componentes do meio natural e social, adaptando assim a análise geossistêmica proposta por Bertrand (1968) e Sotchava (1977). Isto quer dizer, não implicou na realização de todas as etapas indicadas por Sotchava (1977), tais como definição de geótopos, geócoros, etc, mas sim, em uma análise interativa geral dos elementos naturais entre si e destes com os usos sociais.

Os fundamentos metodológicos da análise geoambiental têm como diretriz principal a análise integrada da paisagem, de forma a permitir uma concepção globalizante e funcional do espaço, através do estudo das inter-relações entre os diversos elementos que a compõem, como indicado por Rodrigues e Silva (2002).

Nesse sentido, se reconstituirá a configuração da zona costeira, compreendendo a gênese e a dinâmica, representados no mapeamento geomorfológico das dunas de transpasse e a distribuição pretérita das dunas.

Para o desenvolvimento da pesquisa foram utilizadas técnicas associadas aos princípios metodológicos, que possibilitaram a compreensão da evolução e dinâmica espaço-temporal das paisagens dunares na área de estudo, compartimentada nos aspectos evolutivos e funcionais.

As atividades foram divididas em três etapas: atividades de gabinete, levantamentos de campo, além das atividades de laboratório, descritas a seguir.

1.2 Técnicas Utilizadas

1.2.1 Atividades de Gabinete

Esta etapa delineou-se com um levantamento bibliográfico detalhado e específico do tema e a da área de estudos abordados desde a configuração primordial da zona costeira Cearense, até a dinâmica atual, incluindo os processos de usos e ocupação que constam na literatura científica nacional e estrangeira.

Durante todo o desenvolvimento da tese foram feitos levantamentos cartográficos. Para o desenvolvimento dos mapas geomorfológicos dos setores estudados foram utilizadas bases, a partir de dados de sensoriamento remoto (Imagens *QuickBird* 2009, cedidas pela Superintendência Estadual de Meio Ambiente – SEMACE).

Foram utilizadas bases (geologia, solo, vegetação, recursos hídricos, unidades de conservação) para a utilização no Sistema de informações Geográficas – SIG's, *ArcGis* 9.3 obtidos através da plataforma cartográfica do Ministério de Meio Ambiente, além de mapas bases da plataforma Ceará em Mapas do Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará - IPECE.

1.2.2 Levantamentos de Campo

Esta etapa consistiu no reconhecimento e identificação das unidades morfológicas presentes na área em estudo, das formas dunares (dinâmica atual) e determinação do estágio atual do processo de uso e ocupação e degradação associada na área do campo de dunas em estudo. Além disso, identificou-se a distribuição pretérita do campo de dunas já antropizado, em segmentos nos quais os atributos naturais primários ainda persistem.

Os trabalhos de campo foram realizados nos 05 (cinco) setores propostos, Ponta Grossa, em Icapuí; Iguape, em Aquiraz; Pecém, em São Gonçalo do Amarante; Paracuru, em Paracuru e Jericoacoara, em Jijoca de Jericoacoara, durante todo o período do estudo, ou seja, foram realizadas pelo menos duas visitas entre os anos de 2011 e 2015 em cada setor, perfazendo, assim um tempo de análise relevante dentro do tema em apreciação.

Ao mesmo tempo, fez-se os registros fotográficos das características topográficas e morfodinâmicas em diferentes pontos, além da determinação das coordenadas geográficas, através de GPS (GARMIM-GPSmap62), do elemento abordado e estudado ao longo do desenvolvimento do tema de pesquisa proposto, a fim de ratificar o mapeamento realizado.

1.2.3 Atividades de Laboratório

O uso de produtos de sensoriamento remoto ajuda na caracterização dos sistemas deposicionais, possibilitando não só a distinção entre eles, mas também o reconhecimento de variações dentro de um mesmo sistema, como resposta da sua dinâmica de sedimentação e erosão. Além disso, essa ferramenta torna-se cada vez mais imprescindível para o monitoramento da evolução da dinâmica costeira, por meio da comparação entre séries de imagens temporais (FLORENZANO, 2008).

O mapeamento está baseado no Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas (SIRGAS). O SIRGAS foi concebido em função das necessidades de adoção de um sistema de referência compatível com as técnicas de posicionamento global, dadas por sistemas dessa natureza como o GPS. Ele foi programa para substituir o SAD-69 até o presente ano (FITZ, 2008).

As imagens de satélite e fotografia aéreas foram georreferenciadas no ArcGis 9.3 adotando-se o sistema de projeção UTM, zona 24S, datum SIRGAS 2000.

Posteriormente foi feito o processo de vetorização das imagens, a partir da interpretação visual, delimitando cada unidade geoambiental, através de criação de arquivos *shapesfiles*.

Mapeou-se a área de ocupação das dunas dos setores de transpasse costeiro cearense, subdividida em cinco setores: Ponta Grossa, Iguape, Pecém, Paracuru e Jericoacoara, a fim de proporcionar uma análise abrangente e particularizada do componente estudado em razão da dinâmica sedimentar atuante ao longo do litoral cearense.

Para a confecção dos mapas do período anterior a urbanização das faixas litorâneas estudadas foram utilizadas as fotografias aéreas do ano de 1958, disponibilizadas pelo Departamento Nacional de Obras Contra a Seca - DNOCS. Essas fotografias representam o período de tempo disponível, com qualidade, de períodos anteriores à ocupação urbana ao longo da faixa costeira cearense.

As fotografias aéreas foram digitalizadas, ou seja, transformado do formato analógico para o digital por meio de scanner. As fotografias encontram-se na escala de 1:25.000 e foram georreferenciadas e interpretadas para a vetorização das unidades geoambientais, através do software *ArcGis* 9.3.

Para a composição dos mapas no período atual foram utilizadas as Imagens do Satélite *QuickBird* (2009) igualmente trabalhadas no software *ArcGis* 9.3.

O *QuickBird* foi projetado e construído em cooperação entre as empresas *DigitalGlobe, Ball Aerospace & Technologies Corp., Kodak e Fokker Space*. O sistema coleta dados com 61 centímetros de resolução espacial no pancromático e 2,5 metros no multiespectral em um vasto campo de observação, apresenta rápida seleção de alvo e permite a geração de pares estereoscópicos. A frequência média de visita (resolução temporal) é de 1 a 3,5 dias (GASTÃO, 2010).

Inicialmente fez-se a interpretação para a elaboração do mapa das unidades geoambientais, quando foram traçados os limites entre as unidades em formato *shapefile*, sendo confeccionado, portanto, o mapa base (pré-mapeamento), que auxiliou os trabalhos de campo. Após as campanhas iniciais de campo e checagem das feições previamente mapeadas, foi possível a ratificação ou melhora dos limites pré-estabelecidos dos contatos em mapa.

Posteriormente foi realizado o cálculo das áreas, para cada setor individualizado, cujo somatório resulta em área total de cada unidade.

O relevo da área estudada foi representado por Modelo Digital de Elevação (MDE), com a representação planialtimétrica, inclinações, elevações e depressões. Para elaboração do MDE foi utilizado os dados topográficos, providos pelo projeto *Shuttle Radar Topographic Mission* (SRTM), com 3 segundos de arco (aproximadamente 90 metros de resolução espacial). A partir desses modelos foram obtidos perfis topográficos dos campos de dunas, fundamentais para a análise morfológica da área.

Uma parceria entre as agências espaciais americana (NASA), italiana (ASI) e alemã (DLR) tornou possível a aquisição de dados topográficos para 80% da superfície terrestre por meio da técnica de interferometria de radar, durante uma missão espacial denominada de *Shuttle Radar Topographic Mission* (SRTM). Este imageamento ocorreu nos primeiros onze dias do mês de fevereiro do ano 2000, gerando produtos com resolução espacial de 90 e 30m que foram posteriormente disponibilizados pelo *United States Geological Survey* (USGS) via web (SILVA e AMARO, 2008).

O sobrevoo da SRTM percorreu 16 órbitas por dia, num total de 176 órbitas. O processamento dos dados coletados visou à formação de um MDE mundial, elaborado por continente. Esses mapas foram então devolvidos à NASA para a distribuição pública por meio da USGS (FLORENZANO, 2008).

As imagens SRTM, são facilmente encontradas no site da EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisas Agropecuárias, Brasil em Relevo.

2 GENÈSE

2 GENÊSE

2.1 Origem Cretácea do Litoral Cearense

O modelado cearense e nordestino, de forma geral tiveram a sua configuração morfoestrutural primordial, com a completa ruptura das placas sul-americana e africana, datada do período Cretáceo (100 - 99 Ma) da era Mesozóica. Nesse processo foi originado o segmento equatorial do Atlântico Sul e as margens continentais do Nordeste e do centro-oeste africano (PEULVAST e VANNEY, 2001). Esses processos influenciaram de forma significativa a evolução morfoestrutural e geomorfológica posteriores (MOURA-FÉ, 2008).

A evolução da área foi na sequência controlada por flexura do continente em direção ao oceano, oscilações climáticas e variações do nível do mar. A ocupação historicamente mais recente dessa faixa costeira para usos múltiplos (urbanização, lazer, turismo, atividades econômicas diversas) representa um novo e potente agente transformador (CLAUDINO-SALES E PEULVAST, 2006).

Segundo Claudino-Sales e Peulvast (2006), os principais conjuntos morfológicos da fachada marítima cearense foram herdados da reativação tectônica cretácea que produziu a ruptura entre os continentes africano e sul-americano.

Numa sequência evolutiva sintética da zona costeira cearense temos: no Cretáceo Inferior o riftiamento no eixo estrutural Cariri/Potiguar, de orientação SE-NW e de idade neocomiana (145-130 Ma). Posteriormente, temos o abortamento ou interrupção desses riftes no Barremiano (130-125 Ma), com a Formação de bacias sedimentares do Araripe e Apodi nas fossas abortadas. Finalmente, no Aptiano/Albiano (entre 125 e 100 Ma), têm-se a abertura de fossas transformantes através de esforços transtensionais e transpressivos de orientação SE-NW e E-W, rasgando a bacia do Apodi e criando as zonas de fraturas que deram origem ao Oceano Atlântico no Nordeste equatorial brasileiro, por volta de 100 Ma.

O Cretáceo Superior teve como agente evolutivo importante na formação da zona costeira cearense o soergimento flexural do interior do continente com subsidência da zona costeira, em curso até o presente. Para o Terciário, foram significativas as variações climáticas e eustáticas, com deposição da Formação Barreiras entre o Mioceno e o Pleistoceno (30 Ma - 2 Ma), formada por sedimentos continentais (e provavelmente também litorâneos) e responsáveis pela modelagem dos tabuleiros costeiros, assim como a modelagem de formas litorâneas típicas (praias, barreiras, dunas, estuários, lagoas, planícies litorâneas).

Dos cenários antigos, todavia, pouca coisa restou na paisagem, além de verdadeiras relíquias. A ação dos processos cenozóicos erodiu e/ou inumou as estruturas primárias, mas que ainda hoje influenciam na dinâmica costeira, através, por exemplo, da alternância de compartimentos relativamente deprimidos e elevados, das mudanças de orientação da linha de costa, da presença de pontas rochosas cristalinas, como as pontas do Iguape, Mucuripe, Pecém e Jericoacoara, as quais, de forma geral, representam eixos de ruptura do continente ainda perceptíveis na paisagem cearense (CLAUDINO-SALES, 2002).

No Quaternário tem-se a conformação atual do litoral do Ceará, com a ocorrência significativa de variações climáticas e do nível do mar, e o modelamento de formas litorâneas quaternárias como praias, dunas, barreiras, planícies flúvio-marinhas, lagoas e rochas de praia.

2.2 Mudanças Climáticas e Variações do Nível do Mar

O registro geológico revela que o planeta está sujeito a importantes mudanças climáticas, que tem como causas principais fatores astronômicos, atmosféricos e tectônicos. As mudanças, com registros de períodos glaciais e interglaciais, têm reflexo marcante, não apenas no volume de água armazenada nas bacias oceânicas, mas também em grandes modificações nos sistemas de circulação oceânica e atmosférica (TESSLER, 2003).

As variações paleoclimáticas e as mudanças do nível do mar delas decorrentes têm desempenhado papel muito importante na evolução das áreas costeiras. No decorrer dos últimos dois milhões de anos ocorreram alternâncias cíclicas de períodos frios e quentes que produziram os estágios glaciais e interglaciais que, por sua vez, foram acompanhados pelas grandes regressões e transgressões marinhas quaternárias (SANTANA NETO e NERY, 2005).

As variações dos paleoníveis do mar são controladas principalmente por: flutuações nos volumes das bacias oceânicas, principalmente em consequência da tectônica de placas, causando a tecnoeustasia; flutuações nos volumes das águas contidas nas bacias oceânicas, principalmente por fenômenos de glaciação (formação de geleiras) e deglaciação (fusão de geleiras), dando origem à glacioeustasia; e deformações das superfícies oceânicas, principalmente por causas gravitacionais, causando a geoidoeustasia (SUGUIO *et al.*, 2005). Dentre essas causas, no Brasil as associadas às glaciações são as que controlaram a dinâmica litorânea, considerando que não há evidências de atividade tectônica importante na zona

costeira, desde meados do Terciário. Tampouco, as glaciações quaternárias produziram calotas de gelo no Brasil (CLAUDINO-SALES, 2002).

Desde a formação do planeta e da constituição da atmosfera terrestre, o clima tem sofrido alterações através das eras geológicas. Sabe-se que em eras remotas, o clima não foi sempre idêntico e que suas oscilações possibilitaram tanto o surpreendente desenvolvimento da vida no planeta, quanto desastres e catástrofes, como a extinção dos dinossauros e as grandes glaciações (SANTANA NETO e NERY, 2005). Picos interglaciais têm ocorrido a intervalos de aproximadamente 100.000 anos. Durante períodos glaciais, há a expansão dos lençóis de gelo continentais e polares e a diminuição do nível relativo do mar (HESP, 2000). Durante os interglaciais, ocorre o oposto: as calotas de gelo descongelam, e o nível do mar sobe.

Mudanças climáticas implicam também, em alterações na umidade relativa e na taxa de pluviosidade sobre áreas continentais, o que influencia diretamente o intemperismo, a erosão e o aporte de sedimentos terrígenos para os rios e oceanos (TESSLER, 2003). Como o clima é muito dinâmico, torna-se necessária a coleta de dados, inclusive de longos períodos de tempo, de seus principais elementos, para verificar se as variações de seu comportamento são realmente permanentes (e, portanto, correspondem a fatores de mudança climática), ou se são ciclos periódicos que tendem a se repetir de tempos em tempos, tratando-se apenas de oscilações do clima (SANTANA NETO e NERY, 2005).

As glaciações, por implicarem em mudanças do nível do mar nas zonas costeiras, são responsáveis por mudanças significativas na dinâmica litorânea, geradas pelas transgressões marinhas durante os ciclos interglaciais, e as regressões, nas fases glaciais.

Os eventos glaciais e interglaciais que ocorreram durante o Quaternário, com oscilações do nível do mar na ordem de dezenas e até uma centena de metros, ocasionaram importantes mudanças nos processos geoambientais globais, os quais também provocaram reflexos no litoral brasileiro. Comparando registros de isótopos de oxigênio em sondagens realizadas em diferentes regiões do planeta (incluindo registros nos trópicos, hemisfério Norte e Antártica) SHACKLETON (1987); BROECKER e DENTON (1991); LEDRU, *et al.* (1996), THOMPSON *et al.*, (1995), entre outros, demonstraram a extensão planetária dos últimos eventos glaciais.

Na última regressão marinha, que ocorreu entre 20 ka e 17 ka, houve um rebaixamento do nível do mar em cerca de 110 metros, expondo à atmosfera quase toda a plataforma continental brasileira, deslocando progressivamente a linha de costa e os ambientes costeiros em direção ao oceano profundo (TESSLER, 2003). Estes ambientes

costeiros, relativamente planos e predominantemente arenosos, dissecados por uma rede de drenagem que avançou sobre a plataforma, acompanhando o recuo relativo do nível marinho, foram remodelados no evento subsequente de subida do nível do mar (TESSLER, 2003).

Essas mudanças apresentam-se registradas no Brasil da seguinte forma: Há aproximadamente 17.500 anos A.P., o paleonível do mar situava-se -120 a -130m abaixo do atual. Portanto, praticamente toda a plataforma continental atual estava emersa e submetida à intensa oxidação e erosão subaérea (SUGUIO *et al.*, 2005).

O final da última glaciação, que ocorreu por volta de 13 ka, produziu uma grande transgressão marinha entre 7 ka e 5,1 ka, a última de caráter global (SHACKLETON, 1987). Porém, algumas pequenas flutuações ocorreram em intervalos de tempo pequeno até alcançar o nível marinho atual.

Há cerca de 5,5 ka, o paleonível do mar subiu entre 3m e 5m acima do atual, tendo baixado cerca de 1,5m e 2m, há aproximadamente 3,9 ka. A ascensão do paleonível do mar se deu novamente a cerca de 3,0 ka, entre 2m e 3m acima do atual. Há 2,8 ka, ocorreu novamente pequena descensão, atingindo provavelmente um nível inferior ao atual; e há cerca de 2,5 ka, foi atingido um paleonível 1,5 a 2m acima do atual (SUGUIO *et al.*, 2005).

As subidas de nível do mar nas fases tardiglaciais e pós-glaciais ocorreram a velocidades que, em termos geológicos, podem ser consideradas espantosas, pois, grosso modo, em 10.000 anos (entre 16.000 a 6.000 anos A.P.) o nível do mar subiu mais de 100m, representando taxa superior a 1 cm/ano.

Analisando-se os grandes campos de dunas atuais, fica evidente que, a disponibilidade atual de sedimentos não seria suficiente para a formação desses campos de dunas, sendo necessário, portanto, um grande aporte de sedimentos provavelmente tendo como origem a plataforma continental durante os episódios de regressão marinha.

Na atualidade, há registros de subida eustática do nível do mar, da ordem de 2 mm por ano, produzida pelo descongelamento natural e socialmente induzido, das calotas de gelo dos dois polos (PIRAZOLLI, 2000).

Em áreas mais específicas do litoral cearense foram definidos indicadores geológicos e geomorfológicos de variações do nível do mar relacionados com níveis de erosão escalonados em plataformas de abrasão marinha, paleopavimentos de mangue, terraços marinhos holocênicos e pleistocênicos, antigos corais e gerações de dunas (MEIRELES e RAVENTOS, 2002).

Foi possível definir 5 eventos eustáticos que fundamentaram a origem de um complexo conjunto de indicadores geoambientais que denunciaram os eventos de mudanças

do nível relativo do mar e climáticas na construção da planície costeira cearense (MEIRELES e RAVENTOS, 2002).

As bases para a correlação entre eventos de variações do nível relativo do mar na costa cearense, com as curvas de variações propostas para a região leste e sul do país, têm sido inspiradas principalmente em características erosivas, exemplificadas basicamente por terraços de abrasão e falésias da Formação Barreiras, enquanto as formas deposicionais são representadas principalmente pelos *beach rocks* (CARVALHO, 2003).

Os indicadores morfológicos existentes na planície costeira cearense - níveis de erosão escalonados em plataformas de abrasão marinha, paleopavimentos de mangue, terraços marinhos holocênicos e pleistocênicos, antigos corais e gerações de dunas - parecem confirmar eventos oscilatórios de alta frequência do nível relativo do mar, principalmente durante esta última fase regressiva, que teve início há, aproximadamente, 5.100 anos A.P (MEIRELES *et al.*, 2000). A presença de paleoplataformas de abrasão escalonadas, com notchs (entalhes basais) ao longo da planície costeira de Jericoacoara atribuídos a distintos níveis altimétricos do mar (MEIRELES *et al.*, 2003), diferentes da cota atual, foi relacionada com as oscilações de alta frequência.

A presença de paleofalésias, da altitude da plataforma situadas acima do nível marinho atual, bem como de planícies litorâneas desenvolvidas no sopé de paleofalésias (litoral do município de Icapuí; Barra Nova, em Beberibe e Porto das Dunas em Aquiraz), parece indicar a ocorrência de variações marinhas holocênicas moderadas no Ceará, com ocorrência de níveis elevados inferiores aos 5,1 ka detectados para o resto do país (CLAUDINO-SALES e PEULVAST, 2006). Pode-se avaliar que a transgressão holocênica parece ter atingido cotas da ordem de 2,7 m a 3,0m em relação ao nível médio do mar (NMM) (CLAUDINO-SALES e PEULVAST, 2006).

A ação abrasiva dessa transgressão teria produzido uma linha descontínua de paleofalésia ao longo de quase toda a faixa costeira leste e central. Hoje essas paleoformas estão mascaradas, onde existem, por acumulações dunares, não apresentando mais do que uma modesta descontinuidade topográfica entre o litoral e a costa (CLAUDINO-SALES e PEULVAST, 2006).

Os campos de dunas do litoral cearense foram também correlacionados com os eventos eustáticos de alta frequência. A disponibilidade de sedimentos em períodos do nível do mar mais baixos do que o atual, para a formação de campos de dunas contínuos com mais de 20km de largura (com altitudes que ultrapassaram 60m) foi utilizada como importante indicador morfológico para avaliar alterações do nível relativo do mar. Aliado à ocorrência de

eolianitos e a fisiografia do sistema eólico, foram definidas as bases para modelos evolutivos que auxiliaram na composição dos indicadores geoambientais de mudanças do nível relativo do mar e flutuações climáticas durante o último evento glacial e interglacial subsequente (MEIRELES e RAVENTOS, 2002).

Esta ascensão, muita rápida em termos geológicos, afetou tanto as costas em soerguimento como em subsidência, promovendo transgressões marinhas e provocando a deposição de sedimentos marinhos (SUGUIO, 1999). Em suma, pode-se dizer independentemente das causas, que a maior parte do litoral brasileiro tenha estado em submersão até cerca de 5,1 ka seguida de emersão até os nossos dias (SUGUIO, 1985).

Do ponto de vista da disponibilidade de sedimentos produzida pelas últimas transgressões marinhas no Ceará, para Claudino-Sales e Peulvast (2006), parece que nunca houve um grande estoque de materiais terrígenos disponível, a partir de mudanças do nível do mar, exceto o necessário para a edificação de vastos campos de dunas, sem a ocorrência, por exemplo, de planícies litorâneas bem desenvolvidas como em outros segmentos da margem continental brasileira. Em outras palavras: a disponibilidade de sedimentos controlada pelos climas e a dinâmica litorânea dominante parece ter propiciado o desenvolvimento dos campos de dunas (que ocorrem com semelhante dimensão apenas em outros pequenos setores do Brasil), em detrimento de extensas planícies litorâneas quaternárias (CLAUDINO-SALES e PEULVAST, 2006).

Para a formação desse campo de dunas, uma área fonte importante, segundo Giannini *et al.* (2001) são os sedimentos eólicos depositados em contexto de mar baixo, que teriam sido fornecidos pela erosão eólica da Formação Barreiras, devido ao rebaixamento do nível de base, com a regressão marinha. As dunas deste contexto seriam formadas a partir do retrabalhamento de areias da planície exposta na regressão. A maior importância da Formação Barreiras como litologia-fonte imediata nos períodos de nível do mar muito mais baixo do que o atual, explicaria a formação de dunas de coloração mais vermelha e de granulação mais grossa nesses períodos (BARRETO *et al.*, 2004).

As variações do nível do mar poderiam assim, condicionar a formação de diversas gerações de dunas, em função de mudanças nas condições de mobilização de sedimentos na zona litorânea. Entretanto, na costa cearense, os sistemas dunares não são ainda bem associados a períodos glaciais precisos, tampouco bem correlacionados com tais variações, tanto mais que as dunas mais antigas, sem dúvida anterior ao pico da transgressão holocênica, não correspondem a níveis topográficos identificados (CLAUDINO-SALES e PEULVAST, 2006). Na verdade, as diversas gerações de dunas, com suas respectivas morfologias, parecem

estar mais associadas a curtos períodos de variações climáticas ocorridas desde o Pleistoceno do que às oscilações do nível do mar.

Com efeito, datações recentes realizadas nos campos de dunas do Estado do Ceará demonstram que não há relação direta entre a formação de gerações de dunas e variações do nível do mar (TSOAR *et al.*, 2009). As mudanças climáticas que propiciaram a formação de diferentes idades de dunas parecem, portanto resultar de eventos não relacionados às glaciações e mudanças eustáticas (CLAUDINO-SALES e PEULVAST, 2006; MAIA *et al.*, 2008) e sim a curtos períodos de mudanças no clima a partir do Pleistoceno.

2.3 O Ambiente Costeiro/Litorâneo

2.3.1 Tabuleiro Costeiro

Classicamente, a evolução sedimentológica da Formação Barreiras é associada a ciclos erosivos relacionados às oscilações climáticas que teriam predominado no período Terciário, originando extensos pediplanos (MOURA-FÉ, 2008).

Esse depósito sedimentar de idade Terciária (Mioceno superior à Plioceno – 10,4 à 1,16 M.a) estende-se por boa parte do litoral brasileiro. Se morfologicamente podem ser resumidos nas formas tabulares que se situadas na zona costeira (tabuleiros costeiros), às vezes, com incursões até a zona litorânea, sofrendo a influência e até mesmo, a ação marinha, resultando na modelagem das falésias (MOURA-FÉ, 2008).

Os depósitos da Formação Barreiras também foram definidos como uma sucessão de lentes e leitos de sedimentos clásticos afossilíferos, pouco consolidados, constando de folhelhos, arenitos de todas as granulométricas e conglomerados (CLAUDINO-SALES, 1993), ou ainda, como um depósito que corresponde a arenitos, siltitos, argilitos e conglomerados, frequentemente lenticulares, formando falésias na costa e bancos nas margens dos rios costeiros (MAIA, 1998).

Peulvast e Claudino-Sales (2004) ressaltam que os sedimentos da Formação Barreiras apresentam camadas vermelho-amarelas ou brancas, areno-argilosas, com menores quantias de cascalhos de quartzo e leitos de argila mais profundos.

Os solos da Formação Barreiras no Ceará estão associados aos Argissolos Vermelho-Amarelos que são solos caracterizados por apresentarem perfis profundos e muito profundos com sequência de horizontes A, Bt e C, textura média e argilosa. Quimicamente são solos ácidos à moderadamente ácidos, e podem apresentar baixa ou alta fertilidade

natural, sendo assim distróficos (desprovidos de reservas de nutrientes), ou eutróficos (quando possuem melhores condições de fertilidade) (PEREIRA e SILVA, 2005).

Dos 05 (cinco) setores estudados somente 02 (dois) apresentam promontórios sustentados por rochas sedimentares da Formação Barreiras, Paracuru e Ponta Grossa. Contudo, essa feição ocorre em todo o litoral cearense, bordejando a zona costeira, por vezes chegando a linha de praia na forma de Falésias e na maioria das vezes em contato direto com os campos de dunas mais antigos.

É importante ressaltar a caracterização da Formação Barreiras ao longo do litoral de Icapuí, implicando na idade relativamente jovem (neógena) do expressivo evento tectônico que a afeta (previamente atribuído, por alguns autores, ao Cretáceo, ao correlacionar essas rochas siliciclásticas com a Formação Açú). A Formação Barreiras na área compreende duas litofácies, dispostas verticalmente em contatos normais, em discordância ou por falhas (SOUSA *et al.*, 2008) (Figura 2).

Figura 2 – Tabuleiro costeiro formando falésias e paleofalésias em Ponta Grossa



Foto: Mônica Pinheiro (2012)

A denominada fácies inferior é composta por arenitos siltico-argilosos com estratificação cruzada de baixo ângulo; a fácies superior é caracterizada por arenitos médios a grossos, maciços, com intercalações conglomeráticas. Excetuando o setor fortemente deformado, acima referido, estas fácies ocorrem como camadas horizontalizadas. A

Formação Tibau que ocorre na área é lateralmente interdigitada com a Formação Barreiras. Capeando as unidades anteriores ocorrem sedimentos correlacionados à Formação Potengi, que aflora ao longo de todo o trecho estudado, em contatos basais por discordância, ora estratigráfica, ora estrutural (SOUSA *et al.*, 2008).

2.3.2 Planície Litorânea

Abrangem uma faixa quase contínua posicionada entre o mar e os Tabuleiros Costeiros, interrompidas apenas pelas desembocaduras dos rios que chegam ao oceano. No Ceará, as principais desembocaduras estão relacionadas aos rios Jaguaribe, Choró, Pacoti, Curu, Acaraú e Coreaú.

A Planície Costeira do Estado do Ceará apresenta, grosso modo, dois setores distintos, um de orientação SE-NW, na forma de amplo segmento de linha de costa, que se estende do município de Icapuí, extremo leste, até o município de Acaraú, litoral oeste, a partir de onde o litoral muda bruscamente de direção, apresentando orientação geral E-W até o limite oeste do estado, no município de Barroquinha.

Tal feição abrange em seus limites formas de relevo específicas referente às praias, dunas e planícies de deflação, descritas a seguir.

2.3.2.1 Praias

As praias são faixas alongadas, de largura variável, constituídas por sedimentos não consolidados de natureza quartzosa em contato permanente com o mar. Elas se encontram diversificados ao longo de toda extensão do litoral cearense, sofrendo breves interrupções pelos estuários ou falésias. Por vezes, também apresentam afloramentos rochosos relacionados ao embasamento ou antigas linhas de praia como os *beach rocks* (rochas de praia). No Ceará as praias sofrem influência, em geral, de estuários, lagunas, falésias e promontórios que as diferenciam em morfologia e dinâmica.

Na praia de Ponta Grossa, a morfologia é representada por uma faixa plana e estreita que se limita através da ocorrência de falésias e paleofalésias em toda a sua extensão.

Segundo Meireles (2002), em Ponta Grossa as areias apresentam uma granulação mais grossa e mineralogia compatível com os outros setores, uma vez que está à jusante da deriva litorânea dos sedimentos. Evidenciam aspectos geológicos associados a uma diversificada fonte de sedimentos, vinculada aos canais flúvio-marinhos, materiais derivados

da erosão das falésias e praias antigas durante o ataque das ondas na maré alta e areias biodetríticas derivadas da plataforma continental. A presença de fragmentos de rochas, normalmente associados com nódulos de óxido de ferro, é associada à erosão das falésias.

A praia do Iguape está localizada em uma pequena enseada formada pela expansão lateral da energia das ondas que se chocam nos afloramentos de rochas quartzíticas que formam a ponta homônima. A continuidade da linha de costa é quebrada pela desembocadura da Laguna do Iguape. A extensão média da faixa de praia é de 140 metros estando a zona de pós-praia extensivamente ocupada por casas de veraneio e barracas de praia. A declividade de praia (estirâncio) é alta com valor médio de 7° (PINHEIRO *et al.*, 2003).

A faixa de praia à barlar, como pode ser visualizada na figura 3, possui faixa de praia com presença de afloramentos rochosos do promontório e dunas frontais no seu limite com a planície de deflação.

Figura 3 – Faixa de praia à barlavento do promontório em Iguape.



Foto: Mônica Pinheiro (2014)

Morfologicamente, o perfil da faixa praial está representado por diversas feições, constituídas por areias quartzosas e fragmentos de conchas. Em determinados locais, a face de praia é marcada por exposições de rochas de praia, as quais formam cordões paralelos à linha de costa na zona de estirâncio, próximo à desembocadura dos principais rios (BRANCO *et al.*, 2005).

As rochas pré-cambrianas pertencentes ao Complexo Gnáissico-Migmatítico (Bandão 1995) afloram na faixa praias em forma de promontório quartizítico, Ponta do Iguape, provavelmente, associado às estruturas tectônicas regionais (BRANCO *et al.*, 2005).

Em Pecém, as praias seguem a norma geral da dinâmica imposta pelo promontório com engorda à barlar e recuo/erosão a sotamar. Entre a foz do rio Cauípe e o promontório do Pecém a faixa de praia se alarga e, assim como no Iguape formam alinhamento de dunas frontais.

Em Paracuru a praia se individualiza entre os setores à sotamar e barlar do promontório. À barlar, apresentam extensa faixa de areia com presença de dunas frontais no pós-praia. Já à sotamar a faixa de areia, nos setores de enseada, se limita a pequenos trechos, e por vezes, sofre a influência da intensificação da ocupação urbana da cidade de Paracuru, com indícios de erosão em seus limites. Afloramentos da Formação Barreiras são predominantes nos setores de sotamar.

Em Jericoacoara, assim como em Paracuru, a faixa de praia sofre progradação a montante ou à barlar, proporcionando praia mais extensa. Os afloramentos de rochas cristalinas são encontrados ao longo do promontório, onde a faixa de areia chega a dissipar-se. A praia à sotamar é alimentada permanentemente pelo campo de dunas de transpasse.

Rochas de praia ou *beachrocks* estão presentes tanto na região de pós-praia plana ou suavemente inclinada próximo da Vila de Jericoacoara ou no leste quanto nas áreas escarpadas ao longo da área setentrional do promontório. Encontram-se dispostas em faixas descontínuas de até 20m de largura. Mergulham suavemente em direção ao mar. Apresentam estruturas de abrasão marinhas basais que, após sofrerem diáclase, tornam suscetíveis a formação de placas. Na superfície das rochas de praia verifica-se a formação de depressões arredondadas conhecidas como marmitas (JULIO *et al.*, 2012).

Em Ponta Grossa, Pecém e Jericoacoara são encontrados as chamadas Flechas Litorâneas, ou *spits*. Essas flechas são barreiras arenosas emersas que se alongam paralelamente à faixa de praia, da qual são separadas por extensões aquáticas tais como Lagunas, canais de marés, braços de mar e segmentos fluviais. Apresentam extensões superiores a 1 km e resultam da acumulação de sedimentos na zona infra-litorânea em resposta a ação de ondas e correntes (PEULVAST e CLAUDINO-SALES, 2006).

As barreiras do tipo *spit* desenvolvem-se onde ocorrem inflexão da linha de costa e a sotamar de pontas litorâneas. As pontas produzem armadilhamento de areias e difração de ondas, fatores que propiciam a acumulação de sedimentos (PEULVAST e CLAUDINO-SALES, 2006).

2.3.2.2 *Planície de Deflação*

A planície de deflação corresponde a faixa de terra posicionada entre a faixa de praia e/ou campo de dunas frontais e o início do campo de dunas móveis. São áreas onde ocorrem processos de erosão eólica e a migração de sedimentos, em geral, para a formação de dunas costeiras.

Possui uma dinâmica periódica onde ora se observa a expansão das lagoas temporárias, quando há maior atuação da deflação, e ora se constata a tendência de deposição de material, quando há disponibilidade de sedimentos no sistema praiar (AGUIAR e CESTARO, 2012).

Apresentam intercalação de ambientes sem cobertura vegetal e outros com predomínio de vegetação pioneira herbácea. São ambientes importantes do ponto de vista do desenvolvimento da planície costeira ao preservar as marcas de migração das dunas durante seu processo evolutivo, junto às lagoas freáticas que surgem ao longo de sua superfície.

Dos 5 (cinco) setores estudados, somente Icapuí não possui planície de deflação estabelecida em razão da disposição da morfologia costeira com predomínio de falésias e paleofalésias.

As maiores planícies de deflação, nos setores estudados são encontradas em Pecém (Figura 4), Paracuru e Jericoacora, esta última envolve na sua superfície a migração atual da cadeia de dunas barcanas.

Figura 4 – Planície de Deflação na praia do Pecém.



Foto: Mônica Pinheiro (2013)

2.3.2.3 Dunas

As dunas compreendem relevos ondulados a suave ondulados de composição arenosa constituídas, predominantemente por sedimentos quartozosos, de coloração esbranquiçada a avermelhada, resultantes da atividade eólica.

Depois que a areia movimentada por ondas e correntes é depositada na praia e exposta ao ar, ela seca e é movimentada pelos ventos, normalmente por saltação ou arraste. Assim, quando os ventos sopram do mar eles acabam por levar as areias das praias em direção ao continente, desenvolvendo campos de dunas. Desta forma, a orientação dos campos de dunas retrata a direção dos ventos dominantes na região costeira (VILLWOCK *et al.*, 2005).

A proximidade do vento em relação à superfície terrestre influi, sobremaneira, em sua velocidade devido ao atrito da massa de ar com os obstáculos presentes, como vegetação, relevos, etc. Assim, a velocidade do vento aumenta com o afastamento da superfície, porém a partir de determinada altitude, que depende das condições locais, ela não mais se modifica significativamente (SÍGOLO, 2003).

O transporte é realizado a cerca de 30 cm acima do solo, mas em grande parte, em torno de 94% está limitado aos 10 primeiros centímetros. As areias grossas são transportadas por arrasto e as areias finas por saltação (SÍGOLO, 2003).

Em relação à granulometria dos sedimentos a serem transportados, as areias grossas com 0,5 mm de diâmetro são transportadas, sobretudo por rolamento, enquanto as areias finas com 0,18mm de diâmetro, por saltação (MAIA, 1998).

As características morfológicas e evolutivas das dunas costeiras dependem dos processos de remoção, transporte e deposição das areias pelo vento (TOMAZELLI, 1990).

Existem duas classificações principais, uma baseada na estrutura interna e outra segundo seus aspectos morfológicos. De acordo com a primeira classificação tem-se as dunas estacionárias onde os grãos vão se agrupando de acordo com o sentido preferencial do vento, apresentando formas assimétricas, sendo de baixa inclinação a barlavento e íngreme a sotavento. As sucessivas camadas vão sendo depositadas sobre a superfície, criando uma estrutura estratificada. Já as dunas migratórias têm no início do transporte os grãos seguindo o ângulo de barlavento e depositando-se em seguida a sotavento. Isso gera uma estrutura interna de leitos com mergulhos aproximados da inclinação da área a sotavento. Esse deslocamento contínuo causa a migração total da duna (TORRES, 2012).

Em relação aos aspectos morfológicos, existem diversas classificações, contudo as formas mais comuns podem ser classificadas como: Barcanas, Barcanóides, Dômicas,

Estrelas, Frontais, Longitudinais ou Lineares, Parabólicas, Transversais e formas erosivas como os *Blowouts*.

Os campos de dunas no Estado do Ceará são encontrados ao longo de toda extensão costeira, em diferentes dimensões e morfologias. As dunas móveis migram sobre a planície, sendo interrompidas pelos estuários de rios e lagoas, seguindo a dinâmica eólica que se estabelece, predominantemente, no sentido SE-NW. São destaque as morfologias de Lençóis de Areia ou dunas compostas, Barcanas e Barcanóides. Já as dunas fixas, cobertas por vegetação arbórea-arbustiva e com formação de solos, margeiam o limite das dunas móveis com os Tabuleiros Costeiros, no interior do continente. Apresentam-se, geralmente, sem forma definida, porém também encontram-se dunas do tipo Parabólicas (Pecém e Iguape).

A identificação e análise dos principais tipos de dunas em cada setor estudado serão apresentadas de forma pormenorizada no capítulo 3.

2.3.3 *Planície Flúvio-Marinha*

As planícies flúvio-marinhas são ambientes de relevo plano localizados junto aos baixos cursos fluviais. São compostas de sedimentos argilosos, argilo-siltosos e argilo-arenosos, ricos em matéria orgânica. Nestas planícies formam-se os manguezais, que constituem ecossistemas produtivos e de grande valia ecológica para a fauna de todo o litoral, e onde se desenvolve uma vegetação típica, que são os mangues (Figura 5).

Figura 5 – Bosque de manguezal do Rio Guriú em Jericoacoara.



Foto: Mônica Pinheiro (2013)

A vegetação de mangue estende-se pelas áreas de inundação das planícies flúvio-marinhas, correspondentes ao ecossistema denominado manguezal. No Ceará, devido ao caráter de clima semi-árido do interior do estado, onde se originam as bacias hidrográficas, a vegetação de mangue não é muito ampla, nem tampouco suas árvores possuem grandes dimensões.

Nas áreas estudadas destacam-se os manguezais de pequenos rios da Bacia Litorânea como Guriú, em Jericoacoara, Laguna de Iguape e Rio Guaribas, no Pecém. A figura 5 acima mostra parte da área do manguezal do rio Guriú com presente de ponte utilizada no trânsito entre a praia de Jericoacoara e a sede do município.

A partir do conhecimento da origem e evolução da zona costeira e seus ambientes, também faz-se necessário o entendimento da dinâmica no espaço costeiro, das condições climáticas à dinâmica sedimentar, é o que será apresentado no próximo capítulo.

3. DINÂMICA

3.1 Elementos Dinâmicos do Litoral Cearense

A dinâmica do litoral cearense está relacionada a fatores naturais e sociais que os influenciam. Iniciamos com as características das condições climáticas do Estado do Ceará apresentando as médias de precipitação, temperatura e regime eólico representativos dos setores analisados no presente estudo. Em seguida, analisamos e discutimos a dinâmica sedimentar em áreas de promontórios, os transpasses e sua resultante dinâmica que são as células sedimentares. Finalizamos com a apresentação da dinâmica de ocupação de cada área estudada, assim como as relações legais de uso e ocupação das áreas de dunas costeiras.

As condições climáticas do Estado do Ceará são muito diferenciadas e estão relacionadas à interação de diferentes sistemas de circulação atmosférica com os fatores geográficos. Essas condições climáticas influenciam sobremaneira na atuação dos processos da dinâmica litorânea e costeira, principalmente no comportamento das formações dunares. Portanto, faz-se necessário seu detalhamento para melhor se entender a gênese e dinâmica na zona costeira.

A localização do Estado próximo à linha do Equador favorece uma intensa insolação durante o ano todo e, dessa forma muito calor, caracterizando-o como uma área típica de climas tropicais. A altitude, a disposição do relevo e a proximidade ou distancia da superfície oceânica proporcionam as diferenciações locais dos climas no Estado.

3.1.1 O Clima

3.1.1.1 Regime Térmico

O regime térmico da região é caracterizado por temperaturas elevadas e amplitude térmica sazonal reduzida. O regime térmico da região é caracterizado, basicamente, por temperaturas elevadas e amplitudes reduzidas. Por sua proximidade à linha do equador, as médias climatológicas das temperaturas mensais no Ceará, especialmente na faixa litorânea, têm uma amplitude de variação anual relativamente pequena. As temperaturas máximas variam de 29,4°C (março) a 30,7°C (novembro). Os valores mínimos de 21,2 °C a 23,7 °C são registrados em julho e no triênio (janeiro/ fevereiro e março) (FUNCEME, 2014).

A insolação é bastante intensa na área litorânea, atingindo uma média anual de 3000 horas, sendo mais forte no mês de outubro decrescendo no mês de março (180h e 4 décimos) o que corresponde nos períodos secos uma incidência solar média diária em torno de 8 horas/dia. Nos períodos chuvosos este valor situa-se por volta de 6 horas/dia. Em virtude do elevado teor de insolação, as médias mensais de evaporação são também bastante elevadas, perfazendo entre o ano de 2001 e 2002 o total de 1.472 mm, com valores máximos entre os meses de agosto a novembro (FERREIRA e MELLO, 2005).

3.1.1.2 Precipitação

No litoral, os índices pluviométricos são elevados, oscilando entre 1000 e 1350 mm anuais. É caracterizada por índices de precipitações do tipo tropical com estação de chuvas concentradas em 4 meses consecutivos, entre dezembro a maio, com um ciclo de variação anual.

As condições pluviométricas no Estado mantêm uma estreita relação com o processo de deslocamento ou migração da Zona de Convergência Intertropical - ZCIT. A ZCIT constitui uma grande região de baixa pressão atmosférica localizada próximo ao Equador, onde ocorre a confluência dos ventos alísios de nordeste (NE) e sudeste (SE), caracterizando-se pelo desenvolvimento de intensa nebulosidade e chuvas (AYOADE, 2003).

Esta zona de convergência se desloca mais para o norte durante o inverno austral, entre agosto a outubro e mais para o sul, nos meses de março a abril, durante o verão no hemisfério sul.

Durante os meses de dezembro a abril a ZCIT desloca-se no sentido meridional, quando, via de regra, ocorrem as chuvas na região. Neste período, verifica-se a presença dos ventos alísios de NE, que atingem a costa com mais frequência. De julho a novembro, a ZCIT desloca-se gradativamente para o Norte, afastando-se do Equador. Neste período, as chuvas começam a diminuir até caracterizar-se o período de estiagem. Ao mesmo tempo os alísios de SE / E tornam-se mais efetivos, aumentando sua predominância em relação aos de NE.

Esse sistema atua de modo mais expressivo a partir de meados do verão e atinge sua posição mais meridional no outono. No hemisfério sul chega a latitude 6°, entre janeiro a abril, ocasionado chuvas abundantes na região (AYOADE, 2003).

O deslocamento da ZCIT está relacionado aos padrões de Temperatura da Superfície do Mar (TSM) sobre o Oceano Atlântico tropical. Quando as temperaturas estão mais elevadas no atlântico sul, a ZCIT se desloca para posições mais meridionais e se

posiciona nas áreas onde as águas encontram-se mais aquecidas. Em maio, a ZCIT inicia seu retorno em direção ao hemisfério Norte, quando entra em declínio o período chuvoso (FERREIRA e MELLO, 2005).

Outros sistemas secundários se manifestam na região e são importantes na ocorrência de chuvas para o município. Os Vórtices Ciclônicos de Ar Superior (VCAS) atuam principalmente na pré-estação chuvosa e se estendem até março, com maior intensidade nos meses de janeiro e fevereiro. As Linhas de Instabilidade (LI) geram chuvas principalmente em fevereiro e março, sendo que a proximidade da ZCIT contribui para o incremento das mesmas (ZANELLA e MELLO, 2006).

Os Processos Convectivos de Meso-escala (CCM) atuam no período chuvoso e ocorrem de forma isolada, estando geralmente associados a dias de chuvas extremas. As ondas de leste provocam chuvas principalmente nos meses de junho e julho (ZANELLA e MELLO, 2006). Além desses sistemas, as brisas podem influenciar na formação de chuvas na área costeira. Assim sendo, os maiores índices pluviométricos de Fortaleza ocorrem no primeiro semestre do ano (fevereiro a maio).

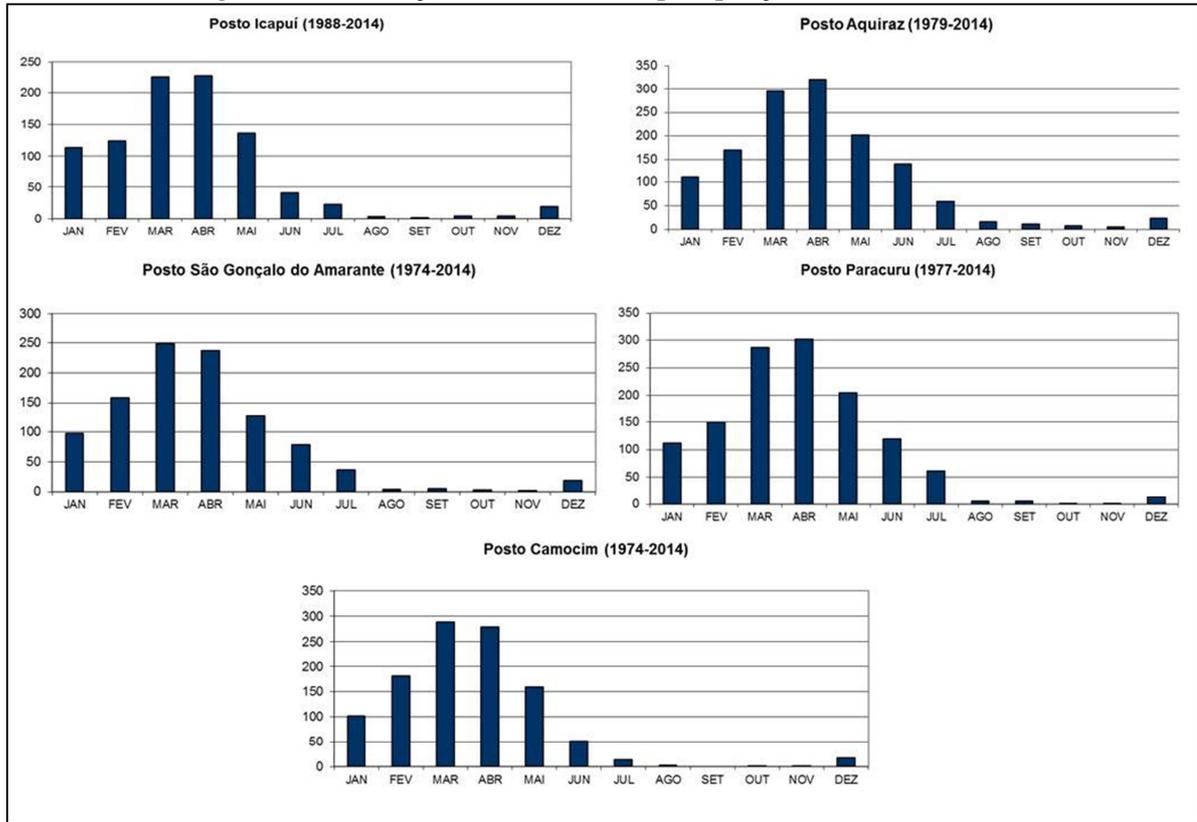
Este comportamento ou padrão climático estacional pode estar também, relacionado ao fenômeno “El Niño” que, ao favorecer uma posição da ZCIT mais ao Norte e por um maior período de tempo, prolonga, desta forma, a vigência da estação seca (ZANELLA e MELLO, 2006).

O fenômeno El Niño sistema oceânico-atmosférico caracteriza-se como o aquecimento anômalo das águas superficiais no Oceano Pacífico, entre a Indonésia e a América do Sul, ocorrendo em intervalos de aproximadamente 3 a 5 anos (ZANELLA, 2006). Entre as anomalias climáticas causadas por esse aquecimento no Brasil têm-se anos com chuvas intensas nas regiões sul e sudeste do país, durante os meses de dezembro a março e no Nordeste períodos com secas prolongadas, principalmente durante dos meses de fevereiro a maio.

Nos setores estudados, o regime pluviométrico segue o padrão do setor litorâneo do estado, apresentando pequenas diferenças entre os totais anuais. Os dados apresentam uma média de 30 anos de medição. O posto de Camocim foi utilizado para representar a pluviometria da região de Jericoacoara, já que o setor não possui registros precisos para esse fim e Camocim se encontra a cerca de 40km da área de estudo. O município de Icapuí apresentou os menores índices totais de precipitação com 940mm anuais seguido de São Gonçalo do Amarante com 1.030,00mm. Já o município de Aquiraz apresentou o maior índice

com 1.376,00mm, seguido de Paracuru com 1.279,00mm e Camocim com 1.103,00mm (Figura 6).

Figura 6 - Distribuição média mensal de precipitação no litoral cearense



Fonte: FUNCEME (2014).

A umidade relativa no ar apresenta um padrão de variação semelhante ao da precipitação com variação máxima de 12% referente aos meses de abril (85%) e outubro (73%).

3.1.1.5 Regime Eólico

O regime eólico na costa cearense é marcado pela ação dos alísios que atingem a costa com direção predominante SE e NE, e com menor frequência, de componente NE durante o primeiro semestre do ano. A interação do alísio de SE com as brisas marítimas e terrestres que se formam diariamente com direção paralela à linha de costa, produz uma direção final do vento largamente orientada para leste.

No Estado do Ceará a alternância de períodos chuvoso e seco, causada pela migração da ZCIT, coincide com a sazonalidade nas velocidades de vento na região, esta

última atingindo variações máximas de aproximadamente 30% em torno do valor médio anual (BITTENCOURT *et al.*, 1996).

Nos meses de março e abril, ápice do período chuvoso, predominam ventos de SE (120°-150°) ao longo do dia, passando a SSE-S (150°-180°) durante a noite. Considerando os dados do Aeroporto Pinto Martins em Fortaleza, a velocidade média mensal dos ventos para o período de 1993-2002 variou de 3 a 8,5 m/s. Os maiores valores são registrados entre agosto e novembro e os menores em fevereiro e março. O período entre maio e agosto é de transição, onde o ciclo térmico diurno terra-oceano passa a alternar brisas marinhas e terrestres, resultando em ventos de ENE-E (60°-90°) durante o dia, e E-SE (90°-150°) à noite. No período entre setembro-dezembro tanto os ventos alísios quanto às brisas marinhas se intensificam, com direção predominante variando de E a SE, com predomínio dos ventos alísios de E. Os ventos mais intensos são atingidos entre setembro e novembro (interanualmente variável) (MORAIS *et al.*, 2006).

Esta situação eólica que ocorre em todo o litoral cearense é responsável pela migração das dunas sobre a planície costeira a velocidades estimadas situadas entre 6 m/ano dentro dos lençóis de areia ou dunas compostas, e de cerca de 11m/ano dentro dos campos de barcanas, levando em consideração a velocidade dos ventos no Ceará (MAIA, 1998).

O vento, dentre os elementos climáticos atuantes na faixa litorânea, assume papel relevante na morfogênese da área em função principalmente, da edificação de dunas costeiras.

A orientação dos campos de dunas no Ceará apresenta-se em concordância com esse regime eólico: a velocidade dos ventos de direção NE com menor capacidade de formação de dunas, assim como uma maior umidade no primeiro semestre do ano, dificulta a mobilização das areias para SW. Assim, de maneira geral, não ocorre campo de dunas no Estado do Ceará de direção nordeste-sudoeste.

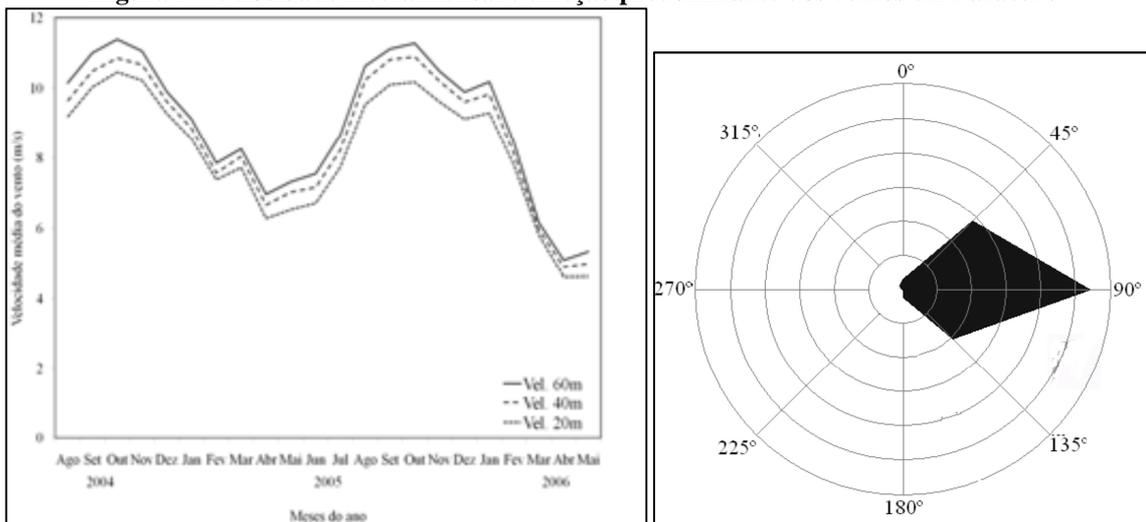
No litoral do Iguape, setor leste da costa cearense, segundo Branco *et al.* (2005), o regime eólico, assim como os índices regionais, apresenta padrão inverso ao pluviométrico, apresentando velocidades baixas na estação de alta pluviosidade, meses de janeiro a junho. Observou-se valores a 1,0 m de altura, variando de 1,23 a 7.22 m/s; e 2,0 m, na ordem de 1,34 a 6,96 m/s. Enquanto na estação de estiagem, meses de julho a dezembro, obtendo-se as mais altas velocidades, sendo notado nas alturas a 1,0 m, leituras de 2,60 a 10,0 m/s, e a 2,0 m, 3,39 a 12,4 m/s.

Dessa forma, em geral, encontram-se ventos em torno e acima da média climatológica, quando se tem a ocorrência de El Niño e ventos em torno e abaixo da média climatológica no período de ocorrência de La Niña. No segundo semestre desses anos tem-se

ventos em torno da média climatológica, que variam de 4,6 a 5,9 m/s, na região de Acaraú e ventos médios observados, com valores de 3,2 a 2,4 m/s, abaixo da média climatológica na região da estação meteorológica de Fortaleza em ocorrência de evento La Niña (JÚNIOR *et al.*, 2014).

Lira *et al.*, (2011) analisando o comportamento eólico para o litoral de Paracuru observou que durante o período diurno, compreendido entre 06:00 e 18:00 horário local, tem-se os maiores valores de velocidade média do vento, com ocorrência de valor máximo de 6,3 m/s, aproximadamente às 15:00h horário local. Essa maior intensidade nas velocidades médias do vento no período diurno explica-se pela presença de brisas marítimas. Mostram ainda que, em altitude, se tem valores de velocidade média diária do vento que chegam a aproximadamente 10,0 m/s e que os valores médios mensais de velocidade, mesmo no período chuvoso, ultrapassam os 4,0 m/s, como mostra a figura 7.

Figura 7 - Velocidade média mensal e direção predominante dos ventos em Paracuru



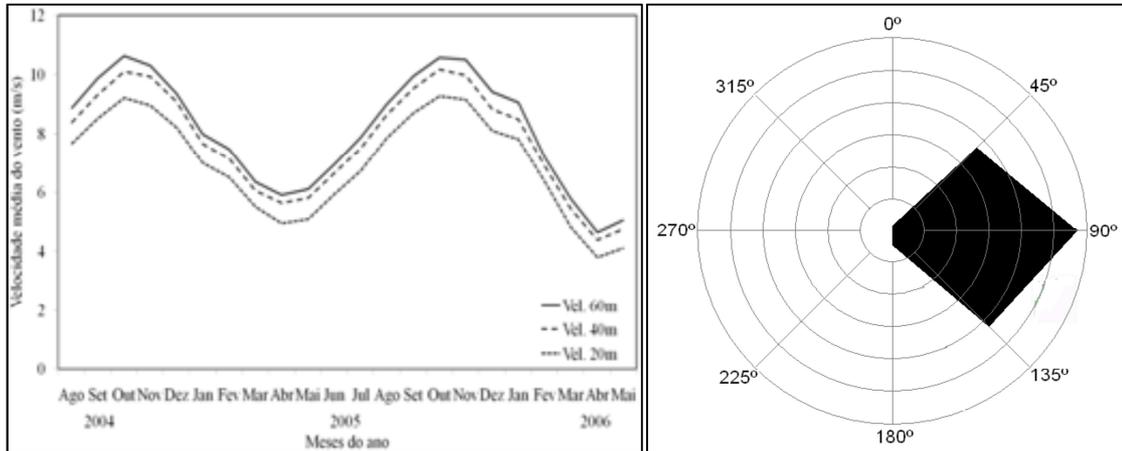
Fonte: Lira *et al.*, 2011.

Para o perfil de velocidade média mensal do vento, tem-se que os maiores valores de velocidade média ocorrem no período de julho a dezembro, coincidindo com a estação seca da região. Adicionalmente, têm-se os menores valores de velocidade média do vento no período de janeiro a maio, período de estação chuvosa da região (LIRA *et al.*, 2011).

Em Camocim, litoral oeste cearense, também a partir de dados de torres anemométricas, Lira *et al.*, (2011) observou que os maiores valores de velocidade média do vento ocorrem no período diurno, compreendido entre 06:00h e 18:00h horário local, com valor máximo de 6,2 m/s registrado por volta de 14:00h. Com relação a direção predominante

do vento ela é de leste, com variações entre as direções de nordeste e sudeste (Figura 8). Essas observações evidenciam a influência dos Ventos Alísios.

Figura 8 - Velocidade média mensal e Direção predominante do vento em Camocim



Fonte: Lira *et al.*, 2011.

3.1.2 Interface Terra-Mar

3.1.2.1 Ondas

As ondas ao depositarem sedimentos na praia contribuem para a formação de dunas: o transporte eólico retira as areias e as mobilizam costa adentro, favorecendo a formação de depósitos eólicos, as dunas. As ondas que ocorrem no litoral de Fortaleza seguem o padrão das características de ondas do Ceará.

Essas ondas apresentam formação a partir da ação dos ventos locais, (ondas do tipo *sea*), apresentando altura média significativa de 1,1m, frequência de 5 segundos e período de 15 metros (MAIA, 1998).

Com relação aos períodos de pico, os quais são utilizados para classificar os tipos de ondas (*sea* e *swell*) distingue-se ondas acima de 10s como *swell* e entre 4 e 9 s como *sea*. No primeiro semestre a frequência de ondas *swell* é bem maior, devido a diminuição da influência dos alísios de SE e o aumento a turbulência no Atlântico Norte. As ondas que banham o estado do Ceará apresentam uma forte componente de E com direções variando entre os quadrantes E, E-NE e E-SE mantendo uma estreita relação com as direções predominantes dos ventos (MORAIS *et al.*, 2006).

No litoral de Cascavel, à leste de Fortaleza, a direção predominante das ondas na arrebenção foi de 70° em relação ao norte magnético. A altura média variou sazonalmente

de 0,40 m a 1,0m com os maiores valores observados no período de estiagem. As ondas são predominantemente do tipo *sea* com período variando de 5 a 8 segundos. Entre os meses de janeiro e abril foram observadas ondas com períodos de 10 s e 14 s que estariam associadas a entrada de *swell*, o que é esperado nesse período do ano em toda a costa (PINHEIRO *et al.*, 2003).

As observações na praia do Iguape, litoral leste de Fortaleza, tomadas mensalmente, mostraram o predomínio de ondas de altura mínima constante de 1,0 m, na área do promontório, e de valores em torno de 1,1 e 1,2 m ao longo de todo o segmento litorâneo durante o período chuvoso, quando se tem a menor velocidade dos ventos. Os meses de julho, agosto e setembro foram marcados pelas maiores alturas das ondas, em torno de 1,5 m, correspondendo ao início do período de estiagem, conseqüentemente, com maior velocidade dos ventos. Os períodos das ondas variaram, no geral, de 6,0 a 10 segundos no decorrer do levantamento dos perfis praias, com exceção da área do promontório, onde os períodos oscilaram de 4,61 a 7,5 segundos, em função do substrato rochoso (BRANCO *et al.*, 2005).

Entretanto, pode-se observar, durante o período de maio a setembro, o desenvolvimento de ondas classificadas como mergulhantes, com valores do coeficiente de rebentação no intervalo de 0,068 a 0,09. Esse fato foi associado à redução da cobertura arenosa do substrato rochoso da Ponta do Iguape, imprimindo uma declividade de 10 a 15° no perfil praias (BRANCO *et al.*, 2005).

O regime de ondas do Pecém, oeste de Fortaleza, (apresenta-se com dois tipos de ondas): as ondas do tipo *sea*, ondas sob a influência do vento na área de geração (aparecem próximas à linha de costa do Pecém com direções de 75° a 120° N); as ondas do tipo *swell*, ondas fora da área de geração e não mais sob a influência do vento (se originam no hemisfério Norte e chegam no local do porto do Pecém vindo de N a NE, com uma direção média das ondas - para períodos de aproximadamente 10 a 16 s, de cerca de 20° a 45° N) (VIEIRA *et al.*, 1997).

Na estação do INPH no Pecém, para os anos de 1997 e 1998, observou-se que 27,5% dos períodos de pico estão compreendidos entre 10 a 16s, indicando ondas do tipo *swell*. Ocorre um período de 0,4% entre 17 e 19 s, porém, a maioria dos períodos de pico (72%), ocorreu entre 4 e 9s, relacionados com ondas do tipo *sea*. Dentre os 72% mencionados acima, cerca de 58% dos períodos variaram entre 4 e 7 segundos. As alturas significativas das ondas variam de 0,8-1,5 m, com maior percentual entre as alturas de 1,1 e 1,2 m (VIEIRA *et al.*, 1997).

3.1.2.2 Marés

As marés no Ceará são caracterizadas como semidiurnas, ou seja, ocorrem a cada 6 horas, revezando marés altas (preamar) e marés baixas (baixamar). Esse tipo de maré caracteriza-se, portanto, pela ocorrência da preamar e da baixamar duas vezes durante um dia lunar, ou seja, durante um período de 24 horas e 50 minutos (MAIA, 1998).

Dessa forma, encontramos condições ideais para deslocamento de sedimentos da praia em direção a zona costeira, pois, tem-se uma faixa de praia descoberta com areias mais secas em um período de tempo considerável, tornando-se propício à dinâmica dos ventos, sobretudo ao longo do segundo semestre do ano, quando ocorre uma maior intensidade dos ventos. No entanto, é necessário atentar para os seguintes fatos:

Durante 3 horas na preamar e 3 horas na baixamar, a praia fica indisponível para o vento. Depois, ainda é preciso algumas horas para as areias secarem e poderem ser transportadas pelo vento: assim, o vento só pode atuar por não mais do que 6 a 8 horas, todo dia. Ainda assim, a área é mais propícia à formação de dunas do que ambientes de micro-marés, por exemplo.

No porto do Pecém, onde o marégrafo está fundeado em mar aberto, a cota máxima atingida no ano de 1996 foi de 3,41 na maré de sizígia de janeiro de 1996 e a mínima de -0,15 m nos meses de maio, julho e outubro de 1995. Assim, o regime de marés na região costeira do Estado do Ceará pode ser caracterizado como de meso-maré com periodicidade semidiurna (MORAIS *et al.*, 2006)

O regime de maré no litoral do Iguape segue o regime regional do litoral e é definido como do tipo semi-diurno, com duas preamares e duas baixamares, em um dia lunar (24h e 50 min), com amplitude de maré na faixa de 2,0 a 4,0 m, classificada segundo Davies (1964) como mesomaré (BRANCO *et al.*, 2005).

Já no Pecém, litoral oeste de Fortaleza, o efeito principal das marés é a mudança dos padrões de transporte de sedimentos na direção perpendicular à praia. Durante a baixamar a rebentação das ondas ocorre nos baixios em frente à cidade de Pecém, uma distância de várias centenas de metros da costa enquanto que durante a preamar o promontório do Pecém fica parcialmente inundado (VIEIRA *et al.*, 2007).

3.1.2.3 Correntes

As correntes litorâneas são os verdadeiros agentes transportadores de areias na zona litorânea imersa.

As correntes litorâneas vão constituir um dos mais importantes agentes de remobilização de sedimentos, sendo responsáveis pelo transporte de material ao longo da costa, a partir de uma fonte, tal como um rio. Constituem, também, o grande mecanismo de circulação responsável pela manutenção da estabilidade e equilíbrio dos ambientes praias (TESSLER e MAHIQUES, 2003).

Freire e Cavalcanti (1998) afirmam que as correntes longitudinais na plataforma interna cearense apresentam velocidade em torno de 0,27 m/s, sendo responsáveis por parte do transporte sedimentar litorâneo de direção SE-NW.

A região costeira brasileira que vai de Pta. do Calcanhar até a Ilha de Santana, se estendendo aproximadamente por 1000km é caracterizada por apresentar um sentido geral único na deriva litorânea efetiva de sedimentos, de leste para oeste (DOMINGUEZ e BITTENCOURT, 1996).

No Pecém, por exemplo, parte dos sedimentos acumulados é transportada pela ação das ondas swell num total estimado no promontório da ordem de 85.000 m³/ano. A taxa de transporte dirigida para a costa é 30.000m³/ano e a taxa total de sedimentos acumulada em frente e imediatamente a oeste do promontório é de 115.000m³/ano (VIEIRA *et al.*, 2007).

3.2 Dinâmica Geoambiental do Transpasse Costeiro Cearense

O transpasse de dunas no litoral do Ceará se diferencia através dos diferentes segmentos geomorfológicos e respostas ambientais relacionados à dinâmica imposta.

3.2.1 Promontório-Praia-Duna

A fisiografia litorânea do Estado do Ceará pode ser enquadrada, com algumas modificações, no modelo de “*headland-bay-beach*” de Yasso (1965). Segundo este autor, tal modelado é definido por uma faixa de praia posicionada a sotamar de um promontório, submetida a uma direção predominante de ataque de onda (CARVALHO *et al.*, 2005).

Apresenta como característica principal o desenvolvimento de uma forma plana côncava voltada para o mar, resultante dos processos de erosão causados pela refração, difração e reflexão de ondas dentro da zona de sombra atrás do promontório (CARVALHO *et al.*, 2005).

Por outro lado, este modelado da linha de costa antes de ser o resultado exclusivo da atividade dos agentes e processos costeiros, representa também uma imposição lito-estrutural do arcabouço geológico. Este modelado de costa, à medida que evolui, define um padrão dinâmico que passa a condicionar as faixas onde ocorre uma maior deposição de sedimentos nas praias ou onde os processos erosivos são dominantes. A análise detalhada deste tipo de modelado revela o desenvolvimento de espirais em diferentes escalas. Este tipo de fisiografia da linha de costa tem evoluído ao longo do tempo, desenvolvendo uma forma que pode ser interpretada como estável do ponto de vista da sua adaptação às condições de incidência das ondas e da ação dos demais processos costeiros (CARVALHO *et al.*, 2005).

Pontas litorâneas são acidentes geográficos que podem ser caracterizados como massas de terra que adentram no mar, e ocorrem onde existem afloramentos de rochas mais resistentes na linha de costa. Normalmente, são feições delimitadas a sotamar por embaiamentos do tipo enseadas ou baías, as quais são escavadas em materiais menos resistentes. Ambas as feições - pontas litorâneas e enseadas - são comuns ao longo das zonas costeiras mundiais estando presentes inclusive em costas arenosas, como evidência de diversidade geológica e geomorfológica (CLAUDINO-SALES e CARVALHO, 2014).

Nesses setores de promontórios, em costas dominadas pela deposição de sedimentos ocorrem os chamados “*headland bypass dune field*” tratado a primeira vez por Tinley (1986). Na faixa continental, nessa ação os campo de dunas transpassam o promontório e chegam a enseada a sotamar, realimentando a faixa de praia, realizando o transpasse ou bypass costeiro. Já a nível marinho, os sedimentos transpassam o promontório e se depositam a sotamar da ponta, realizando o transpasse ou bypass litorâneo.

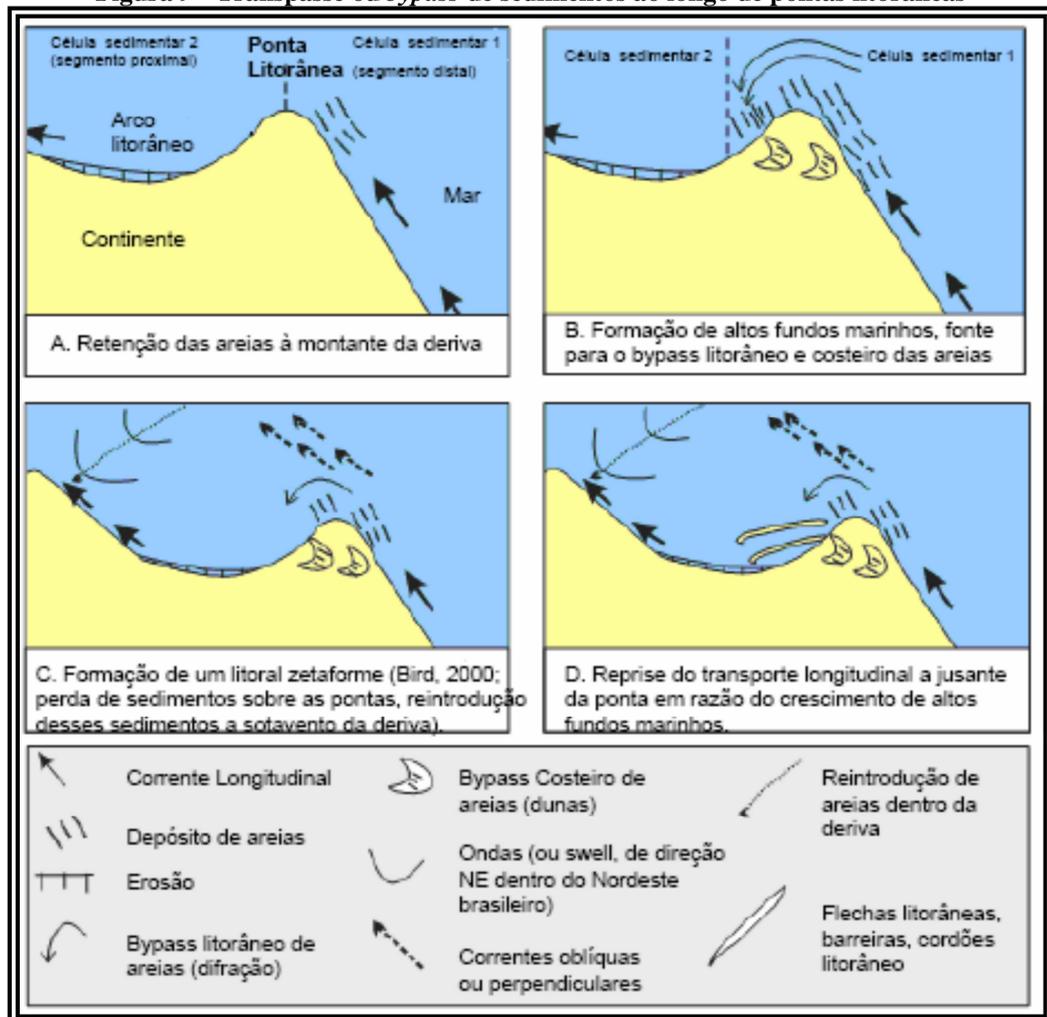
A figura 9 mostra o desenho esquemático do processo de transpasses costeiro e litorâneo ao longo de promontórios.

As praias de enseada, na maioria das vezes, desenvolvem formas assimétricas, tendo como característica uma zona de sombra localizada próxima ao promontório rochoso, protegida da energia de ondas e fortemente curvada. A parte central é levemente curvada, e a outra extremidade é relativamente retilínea, sendo normalmente paralela à direção dominante dos trens de onda na região (VARGAS *et al.*, 2002).

Os resultados são acréscimo da areia fornecida pela erosão no segmento tangencial, a partir de mudanças na orientação da orla costeira e de represamento do promontório ao lado o transporte de deriva litorânea. As características morfológicas desta seção incluem ampla praia e ativa interação praia-duna. Ocasionalmente, ilhas-barreira também se formam neste segmento da célula. Características litológicas e morfológicas do

promontório, refração das ondas e padrão de difração, bem como associados a batimetria, também têm influência sobre o litoral zetaforme específico. Se o promontório é composto de falésias rochosas e fundo do mar íngreme, a areia litorânea em movimento pode ser limitada, assim como o transporte em todo o promontório (CLAUDINO-SALES *et al.*, 2010).

Figura 9 - Transpasse ou *bypass* de sedimentos ao longo de pontas litorâneas



Fonte: Adaptado de Claudino-Sales (2002).

No entanto, para o caso da costa nordeste do Brasil, a inclinação da plataforma continental interna do promontório para o mar é suave, bastante semelhante ao mar da praia zetaforme. Ele permite que os sedimentos contornem o litoral e ocorra acréscimo na ponta dos promontórios, embora sob condições turbulentas em marés altas. Em questão, de fato, parece que os sedimentos na ponta do promontório é fornecido com areia por deriva litorânea durante a maré baixa e média, e que a quantidade de areia eventualmente removida durante a maré alta é menor do que o fornecido (CLAUDINO-SALES *et al.*, 2010).

Isso implicaria que as praias na ponta do promontório estão em algum tipo de equilíbrio dinâmico, e o resultado final é a deposição (CLAUDINO-SALES *et al.*, 2010).

Mais numa escala temporal mais longa, a mudança do nível do mar no Holoceno parece ter tido significativa influência sobre a evolução desta costa. O sistema promontório praia-duna foi iniciado durante o período relativamente prolongado de alta do nível do mar a partir de aproximadamente 6,0 ka AP para 2,5 ka AP (CLAUDINO-SALES *et al.*, 2010).

O nível do mar elevado, em comparação com o presente nível, as rochas resistentes recuará muito menos material fino do que nas suas proximidades. Acreditamos que esta tendência do nível do mar particular, tem desempenhado um papel significativo na criação de promontórios e no desenvolvimento do presente sistema morfológica de células promontório-praia-duna (CLAUDINO-SALES *et al.*, 2010).

No Ceará esse processo é peculiar da costa e ocorre ao longo de toda extensão do litoral através de promontórios rochosos, sedimentares e construções biogênicas.

As rochas pré-cambrianas remanescentes na faixa de praia são geralmente de composição quartzítica e desenvolvem pontas litorâneas com caimento em direção ao oceano. Tais rochas são mais proeminentes nas localidades de Iguape, Mucuripe e Pecém. Os quartzitos também ocorrem na Ponta de Jericoacoara, definindo falésias descontínuas de até 20 m de altura. As rochas cretáceas resultam da divisão do Pangea (Peulvast e Claudino-Sales, 2004), correspondem à remanescentes da borda da Bacia Potiguar e afloram no segmento leste, formando a Ponta de Peroba e Ponta de Maceió, definindo falésias com alturas situadas entre 20 m e 7 m (CLAUDINO-SALES e CARVALHO, 2014).

Os depósitos sedimentares friáveis cenozóicos compõem a denominada Formação Barreiras, que recobre toda a zona costeira do Nordeste, e formam as pontas litorâneas de Ponta Grossa, Taíba, Paracuru e Lagoinha. As construções biogênicas ou bioconstruções que sustentam algumas pontas litorâneas representam antigos recifes de ostras incrustadas, além de pequenos corais. Elas formam as pontas rebaixadas de Fleicheiras, Mundaú, Marinheiros, Apique, Sabianguaba, Icarai e Patos, nas quais não há ocorrência de falésias (CLAUDINO-SALES e CARVALHO, 2014) (Quadro 1).

A ocorrência rítmica de promontórios na zona costeira do Estado do Ceará controla a morfodinâmica dos locais onde ocorrem. Isso se deve ao fato desses promontórios interromperem o transporte de sedimentos realizado pelas correntes e ondas, o que permite ampla acumulação na forma de praias, e propicia assim o desenvolvimento de dunas nos segmentos a barlar. Ao mesmo tempo, e em virtude dessa interrupção, passa a haver

carência de sedimentos a sotamar, ampliando a ação das ondas na esculturação de praias com disposição côncava, do tipo enseada (CLAUDINO-SALES e CARVALHO, 2014).

É através da relação de interdependência entre morfologias definidas, como praia, dunas móveis, canais estuarinos e promontórios, que se processa parte da dinâmica costeira, com a manutenção de um fluxo contínuo de areia para a faixa de praia através da participação de sedimentos provenientes dos campos de dunas móveis. As planícies flúvio-marinhas e os promontórios envolvidos com o transpasse de areia para a linha de praia proporcionam a integração entre os fluxos eólico, gravitacional, estuarino e de correntes marinhas (ondas e marés). Foram os responsáveis, em grande parte, pela origem dos campos de dunas e pela contínua transformação morfológica da planície costeira, mesmo quando submetidas aos eventos de mudanças do nível relativo do mar (MEIRELES *et al.*, 2006).

Apesar do efeito barreira produzido pelos promontórios, fica claro que eles não bloqueiam completamente o movimento das areias em direção a oeste, em todas as circunstâncias. Tal fato é ilustrado pela ocorrência do mecanismo de bypass, costeiro e litorâneo, o qual permite certa transferência de sedimentos através das pontas, de barlamar para sotamar. Esse transpasse pode ser considerado como uma compensação natural à perda de sedimentos resultante do efeito de barreira promovido pelos promontórios. De certo modo, esse processo controla a intensidade da erosão nas praias a sotamar, e chega a gerar acumulações localizadas, na forma de esporões (CLAUDINO-SALES e CARVALHO, 2014).

Segundo Meireles *et al.* (2006), no Ceará ocorrem um total de 83 setores transpasse de areia para a faixa de praia. Dentre esses, o transpasse ocorre em promontórios (35 setores) e nas margens de estuários e canais de maré (48 setores).

Para Claudino-Sales e Carvalho (2014), os promontórios ocorrem em 19 pontos ao longo do litoral do Estado do Ceará. Elas representam diferentes tipos de promontórios com suas respectivas magnitudes de aporte de sedimentos e de transporte.

Baseados nas maiores extensões dos campos de dunas, identificamos um total de 19 promontórios, a partir da visualização de imagens de satélites, mostrados no Quadro 1.

A figura 10 identifica os principais promontórios com os maiores campos de dunas de transpasse no Estado do Ceará.

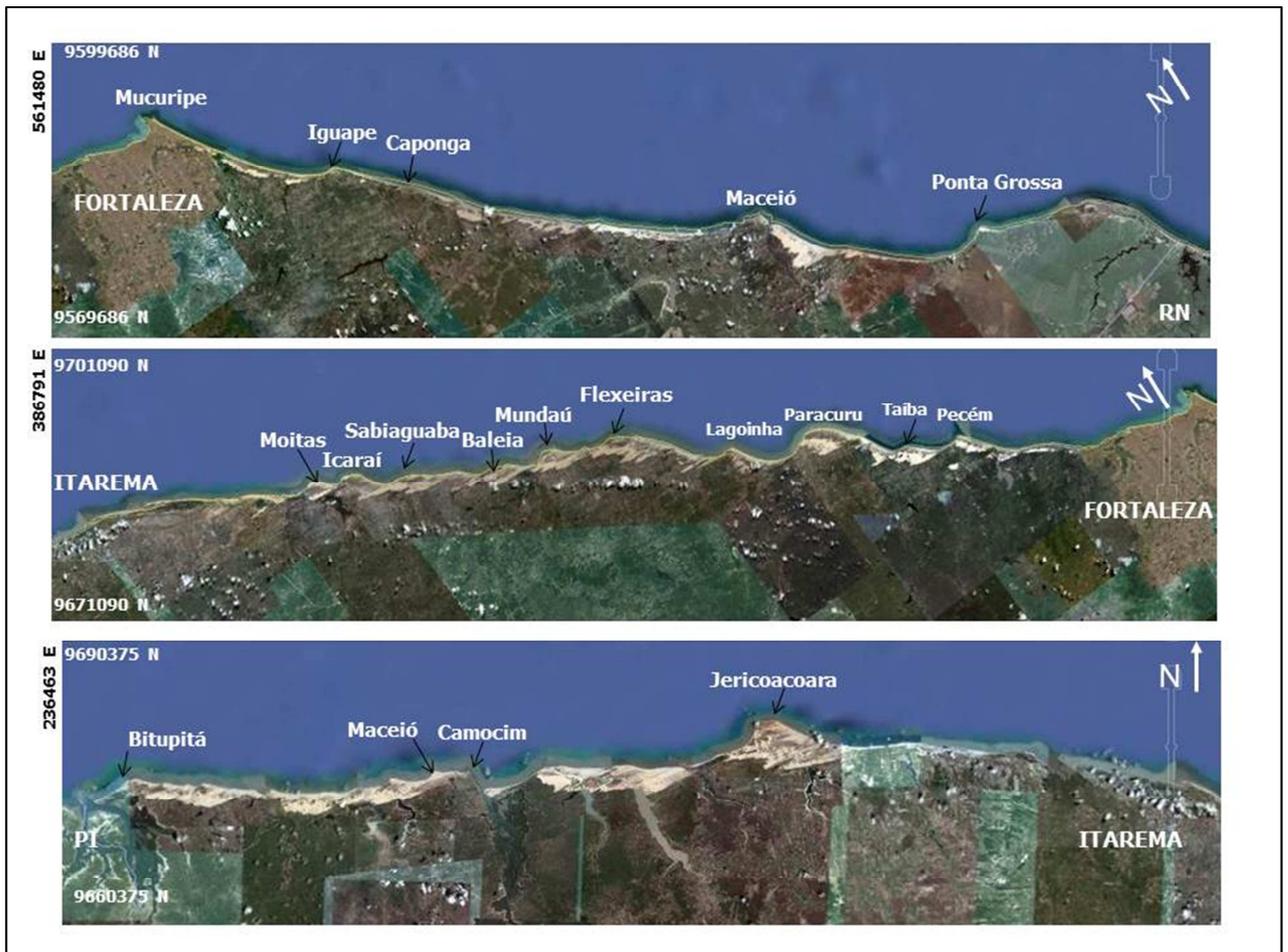
O *bypass* ou transpasse costeiro ocorre sobre a zona costeira, quando se formam dunas com as areias interceptadas a barlamar de pontas litorâneas. Com o passar do tempo, as areias acumuladas acabam transpondo o obstáculo, nessa etapa, tem início o *bypass* ou transpasse litorâneo, por ação das correntes litorâneas. Os dois em conjunto, minimizam a erosão em células sedimentares controladas por pontas litorâneas.

Quadro 1 – Principais características dos promontórios da costa cearense

LOCALIZAÇÃO		TIPO DE ROCHA			CARACTERÍSTICAS GEOAMBIENTAIS		
Promontório / Ponta /Pontal	Município	Cristalino	Sedimentar	Bioconstruções	Campo de Dunas	Transpasse Costeiro	Ocupação Humana
Ponta Grossa	Icapuí						
Maceió	Fortim						
Caponga	Cascavel						
Iguape	Aquiraz						
Mucuripe	Fortaleza						
Pecém	São Gonçalo do Amarante						
Taíba	São Gonçalo do Amarante						
Paracuru	Paracuru						
Lagoinha	Paraipaba						
Flexeiras	Trairi						
Mundaú	Trairi						
Baleia	Itaipoca						
Sabiaguaba	Amontada						
Icaraizinho	Amontada						
Moitas	Amontada						
Jericoacoara	Jijoca de Jericoacora						
Camocim	Camocim						
Maceió	Camocim						
Bitupitá	Barroquinha						

Fonte: Mônica Pinheiro (2015)

Figura 10 - Promontórios e seus respectivos campos de dunas de transpasse.



Fonte: Imagem *Google Earth*, 2013.

Ao mesmo tempo em que as pontas litorâneas interditam o transpasse litorâneo de sedimentos, elas induzem o transpasse continental ou costeiro de areias por intermédio da migração de dunas transgressivas que atravessam a zona costeira cruzando os promontórios rochosos.

3.2.2 Domínios Morfodinâmicos: Células Sedimentares

No contexto da dinâmica promontório-praia-duna formam-se setores de deposição e erosão dentro da zona costeira cearense. Esses setores são respectivamente, os domínios à Barlamar e à Sotamar dos promontórios. Num contexto geoambiental amplo, ao longo da costa cearense é possível dividir esses setores, ao analisar o comportamento e a distribuição dos campos de dunas. Esses setores, no litoral cearense, foram denominados e classificados por Claudino-Sales (2005) de células sedimentares.

As células litorâneas compreendem segmentos espaciais com balanço sedimentar relativamente autônomas em relação aos segmentos adjacentes. Apesar de relativamente autônomas, as células sedimentares se comunicam através do transpasse, ou mecanismo de *bypass* de sedimentos (PASKOF, 1996), que podem ser tanto costeiro, nesse caso comandado pelos ventos, como litorâneo, nesse caso controlado pelas ondas e correntes litorâneas (CLAUDINO-SALES, 2005).

No Ceará, um importante elemento constituído de células sedimentares é constituído pelas pontas litorâneas, e sua presença corresponde normalmente, dentro da zona litorânea, a fronteira entre um setor terminal de uma célula sedimentar (a montante) e um setor proximal de uma nova célula.

No Ceará, Claudino-Sales (2005) identificou 08 (oito) células sedimentares ao longo da faixa costeira. Tais seguimentos estão relacionados as principais áreas de transpasse de dunas do Ceará. Contudo, merece atenção a ocorrência de pequenas células sedimentares, áreas de ocorrência de transpasses, dentro das células maiores classificadas pela autora.

A partir dessa definição, identificamos 17 (dezesete) células sedimentares ao longo do litoral cearense, definidas aqui como: Icapuí/Ponta Grossa, Ponta Grossa/Fortim, Fortim/Choró, Choró/Iguape, Iguape/Mucuripe, Mucuripe/Pecém, Pecém/Taíba, Taíba/Paracuru, Paracuru/Lagoinha, Lagoinha/Flexeiras, Flexeiras/Mundaú, Mundaú/Icaraí, Icaraí/Itarema, Itarema/Jericoacoara, Jericoacoara/Camocim, Camocim/Bitupitá.

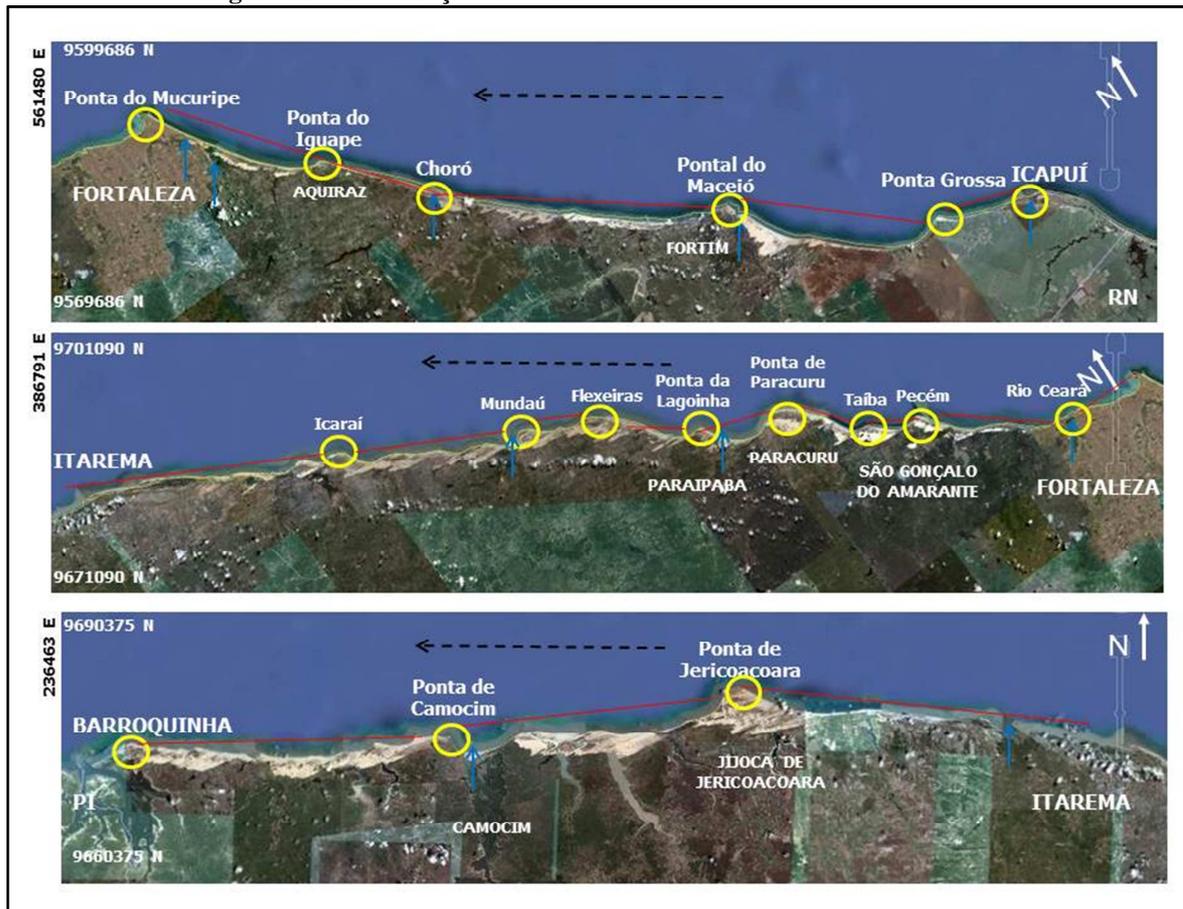
A figura 11 apresenta as células sedimentares identificadas com promontórios (círculo amarelo), segmento da célula (traço em vermelho), principais rios (seta azul) e sentido da deriva litorânea (seta em preto).

A célula Icapuí/Ponta Grossa encontra-se a áreas de transpasse de Ponta Grossa que acumula areias sobre as falésias oriundas do litoral de Icapuí e Potiguar situados à Barlamar da área, resultantes da erosão das falésias do litoral potiguar e do fluxo sedimentar do rio Barra Grande, em Icapuí.

Em Ponta Grossa se dá início a próxima célula, Ponta Grossa/Fortim, que acumula sedimentos oriundos das falésias de Aracati e se acumulam na foz no Rio Jaguaribe, formando amplo campo de dunas.

A influência sedimentar do Rio Jaguaribe, onde se tem início mais uma célula, abrange o litoral de Beberibe e Cascavel, até o limite com outro estuário, o do Rio Choró onde as areias são interceptadas e formam campo de dunas.

Figura 11 – Localização das células sedimentares no litoral do Ceará



Fonte: Mônica Pinheiro (2015)

Os sedimentos dessa célula são oriundos, principalmente do fluxo sedimentar do rio Jaguaribe que com as sucessivas barragens e conseqüentemente diminuição de transporte de sedimentos para a foz vem ocasionando erosão nas praias da Caponga e adjacências (CLAUDINO-SALES, 2002).

A partir do rio Choró em direção à oeste forma-se a célula Choró/Iguape com os sedimentos transitando até o contato com a ponta cristalina do Iguape e propicia o intenso acúmulo de sedimentos no seu entorno. O final dessa célula encontra-se no promontório do Iguape que compõe um dos setores de transpasse costeiro do Estado.

Em seguida, a célula Iguape/Mucuripe inicia com a erosão na enseada do Iguape, sendo também alimentada pela erosão dos *beach rocks* da praia de Sabiaguaba. Ela finaliza nas adjacências do Porto do Mucuripe, que intercepta anualmente 860.000 m³ de areia (MAIA, 1998).

A remoção pelas ondas de areias para compensar o déficit produzido pela interceptação a barlar é reduzido pela presença de estruturas de contenção (molhes ou espigões costeiros) entre a Praia de Iracema e a Barra do Ceará. A erosão vem avançando

então nas praias de Caucaia (Iparana e Icaraí), com as areias resultantes sendo transportadas até a ponta do Pecém – essa ponta igualmente funciona como obstáculo natural, hoje ampliado pela construção do porto (CLAUDINO-SALES, 2002).

O transpasse costeiro da célula, no Mucuripe foi totalmente interrompido pela ocupação urbana das dunas. A alimentação de sedimentos via fluvial é feita através dos rios Pacoti e Cocó que são interceptados pela Ponta do Mucuripe ocasionando a engorda das praias à leste como a Praia do Futuro.

Do Mucuripe em direção ao Pecém temos outra célula sedimentar marcada pelo acúmulo de sedimentos na ponta do Pecém gerando extenso campo de dunas. Segundo Solares e Zuquete, (1997), o transporte litorâneo anual líquido, de sedimentos na área do Pecém, foi estimado em algo por volta dos 350.000m³/ano.

A célula Pecém/Taíba inicia com a interceptação das areias na ponta do Pecém e segue até o promontório da Taíba formando amplo campo de dunas. Os campos de dunas formados nessa célula já não realizam o transpasse na praia da Taíba em função da intensa ocupação sobre o seu promontório.

A célula Taíba/Paracuru que inicia no promontório da Taíba segue até o promontório de Paracuru onde se apresenta um extenso campo de dunas móveis. O promontório da Taíba vem passando por um processo intenso de ocupação recuando progressivamente a dinâmica das dunas de transpasse.

A célula Paracuru/Lagoinha tem início no promontório de Paracuru a partir do transpasse costeiro ativo a sotamar desse promontório e tem o rio Curu atuando na dinâmica sedimentar. Nessa célula o transpasse costeiro na Ponta Aguda, em Lagoinha foi quase que totalmente interrompido com regressão da duna de transpasse.

De Lagoinha à Flexeiras encontramos mais uma célula sedimentar. Os sedimentos são acumulados ao longo da ponta de Flexeiras e migram ao logo da planície. A partir daí os sedimentos migram em direção a foz do rio Mundaú, dando origem a célula Flexeiras-Mundaú.

Os sedimentos oriundos do rio Mundaú contribuem para o desenvolvimento da célula Mundaú-Icaraí. Em Icaraizinho de Amontada, os sedimentos são interceptados ao longo da ponta e se dissipam ao longo da planície até chegar ao estuário do rio Aracatiagu, na praia de Moitas. Atualmente parques eólicos construídos nos campos de dunas vem reduzindo a migração das dunas nesse setor através de fixação artificial dos sedimentos eólicos.

Os sedimentos oriundos da célula Icaraí-Itarema tem início da ponta de Icaraizinho e tem como incremento sedimentar o fluxo de sedimentos advindos do rio

Aracatiaçu. Os sedimentos migram ao longo da planície de Itarema e encontram mais uma fonte de sedimentos, o rio Acaraú. A partir daí, os sedimentos são interceptados ao longo da ponta de Jericoacoara.

Na célula as areias são largamente interceptadas ao nível da Ponta de Jericoacoara, o mais elevado e proeminente promontório local, provocando acentuado transpasse costeiro e assim, a formação do maior campo de dunas individuais do Estado do Ceará e um dos maiores do mundo em termos de áreas litorâneas, bem como a formação de flechas litorâneas no entorno da ponta e do estuário do rio Guriú.

As areias de transpasse ao longo da planície de Jericoacoara, assim como os sedimentos do rio Coreaú são interceptados ao longo do promontório de Camocim, dando origem a célula Jericoacoara-Camocim.

A partir de Camocim se configura a última célula cearense, Camocim-Barroquinha, que se configura com extensos campos de dunas ao longo da planície finalizando ao longo do rio Paranaíba, no Piauí.

Essas células sedimentares formam importante arcabouço sedimentar ao longo da zona costeira cearense e derivam em significativa dinâmica de transporte de sedimentos na costa, que são os transpasses costeiros, através dos campos de dunas.

A partir de uma análise detalhada sobre a dinâmica costeira e litorânea faz-se necessário uma apreciação sobre a dinâmica sócio-ambiental, relacionada à ocupação propriamente dita e sua adequação a legislação ambiental atual, a qual passa o litoral cearense que vai influenciar sobremaneira o quadro natural desse ambiente.

3.2.3 Dinâmica Sócio-Ambiental do Litoral Cearense

A zona costeira, de acordo com o Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro, pode ser definida como o espaço geográfico de interação do ar, mar e terra, incluindo seus recursos renováveis ou não, abrangendo faixa marítima e terrestre (MMA, 1990).

Na faixa terrestre é limitada até a distância de 20 km sobre uma perpendicular, contados a partir de Linha de Costa, representada nas cartas de maior escala de Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN), do Ministério da Marinha.

A Constituição Federal de 1988, no § 4º do seu artigo 225, define a Zona Costeira como “patrimônio nacional”, destacando-a como uma porção de território brasileiro que deve merecer uma atenção especial do poder público quanto à sua ocupação e ao uso de seus recursos naturais, assegurando-se a preservação do meio ambiente.

No Brasil, a urbanização da Zona Costeira aconteceu de forma mais intensa no período posterior à década de 1950, com o movimento migratório em direção ao litoral. Esse movimento trouxe para as localidades litorâneas um número de pessoas que não foi absorvido pelo mercado formal local, passando a constituir segmento marginal e a exercer forte pressão social na demanda por serviços urbanos e também forte pressão ambiental, uma vez que ocupam áreas de grande vulnerabilidade e/ou de proteção ambiental. Estes crescentes segmentos marginalizados, continuamente alimentados pelo processo migratório, vão ser responsáveis por outra forma de manifestação da urbanização na zona costeira do Brasil, o processo de favelização que, contraditoriamente vai compor a paisagem das periferias das grandes cidades litorâneas (ALBUQUERQUE, 2005).

Já na década de 1960, a ocupação da zona costeira se deu através do veraneio, ou seja, muitas pessoas buscaram as pequenas cidades litorâneas para estabelecerem as chamadas Segundas Residências. Estas eram ocupadas, nos finais de semana e feriados, por moradores da capital do Estado, que, cansados da agitação da cidade grande, buscavam tranquilidade nos espaços com pouca ocupação, onde a natureza era bem conservada. Além dos veranistas, a região costeira chamou a atenção dos grileiros e dos especuladores imobiliários por ser possuidora de belezas naturais e por ser ocupada apenas por pequenas comunidades de pescadores, o que representa um alto valor de mercado para a atividade turística nesse geossistema, atividade esta que explodiu ainda mais nas décadas de 1970 e 1980 (ALBUQUERQUE, 2005).

No Ceará, a partir das décadas de 20 e 30 do século XX, são disseminados e multiplicados novos usos relacionados aos espaços litorâneos. Além de servir como ponto estratégico para a defesa dos territórios, abrigar portos e comunidades de pescadores e extrativistas, o litoral passa a ser “usado”, também, como lugar do lazer e do descanso, por meio das caminhadas, do banho de mar, banho de sol, veraneio e turismo (PEREIRA, 2006).

As políticas de regionalização promovem uma nova produção espacial e novos usos, que contribuem para ensejar conflitos pela posse da terra e por espaços para a implementação do turismo. Essa agressiva reordenação territorial e a cooptação de lugares para a produção de espaços turísticos situou o litoral cearense no *menu* do mercado mundial, ocasionando impactos socioambientais. Novas áreas configuram-se, apesar de uma série de embates pela apropriação e uso da terra (CORIOLANO e MENDES, 2009).

A urbanização, principalmente impulsionados pela atividade turística levou ao crescimento das pequenas cidades litorâneas, que até então exerciam primordialmente atividades primárias como a pesca.

Nos setores estudados, todos os municípios seguem a lógica empreendida da expansão urbana sobre as áreas costeiras discutidas acima. As principais práticas desenvolvidas são o turismo e o veraneio. As praias de Ponta Grossa e Jericoacoara, ambas nos extremos leste e oeste do Estado possuem o turismo como prática econômica em destaque.

O município de Icapuí, criado em 1959 possui uma população de 19.276 habitantes numa área de 423,44 km² (IBGE, 2014). Está localizado no extremo litoral leste do Estado do Ceará fazendo divisa com o Estado do Rio Grande do Norte, distante 202 km da cidade de Fortaleza.

A praia de Ponta Grossa é uma das localidades litorâneas do município. Localizada a 20 km da sede, Ponta Grossa possui população tradicional voltada para a pesca e artesanato, além do turismo. Por ser uma das mais belas praias cearenses recebe muitos turistas ao longo do ano, contudo, divide com as outras praias do município, devido, principalmente a proximidade, os serviços de lazer e hospedagem. Sua ocupação é restrita a casas de moradores e pequenas pousadas.

Jijoca de Jericoacoara foi elevada a categoria de município no ano de 1993. Possui uma área de 204,7 km² e uma população estimada de 18.616 habitantes. O município encontra-se a 294 km de Fortaleza, no litoral oeste do estado.

As praias de Paracuru e Iguape tiveram a intensificação da malha urbana ligadas à prática do veraneio. Aquiraz, município do litoral leste de Fortaleza, distante 46 km da capital foi elevado à categoria de município em 1933 e abrange uma área de 482 km² com uma população estimada é de 76.967 habitantes (IBGE, 2014). Na praia do Iguape o veraneio é destaque na sua ocupação com a maior parte da sua malha urbana associada a esse fenômeno. Localizada a 17 km da sede de Aquiraz.

O início da intensificação da ocupação do Iguape se deu nas décadas de 1930 e 1940, com a chegada das primeiras famílias ao local, as casas eram de palha e não possuíam rede elétrica, os moradores dependiam dos recursos naturais para sua sobrevivência, viviam da pesca e do extrativismo vegetal. Nas décadas seguintes, as famílias vindas de Fortaleza começaram a ocupar o local construindo suas segundas residências (CARNEIRO e GONÇALVES, 2013).

Na década de 1970 o processo de ocupação se intensificou em especial na faixa praias e na pós-praia, neste período teve início a valorização daquele espaço, pois as famílias fortalezenses estavam em busca de lazer e descanso o que encontraram nas praias do Iguape (CARNEIRO e GONÇALVES, 2013).

O município de Paracuru elevado a categoria de município no ano de 1951 localiza-se a 88 km de Fortaleza, litoral oeste, e possui área de 300,2 km² com população estimada de 33.178 habitantes (IBGE, 2014).

Em Pecém, as práticas de veraneio também se fizeram presentes, contudo, a partir da construção do Porto na década de 1990, a área foi transformada e hoje faz parte do Complexo Industrial e Portuário do Pecém, o CIPP. São Gonçalo do Amarante está localizado a 59,5 km da capital Fortaleza e possui uma população estimada de 46.783 habitantes, numa área de 834,44 km² (IBGE, 2014).

Pecém, localizado a 55 km de Fortaleza é um dos Distritos de São Gonçalo do Amarante ocupando parte do seu litoral leste, mais precisamente no limite com o município de Caucaia. Desde a década de 1990, Pecém integra um dos maiores projetos estruturantes do Estado, um novo porto de cargas. A partir daí, o pequeno distrito de pescadores e casas de veraneio passa a ocupar papel de destaque na economia cearense atraindo indústrias e serviços para o seu entorno.

3.1.4 Proteção e Gestão dos Campos de Dunas

Para uma melhor análise da atual situação da gestão dos recursos naturais nos setores estudados apresentamos a discussão sobre a legislação atuante na proteção e conservação das áreas de dunas no Estado do Ceará.

A proteção dos ecossistemas brasileiros dentro da legislação se dá através de diferentes instâncias. Essa proteção pode ser gerida através de leis que regem sua ocupação e/ou através de instrumentos de gestão de uso e ocupação por meio das unidades de conservação.

A pressão sobre o meio ambiente e principalmente a ocupação de áreas costeiras incitou a ação de mecanismos legais, a fim de proteger e organizar a ocupação da zona costeira dentre elas as áreas de dunas que cobrem grandes porções da costa brasileira, incluindo Estado do Ceará (PINHEIRO, 2009).

Desta forma, em diversas instâncias que perpassam os âmbitos Federal, Estadual e Municipal, existem formas de regular a ocupação e proteger as áreas de dunas. Mas as mesmas leis que protegem possuem lacunas, hiatos ou espaços que permitem ocupações destas feições, mesmo que eventualmente, de forma restrita (PINHEIRO, 2009).

Os campos de dunas são ecossistemas de importância relevante dentro do contexto da zona costeira, sejam eles fixas ou móveis. Contudo, para a legislação ambiental

brasileira os campos de dunas são diferenciados e a proteção envolve somente os setores de dunas fixas, ou melhor, a cobertura vegetal desse ambiente.

Em seu art. 4º (Lei nº 12.651/2012), que traz a relação de áreas de preservação permanente, o novo código florestal, assim como os códigos florestais que o antecederam, não cita as dunas móveis (PINHEIRO *et al.*, 2013).

Em 1988, foi decretada a lei que regulamentaria a ocupação da zona costeira brasileira e seus múltiplos ecossistemas. A lei nº 7.661, de 16 de maio de 1988 instituiu o Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro. Em seu bojo encontramos o artigo que trata do zoneamento e atividades que irão ser desenvolvidas na zona costeira, dentre elas as áreas de dunas onde o plano irá prever as atividades devidas desta unidade (PINHEIRO, 2009).

Em 2004 o decreto nº 5.300 de 07 de dezembro de 2004 regulamentou a lei nº 7661 de 16 de maio de 1988, que institui o Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro – PNGC que dispõe sobre regras de uso e ocupação da zona.

Outra resolução do CONAMA, a nº369 de 28 de março de 2006, vai estabelecer os casos excepcionais, de utilidade pública interesse social ou baixo impacto ambiental que possibilitam a intervenção ou supressão de vegetação em APPs. Segundo esta resolução as áreas de preservação permanente, são caracterizadas, como regra geral, pela intocabilidade e vedação de uso econômico direto.

Nesse sentido, as dunas móveis atualmente se encontram sem proteção específica e normas que gerencie sua ocupação restando, assim, o comando das unidades de conservação já existentes, a fim de preservar esses ambientes.

Dentro do estabelecimento dos instrumentos da Política Nacional do Meio Ambiente está a criação das Unidades de Conservação (UCs).

As Unidades de Conservação são áreas naturais protegidas que possuem características naturais relevantes, com objetivos de conservar a biodiversidade e outros atributos naturais nelas contidos, com o mínimo de impacto.

Elas são criadas para garantir a manutenção da biodiversidade e do equilíbrio ecológico, bem como proteger locais de grande beleza cênica, como serras, dunas, e cachoeiras. Além de permitir a sobrevivência da diversidade de animais e plantas, essas áreas contribuem para regular o clima, abastecer os mananciais de água e proporcionar qualidade de vida às populações. Pela importância de seus recursos naturais, nelas as atividades humanas possuem regulamentações específicas, a fim de assegurar a preservação do meio ambiente e suas características como flora, fauna e recursos hídricos.

Dependendo da categoria a que pertence a UC, podem ou não ser permitidas atividades humanas, podendo haver a necessidade de autorização ou de licenciamento do órgão ambiental competente. Cada UC apresenta sua “Zona de Amortecimento”, ou seja, área de entorno da unidade de conservação, onde as atividades humanas estão sujeitas a normas e restrições específicas, com o propósito de minimizar os impactos negativos sobre a unidade.

De modo a auxiliar no gerenciamento da UC, deve ser elaborado um “Plano de Manejo”, documento técnico fundamentado nos objetivos da unidade, através do qual são estabelecidos o zoneamento e as normas que devem presidir o uso da área e o manejo dos recursos naturais, além da implantação das estruturas físicas necessárias à gestão da unidade de conservação. Como instrumento de gestão participativa, cada UC também deve dispor de um “Conselho Gestor”, constituído por representantes de órgãos públicos, organizações da sociedade civil e população residente, sendo presidido pelo gerente da UC.

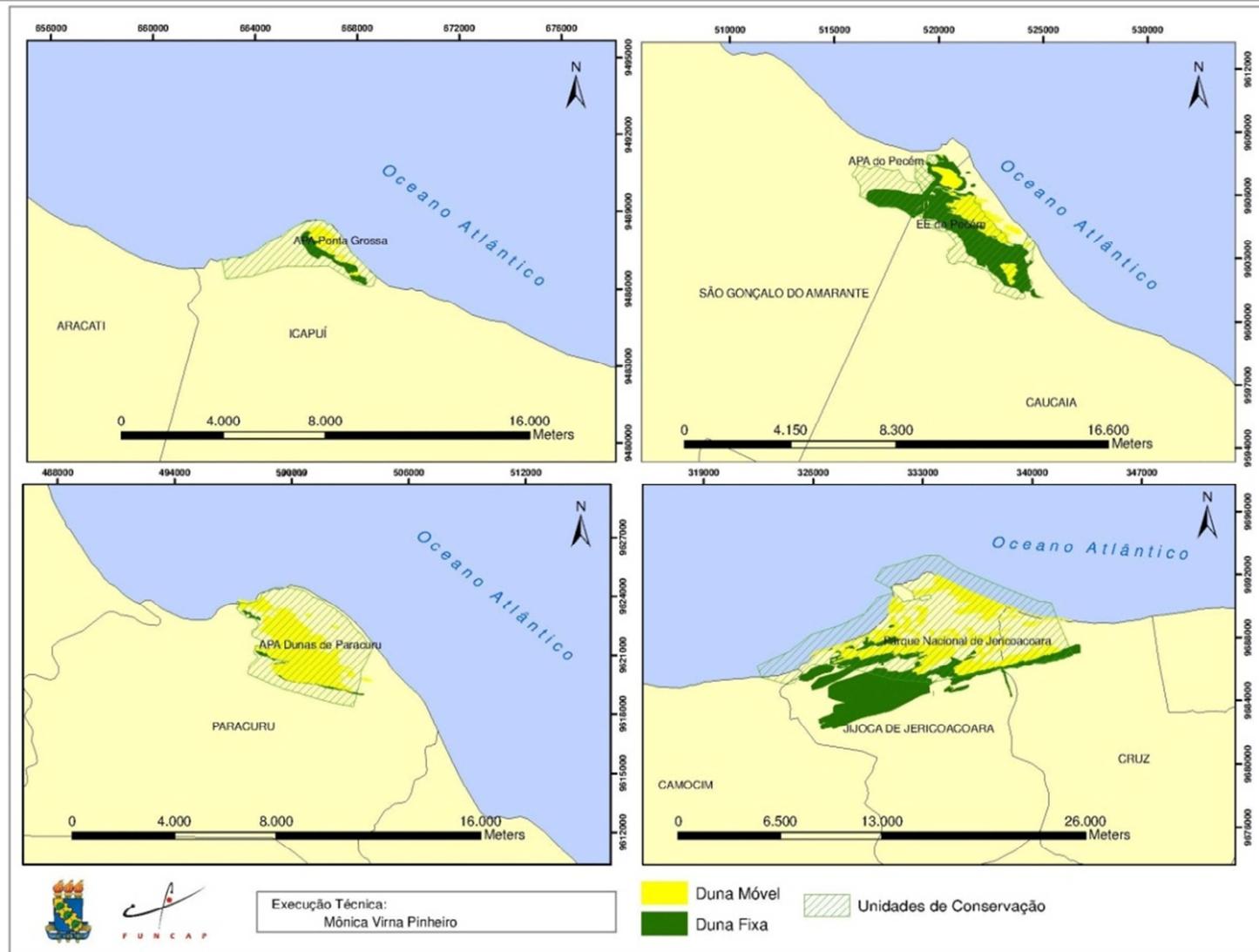
Nas áreas em estudo as UC’s compreendem mecanismos de conservação do meio ambiente. Contudo, sua eficácia está diretamente relacionada ao Plano de Manejo que, na maioria dos casos, ainda não possui regulamentação. Além disso, o grau de conservação e proteção está vinculado às categorias as quais pertencem. As APAs como são categorias de uso sustentável, admitem o uso. Nessa categoria estão incluídas as áreas de Ponta Grossa e Paracuru. Como áreas de uso restrito ou nulo estão as áreas do Pecém e Jericoacoara, com as unidades de Estação Ecológica e Parque Nacional, respectivamente. Nos setores estudados somente a Praia do Iguape não possui proteção vinculada a UCs.

A figura 12 apresenta as áreas das unidades de conservação de cada setor estudado e sua abrangência em relação aos limites dos campos de dunas móveis e fixas.

A APA de Ponta Grossa possui uma área de 558, 67 hectares, situada no litoral nordeste de Icapuí é regida pela Lei Nº 262/98, criada em 1998 e administrada pelo município de Icapuí. A criação desta unidade de proteção foi um passo de extrema relevância para o município diante da especulação imobiliária, que sediava a implantação de resorts e equipamentos turísticos sobre o campo de dunas móveis. As restrições de uso junto à conscientização da comunidade local ajudam a assegurar a sustentabilidade socioambiental da região (SANTOS, 2008).

No Pecém existem duas unidades de conservação, uma de uso sustentável e outra de proteção integral. A de proteção integral refere-se a Estação Ecológica do Pecém que apresenta área total de 973,09 ha e está localizada nos municípios de São Gonçalo do Amarante e Caucaia. Já a de uso sustentável a Área de Proteção Ambiental – APA do Pecém foi criada através do Decreto Estadual Nº 24.957, de 05 de junho de 1998.

Figura 12 - Unidades de Conservação nos setores em estudo.



Fonte: SEMACE

O litoral de Paracuru está inserido nos limites de duas Áreas de Proteção Ambiental. São elas a APA das Dunas de Paracuru e a APA do Estuário do Rio Curu.

O Parque Nacional de Jericoacoara foi criado pelo Decreto S/N de 04/02/2002 e abrange os municípios de Jijoca de Jericoacoara e Cruz. Seu plano de manejo foi efetuado e aprovado através da Portaria nº84 de 21/10/2011.

Nesse sentido, todas as unidades de conservação existentes nas áreas estudadas incluem em seus limites os campos de dunas móveis, ou seja, as dunas de transpasse também se incluem dentro desse limite de proteção.

Contudo, dos setores detentores de unidades de conservação, principalmente de proteção integral, como são Pecém e Jericoacoara, a área que abrange as dunas do Pecém sofreu as maiores alterações. A unidade de conservação não vem cumprindo seu papel e as dunas continuam a sofrer interferências relacionadas à expansão do porto.

O plano de manejo é documento técnico mediante o qual, com fundamento nos objetivos gerais de uma unidade de conservação, se estabelece o seu zoneamento e as normas que devem presidir o uso da área e o manejo dos recursos naturais, inclusive a implantação das estruturas físicas necessárias à gestão da unidade. Porém, na prática, ou esse documento ainda foi desenvolvido ou não foi aprovado e, assim, as normas e a gestão de proteção ficam comprometidas em todas as instâncias.

Assim, a função primordial das unidades de conservação não está sendo cumprida, muito em função da ausência de documentos de gestão como os planos de manejo, além da possibilidade de intervenções, principalmente estatais dentro da função de utilidade pública do serviço, como é caso das intervenções permitidas na área da praia do Pecém.

A partir do entendimento da dinâmica natural e sócio-espacial até aqui analisadas estabeleceu-se o diagnóstico dos campos de dunas em período pretérito (1958) que serão discutidas no próximo capítulo.

4. AS DUNAS NO CEARÁ: MORFOLOGIA E DINÂMICA PRETÉRITA

O aumento dos problemas ambientais, principalmente no século XX e início do XXI, vem comprometendo o equilíbrio dos ecossistemas e a manutenção da diversidade biológica. A ocupação humana e o crescimento populacional, tanto nos meios rurais quanto urbanos, principalmente nas grandes metrópoles, são responsáveis pelo maior número de processos antrópicos modificadores do ambiente ao longo de sua história (GUERRA e MARÇAL, 2006).

A ocupação dos campos de dunas no litoral no Ceará se deu a partir da intensificação dos interesses turísticos e imobiliários, primeiramente sobre as praias e planícies de deflação e mais recentemente sobre as dunas.

O estudo do transpasse costeiro torna possível o entendimento da dinâmica costeira, sobretudo, em setores dominados por promontórios onde a dinâmica é particular. Além disso, esses setores são dominados por processos de erosão/sedimentação, o que requer um maior cuidado ao intervir.

A análise espaço-temporal apresenta as principais modificações ocorridas nos campos de dunas, além das mudanças nas formas e dinâmica costeira como: morfologia dunar, estabilização, redução do aporte de sedimentos, além da expansão do processo de urbanização.

Com o intuito de construir um cenário evolutivo dos problemas ambientais do setor costeiro cearense, particularmente quanto ao campo de dunas, realizou-se uma análise quantitativa e qualitativa, a partir do mapeamento de diferentes setores ao longo do litoral, nos últimos 56 anos.

A partir dessa análise pode-se, através de um estudo comparativo (1958-2014), mensurar a quantidade de áreas ocupadas por dunas que foi extinta e suprida nesses setores em estudo, durante os últimos 56 anos.

Antes disso, é necessário a compreensão das morfologias dunares presentes no litoral cearense e sua situação anterior ao processo de ocupação. Nesse sentido, apresentamos a seguir, a classificação das dunas quanto a morfologia e sua respectiva idade de formação. Em seguida, apresentamos o mapeamento dos campos de dunas efetuado nos 05 (cinco) setores elegidos (Ponta Grossa, Iguape, Pecém, Paracuru, Jericoacoara) para o ano de 1958.

A partir dessa análise pudemos conhecer e entender a dinâmica, morfologia e dimensão das dunas presentes em cada setor estudado e a evolução geoambiental de cada segmento.

4.1. Morfologia e Idade das Dunas Cearenses

Os campos de dunas podem ser classificados através da sua dinâmica e tipologia associado ao período de formação. Nesse sentido, classificamos as dunas de transpasse da área em estudo segundo as gerações de dunas já identificadas para o litoral cearense, a partir da tipologia de dunas visualizada em cada setor, agregada as datações já realizadas nas áreas em foco.

As grandes famílias de formas dunares caracterizam-se quanto a sua morfologia em: Dunas Móveis, Dunas Semifixas, Dunas Fixas, os Eolianitos ou Dunas Cimentadas e as formas de deflação.

De acordo com a classificação sobre tipologia de dunas realizada por Claudino-Sales (2002) identificamos a morfologia das dunas presentes nos setores de estudo, apoiadas em análises de fotografias aéreas, ano base de 1958, assim como amparados nos atributos naturais que ainda hoje resistem, visualizadas nas atividades de campo.

No Estado do Ceará, o processo de individualização dos depósitos eólicos em gerações distintas evoluiu de 02 (duas) gerações iniciais (BRAGA *et al.*, 1981; BRASIL, 1981; CARVALHO e MAIA, 1990), para 03 (três) gerações a partir dos trabalhos de Maia (1993) e Carvalho *et al.*, (1994), e em seguida para 04 (quatro) gerações nos trabalhos mais recentes de Maia (1998), dentre outros. Em 2002, Claudino-Sales (2002), individualizou 05 (cinco) gerações de dunas na costa cearense.

Para uma melhor análise empregamos a referida classificação denominando-as da mais antiga (Geração 1 ou G1) a mais recente (Geração 5 ou G5). Para a área em estudo identificamos para cada setor suas respectivas gerações de dunas.

4.1.1 Primeira Geração (G1) e Segunda Geração (G2)

As dunas de 1ª e 2ª geração não são facilmente identificáveis e sua classificação enseja a realização de datações. O conjunto de dunas mais antigas ou de primeira geração (G1) corresponde as dunas de idade pré-transgressão holocênicas, representa depósitos arenosos compactados sobre os Tabuleiros Costeiros, agregados à Formação Barreiras no seu fácies arenoso, conhecido como Paleodunas.

Quanto a tipologia, essas dunas, atualmente, não possuem forma distinguível na paisagem estando aplainadas e confundindo-se muitas vezes com os Tabuleiros Costeiros.

As dunas de segunda geração (G2) correspondem as dunas do período anterior, contemporâneo e posterior à transgressão holocênica 5,1 ka (SUGUIO, 2005). Normalmente compactadas e edafizadas, ou seja, com desenvolvimento de solos (CLAUDINO-SALES, 2005). As dunas de segunda geração também são dunas com relevo já mascarado pela atuação dos processos intempéricos e erosivos atuantes ao longo do tempo.

Esses tipos de dunas são encontrados em quase todo o litoral cearense e nas áreas em análise encontram-se em todos os campos de dunas, com a ocorrência de datações nas áreas de Iguape e Pecém (Quadro 2).

4.1.2 Terceira Geração (G3)

As gerações de dunas acumuladas durante a regressão marinha holocênica, hoje fixadas, são denominadas dunas G3. As condições e período de ocorrência dessa regressão não se encontram ainda bem caracterizadas, mas considera-se o intervalo entre 2,7 ka e 1,2 ka para a sua definição temporal, estando o limite superior baseado em idade C^{14} de 2,7 +/- 140 ka A.P. de conchas de rochas de praia (Praia de Sabiaguaba - CLAUDINO-SALES, 2002).

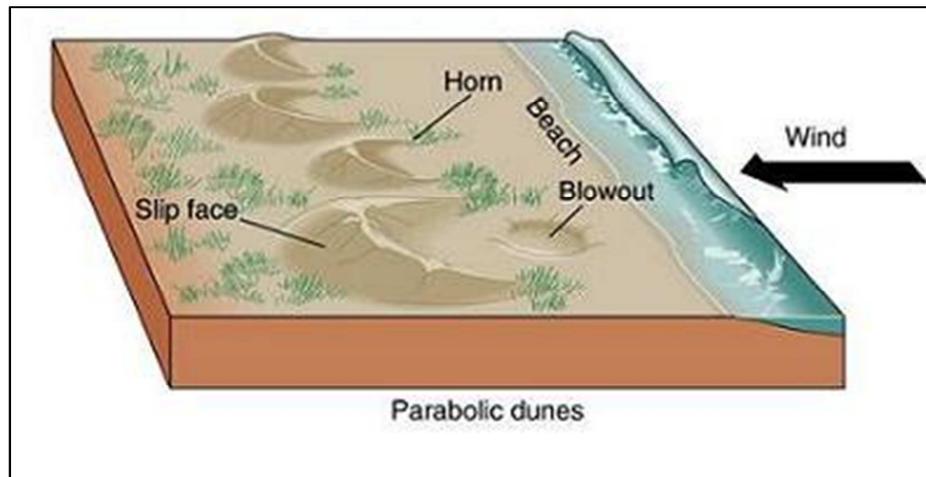
Elas seriam representadas pelas parabólicas *hairpin*, por parcelas do campo de dunas fixas mal definidas e pelos Eolianitos (CLAUDINO-SALES, 2005).

As dunas parabólicas são dunas em forma de “V” ou “U” com sua face de deslizamento contrária a direção do vento, dito de outra forma, a concavidade é voltada em direção ao vento principal. Parcelas de sua estrutura encontram-se fixadas por vegetação, tendo dessa forma, mobilidade reduzida ou por vezes nula.

Segundo Tinley (1985), dunas parabólicas variam muito em tamanho, e embora tenham origem em uma variedade de situações e de várias causas, suas origens têm um fator em comum - a existência de uma abertura ou lacuna na cobertura vegetal que permite romper pelo vento. Podem se originar na zona de duna frontal, relacionadas a fases ou episódios de erosão por mares de tempestades em dunas frontais.

A figura 13 mostra o desenho da morfologia de uma duna parabólica e suas estruturas como face de deslizamento e suas pontas, além de formas de erosão que podem evoluir para a formação de dunas parabólicas como os *blowouts*. Na figura nota-se a presença de vegetação e a proximidade com a faixa de praia que são peculiares a esse tipo de duna.

Figura 13 - Modelo de duna parabólica e suas estruturas



Fonte: Daves, 2006.

As dunas parabólicas encontradas no Iguape e Pecém e os Eolianitos de Paracuru e Pecém são a representação dessa geração para os setores analisados. A figura 14 apresenta a imagem de satélite com a delimitação de algumas dunas parabólicas na praia do Iguape (tracejado em preto).

4.1.3 Quarta Geração (G4)

As dunas sub-atuais ou G4, são móveis, formadas entre 400 anos e o intervalo médio de 1.0 ka. Essa definição é dada pela existência de dunas móveis em Jericoacoara que, realizando o transpasse sobre a ponta de Jericoacoara, migram há quase 1.000 anos. Essas dunas são representadas pelo tipo Barcanas ou Barcanóides. As dunas Barcanas são formas isoladas com a concavidade contrária a direção do vento dominante.

Segundo Schwämmle e Herrmann (2003), as dunas barcanas possuem forma de lua crescente e ocorrem em áreas onde a areia é escassa e o vento é unidirecional.

Nas áreas estudadas, as dunas Barcanas são encontradas na praia de Jericoacoara e realizam o transpasse costeiro. As Barcanóides também são encontradas em Jericoacoara e no campo de Paracuru. A figura 15 mostra modelos de dunas Barcanas e Barcanóides com sua morfologia de meia lua isolada para as dunas Barcanas e aglomeradas nas Barcanóides. Ambas com concavidades contrárias a direção do vento dominante.

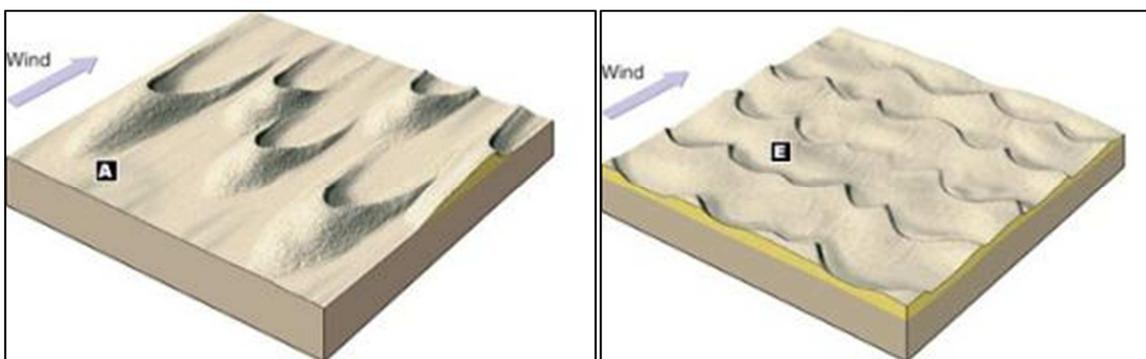
A figura 16 identifica (em preto) a partir de imagem de satélite, as dunas Barcanas no litoral de Jericoacoara.

Figura 14 - Dunas parabólicas na praia do Iguape



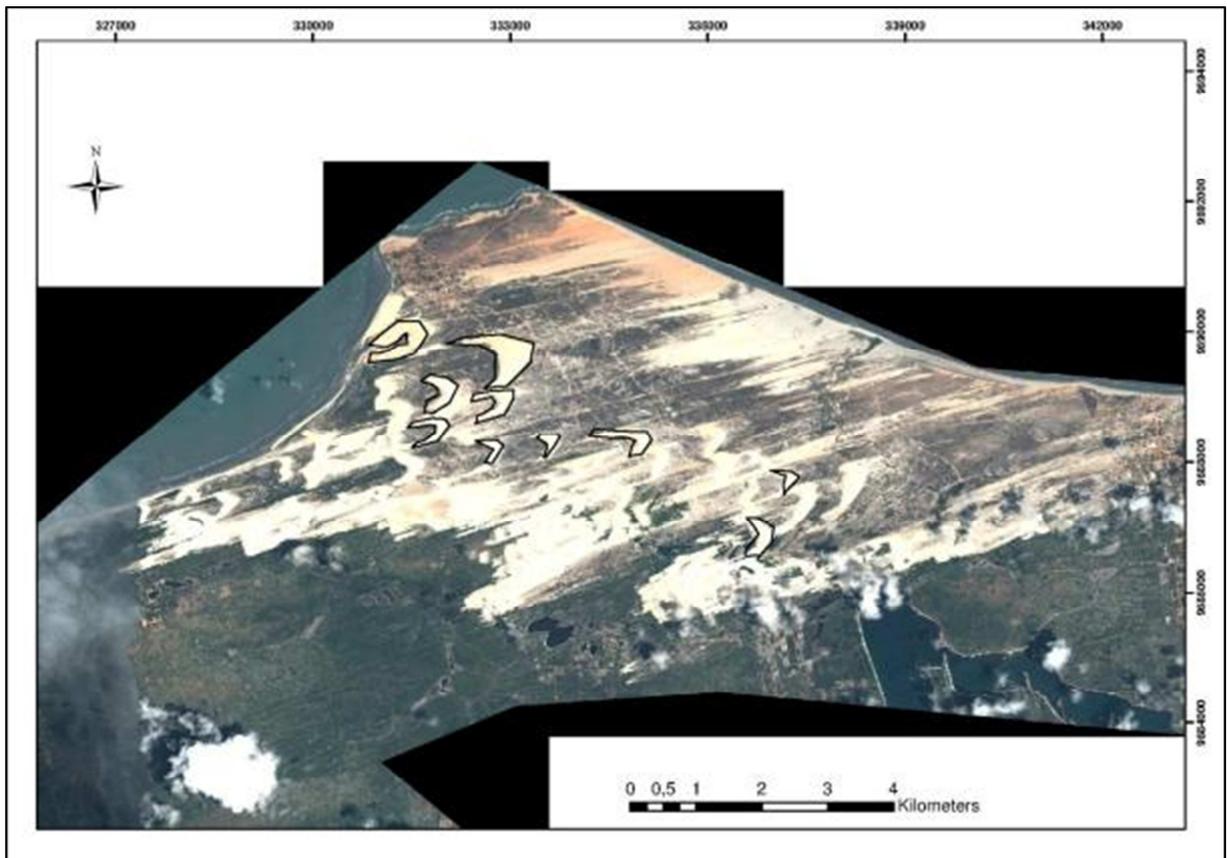
Fonte: Imagem *Quick Bird*, 2009.

Figura 15 - Modelo de dunas Barcanas (esquerda) e Barcanóides (direita).



Fonte: Davis, 2006.

Figura 16 - Dunas Barcanas da praia de Jericoacoara



Fonte: Imagem *Quick Bird*, 2009.

4.1.4 Quinta Geração (G5)

A mais recente geração ou dunas G5 são dunas móveis, formadas pela dinâmica litorânea e costeira atual, com idade média de 400 anos.

Maia *et al.* (2008) ressalta que apesar deste sistema de dunas estarem em migração, já não recebe aportes de novos materiais da praia, fazendo com que os terraços marinhos, as dunas inativas e a própria duna seja a fonte de sedimentos para sua migração. Estas dunas se encontram separadas da praia por distâncias entre 600m e 2.000m, e migram sobre as gerações de dunas anteriores.

As dunas de quinta geração, as mais recentes são encontradas em todos os campos de dunas analisados, com destaque para os lençóis de areia do Pecém, Paracuru e Ponta Grossa. O quadro 2 apresenta a síntese dos tipos de dunas e a idade em que se enquadram, de acordo com datações realizadas ou identificação visual de imagens.

4.2. Dinâmica Pretérita

4.2.1. O Sobe e Desce das Dunas: o Transpasse em Ponta Grossa

Em Ponta Grossa, no ano de 1958, as dunas migravam sobre as falésias no sentido ESE-WNW e as dunas fixas ocorrem no setor oeste e sul, entre o campo de dunas móveis e a enseada à sotamar do promontório, como pode ser observado na Figura 17.

Figura 17 – Fotografia aérea do litoral de Ponta Grossa em 1958.



Fonte: DNOCS

Quadro 2 – Tipologia e Geração de Dunas nos Setores Estudados

	Dinâmica e Tipologia	Geração de Dunas	
Ponta Grossa	Móveis (Lençóis de areia), Semi-fixas (Nebkas (foto)) e Fixas (sem forma definida)	G1, G2, G4	
Iguape	Móveis (Longitudinais (foto)), Semi-fixas (nebkas, frontais e corredores de deflação) e Fixas (Parabólicas <i>hairpin</i> e sem forma definida)	G1, G3, G5	
Pecém	Móveis (Lençóis de areia), Semi-fixas (frontais (foto), nebkas), Fixas (parabólicas <i>hairpin</i> e sem forma definida) e Eolinitos .	G1, G2, G3, G4, G5	
Paracuru	Móveis (Lençóis de areia, Longitudinais, Barcanóides), Semi-fixas (nebkas, frontais), Fixas (sem forma definida) e Eolianitos (foto)	G1, G3, G4, G5	
Jericoacoara	Móveis (Lençóis de areia, Longitudinais, Barcanas (foto) e barcanóides), Semi-fixas (nebkas, frontais), Fixas (sem forma definida).	G1, G2, G4, G5	

Fonte: diversos autores. Elaboração: Mônica Pinheiro (2015). Fotos: Mônica Pinheiro

As dunas em Ponta Grossa se destacam pela ascensão e descida dos sedimentos dunares nas falésias. As dunas do tipo Lençóis de Areia migram sobre o promontório a partir do segmento à montante do mesmo, onde as falésias alcançam menores altitudes, facilitando, assim, a entrada desses sedimentos.

As dunas fixas também se expandem ao longo da planície costeira entre as dunas móveis e os Tabuleiros Costeiros. Os Tabuleiros dominam o relevo após o campo de dunas fixas. A faixa de praia é limitada pela ocorrência de falésias à beira-mar dividindo-as entre os setores a barlar e sotamar do promontório. À sotamar são formados *spits* que alongam e expandem a faixa de praia, em determinados setores.

O transpasse ocorria na porção centro-leste do promontório. Entre as dunas compostas encontram-se dunas semi-fixas como as Nebkas. Nesse setor, a partir das fotografias aéreas, não são visíveis planícies de deflação ou superfícies de erosão eólicas. O Mapa 1 apresenta o contexto geoambiental encontrado durante o ano de 1958 na praia de Ponta Grossa.

O campo de dunas móveis se estendia por cerca de 806 km costa adentro com largura de 1,67 km entre a faixa de praia a leste e o transpasse no promontório. As dunas móveis no ano de 1958 apresentavam uma área de 108,77 ha. Já as dunas fixas cobriam uma área de 73,25 ha. Ao todo, o campo de dunas no setor do promontório de Ponta Grossa apresentava uma área de 1.819ha.

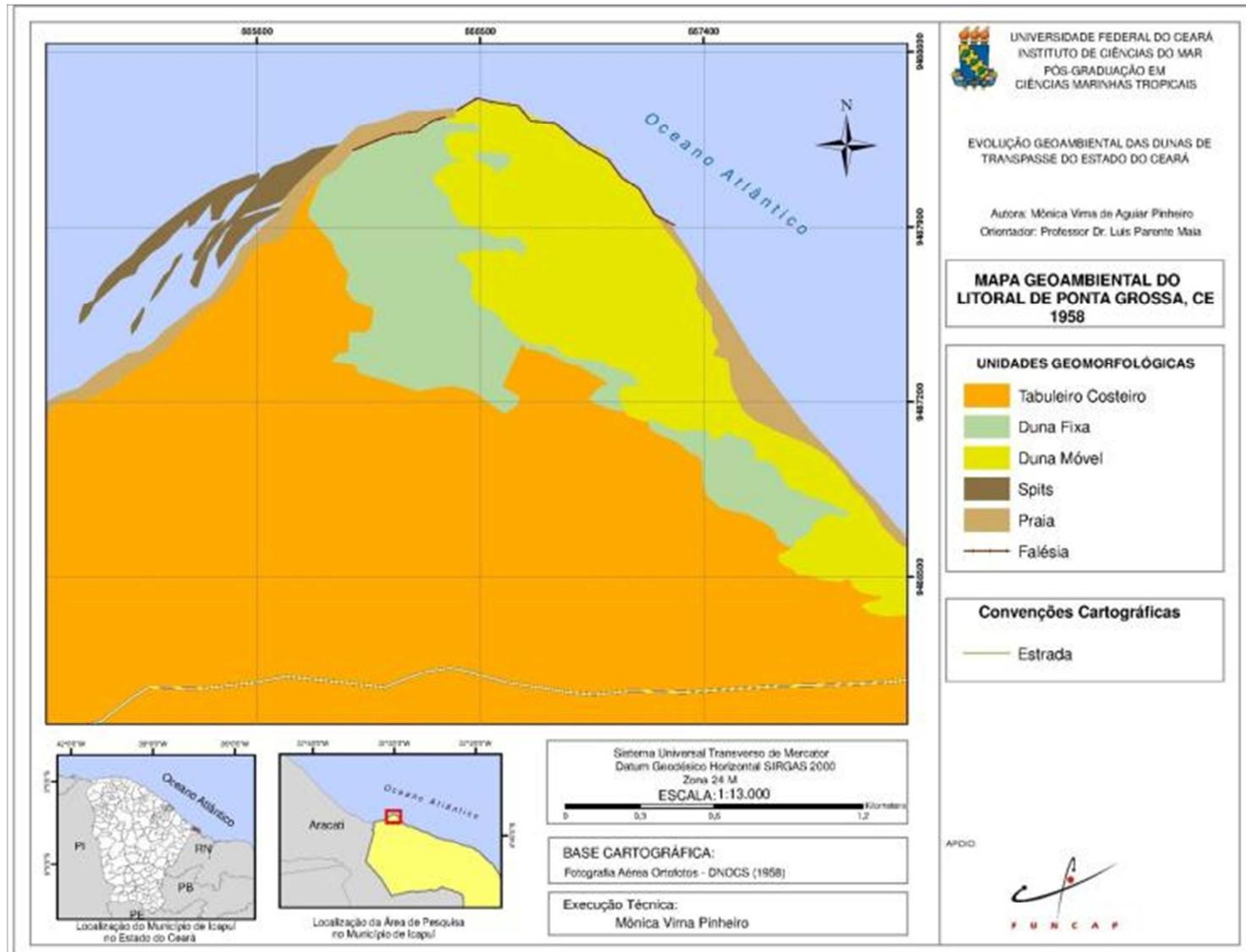
Nesse setor da planície costeira, em 1958, não existia nenhum tipo de ocupação ou infraestrutura urbana em seu entorno. A comunidade de Ponta Grossa ainda não tinha se estabelecido nesse momento.

4.2.2 Um Litoral Antigo: As Dunas do Iguape

Uma análise geomorfológica da planície litorânea do Iguape, já no ano de 1958 mostra o domínio das dunas fixas sobre as dunas móveis, ou seja, as dunas móveis já não eram predominantes, diferente do que ocorre na maior parte do litoral cearense.

Todo o setor sul da planície é composto por dunas fixas de forma parabólicas, bem visualizadas através da fotografia aérea apresentada na Figura 18. Seu limite é bem marcado e tem as drenagens como divisores.

Mapa 1 – Unidades Geoambientais do Litoral de Ponta Grossa, em 1958



Na região do Iguape, a leste se destacam um estuário com pequeno manguezal que desemboca à barlamar do promontório (Praia do Barro Preto) e a oeste a Laguna do Iguape, com vegetação de mangue em sua extensão. As dunas semi-fixas, como as nebkas, são encontradas, principalmente, ao longo da planície de deflação.

As dunas móveis são limitadas a pequeno setor dentro da planície de deflação que contribui na alimentação da duna que realiza o transpasse. Esse corredor eólico que se inicia à Barlamar não encontra nenhum obstáculo ao longo do caminho e a erosão eólica atua permanentemente sobre a planície de deflação e praia.

O mapa 2 mostra o mapeamento geoambiental realizado, o qual foi delimitado para área em estudo, o setor entre o estuário a leste e a laguna do Iguape.

A duna móvel, no ano de 1958, que executa o transpasse é mantida através da migração de sedimentos na planície de deflação sobre o promontório e apresenta extensão de 1,0km e largura de 187 metros.

Nota-se a presença de setores de dunas móveis na planície de deflação a leste do promontório e dentro do campo de dunas fixas em contato com a planície de deflação. A área coberta pelas dunas móveis não passava de 44,39 ha.

As dunas fixas já cobriam boa parte da planície costeira e limitavam as unidades de planície de deflação ao norte e Tabuleiros Costeiros ao sul. Ocupavam uma área de 877 ha adentrando a zona costeira por até 2,5km.

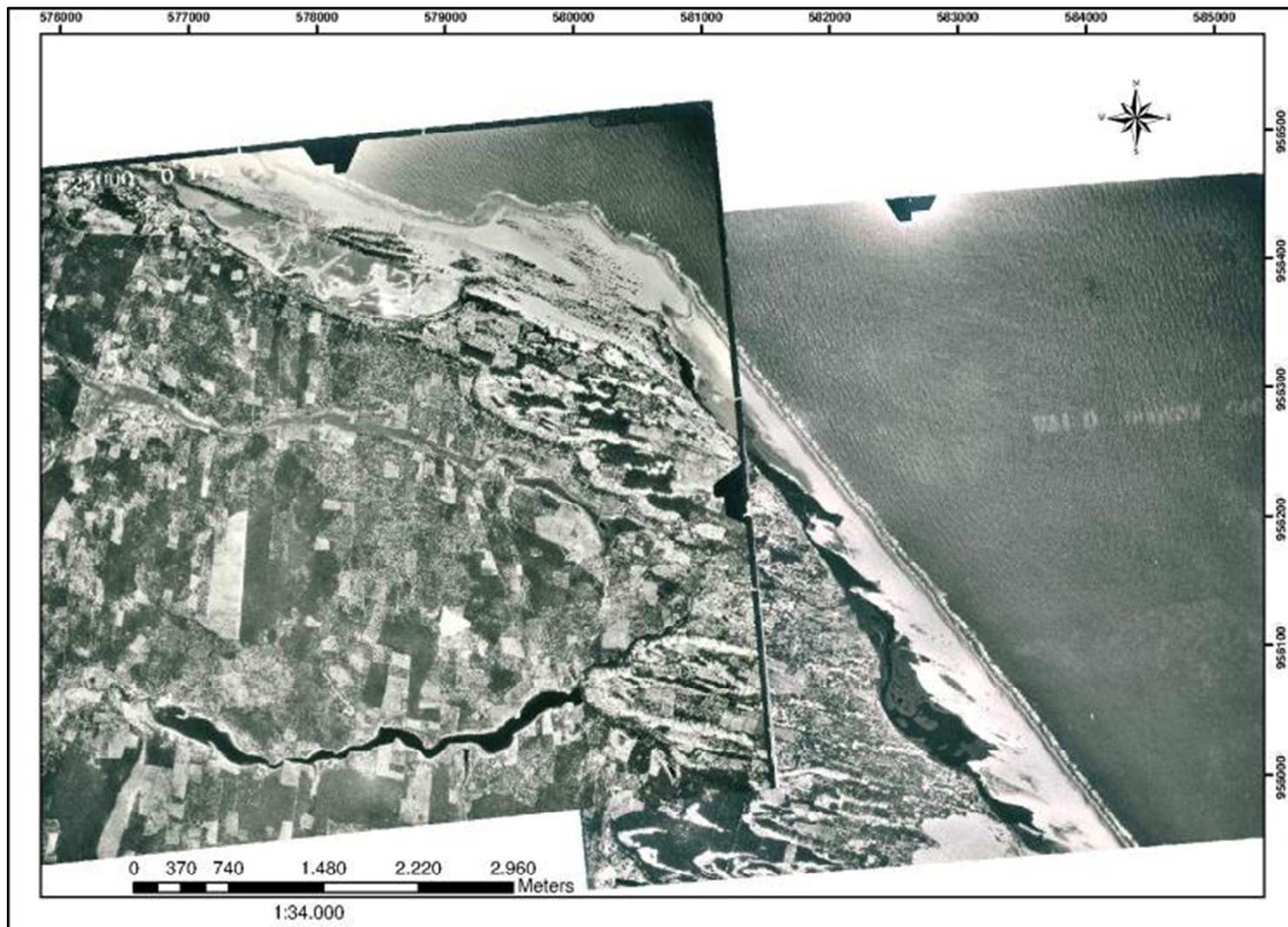
A ocupação humana na área se limitava a pequena vila do Iguape, e as vias de acesso a essa comunidade que já estavam minimamente estabelecidas. As dunas e a planície de deflação sobre o promontório apresentavam-se preservadas.

4.2.3 Os Mares de Areia: Pecém e Paracuru

A Praia do Pecém possui dinâmica costeira associada ao sistema promontório-praia-duna. Numa análise da zona costeira em 1958, percebe-se um extenso campo de dunas, associado diretamente à faixa de praia adjacente e a migração dessas dunas em duas direções principais, E-W adentrando o continente e à SE-NW realizando o transpasse costeiro.

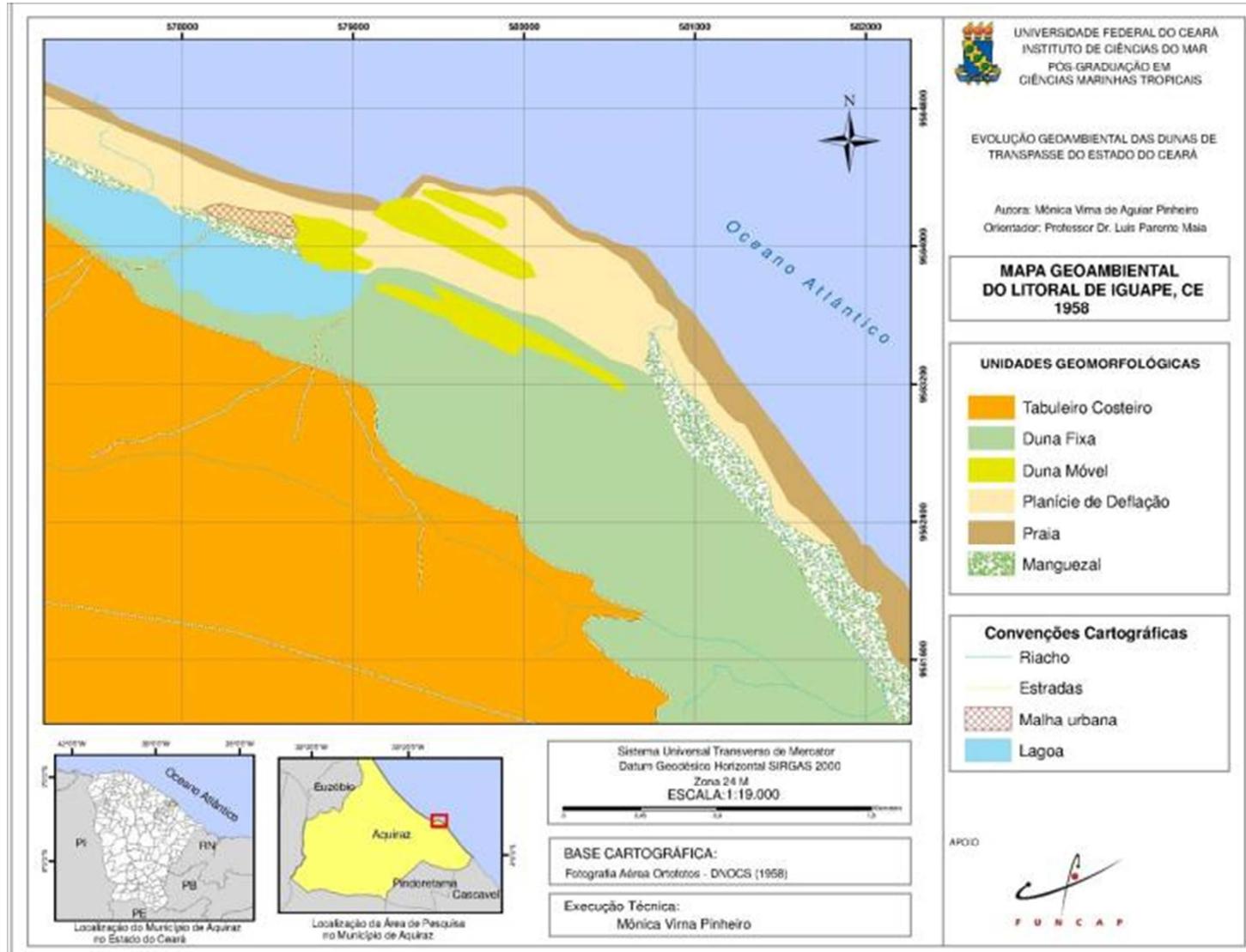
A figura 19 apresenta o contexto da planície litorânea do Pecém, no ano de 1958, com o domínio do campo de dunas móveis sobre as outras unidades geoambientais. A fotografia aérea foi utilizada para o mapeamento do referido ano.

Figura 18 - Fotografia aérea do litoral de Iguape em 1958



Fonte: DNOCS, 1958.

Mapa 2 – Unidades Geoambientais do Litoral de Iguape, em 1958



O campo de dunas móveis domina no contexto geomorfológico da planície litorânea do Pecém. As dunas móveis se apresentam como grandes lençóis, sem forma definida e com marcação de difícil visualização na paisagem entre a planície de deflação e o campo propriamente dito. A dinâmica sedimentar atua intensamente entre a faixa de praia e o campo de dunas.

A planície de deflação incipiente se restringe a pequenos setores de deflação com intenso aporte de sedimentos praia-duna, limitando a formação de planície de deflação. As dunas fixas adentravam o continente à retaguarda das dunas móveis, confundindo-se com os tabuleiros costeiros.

A faixa de praia possuía dinâmica ativa junto à planície de deflação à barlamar enquanto à sotamar recua no setor de enseada quando as dunas avançam sobre seu contexto. Pequena área de *spits* ocorriam à jusante do promontório.

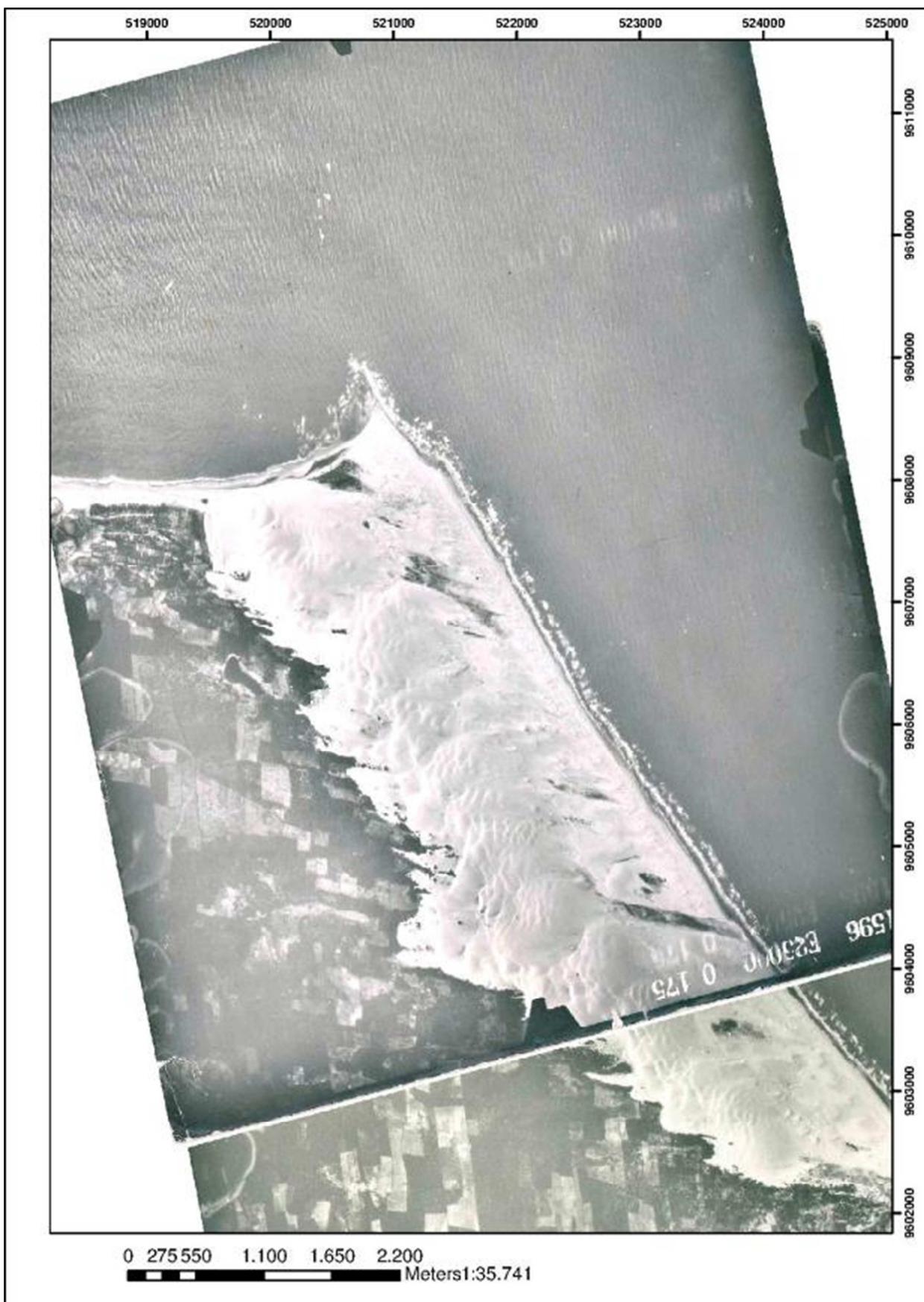
As dunas móveis se estendiam da foz do riacho Cauípe até o promontório do Pecém num percurso de aproximadamente 7,2 km, ocupando uma área de 910,65 ha. Em direção ao continente, apresentavam largura de 1,5 km, em média. Pode-se notar, assim, uma intensa dinâmica dunar com significativo campo de dunas móveis. Nesse contexto, o transpasse costeiro ocorria de forma plena ligando o campo de dunas móveis à enseada à sotamar do promontório.

As dunas fixas cobriam todo o setor sul e sudoeste da área limitando-se com os tabuleiros costeiros. A área ocupada pelas dunas fixas em 1958 era de 1.336,38 ha.

No campo de dunas não existia nenhum tipo de ocupação humana, esta se restringindo a incipiente vila do Pecém, à sotamar do promontório. A planície de deflação também se encontrava livre de obstáculos, sem nenhuma ocupação ou qualquer tipo de infraestrutura. O mapa 3 apresenta o mapeamento realizado para o setor da planície costeira do Pecém.

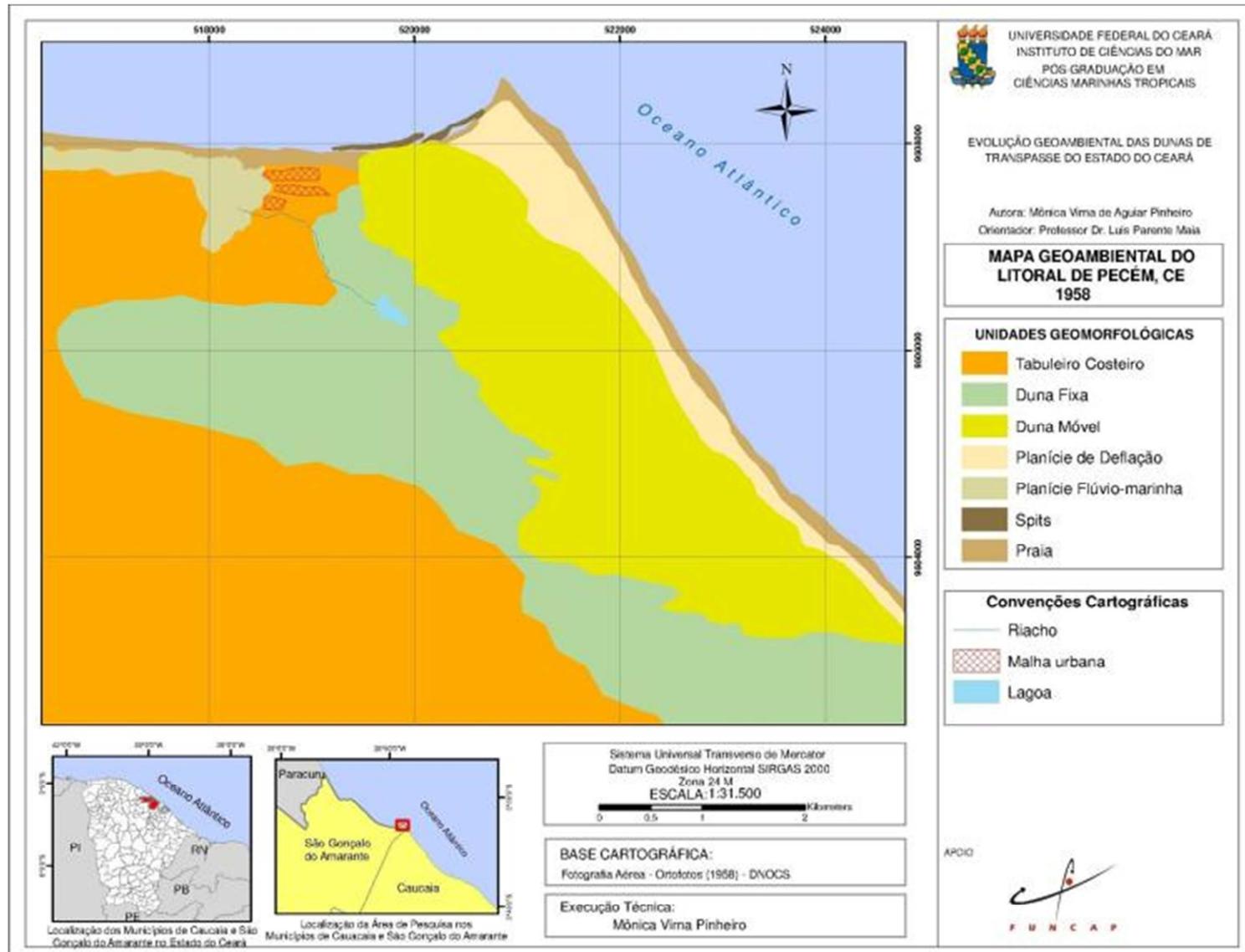
Em Paracuru, assim como no Pecém, as dunas móveis predominavam na planície costeira. São mares de areia que invadem e se expandem planície adentro. As dunas em Paracuru migram em formatos distintos e desenvolvem dunas do tipo barcanóide, barcana, longitudinais, além de lençóis de areia.

Figura 19 - Fotografia aérea do litoral do Pecém em 1958



Fonte: DNOCS, 1958.

Mapa 3 – Unidades Geoambientais do Litoral do Pecém, em 1958.



O campo de dunas móveis em Paracuru migrava na direção ESE-WNW desaguando na enseada do promontório realizando o transpasse costeiro e na direção E-W em direção ao Tabuleiro Costeiro. As dunas Barcanas eram encontradas, predominantemente, sobre a planície de deflação, mais próximas à faixa de praia, assim como as dunas longitudinais, por vezes, formadas pela migração das Barcanas que deixam rastros da sua migração sobre a planície de deflação.

Os Lençóis encontram-se no meio do campo de dunas que avança e forma cadeias barcanóides com presença de lagoas freáticas em seus domínios. As lagoas freáticas também eram encontradas com facilidade nos setores de deflação, após a faixa de praia.

O campo de dunas de Paracuru no ano de 1958 apresentava-se como imenso “mar de areias” adentrando a planície litorânea até o limite com os tabuleiros costeiros ou dunas fixas podendo ser visualizado na Figura 20.

As dunas fixas de Paracuru eram incipientes, se resumindo a pequenas parcelas no contato com as dunas móveis, ao sul, como um cordão margeado por pequeno curso d’água que escoava no sentido W-E. A planície de deflação cumpria sua função e atuava como caminho para os sedimentos chegarem às dunas, além de formadoras de lagoas freáticas.

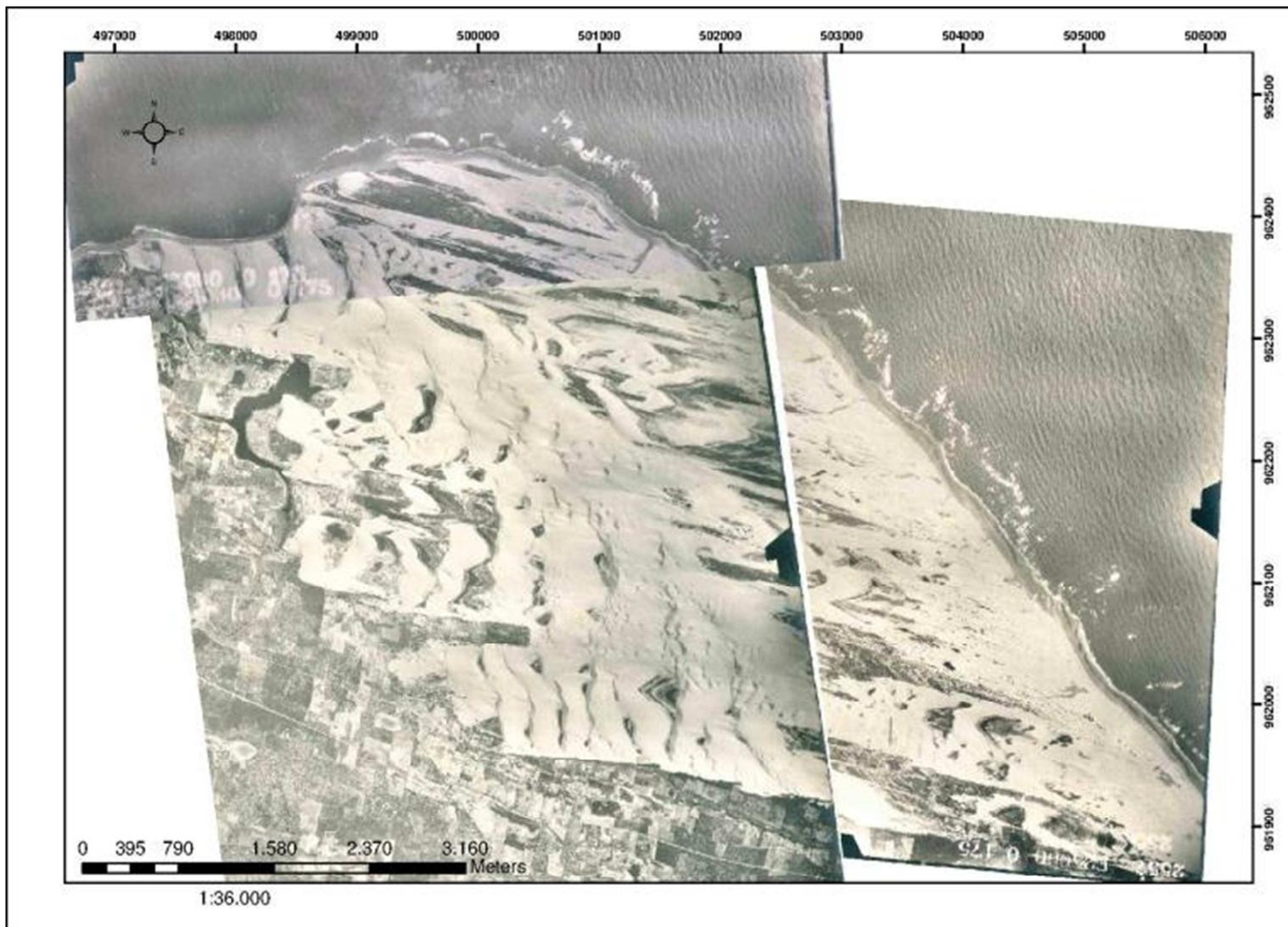
As drenagens ocorrem tanto na área de planície de deflação em direção à praia, através de pequenos canais de drenagens intermitentes e cursos d’água ao sul e a oeste do campo de dunas, como através das lagoas freáticas ao longo do campo de dunas móveis.

As dunas móveis em 1958 ocupavam uma área de 1.639,06 ha, numa extensão de 4,0km no sentido leste-oeste e 7,0 km, norte sul, em média. Já as dunas fixas estavam numa área de 25,68 ha, margeando o campo de dunas móveis ao sul.

No ano de 1958, a ocupação da planície costeira de Paracuru, segmento a leste do promontório era inexistente, dada a ocupação inicial da cidade ter se dado em setores mais afastados dos campos de dunas, no setor à oeste do promontório. As dunas migravam livres sem obstáculos no seu percurso adentrando o continente e avançando em alguns setores sobre os Tabuleiros Costeiros. O transpasse costeiro ocorria em toda a enseada à oeste do promontório de Paracuru, alimentando a dinâmica costeira na área.

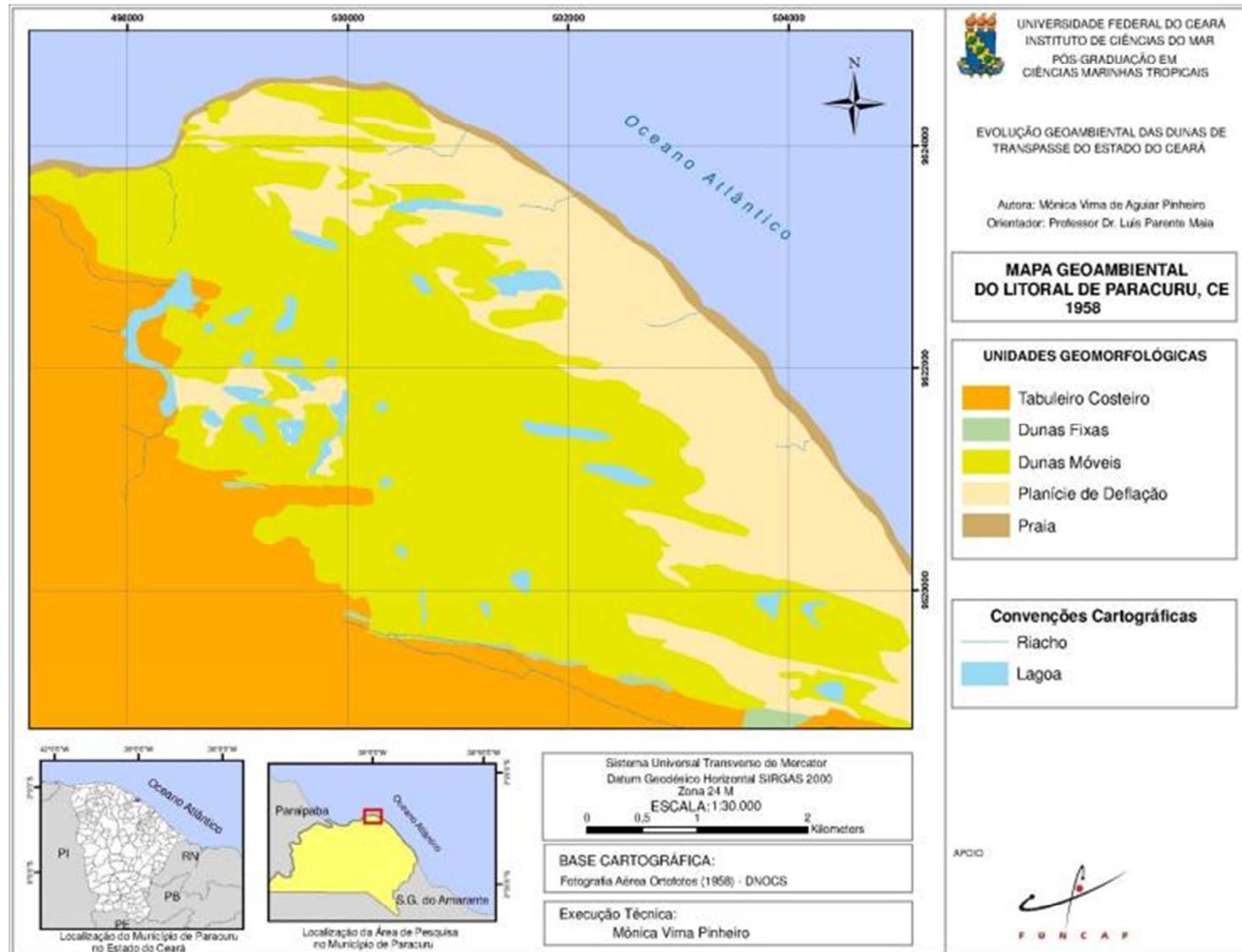
O mapa 4 apresenta as unidades geoambientais presentes na planície litorânea de Paracuru no ano de 1958.

Figura 20 - Fotografia aérea do litoral de Paracuru em 1958



Fonte: DNOCS, 1958

Mapa 4 – Unidades Geoambientais do Litoral de Paracuru em 1958



4.2.4 Trânsito Livre: As Dunas em Jericoacoara

Em Jericoacoara, o trânsito livre de areias sobre a planície litorânea se destacava. Esse trânsito é permitido pela dimensão da planície, livre de obstáculos, associada à intensa dinâmica eólica e sedimentar que se estabeleceu na área.

As dunas barcanas e barcanóides tem papel relevante, pois, predominam seguidas das longitudinais e lençóis de areia. As barcanas e barcanóides migram sobre a planície de deflação em direção à enseada realizando o transpasse costeiro e encontram-se mais próximas da faixa de praia atual. Em 1958 notamos a presença mais marcante de dunas barcanóides em uma planície de deflação com uma intensa atividade eólica. Entre essas dunas acham-se as Longitudinais relacionadas, em sua maioria a migração das barcanas e barcanóides. O sentido de migração predominante é ESE-WNW.

Na figura 21 é possível visualizar os principais tipos de dunas encontrados em Jericoacoara durante o final da década de 1950.

As dunas Lençóis de Areia encontravam-se mais afastadas da faixa de praia atual, migrando em direção ao continente, sentido SE-NW e encontram-se em contato com o campo de dunas fixas. No setor sul e oeste encontram-se o campo de dunas fixas até o limite com a planície flúvio-marinha e os tabuleiros costeiros.

As drenagens se limitavam a pequenos cursos d'água na planície de deflação, relacionados, principalmente as áreas de deságue de lagoas costeiras. A lagoa de Jijoca, principal recurso hídrico na planície de Jericoacoara possui seu entorno margeado por dunas móveis, predominantemente, ocorrendo também setores de dunas fixas.

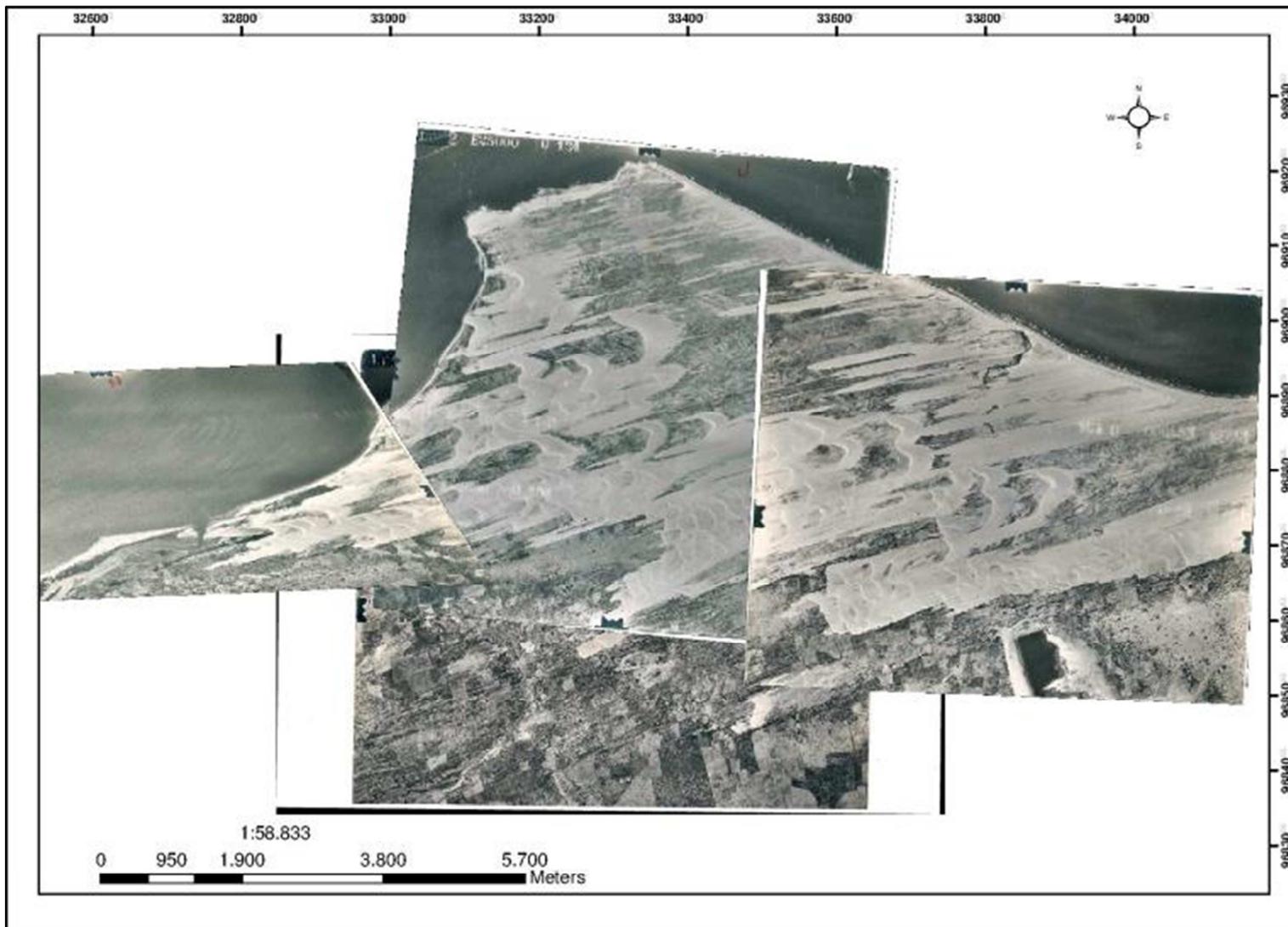
Ao longo da planície de deflação nota-se a ausência de lagoas freáticas e interrupção de cursos d'água pelo intenso fluxo de sedimentos, caracterizando, assim um período de baixas precipitações.

A área ocupada pelo campo de dunas móveis no ano de 1958 era de 3.008,56 ha. Já as dunas fixas se estendiam numa área de 1.808,28 ha.

Nesse período nota-se a existência da pequena localidade de Jericoacoara, contudo, nenhuma marca de acesso a área pelo campo de dunas como rodovias ou trilhas são visíveis. A ocupação humana na praia de Jericoacoara era restrita a sua localidade e alterações ambientais não são identificadas ao longo da planície costeira, através do mapeamento. A pequena vila se distribuía numa área de 27,10 ha.

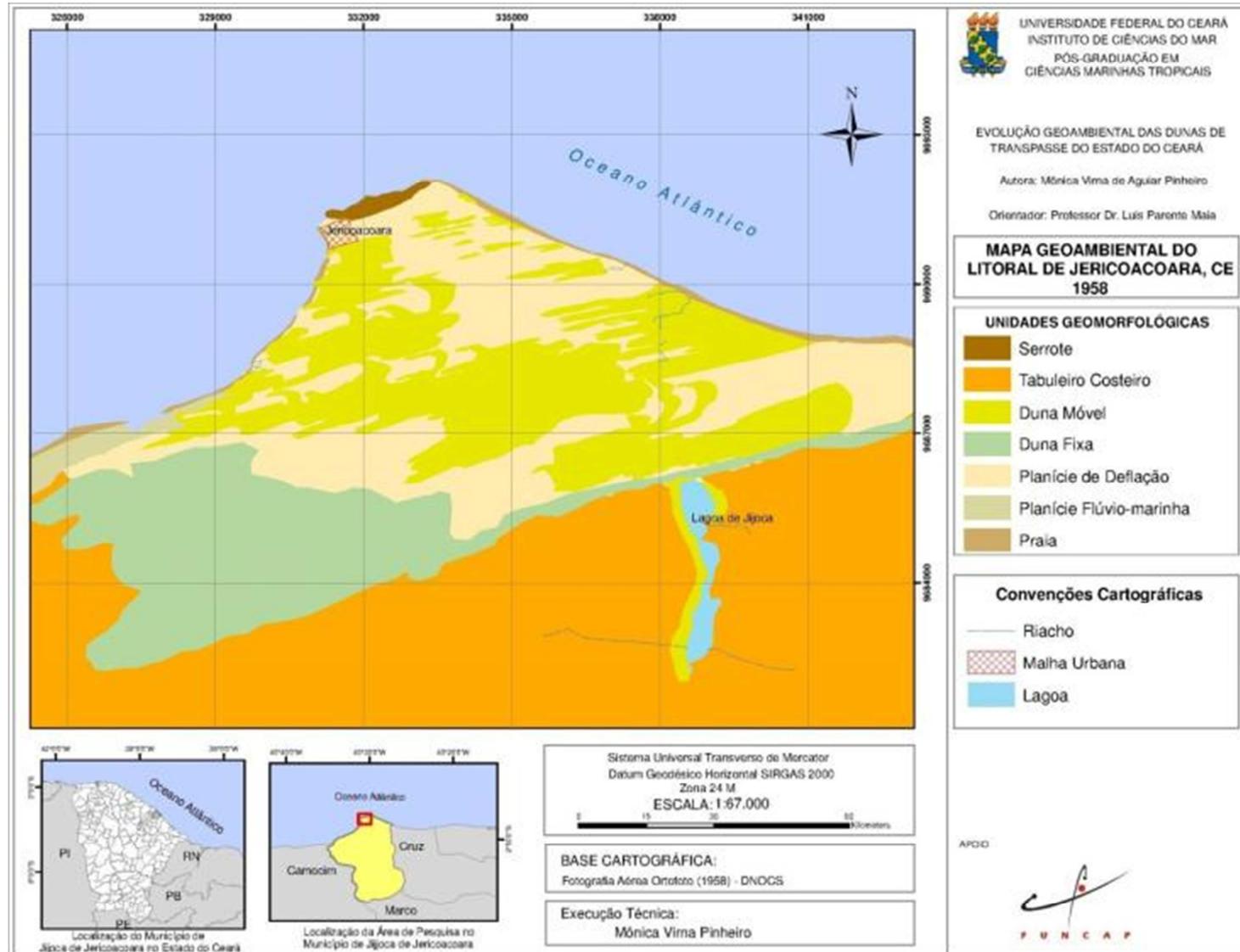
O mapa 5 apresenta, em detalhe, as principais unidades geoambientais encontradas na planície de Jericoacoara.

Figura 21 - Fotografia aérea do litoral de Jericoacoara em 1958.



Fonte: DNOCS

Mapa 5 - Unidades Geoambientais do Litoral de Jericoacoara em 1958.



5. ANÁLISE ESPAÇO-TEMPORAL: O TRANSPASSE COSTEIRO HOJE

O transpasse costeiro atual ocorre de maneira individualizada nos distintos setores da costa cearense. Essa individualização está relacionada tanto as condições morfológicas e oceanográficas atuantes quanto à ocupação humana na área.

Os setores analisados experimentam diferentes contextos morfológicos e ambientais, assim como diferem quanto a dinâmica dos transpasses de dunas. Assim, o mapeamento das áreas de transpasse costeiro no litoral do Estado do Ceará identifica as unidades morfológicas presentes, além de apresentar a atual situação ambiental desses setores. Apresentamos a seguir, a análise e dinâmica morfológica dos 05 (cinco) setores avaliados (Ponta Grossa, Iguape, Pecém, Paracuru e Jericoacoara) e a atual situação dos campos de dunas de transpasse nos mesmos.

5.1 A Dinâmica Espaço-Temporal das Dunas de Transpasse no Ceará

5.1.1 *E o sobe e desce continua: As Dunas de Ponta Grossa*

Em Ponta Grossa estão presentes as unidades geomorfológicas dos tabuleiros costeiros, dunas móveis e fixas, praia, *spits* ou flechas litorâneas, falésias e paleofalésias.

Os tabuleiros costeiros abrangem os setores ao sul da planície costeira com relevo plano a suave ondulado com vegetação densa de porte arbóreo. Nas áreas próximas as dunas fixas são melhor visualizadas e fazem contato com a linha de praia através de falésias ou paleofalésias. As paleofalésias são predominantes no trecho à sotamar do promontório, além da presença de uma plataforma de abrasão como mostra a figura 22. O promontório de Ponta Grossa é formado de rochas sedimentares siliciclásticas, correlatas à Formação Barreiras, que chamam atenção pela magnitude das feições estruturais que afetam rochas relativamente jovens, Neógenas (Mioceno) (SOUSA *et al.*, 2008).

Na área, a litologia aflorante é composta pelos seguintes conjuntos: (i) unidade de rochas carbonáticas, correlacionada à Formação Jandaíra, que ocorre de forma restrita na base das falésias; (ii) unidades de rochas siliciclásticas, correlacionadas às formações Barreiras e Tibau, que predominam lateral e verticalmente ao longo das falésias; (iii) rochas da Formação Potengi, no topo das falésias (SOUSA *et al.*, 2008).

O mapa 6 apresenta o contexto geoambiental da praia de Ponta Grossa com a identificação das unidades geomorfológicas presentes.

Mapa 6 – Unidades Geoambientais de Ponta Grossa

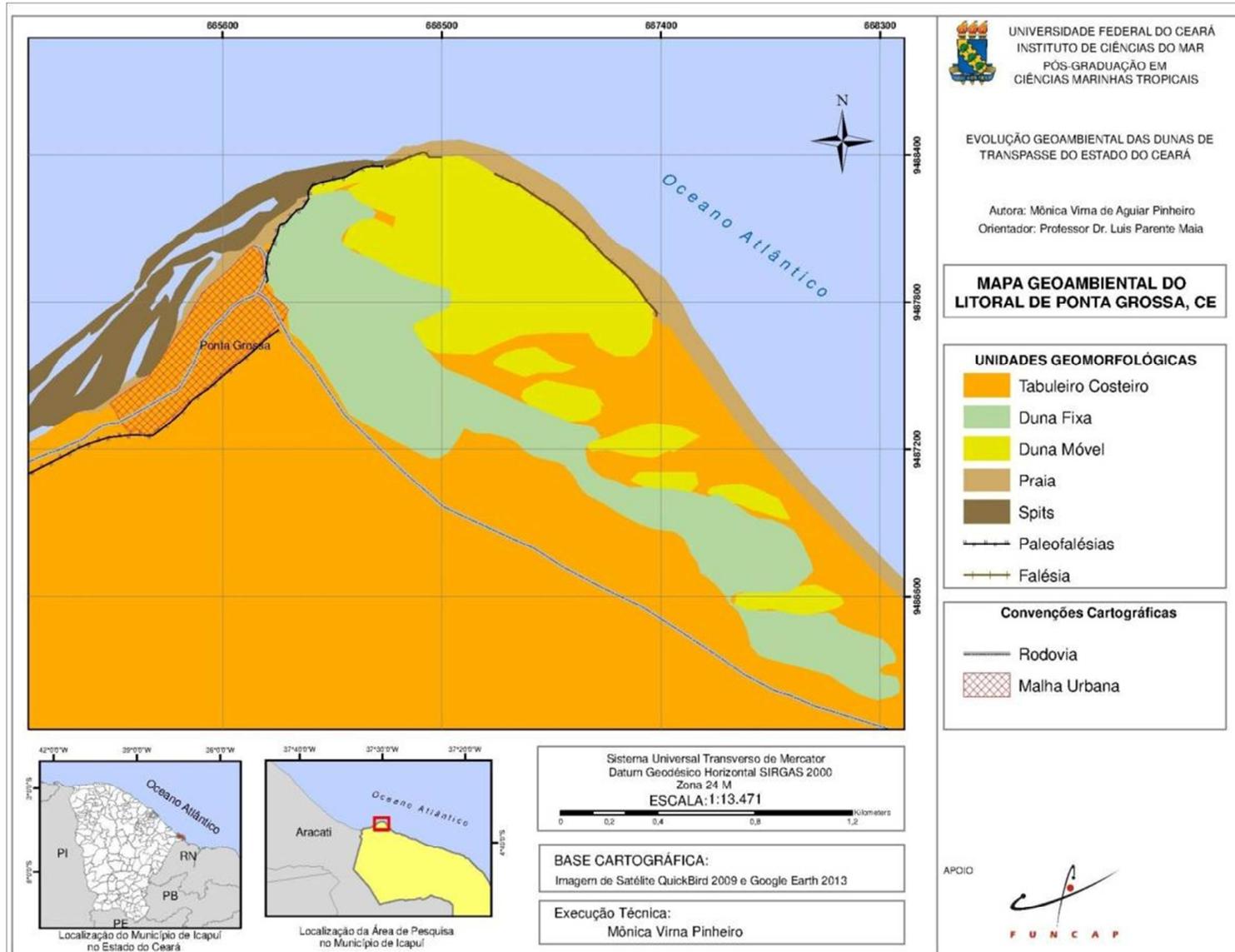


Figura 22 – Paleofalésias (esquerda) e plataforma de abrasão (direita).



Fotos: Mônica Pinheiro, 2014.

Na porção superior das falésias, capeando de forma discordante as formações Barreiras e Tibau ocorrem os sedimentos que integram as paleodunas, correlacionados à Formação Potengi. Tais sedimentos são caracterizados por areias exibindo coloração branca, amarela e vermelha, relacionadas a uma sedimentação eólica (SOUSA *et al.*, 2008).

A faixa de praia é estreita nos limites com as falésias e se alarga à oeste do promontório onde ocorrem as barreiras litorâneas ou *spits* e o contato com o continente se dá através de paleofalésias. As paleofalésias ou falésias inativas, que não possuem mais contato direto com o mar, ocorrem ao longo de toda a faixa à sotamar do promontório de Ponta Grossa.

No promontório de Ponta Grossa as dunas encontram-se de forma móvel, fixas e semi-fixas. As dunas fixas encontram-se hoje sobre as falésias e topo dos tabuleiros costeiros da região com formas não definidas, ou seja, aplainadas sobre o tabuleiro. No contato das dunas móveis, ainda é possível encontrar dunas fixas bem definidas com fortes ondulações. As dunas semi-fixas são encontradas sob a forma de *nebkas* no topo das dunas móveis.

Atualmente as dunas móveis apresentam-se como lençóis de areia e sua área é restrita entre o alinhamento de falésias e o campo de dunas fixas à oeste e sul, destacando-se como uma área de pequeno transpasse. As dunas migram livremente sobre o promontório, escalando as falésias e caindo ao mar, alimentando a faixa de praia.

A figura 23 apresenta a dinâmica das dunas de transpasse sobre as falésias na praia de Ponta Grossa e mostra sua influência na alimentação das praias à sotavento do promontório.

No modelo digital de elevação apresentado, no mapa 7 pode-se entender o contexto topográfico que se encontra a área da praia de Ponta Grossa.

Figura 23 - Transpasse Costeiro em Ponta Grossa.



Fotos: Mônica Pinheiro (2013 e 2014).

De modo geral, a região de Ponta Grossa encontra-se numa situação de altitudes elevadas, cerca de 70 metros nos setores das falésias. Essa altitude tem seu pico na faixa de dunas sobre as falésias e vai diminuindo em direção ao continente apresentando um relevo mais plano, menos movimentado. Destaca-se assim, a superfície de dunas fixas sem forma definida nesse setor, confundindo-se com os Tabuleiros Costeiros.

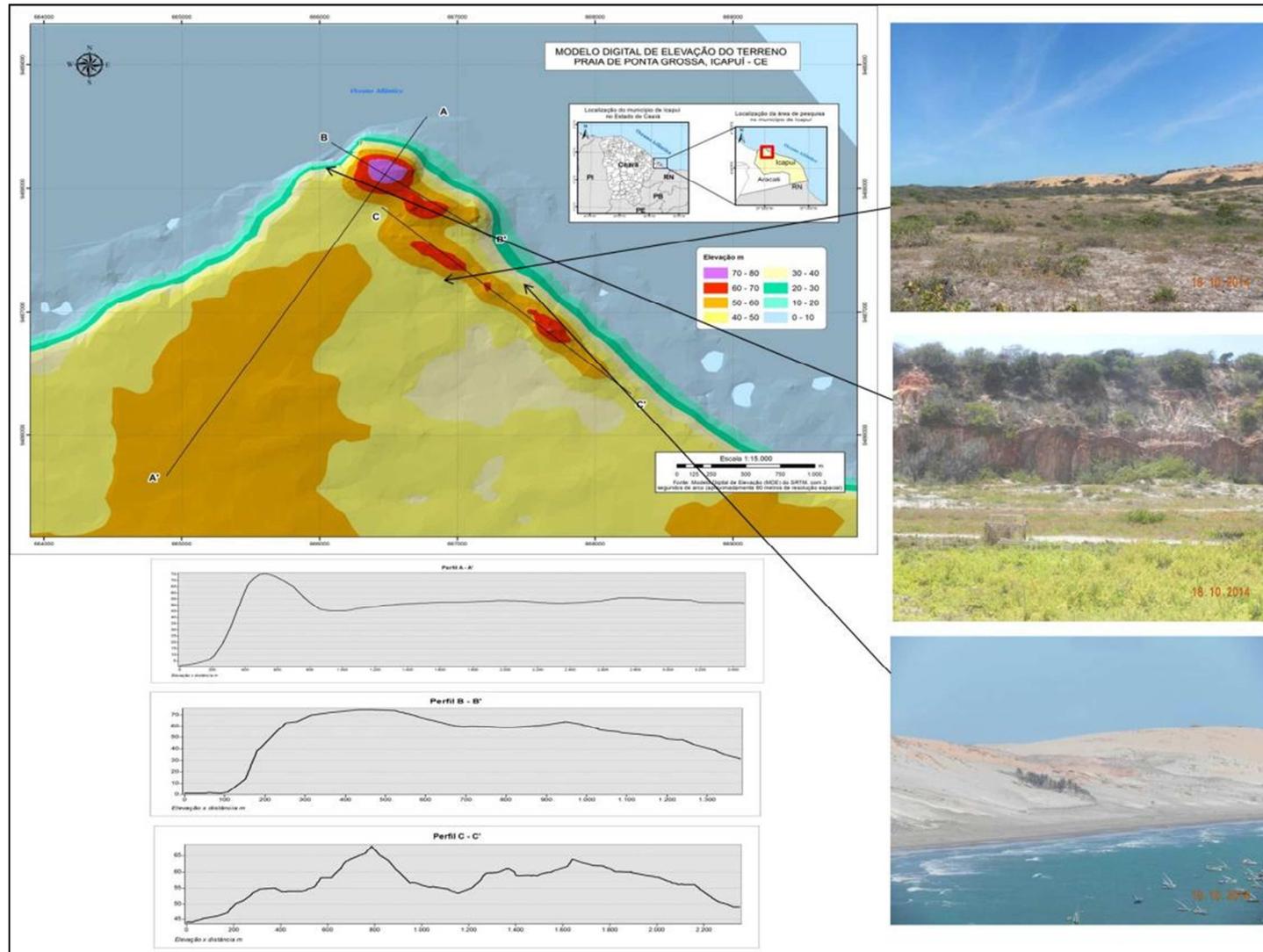
Nos perfis A e B nota-se a inclinação abrupta da vertente da falésia no contato com a faixa de praia. No perfil A observa-se também, bem marcado na topografia da área, o final do campo de dunas móveis e início das dunas fixas em contato com o Tabuleiro que se dá sem desnível topográfico evidente, ou seja, o início do tabuleiro costeiro e o fim do limite das dunas fixas são imperceptíveis topograficamente na área (Mapa 7).

Na direção SE-NW, os perfis B e C apresentam diferentes comportamentos topográficos. O perfil B apresenta o campo de dunas que migra em direção à enseada do promontório, com elevadas altitudes e uma monotonia topográfica. O contato com a faixa de praia também é abrupto, por fazer contato também com falésias, contudo o relevo se mostra constante quanto a altitude (Mapa 7).

No perfil C nota-se um relevo mais movimentado, provavelmente em razão do menor acúmulo de sedimentos de dunas nesse setor, o que faz com que o vento atue formando planícies entre dunas, descobrindo parte dos tabuleiros costeiros.

A análise geomorfológica mostra uma área com relevo extremamente associado ao campo de dunas, falésias e paleofalésias existentes, sem interferências fluviais ou lacustres, associado a dinâmica de promontório-praia-duna.

Mapa 7 – Modelo Digital de Elevação e Perfis Topográficos de Ponta Grossa.



Fotos: Mônica Pinheiro (2015).

O campo de dunas móveis em Ponta Grossa possui uma área limitada entre a faixa de praia a barlamar do promontório e a enseada a sotamar. Sua área corresponde a 82,55 ha que migram tanto em direção à enseada, realizando o transpasse costeiro quanto em direção ao interior da zona costeira, encobrendo faixas de dunas fixas. As dunas fixas ocupam uma área de 91,99 ha entre as dunas móveis e os Tabuleiros Costeiros.

Em Ponta Grossa, a área de transpasse se resume a pequenos setores onde as dunas descem as falésias em direção a faixa de praia. Essa área se resume a cerca de 13 ha onde há faixa de dunas móveis sobre as falésias realizando o transpasse. Essas dunas tem início no setor leste da área onde as falésias atuais são interrompidas.

Ponta Grossa está num patamar de conservação privilegiado, levando-se em conta o fato de que muitas das praias no Estado já sofreram intervenções capazes de alterar substancialmente os processos fundamentais para a plenitude dessa feição geomorfológica (SANTOS, 2008).

Após 56 anos de ocupação as dunas de Ponta Grossa encontram-se ainda pouco alteradas pela ação antrópica direta, ou seja, no setor estudado há poucas alterações, com exceção de uma via que liga a cidade de Icapuí a praia de Ponta Grossa que margeia o campo de dunas fixas e chega até a praia onde existe algumas residências, pousadas e restaurantes (Figura 24).

Figura 24 - Ocupação antrópica na Praia de Ponta Grossa



Foto: Mônica Pinheiro (2014).

A faixa de praia à barlamar do promontório sofreu uma expansão alargando em direção ao centro do promontório. As flechas litorâneas ou *spits* também aumentaram sua influência alargando e se expandindo em direção à enseada.

O litoral de Icapuí ainda passa por um processo lento de ocupação, talvez em razão da distância da capital Fortaleza, cerca de 200 km, além da baixa especulação imobiliária, freada pela área de preservação ambiental já existente na região.

Notamos uma expansão das dunas móveis que adentraram o continente e recobriram parte das dunas fixas e a redução do aporte de sedimentos que diminuiu a área de dunas móveis sobre o tabuleiro costeiro. Essa redução é visível ao expor parte do topo da Formação Barreiras de coloração avermelhada, distinta dos sedimentos eólicos dunares.

As dunas móveis de Ponta Grossa sofreram uma redução de 24,11% ao longo dos anos de 1958 e 2014. Já as dunas fixas passaram por um aumento de cerca de 19 ha, em torno de 22% como mostra a Tabela 1.

Tabela 1 – Área de dunas em Ponta Grossa

		1958	2014	Resultante
Ponta Grossa	Dunas Móveis	108,77 ha	82,55 ha	-26,22 ha
	Dunas Fixas	73,25 ha	91,99 ha	+18,74 ha

Fonte: Mônica Pinheiro (2015).

Entre a faixa de praia à sotamar do promontório e o campo de dunas, área de trânsito de sedimentos eólicos, não há interferências que bloqueiem o transporte de sedimentos em direção ao campo de dunas (Figura 25). Contudo, nota-se a redução da cobertura de dunas móveis entre os períodos estudados. Nesse caso, a redução pode estar relacionada à diminuição de sedimentos na deriva litorânea em áreas-fonte à leste da área em estudo.

Figura 25 - Trânsito de sedimentos à barlamar do promontório de Ponta Grossa



Fotos: Mônica Pinheiro (2014).

O mapa 8 apresenta a evolução espaço-temporal para os períodos de 1958 e 2014 nas áreas de dunas móveis e fixas de Ponta Grossa.

A malha urbana da Praia de Ponta Grossa em 1958 ainda não estava estabelecida, não sendo visualizada através das fotografias aéreas de base. Atualmente essa área é correspondente à ocupação com residências, pousadas e barracas de praia, predominantemente, e ocupa uma área de 125,52 ha.

Conforme Meireles e Serra (2002), esta região apresenta elevado risco à utilização humana e é considerada de alta vulnerabilidade, quando as intervenções forem relacionadas com mudanças na estrutura morfológica atual e interferências na dinâmica costeira. A continuidade da dinâmica imposta pelo acesso de sedimentos à faixa de praia, via dunas móveis sobre o promontório, possibilita a evolução deste setor da linha de costa sem a introdução de processos erosivos contínuos.

5.1.2 Iguape e o Avanço do “Lazer”

A zona costeira do Iguape tem como predominância geomorfológica planície lagunar e dunas fixas. Na zona costeira predominam as dunas fixas em forma parabólicas, nos setores sul e sudeste da área.

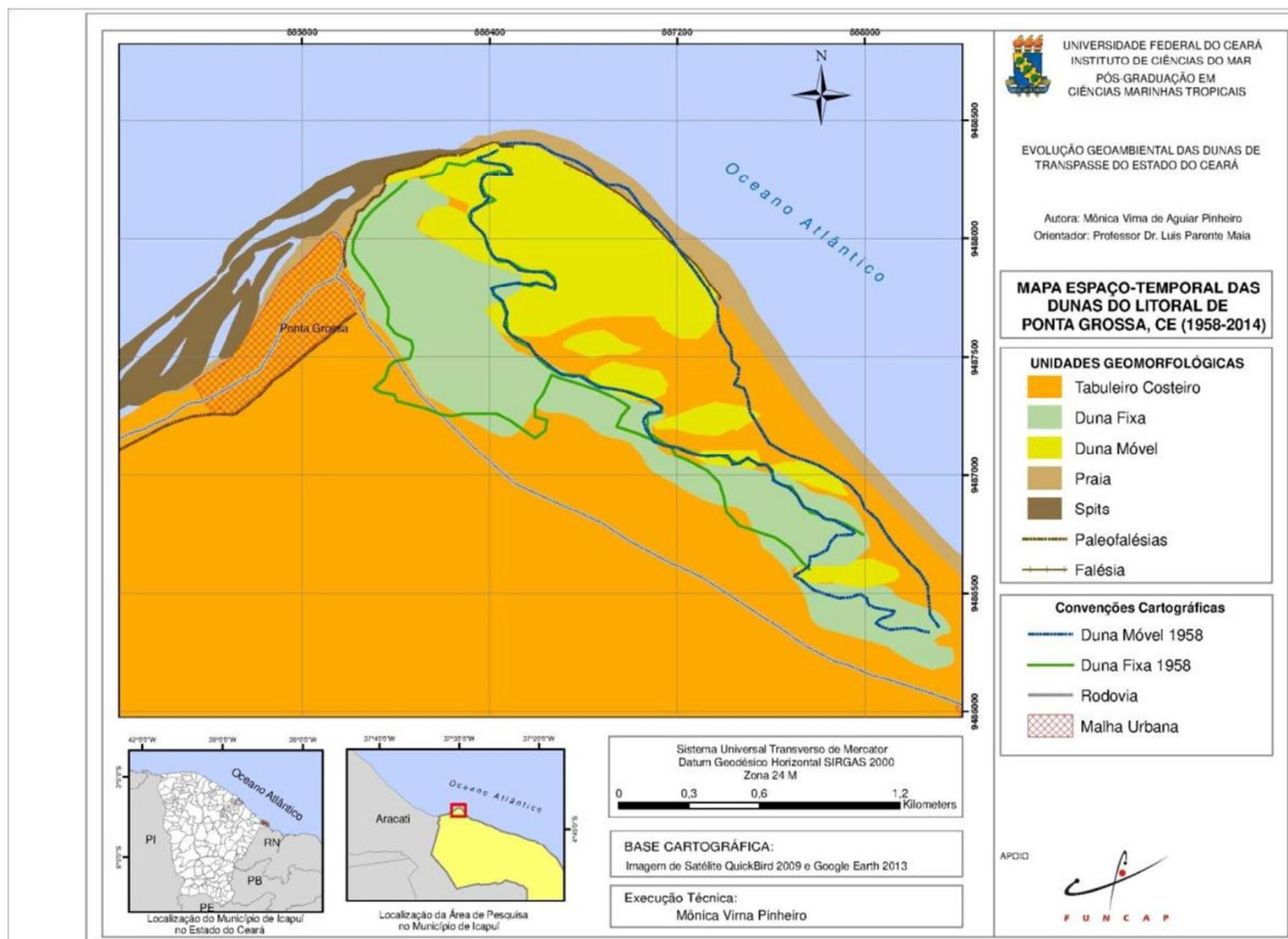
A ponta do Iguape é sustentada por rochas pré-cambrianas pertencentes ao Complexo Gnáissico-Migmatítico (BRANDÃO, 1995) afloram na faixa praial em forma de promontório quartzítico (Figura 26), provavelmente, associado às estruturas tectônicas regionais (CASTELO BRANCO *et al.*, 2005).

Figura 26 – Promontório (esquerda) e Planície Lagunar do Iguape (direita).



Fotos: Mônica Pinheiro (2013 e 2014).

Mapa 8 – Áreas de dunas nos anos de 1958 e 2014 em Ponta Grossa



Fonte: Mônica Pinheiro, 2015.

Em direção à faixa de praia as dunas fixas são limitadas por pequena planície de deflação e duna móvel. Entre essas unidades geomorfológicas à leste encontra-se um pequeno estuário com planície flúvio-lacustre recoberta por vegetação de mangue e a oeste a planície lagunar formada pela barreira do Iguape (ver Figura 26).

A faixa praial de natureza arenosa destaca-se por apresentar afloramento de rochas quartzíticas de idade pré-cambriana, exercendo influência sobre a dinâmica costeira (CASTELO BRANCO *et al.*, 2005).

Ainda segundo Castelo Branco *et al.*, (2005), os volumes dos sedimentos envolvidos na dinâmica praial revelam valores maiores para os pontos situados à barlar do pontal rochoso do Iguape e menores para os situados à sotamar. Essa variação de volume é devida a presença do promontório responsável pela diminuição do *bypass* sedimentar, desvio dos sedimentos envolvidos na deriva litorânea para isóbatas mais profundas e pela ação do processo de difração das ondas.

O campo de dunas fixas do Iguape se destaca pela extensão e altitude. Ele possui 1,5 km de extensão e 700 metros de largura em média. No topo, chegam a apresentar 90 metros, relevante ao levar em consideração que na área não encontramos falésias nem qualquer outro tipo de relevo mais elevado.

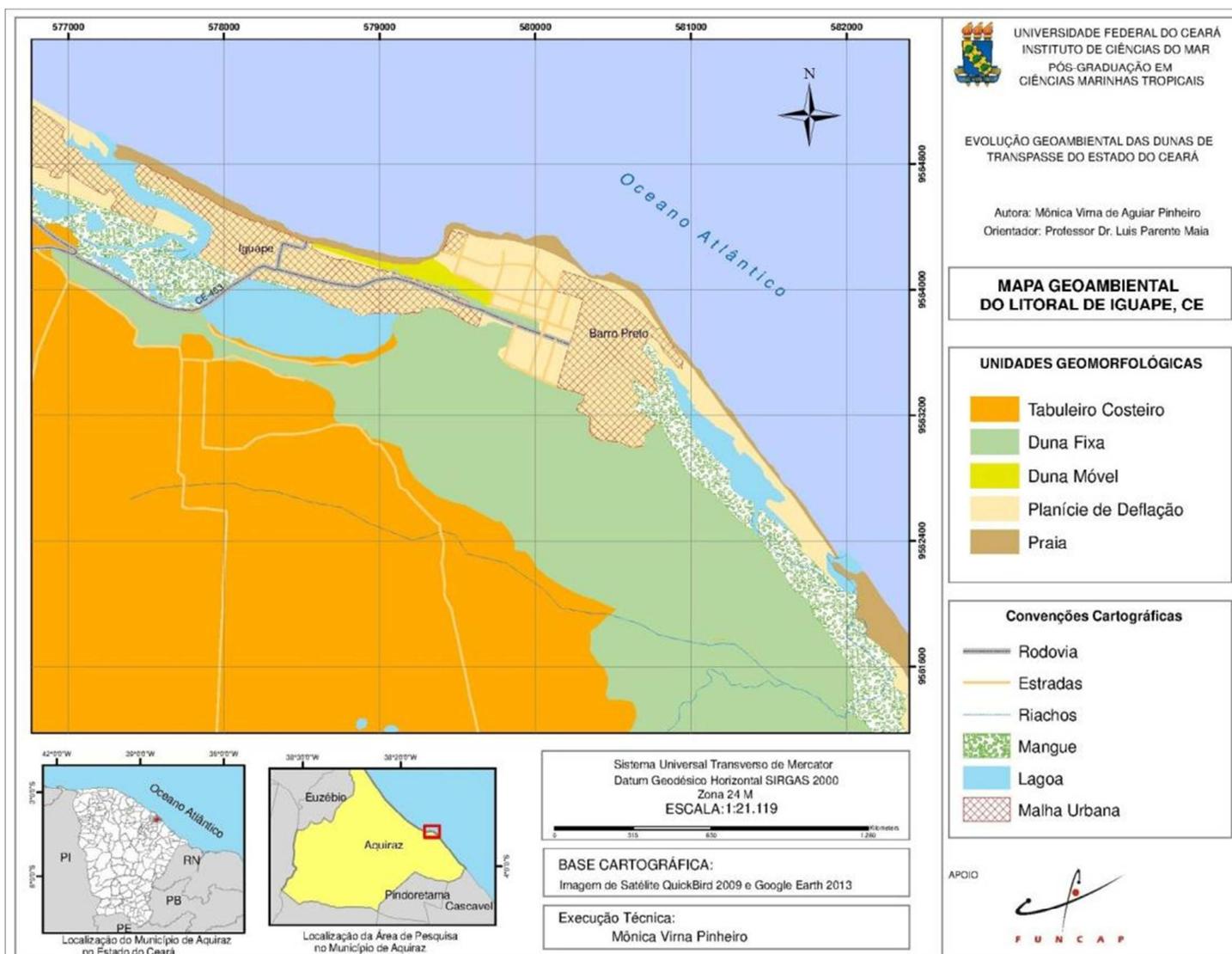
As dunas fixas do tipo parabólicas dominam o setor sudeste da área de estudo e apresentam sua face de barlavento, geralmente tomada por lagoas freáticas. As dunas do tipo frontais se destacam à leste do promontório refletindo um maior aporte de sedimentos nesse setor.

As dunas móveis se restringem a área de transpasse costeiro através de duna longitudinal a faixa de praia. Seus limites estão diretamente em contato com a área urbana do Iguape. O mapa 9 apresenta o contexto geomorfológico na praia do Iguape.

A planície costeira do Iguape é delimitada por planícies estuarinas que tem suas embocaduras bloqueadas pelo trânsito eólico nos períodos de baixa pluviometria. Nessas áreas são predominantes o ecossistema de mangue. O limite sul da área é delimitado pelos tabuleiros costeiros que se apresentam com relevo suave ondulado no limite do campo de dunas fixas.

Na análise da topografia da área o perfil A mostra o relevo das dunas fixas que faz limite com a planície de deflação ao norte. A topografia revela a disposição do campo de dunas no sentido leste-oeste, dunas do tipo parabólicas que tem seu topo na área de concavidade mais acentuada com cerca de 90 metros de altitude. Ao longo do perfil nota-se a manutenção de altitude e diminuindo em direção aos limites com o tabuleiro costeiro.

Mapa 9 – Unidades Geoambientais do Iguape



O perfil B, norte-sul, revela o movimento topográfico mais forte associado as áreas de dunas, primeiro a duna móvel de transpasse, sobre a planície de deflação e posteriormente o cordão de dunas fixas ao sul. Também se destaca o limite da duna fixa parabólica ao sul, com os tabuleiros costeiros que se faz de forma abrupta topograficamente.

O mapa 10 mostra a composição topográfica da área com seus perfis altimétricos de dois setores distintos.

As dunas de transpasse da Praia do Iguape são reduzidas a pequeno setor à sotamar do promontório, com 1 km de extensão e 50 metros de largura, em média. Essas dunas são parcialmente alimentadas pela deflação sobre o promontório. A duna de transpasse possui formato alongado, paralelo à faixa de praia com pequeno setor apresentando fixação no topo (Figura 27). Mesmo com pequena extensão contribui na dinâmica sedimentar da área.

Figura 27 - Praia à sotamar do promontório com duna de transpasse.

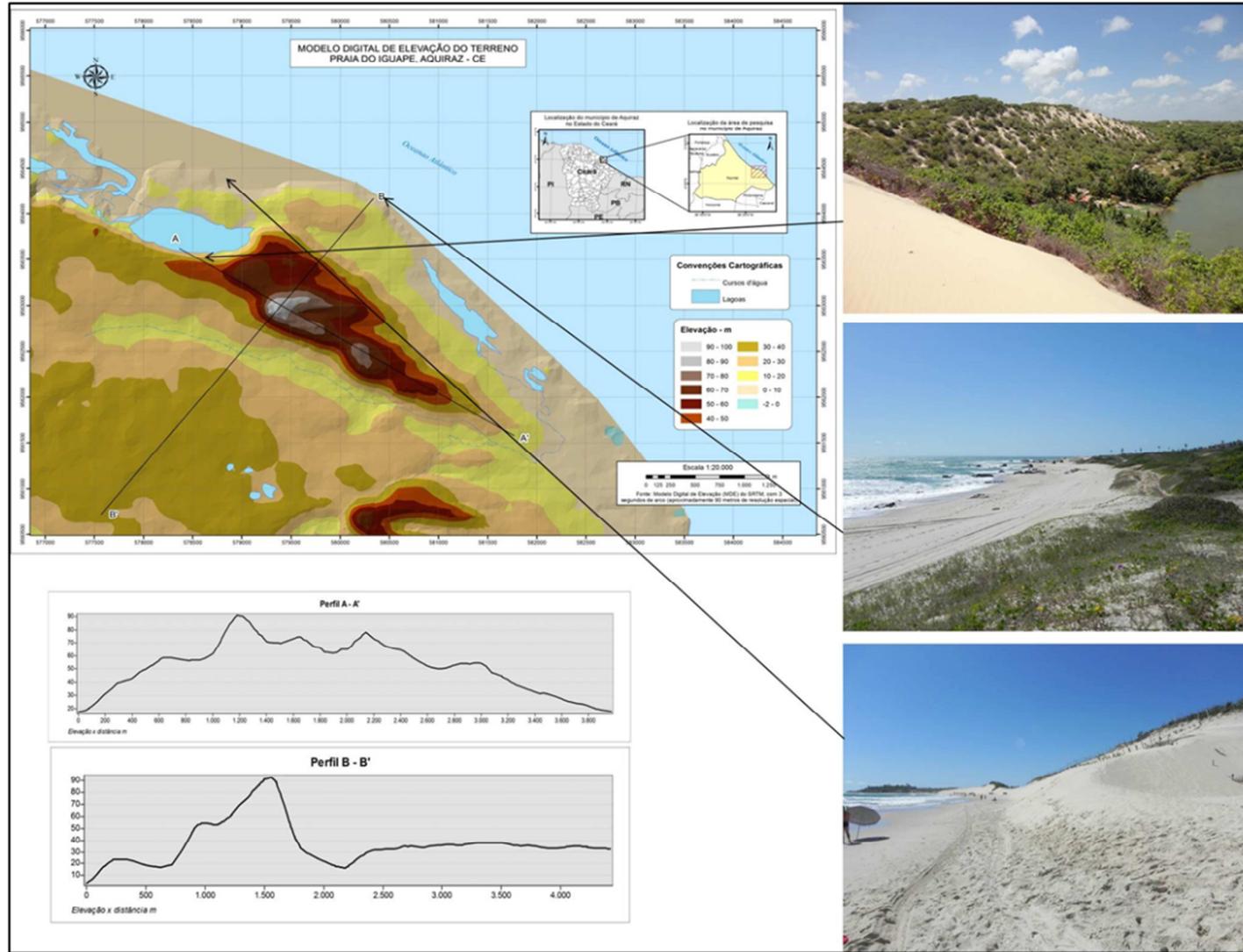


Fotos: Mônica Pinheiro (2012).

A planície costeira do Iguape passou por intenso processo de ocupação urbana em reduzido território, nos últimos 60 anos. A pequena vila de pescadores deu lugar a uma intensa malha urbana formada, predominantemente, por casas de veraneio. Esse crescimento ocupou grande parte da planície de deflação, e avançou também sobre as praias, planícies flúvio-marinhas, dunas e planície lagunar (Figura 28).

O avanço do “lazer” se coloca a partir das necessidades criadas com a intensificação do veraneio e expansão para as áreas mais próximas da capital Fortaleza. Dentre essas áreas, Iguape, assim como Porto das Dunas e Prainha, ambas no litoral de Aquiraz foram locais de intensa mobilização para a instalação de casas de veraneio marítimo no Estado do Ceará.

Mapa 10 – Modelo Digital de Elevação e Perfis Topográficos do Iguape



Fonte: Mônica Pinheiro (2015)

Figura 28 - Malha urbana do Iguape sobre a barreira arenosa



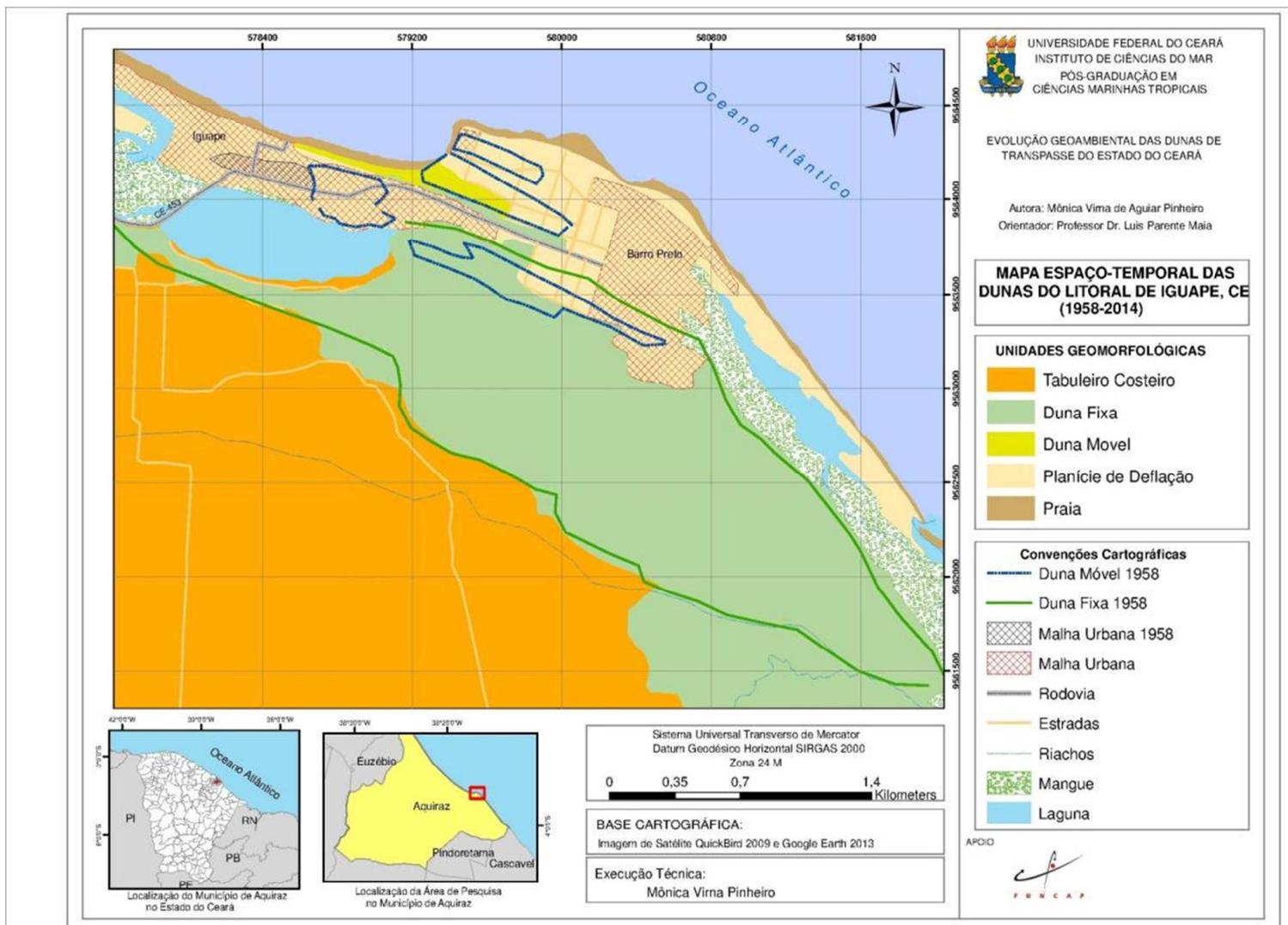
Foto: Mônica Pinheiro (2014).

As aspas traduzem a inclusão de importância a palavra que por si se refere a ócio, passatempo (MICHAELIS, 2008) e em pouco tempo foi transferindo valores no que diz respeito a especulação imobiliária na faixa de praia e seu entorno. Assim, a vila de pescadores que antes ocupava uma área da planície de deflação de 5,33 ha, após 56 anos de ocupação abrange hoje uma área de 154,97 ha.

Nas dunas do promontório do Iguape a análise dos dois momentos mostra uma redução significativa na já diminuta área de dunas móveis (Mapa 11). A duna de transpasse migrou em direção à enseada e parte foi fixada, onde se encontravam na planície de deflação foram substituídas pela malha urbana que se expandiu. As dunas fixas se expandiram sobre as outras unidades, principalmente nos setores de dunas móveis e planície de deflação.

A redução das dunas móveis foi expressiva, chegando a 79,59%, com perda de 35,33 ha de sua área (Tabela 2) em relação ao ano de 1958. As dunas fixas passaram por um acréscimo na sua área em torno de 26%. Além disso, as construções e alterações (casas, barracas e loteamentos) na área da planície de deflação sobre o promontório promoveram a redução da área de migração de sedimentos em direção à duna móvel de transpasse.

Mapa 11 – Áreas de dunas nos anos de 1958 e 2015, em Iguape.



Fonte: Mônica Pinheiro (2015).

Tabela 2 – Área de dunas em Iguape

		1958	2014	Resultantes
Iguape	Dunas Móveis	44,39 ha	9,06 ha	-35,33 ha
	Dunas Fixas	877 ha	1.179,13 ha	+302,13 ha

Fonte: Mônica Pinheiro (2015).

A figura 29 apresenta os espaços alterados na planície de deflação sobre o promontório com a instalação das vias de um loteamento.

Figura 29 – Arruamentos de loteamento sobre o promontório do Iguape.

Fotos: Mônica Pinheiro (2014).

Contudo, mesmo com pequeno setor de transpasse costeiro a migração de sedimentos trazia equilíbrio para a faixa costeira do Iguape e adjacências. O estudo mostra que o recuo das dunas móveis e a paulatina ocupação da planície de deflação vêm reduzindo o aporte de sedimentos para a faixa de praia interferindo nas áreas que passam por erosão costeira.

5.1.3 O Escolhido: Pecém e a Estrutura Portuária

Geomorfologicamente, a zona costeira do Pecém apresenta extensa planície de deflação, no setor à barlamar do promontório e inicia-se após a faixa de praia, limitada por dunas frontais. Nessa planície de deflação a atuação eólica é limitada pela cobertura vegetação herbácea sobre a área. Nos períodos de chuva, lagoas freáticas e riachos tomam conta dos setores de deflação eólica.

Em Pecém, o litoral se dispõe no sentido SSE-NNW invertendo logo após o promontório para, grosso modo, E-W. A planície é extensa com dunas migrando até cerca de 2,0 km na zona costeira.

O promontório do Pecém é formado de rochas cristalinas essencialmente quartzitos e gnaisses distribuídas principalmente em duas ocorrências contínuas que se iniciam no pós-praia e se estendem em porções isoladas até a profundidade de 20 metros (MAGINI *et al.*, 2013).

A faixa de praia no setor à barlar do promontório é extensa com afloramentos de rochas mais próximas do promontório cristalino. As dunas móveis migram em direção as dunas fixas ao sul e a faixa de praia à sotamar do promontório, sentido SE-NW. Apresentam-se sob a forma de Lençóis de Areia com extensa planície de deflação com presença de dunas cimentadas ou eolianitos. Iniciam sua migração logo após a planície-flúvio marinha do rio Cauípe, à leste da área de estudo.

As dunas fixas possuem forma de parabólicas e no contato com os Tabuleiros Costeiros aparecem como fixas sem formas definidas. Os eolianitos do Pecém ocupam setores da planície de deflação à leste do promontório.

A figura 30 mostra os setores de planície de deflação e o campo de dunas fixas da planície costeira do Pecém.

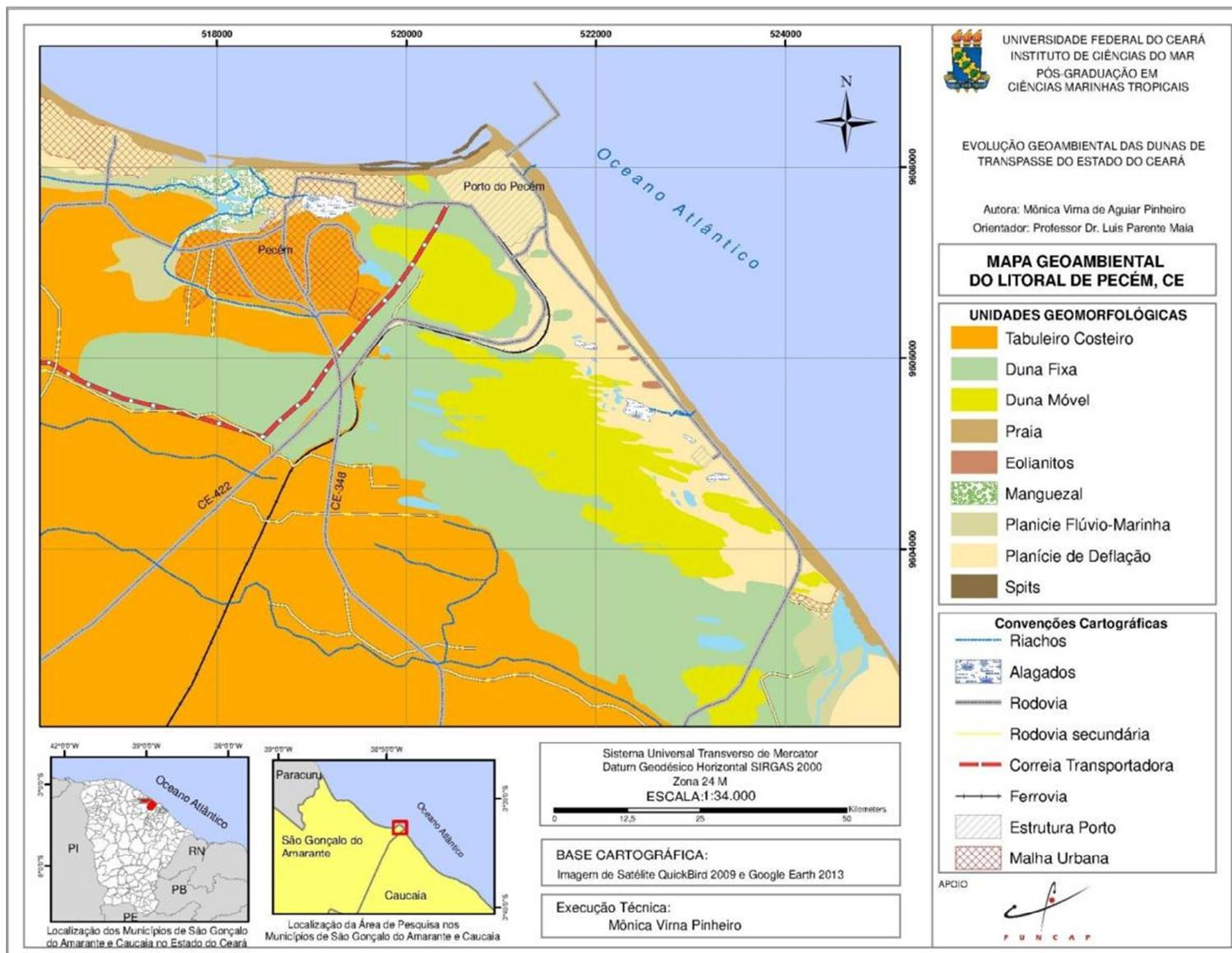
Figura 30 - Planície de deflação e Campo de dunas fixas.



Fotos: Mônica Pinheiro (2014).

Os eolianitos estão distribuídos de forma descontínua ao longo de quase todo o trecho noroeste da costa cearense, numa faixa de terra que varia de algumas dezenas a centenas de metros de largura, sendo mais comuns entre as localidades de Pecém e Acaraú. Tal ocorrência é explicada pela presença de carbonatos na plataforma interna adjacente, próximos da faixa de praia (CARVALHO *et al.*, 2009). O mapa 12 apresenta o mapeamento geoambiental realizado para a praia do Pecém.

Mapa 12 – Unidades Geoambientais do Litoral do Pecém em 2015.



Na análise do modelo digital, as dunas do Pecém possuem pico de altitude de 70 metros e um relevo fortemente acidentado dentro do campo de dunas. A planície de deflação possui uma leve inclinação e vai se elevando a medida que adentra o campo de dunas (Mapa 13).

Os perfis topográficos na área da planície costeira do Pecém mostram um relevo predominantemente movimentado com pico de altitude nos setores de dunas. O limite entre os campos de dunas móveis e fixas é indefinido topograficamente, como apresentado no perfil A.

Já os perfis longitudinais marcam visivelmente os setores interdunares, com destaque para o perfil B que apresenta área mais rebaixada do campo de dunas com altitudes menores que 30 metros.

As dunas do Pecém, junto com o do Iguape, apresentam as maiores altitudes associados, predominantemente ao campo de dunas fixas alcançando elevações de 70 a 90 metros tendo como base tabuleiro costeiro ou planície de deflação que só alcançam 10 a 20 metros.

O campo de dunas, associado ao promontório migra em duas direções principais, no sentido do interior da zona costeira, ESE-ENW e realizando o transpasse costeiro, SE-NW, em direção a faixa de praia à sotamar da ponta litorânea.

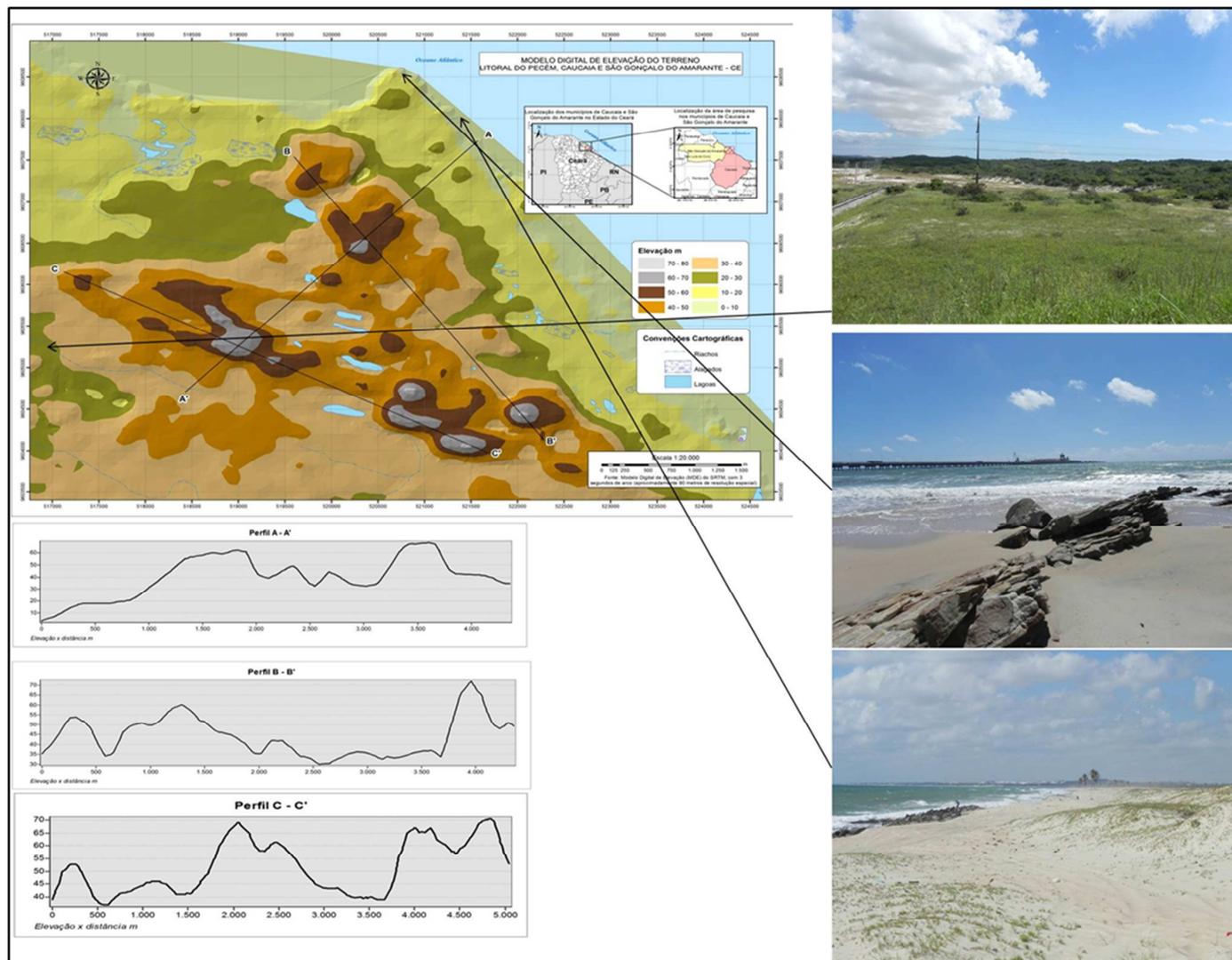
A duna de transpasse do Pecém atualmente encontram-se separada do restante do campo de dunas através de rodovia que liga o Porto do Pecém a uma outra rodovia secundária (Figura 31), ocupando uma área de 5,0 ha e não possui transporte ativo de sedimentos para a praia estando a mesma parcialmente fixada (Figura 32).

Figura 31 – Rodovia construída da planície de deflação do Pecém.



Fotos: Mônica Pinheiro (2014)

Mapa 13 – Modelo Digital de Elevação e perfis Topográficos do Pecém.



Fonte: Mônica Pinheiro (2015).

A planície costeira do Pecém representava, de forma majestosa, a cadeia completa da dinâmica do transpasse costeiro. Contudo, na área do complexo industrial do Pecém o campo de dunas de transpasse vem progressivamente diminuindo com o bloqueio de sedimentos para a construção de equipamentos portuários e estradas de acesso e já tem pouca influência na alimentação da praia à sotamar.

Figura 32 – Duna de transpasse fixada, no Pecém



Fotos: Mônica Pinheiro (2014).

Ao longo desses 56 anos houve uma intensa redução da área ocupada pelas dunas móveis, ligadas, principalmente, à construção do porto do Pecém. A estrada que liga a Lagoa do Cauípe ao Pecém diminui a migração de sedimentos da praia em direção à planície de deflação. A Planície de deflação era praticamente inexistente no ano de 1958 e hoje se estende por cerca de 800 metros ao longo da costa e limita o campo de dunas móveis que se encontra a 1,0 km da faixa de praia.

A duna de transpasse praticamente não tem influência na alimentação da praia, pois encontra-se quase que totalmente fixada e sem contato direto com o mar, ocorrendo tal fato somente nas altas marés. Essa duna foi separada do restante do campo de dunas por rodovia que liga o porto as rodovias estaduais e federais mais ao sul da área, além das próprias estruturas portuárias construídas que impedem o contato da duna com o restante do campo.

A regressão do campo de dunas é de fácil visualização quando comparado ao período do final da década de 50. As dunas móveis deram lugar a planície de deflação, que se expandiu. Parte do campo de dunas móveis migrou sobre as dunas fixas no setor sudeste da área e foi fixado. A malha urbana avançou sobre o setor de transpasse contribuindo para a redução e fixação da mesma. Além disso, nota-se a expansão das dunas fixas sobre o campo

de dunas móveis, ou seja, com a diminuição do aporte de sedimentos e diminuição da migração de dunas, a vegetação fixadora tende a se expandir sobre o campo móvel.

Nesse setor também foram abertas vias que bloquearam o transporte de sedimentos costa adentro e a alimentação da duna de transpasse. Nesse sentido, a duna que alimentava o transpasse costeiro encontra-se praticamente fixada pela vegetação e já inexistente o transpasse.

Além da perda do trânsito de sedimentos para a realização do transpasse costeiro é visível a diminuição da área de dunas no setor. Essa diminuição é comprovada através da diferença entre a área ocupada pelas dunas no ano de 1958 (anterior à ocupação) e hoje (após intervenções antrópicas) (Mapa 14).

As dunas móveis sofreram uma redução de aproximadamente 42% em 56 anos. Quase metade do campo de dunas móveis regrediu, seja em função da diminuição do fluxo de sedimentos em direção as dunas, seja por interferências antrópicas diretas sobre as dunas. Já as dunas fixas apesar do avanço em alguns setores sobre as dunas móveis presenciou uma relevante diminuição. A redução de cerca de 22% da área de dunas fixas está relacionada especialmente a ocupação humana sobre essas áreas (Tabela 3)

Tabela 3 – Área de dunas em Pecém

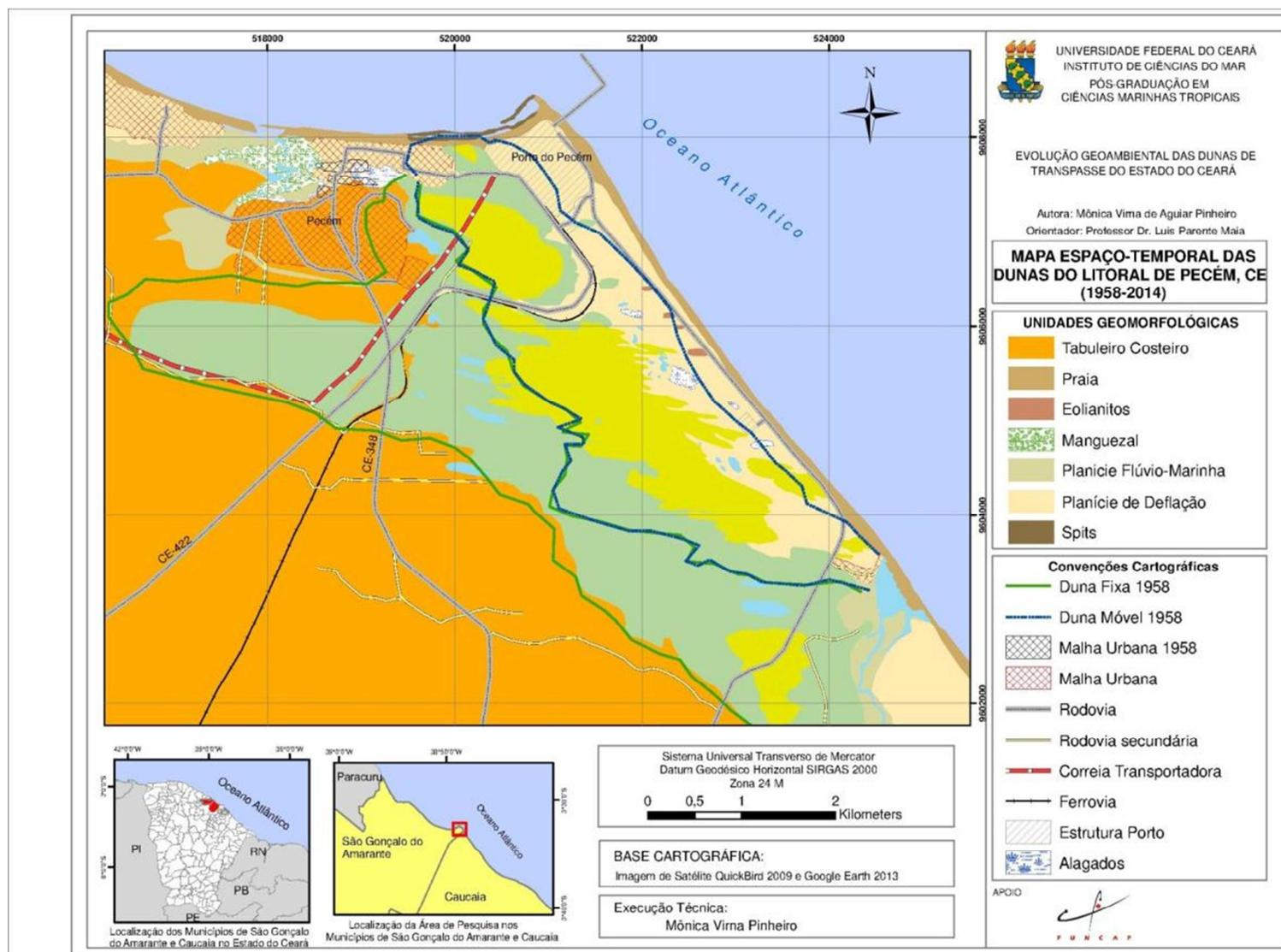
		1958	2014	Resultante
Pecém	Dunas Móveis	910,65 ha	463,52 ha	-447,13 ha
	Dunas Fixas	1.336,38 ha	1.082,59 ha	- 253,79 ha

Fonte: Mônica Pinheiro (2015).

A expansão da cidade também é notável. No ano de 1958, somente poucas construções eram visíveis na área da praia do Pecém, ocupando uma área de 11,29 ha. Atualmente, principalmente, em função da atratividade de empregos e serviços relacionados ao Porto e sua infraestrutura, a distrito do Pecém tem se expandido e atualmente ocupa uma área de 286,79 ha.

Os anos 1990 trouxeram ao Pecém uma variedade de programas atuando ao mesmo tempo. O projeto do Complexo Industrial e Portuário foi responsável por um novo marco referencial na ocupação do distrito. As construções do porto do Pecém foram iniciadas em 1996 e este foi inaugurado em março de 2002. A justificativa da escolha dessa praia para a instalação desse empreendimento foram suas condições geológicas, geomorfológicas e batimétricas favoráveis (ALBUQUERQUE, 2005).

Mapa 14 – Áreas de dunas nos anos de 1958 e 2015 em Pecém.



Fonte: Mônica Pinheiro (2015)

Além disso, o retroporto, que é composto por armazéns, blocos administrativos, estacionamento e pátios de *containers* foram construídos sobre uma faixa de terra que compreende a praia e o início do campo de dunas, podendo vir a gerar processos erosivos devido à interrupção do fornecimento de sedimentos às dunas móveis costeiras que alimentam com sedimentos a praia de Pecém, logo após o porto (ALBUQUERQUE, 2005).

A dinâmica morfológica da linha de costa foi intensamente alterada devido às intervenções sistematicamente localizadas nas dunas e no setor de berma diante da vila de pescadores.

A urbanização da duna frontal à linha de preamar, justamente a que se dirigia para alimentar a praia, impossibilitou o acesso de grandes volumes de areia para a dinâmica existente no prisma praial. Com isso, as ondas iniciaram a remobilização dos sedimentos existentes mais à jusante (à oeste do promontório) e posicionados na berma localizada diante do núcleo urbano. A partir de então, foi originado um déficit de areia, evidenciado pelo deslocamento da duna para o interior do continente e o consumo do depósito de sedimentos vinculado ao setor de berma (MEIRELES *et al.*, 2006).

Desta forma, a erosão foi, gradativamente, sendo acelerada, provocando impactos ambientais relacionados com a supressão de uma larga faixa de berma. Atingiu valores críticos a partir de 1999, quando bloqueado, por completo, o *bypass* de sedimentos das dunas (obas portuárias) e a migração dos bancos de areia ao longo da faixa de estirâncio (construção do molhe provisório de embarque do Complexo Portuário e Industrial do Pecém) (MEIRELES *et al.*, 2006).

Ainda conforme Meireles *et al.*, (2006) houve um recuo de 200m da linha de praia continente adentro, em uma extensão de, aproximadamente, 2.750m, entre o período de 1958 e 1999. Foi erosionada uma área de, aproximadamente, 412.500 m². A remoção da zona de berma, com altura média de 1,2 m (altura da escarpa de praia), representou um volume de sedimentos remobilizados (e não repostos pela deriva litorânea) na ordem de 495.000m³.

Após a retirada do molhe provisório de embarque, verificou-se a retomada do transporte de areia diante da vila (ALBUQUERQUE, 2005). Verificou-se que se tratava de um volume antes acumulado à montante do molhe provisório e, como atualmente não se verifica o *bypass* de sedimentos, é provável que, a médio prazo, seja retomada a dinâmica francamente erosiva (MEIRELES *et al.*, 2006).

5.1.4 Paracuru: O “mar de areia” avança ou recua?

A planície costeira de Paracuru tem como predominância geomorfológica o campo de dunas móveis. Contudo, outras unidades geomorfológicas fazem parte da planície costeira. O litoral é recortado por pontas e enseadas, a maior relacionada ao promontório sedimentar que limita os dois segmentos costeiros e onde as dunas realizam o transpasse. A barlamar desse promontório a faixa de praia é extensa e limitada por dunas frontais na maior parte do setor, sendo intercortada por pequenos cursos d’água que descem da planície de deflação em direção à praia (Figura 33).

Figura 33 – Planície de deflação (esquerda) e Faixa praial (direita) a barlavento, em Paracuru.



Fotos: Mônica Pinheiro (2014).

Em Paracuru, do período Cretáceo encontra-se ainda visível na paisagem, a conformação do litoral com uma direção SE-NW até a Ponta de Paracuru. Deste setor em diante, o litoral de Paracuru, toma, grosso modo, uma direção ENE-WSW, desde a ponta até a foz do Rio Curu, limite com o município de Paraipaba. O segundo é a própria ponta que se configura com um importante elemento para a dinâmica quaternária (CLAUDINO-SALES, 2002), principalmente relacionada ao transporte de sedimentos e migração de dunas costeiras.

A Ponta de Paracuru trata-se de um largo promontório com extensão de aproximadamente 10 km, sustentado pelos sedimentos da Formação Barreiras. Nele ocorrem falésias com altitude da ordem de 5 m (CLAUDINO-SALES e CARVALHO, 2014).

Várias pontas litorâneas secundárias são identificadas ao longo do promontório, provavelmente em resposta a diferentes resistências dos sedimentos cenozoicos à ação das ondas. Com efeito, a erosão diferencial é um processo comumente verificado nos afloramentos de depósitos da Formação Barreiras, dada a substancial variação litológica que essa unidade apresenta. Nas pontas litorâneas secundárias, a mesma dinâmica se apresenta:

acúmulo de sedimentos nas praias a barlamar e erosão no segmento imediatamente a sotamar, resultando na forma típica de enseada (CLAUDINO-SALES e CARVALHO, 2014).

As dunas se encontram afastadas da praia cerca de 1,0 km em média, correspondendo, essa faixa, à planície de deflação. A primeira parte da planície apresenta após a praia relevo plano com presença de vegetação herbácea recobrando a maior parte da área e a segunda com grande quantidade de lagoas freáticas e marcas de migração do campo de dunas à sotavento. A faixa de praia vai se alargando em direção a faixa costeira à leste do promontório e se reduz nas imediações da enseada a oeste.

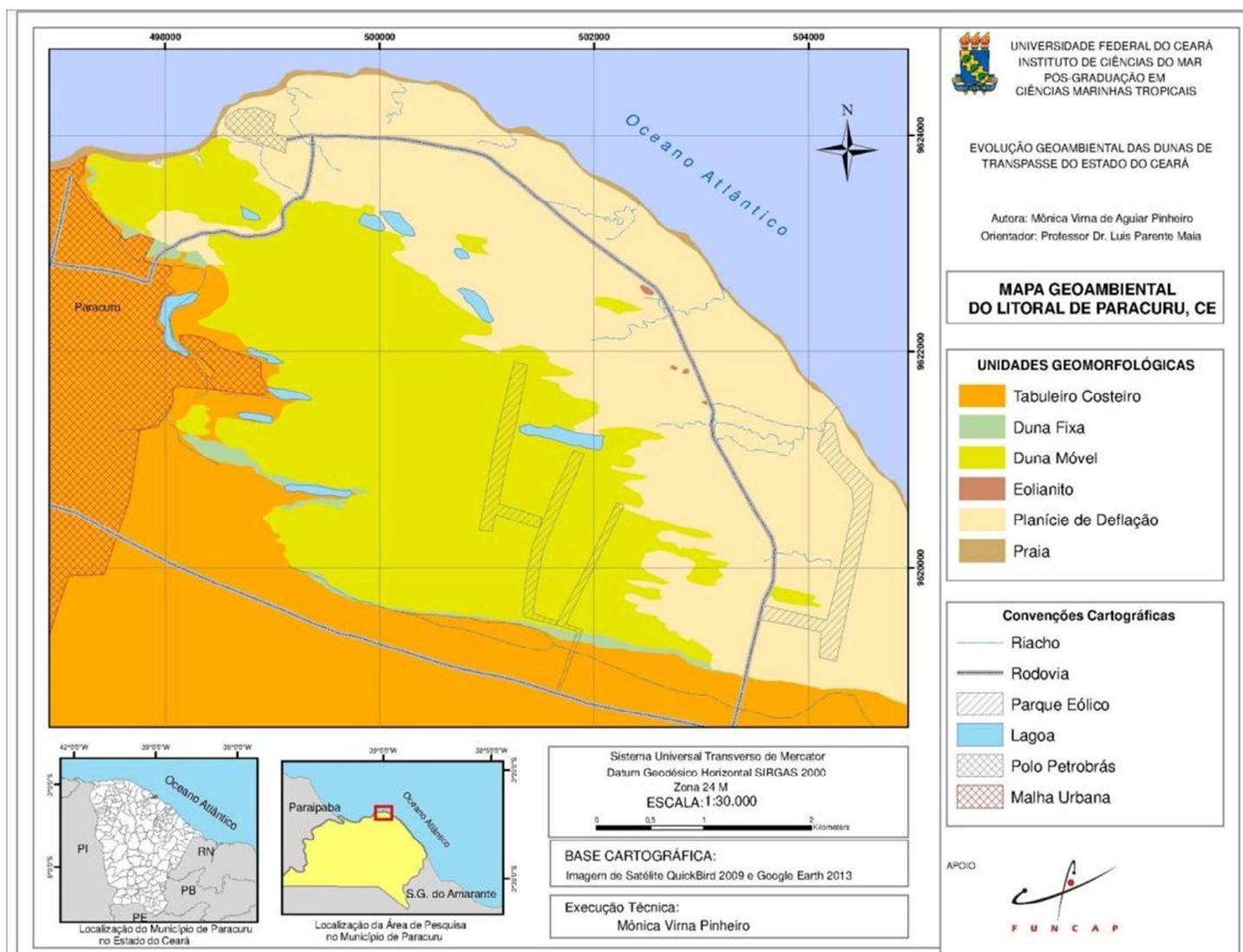
Os cordões dunares em Paracuru, presentes no segmento a leste da cidade, possuem direção geral de migração no sentido SE-NW com disposição de forma paralela ao litoral, longitudinais ao vento dominante, embora apresentem inflexão. Atualmente, em Paracuru, as dunas barcanóides e compostas ocupam a maior parte da área, com largura em torno de 4 km em média. O comprimento chega a 3,6 km em média em direção ao continente. Suas altitudes podem variar, chegando até cerca de 50 metros.

As dunas móveis encontram-se em intenso processo de migração e apresentam-se sob diferentes formas, em destaque para as dunas barcanas e barcanóides que migram sob uma extensa planície costeira. Após a zona de transpasse de dunas, a faixa de praia torna-se mais estreita e são visíveis afloramentos rochosos. Após a área de domínio das dunas móveis, ao sul e sudoeste encontram-se pequenos cordões de dunas fixas e logo em seguida o domínio dos Tabuleiros Costeiros.

Os eolianitos ou dunas cimentadas estão presentes ao longo da Planície de deflação. Essas formas envolveram a dissolução de carbonatos presentes em fragmentos e carapaças biogênicas marinhas, transferidas da plataforma continental adjacente, onde elas ocorrem em abundância, para a zona costeira, durante período de baixo nível do mar e/ou de mar em descensão; tal contexto teria permitido a migração e posterior estabilização dos depósitos eólicos (CARVALHO *et al.*, 2009). O mapa 15 apresenta as unidades geoambientais presentes no litoral de Paracuru.

O relevo apresenta-se bastante movimentado dentro do campo de dunas, intercalando setores interdunas com presença de lagoas freáticas. Da praia em direção ao campo de dunas, o contato é suave através de extensa planície de deflação.

Mapa 15 – Unidades Geoambientais de Paracuru.



Fonte: Mônica Pinheiro (2015).

A análise do relevo ao longo do seu curso de migração, segmento SE-NW, mostra uma intensa movimentação do relevo, porém, superficial, mostrando claramente a migração de dunas do tipo barcanóides. A amplitude entre o topo e a base da duna é mínima e a altitude média do campo de dunas se mantém como pode ser visto no perfil A no mapa 16.

Nos perfis B e C, percebe-se o desnível topográfico entre a planície de deflação e o campo de dunas, que se dá numa transição suave. No topo do campo de dunas o relevo se mostra pouco movimentado com difícil visualização da transição entre dunas móveis e fixas.

A Ponta de Paracuru induziu a acumulação de sedimentos na praia a barlamar, o que propiciou a formação de extenso campo de dunas, mas também resultou em erosão na praia a sotamar em função da carência de sedimentos. Tal processo foi responsável pela esculturação de ampla enseada nesse segmento costeiro. A carência de sedimentos é associada também ao fato de que nem todo o campo de dunas realiza o *bypass*, como em Jericoacoara. Porém, a formação de um esporão arenoso imediatamente a sotamar da ponta indica que certo montante de sedimentos transpassa a ponta através do *bypass* litorâneo (CLAUDINO-SALES e CARVALHO, 2014).

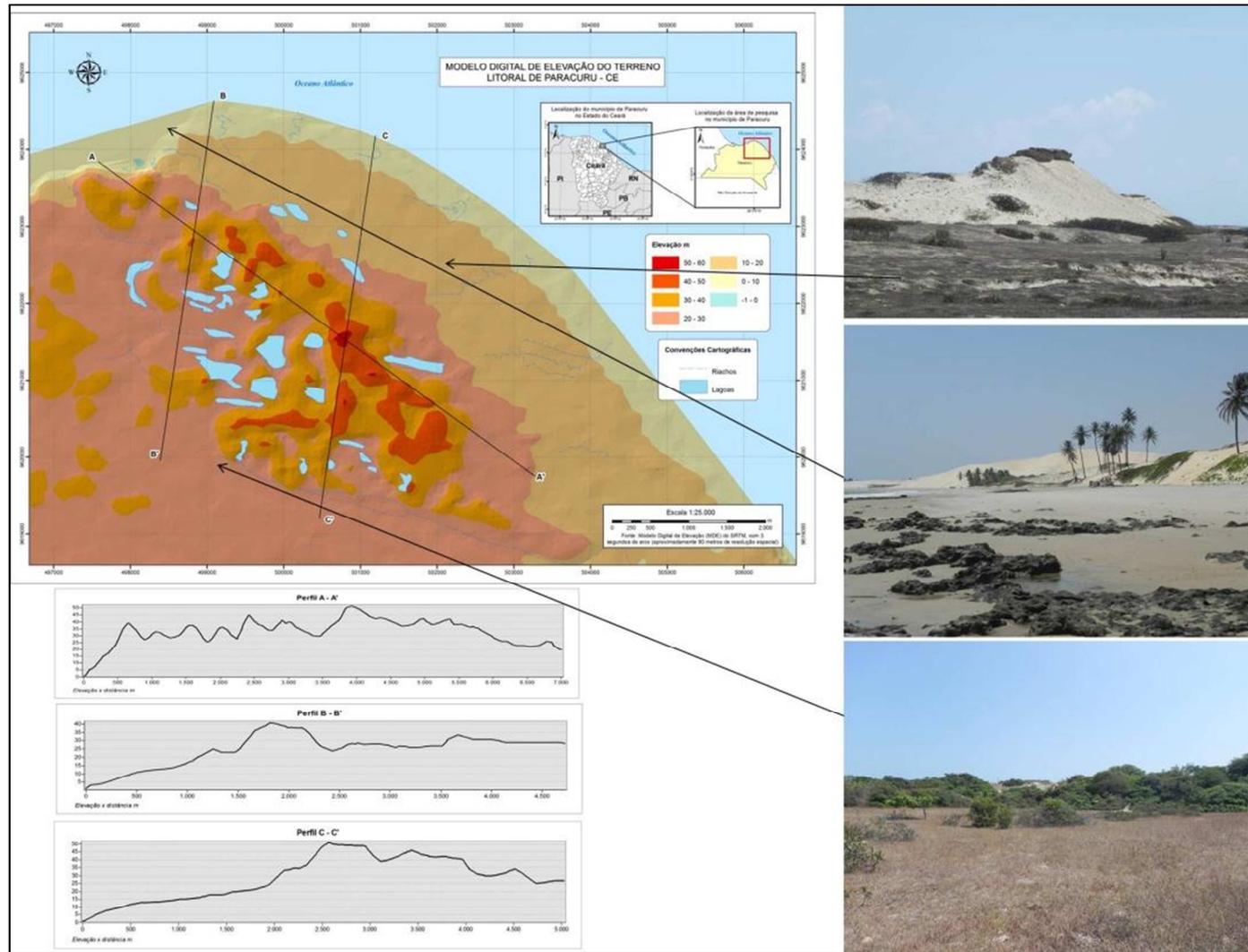
O campo de dunas móveis em Paracuru encontra-se em processo de migração em dois sentidos principais. Em direção à enseada à sotamar do promontório (Figura 34) e na direção leste, ao encontro da cidade. A área ocupada pelo campo de dunas móveis atualmente é de 1.149,02 ha. Ao sul do campo de dunas móveis margeando esse setor tem-se as dunas fixas que ocupam uma área de 53,65 ha (Tabela 4).

Figura 34 – Área de transpasse costeiro em Paracuru.



Fotos: Mônica Pinheiro (2014).

Mapa 16 – Modelo Digital de Elevação e Perfis Topográficos de Paracuru.



Fonte: Mônica Pinheiro (2015).

Tabela 4 – Área de dunas em Paracuru

		1958	2014	Resultante
Paracuru	Dunas Móveis	1.639,03 ha	1.149,02 ha	-220,01 ha
	Dunas Fixas	25,28 ha	53,65 ha	+28,37 ha

Fonte: Mônica Pinheiro (2015).

Desse total, cerca de 4 km² representam dunas que realizam o *bypass* costeiro, até atingir a praia à sotamar. Assim, a construção do esporão também vem sendo realizada a partir da contribuição de sedimentos aportados pelas dunas (CLAUDINO-SALES e CARVALHO, 2014).

A estimativa total de transporte de material em direção a cidade de Paracuru é de 93,02m³/m/ano, enquanto em direção ao mar é de 37,10m³/m/ano. O volume de material em direção a planície costeira de Paracuru é aproximadamente três vezes maior em relação ao material a ser reintroduzido no sistema de deriva litorânea anualmente (CASTRO, 2004).

A discussão que domina as pesquisas científicas sobre as dunas de Paracuru estão muitas vezes relacionadas ao avanço e invasão das dunas sobre a cidade. Como apresentou Castro (2001) e Castro e Gonçalves (2003) ocorrerem perdas de áreas agricultáveis e urbanas e a estimativa de soterramento da cidade de Paracuru foi um período de 120 anos. Contudo, há uma lacuna, assim, como em todo o litoral cearense sobre a discussão a respeito da redução desse campo e/ou o avanço das cidades sobre esse ambiente.

Nesse caso, a partir do estudo realizado podemos comprovar a ocorrência de uma diminuição significativa do aporte de sedimentos na planície costeira de Paracuru e o torna relevante ao tratar sobre uma área onde as intervenções para a contenção do avanço sobre a cidade estão relacionadas à fixação artificial desse campo de dunas (Figura 35). Ou seja, a redução do aporte já foi significativo sem as intervenções e, assim o que se pode esperar num futuro próximo?

As dunas móveis cobriam grande parte da planície costeira migrando sobre a planície de deflação. Após 56 anos, nota-se um relevante recuo do campo de dunas móveis com uma expansão da planície de deflação revelando uma importante redução de sedimentos para o campo de dunas móveis durante esse período. O campo de dunas móveis teve uma redução significativa de 31,92% na sua área.

As dunas fixas, de presença incipiente na área, ganharam espaço e cresceram sobre as dunas móveis. Assim, com o recuo da migração e alimentação das dunas móveis, as dunas fixas se expandiram cerca de 53%.

Figura 35 - Fixação artificial do campo de dunas móveis em Paracuru



Fotos: Mônica Pinheiro (2014).

Na análise espaço-temporal fica evidente o avanço da Cidade de Paracuru em direção ao campo de dunas. Em 1958, a partir da fotografia aérea utilizada, próximo ao campo de dunas não havia ocupação urbana (Mapa 17). Houve um crescimento e hoje a malha urbana ocupa uma área de 1.346,31 ha.

A planície de deflação aumentou com a visível diminuição no aporte de sedimentos ao longo da planície. As dunas se comportavam em geral como barcanóides, e atualmente predominam dunas do tipo barcanas e lençóis de areia.

Uma rodovia hoje se interpõe entre esses dois ambientes (dunas móveis e planície de deflação) minimizando a alimentação da duna de transpasse, ainda atuante, além da presença de equipamentos para geração de energia eólica nas dunas e planície de deflação (Figura 36).

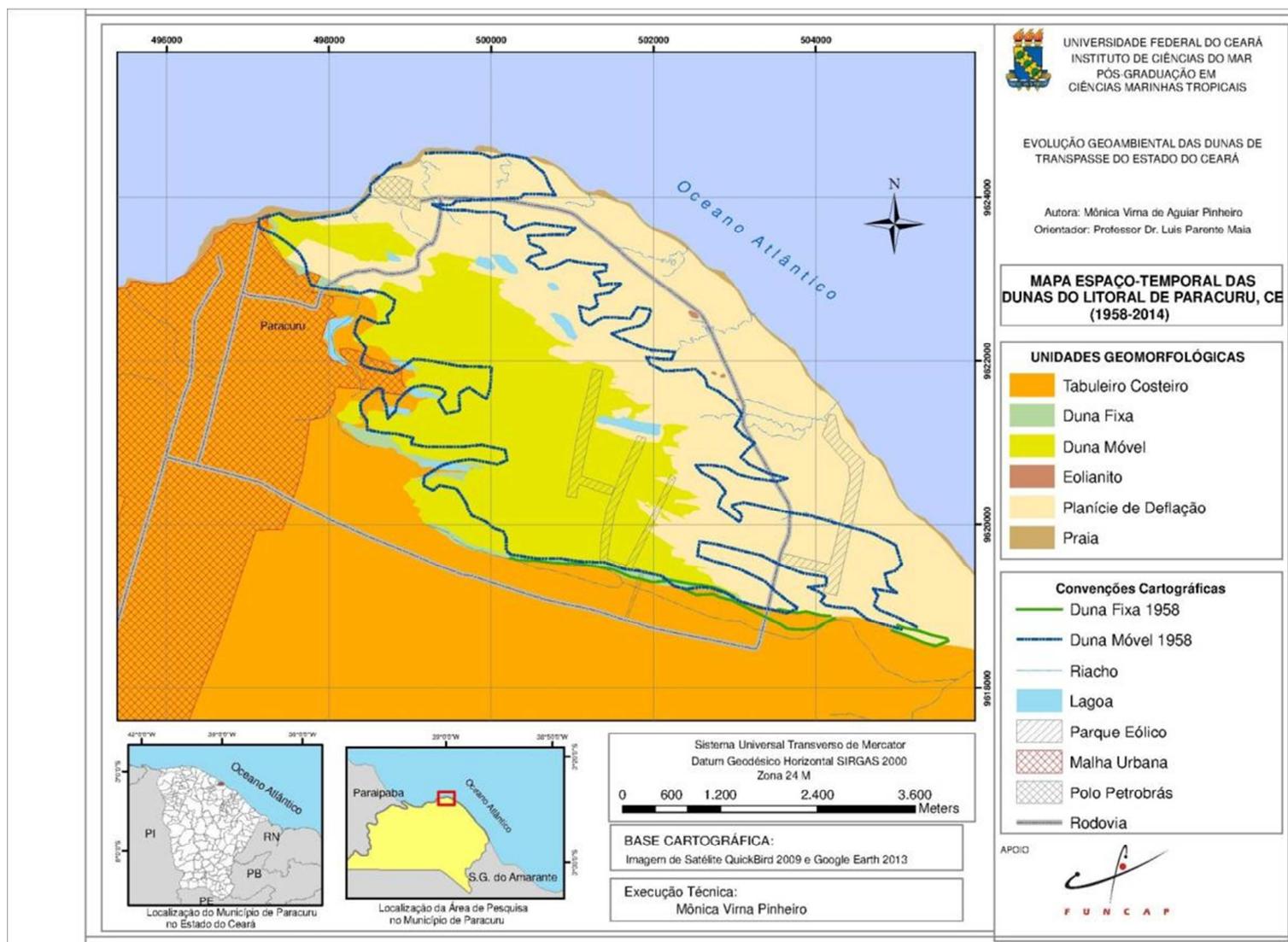
Figura 36 – Ocupação das dunas de Paracuru por parques eólicos.



Fotos: Mônica Pinheiro (2013).

A cidade também se expandiu sobre as áreas de dunas, também muito associada ao crescimento turístico e de veraneio e hoje passa por problemas associados a proximidade das dunas móveis sobre a cidade.

Mapa 17 – Áreas de dunas nos anos de 1958 e 2014, em Paracuru.



Fonte: Mônica Pinheiro (2015)

As dunas de *bypass* estão sendo fixadas através do plantio de espécies vegetais psamófilas. Nesse contexto, a Ponta do Paracuru representa um setor onde a ocupação desordenada de áreas de *bypass* costeiro e a interferência na dinâmica natural, além de não resolver adequadamente o avanço das dunas, também acentuam a erosão a sotamar do promontório, provocando risco às estruturas e equipamentos urbanos (CLAUDINO-SALES e CARVALHO, 2014).

5.1.5 Jericoacoara: De Lençóis a Barcanas

A planície costeira de Jericoacoara apresenta um dos mais ricos ecossistemas do litoral cearense. Nela está presente o maior campo de dunas de transpasse através de dunas barcanas da costa cearense. Também se encontram presentes planícies flúvio-marinhas, lacustres e praias, como podemos visualizar através do mapa 18.

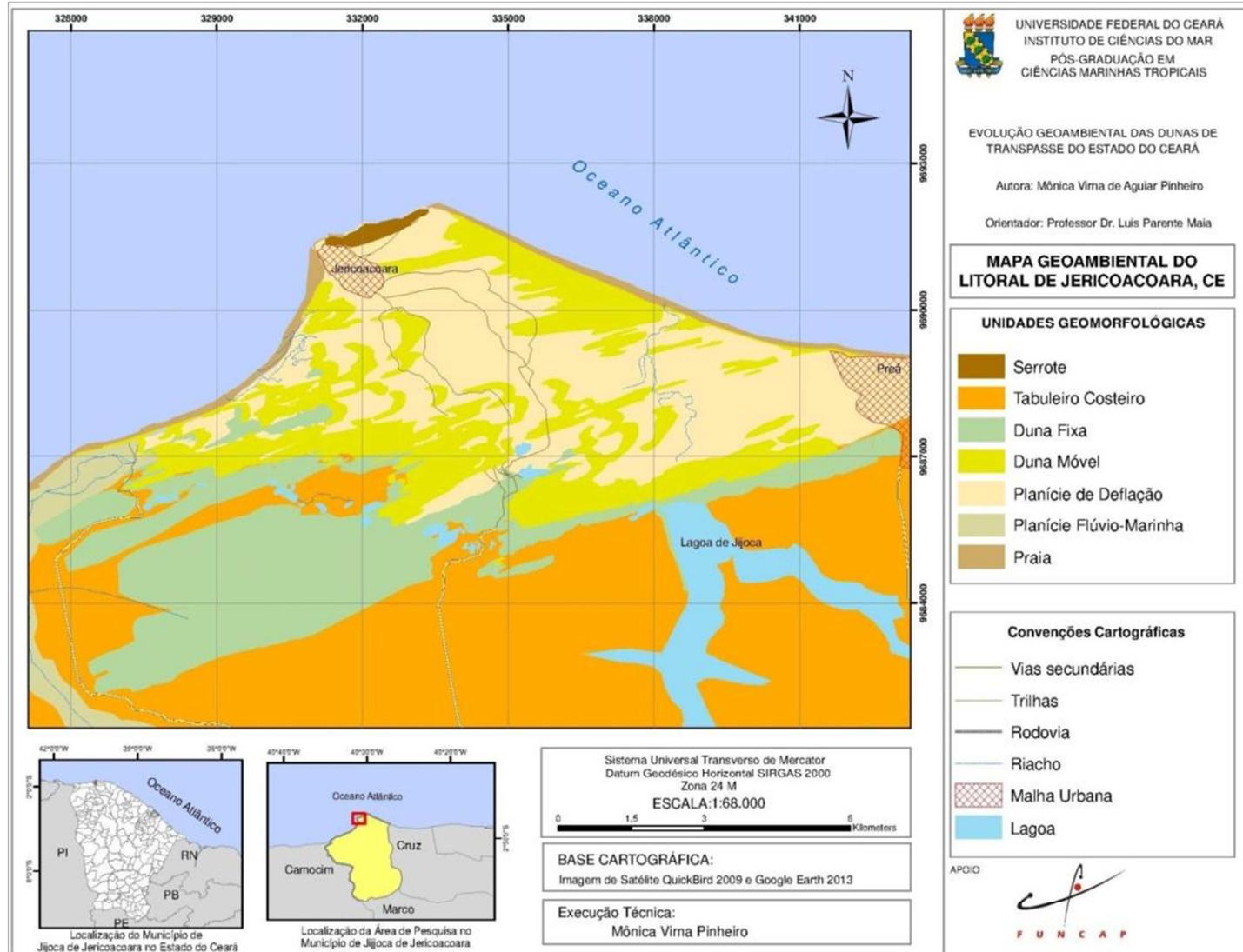
Na faixa de praia de Jericoacoara encontra-se o afloramento de rochas quartzíticas pré-cambrianas adentrando ao mar e desenvolvendo um promontório que se estende por 4 km ao longo da orla. Nessa faixa, há a ocorrência de falésias descontínuas com até 20 m de altura, parcialmente cobertas por dunas edafizadas (CLAUDINO-SALES e CARVALHO, 2014).

Segundo Meireles e Serra (2002), o promontório denominado de Ponta de Jericoacoara, formado de rochas pré-cambrianas quartzíticas e gnáissicas participou diretamente das oscilações do mar durante os dois eventos transgressivos definidos para esta região (máximos há aproximadamente 123.000 e 5.100 anos A.P.). Atuou como um tómbolo em condições de níveis mais elevados do que o atual, proporcionando uma dinâmica peculiar na construção da planície, diversificando a direção e sentido dos ventos, das ondas e a migração dos sedimentos ao longo da linha de praia (deriva litorânea) e para o interior do continente (deriva eólica).

As rochas de praia (*beachrocks*) existentes ao longo da planície ocorrem localmente preenchendo fraturas em rochas do embasamento cristalino (plataformas de abrasão) (MEIRELES e SERRA, 2002).

A planície praial segue a dinâmica geral de praias de enseada com progradação à barlar do promontório e tendência erosiva à sotamar. Contudo, essa tendência é cessada, pois chegam à praia as dunas de transpasse que alimentam a deriva litorânea e, conseqüentemente as praias à sotamar do promontório tornando-as mais largas.

Mapa 18 – Unidades Geoambientais de Jericoacoara



Fonte: Mônica Pinheiro (2015)

A faixa de planície flúvio-marinha é delimitada pelo estuário do rio Guriú a oeste da área em estudo. Esse estuário recebe permanentemente sedimentos dunares em função da migração de dunas em direção ao mesmo que recobre parte da vegetação de mangue da área. Na fronteira da faixa de praia encontra-se a planície de deflação que ocupa uma extensa área onde ocorre a migração das dunas.

Na área, seu limite não é estabelecido pelo início do campo de dunas como nos outros setores estudados, mas sim integra o campo de dunas propriamente dito. Limita-se ao sul com as dunas do tipo lençol de areia e as dunas fixas. As lagoas freáticas ocorrem ao longo da planície de deflação entre as dunas barcanas, marcando o processo de migração de dunas. As lagoas afloram durante o período de chuvas na região.

Em Jericoacoara as dunas migram sobre a planície de deflação em forma de cadeia de Barcanas e Barcanóides. Essa migração se estende por 10 km de largura entre a faixa de praia à barlar do promontório e a enseada a sotamar. Parte das dunas adentram o continente até o limite com as dunas fixas. As dunas fixas não possuem forma definida, aplainando em direção aos Tabuleiros Costeiros (MEIRELES e SERRA, 2002).

Segundo Jimenez *et al.*, (1999), o sistema de Jericoacoara é o único em que uma grande quantidade de areia contorna o promontório através da migração de dunas extremamente ativo, migrando em uma faixa média de 11 m / ano (Jimenez *et al.*, 1999).

No campo de dunas móveis as dunas barcanas apresentam as maiores altitudes, algumas com cerca de 50 metros. Em geral, a planície apresenta altitudes médias de 20 metros dentro do campo de dunas (Mapa 19).

A ponta litorânea de Jericoacoara atua como uma barreira à deriva litorânea, acumulando grande quantidade de areias à barlar. O volume de areias transportado pela deriva litorânea e acumulado na praia à barlar, assim como a quantidade transportada pelo transpasse litorâneo, não são conhecidos (CLAUDINO-SALES e CARVALHO, 2014).

No entanto, a magnitude desse volume pode ser considerado significativo face às dimensões e volume das dunas e campos de dunas desenvolvidos nessa faixa costeira, podendo ter até 50 m de altura e 600 m de extensão, e que cruzam todo o promontório em alguns setores (CLAUDINO-SALES e CARVALHO, 2014) (Figura 37).

Em tal contexto, ocorre acresção na faixa de praia por até 30 km a sotamar da ponta, dado o grande aporte de sedimentos fornecido pelas dunas de *bypass*. Esse aporte permite também a construção de um grande esporão arenoso à sotamar do promontório, assim como provoca o soterramento do manguezal existente na desembocadura do rio Guriú, que se acha isolada pelo esporão, formando laguna (CLAUDINO-SALES e CARVALHO, 2014).

Mapa 19 – Modelo Digital de Elevação e Perfis Topográficos de Jericoacoara.

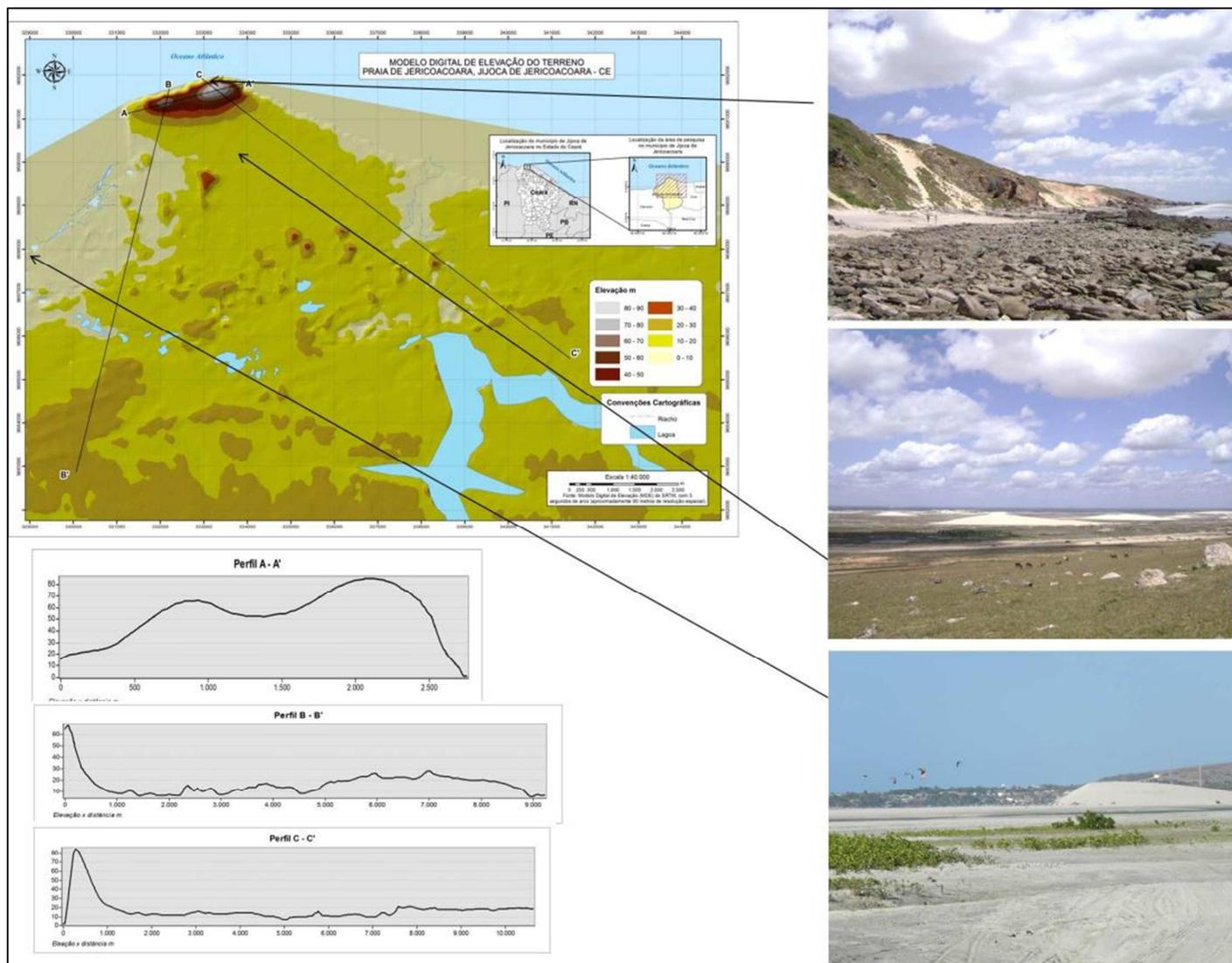


Figura 37 – Duna de transpasse na faixa costeira de Jericoacoara.



Fotos: Mônica Pinheiro (2013).

A elevada intensidade do processo de *bypass* costeiro nessa área deriva do fato de que a Ponta de Jericoacoara avança de maneira significativa dentro do mar, ampliando o barramento dos sedimentos a leste, o que propicia a formação de extenso campo de dunas de *bypass*. Em adição, a linha de costa tem orientação SE/NW nesse setor, o que resulta em elevado ângulo de incidência dos ventos de direção E/NE, aumentando o potencial de transporte eólico. Faz-se ainda importante ressaltar que, na área, os ventos são intensos e constantes, e que a topografia é plana, o que não cria obstáculos à migração das dunas (CLAUDINO-SALES e CARVALHO, 2014).

A Ponta de Jericoacoara representa um setor no qual a dinâmica litorânea não foi alterada por fatores sociais tais como ocupação da faixa de praia a barlar ou ao longo da área de *bypass* de dunas. Nesse contexto, o mecanismo de *bypass* pode ser compreendido em toda a sua particularidade natural (CLAUDINO-SALES e CARVALHO, 2014).

Durante a maré baixa, larga faixa de estirâncio permanece úmida. Verificou-se então que a ação dos ventos na remobilização dos sedimentos é mínima, o que originou dunas de 3ª geração sobre a zona de berma, com valores de área e volume não superiores a 10% das dunas de 2ª geração. Desta forma, as condições atuais não favorecem a formação dos campos de dunas barcanas que migram de continente adentro. Somente com condições climáticas diferentes das atuais para originar volume de areia satisfatório para a formação de dunas barcanas que alcançam os 60m de altitude e comprimentos que atingiram mais de 1.000m (MEIRELES e SERRA, 2002).

Em Jericoacoara, assim como em Ponta Grossa, o suprimento de sedimentos dentro do campo de dunas móveis foi claramente reduzido em função da diminuição do aporte de sedimentos que chegam à praia para a formação de dunas e não por interferências antrópicas na área.

Há que se destacar a alteração morfológica das dunas nesse setor. As dunas móveis se comportavam de modo geral como cadeia barcanóides e em parte como Lençóis de Areia e atualmente migram, predominantemente, como barcanas isoladas. Essa transformação retrata uma evidência da redução de sedimentos para o campo de dunas, pois, de acordo com Tisley (1985), dunas barcanas são formadas quando há um menor suprimento de areias dentro do contexto costeiro.

Contudo, para Claudino-Sales (2002) mais do que a carência de areias, como classicamente admitido, a individualização de barcanas e barcanóides no litoral do Ceará, em todos os domínios gomorfológicos, parece estar associada à interrupções de alimentação durante o transporte por obstáculos no solo (por exemplo, a presença de lagoas temporárias formadas por ascensão do lençol freático em depressões interdunares de deflação), impedindo os sedimentos de se acumularem como lençóis de areia.

Porém, como visto a partir da interpretação espaço-temporal a redução do aporte foi fundamental para a consolidação da cadeia de dunas Barcanas em Jericoacoara. A migração das dunas se dava, predominantemente, sob lençóis de areia e cadeias barcanóides.

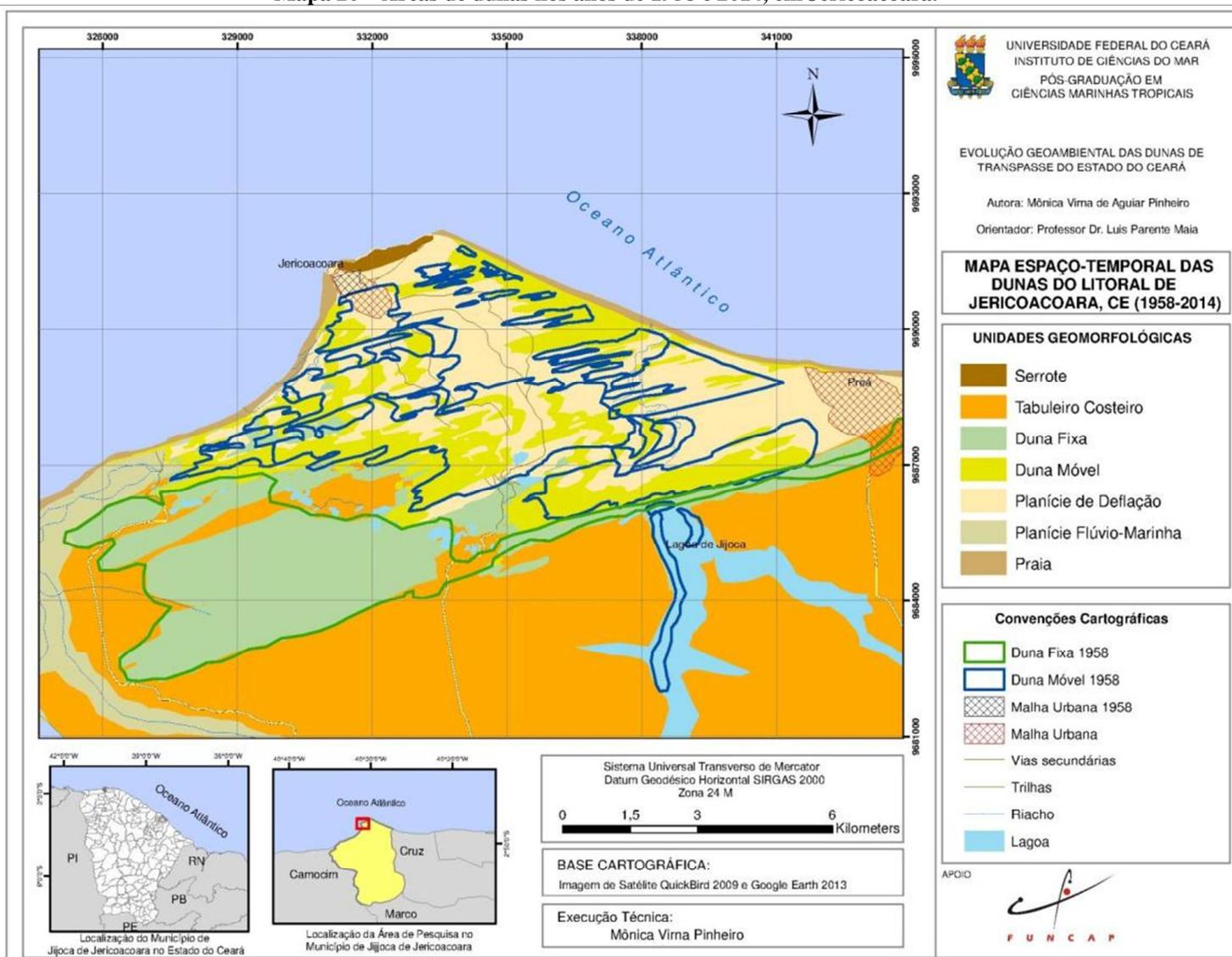
A migração do campo de dunas móveis em direção as dunas fixas e a planície flúvio-marinha do Rio Guriú é evidente. Parte dessas dunas móveis foi fixada naturalmente contribuindo também na redução quantitativa desse campo de dunas.

O mapa 20 mostra o aumento da área da planície de deflação com diminuição no aporte de sedimentos sobre a mesma com redução da área de dunas móveis e a migração do campo de dunas móveis.

A expansão da localidade de Jericoacoara em direção à planície de deflação também propiciou a redução de parte das dunas móveis de transpasse. Esse crescimento passou de 27,10 ha da área da vila de pescadores em 1958 para 87,94 ha atualmente. Atualmente a expansão da vila, muito em função da intensificação do turismo, vem ocupando cada vez mais espaços na planície de deflação como pode ser visto na figura 36.

Segundo o mapeamento executado, as dunas móveis sofreram uma redução de 26,91% de sua área. Essa redução está mais relacionada a diminuição do aporte de sedimentos vindos da planície praial e a introdução dessas dunas na deriva litorânea através do transpasse de sedimentos. Nesse sentido, o saldo é negativo ao se introduzir mais sedimentos na deriva do que os que entram no sistema. De fato, houve uma diminuição de 809,32 ha. As áreas pretéritas e atuais, assim como a redução sofrida podem ser visualizados na Tabela 5.

Mapa 20 – Áreas de dunas nos anos de 1958 e 2014, em Jericoacoara.



Fonte: Mônica Pinheiro (2015).

Tabela 5 – Área de dunas em Jericoacoara

		1958	2014	Resultante
Jericoacoara	Dunas Móveis	3.008,56 ha	2.199,24 ha	-809,32 ha
	Dunas Fixas	1.808,28 ha	2.016,09 ha	+207,81 ha

Fonte: Mônica Pinheiro (2015).

As dunas fixas passaram por um pequeno aumento da sua área expandindo-se sobre as áreas de dunas e planície de deflação em cerca de 8%.

Quanto a ocupação da área, em função do crescimento da comunidade de Jericoacoara, houve uma relativa expansão da mesma em direção ao campo de dunas de transpasse. O crescimento da malha urbana das localidades de Jericoacoara e Prêa fica claro na planície. Além disso, a intensa movimentação de automóveis nas áreas de dunas e planície de deflação vem contribuindo para a alteração desses ambientes (Figura 38).

Figura 38 – Marcas do trânsito de veículos e Malha urbana em Jericoacoara (direita)

Fotos: Mônica Pinheiro (2012 e 2014).

5.2 Dunas, para as próximas gerações?

A análise do transpasse costeiro nos setores estudados, a partir de dois momentos distintos, apresenta o grau de preservação e dinâmica das dunas que realizam o transpasse sobre o promontório.

A partir dos diferentes contextos apresentados nos dois momentos analisados (1958-2014) foi possível a identificação e hierarquização das áreas mais propensas a intensificação de processos de minimização e extinção dos campos de dunas. De acordo com a situação ambiental apresentada nos diferentes parâmetros analisados (redução da área do campo de dunas, ocorrência de transpasse costeiro e formas de proteção legal) indicou-se os setores com maiores disposições futuras às alterações ambientais.

A redução foi tratada como alta quando mais de 50% do campo de dunas tiver sido reduzido. Para uma redução média considerou-se como entre 30% e 50% de diminuição do campo de dunas. Abaixo de 30% foi considerado como baixo índice de redução dos campos de dunas. A tabela 6 apresenta a porcentagem da redução dos campos de dunas móveis em cada setor analisado.

Tabela 6- Porcentagem da redução de dunas móveis nos setores analisados

Redução das áreas de Dunas Móveis		
1°	Iguape	-79,59%
2°	Pecém	-42%
3°	Paracuru	-31,92%
4°	Jericoacoara	-26,91%
5°	Ponta Grossa	-24,11%

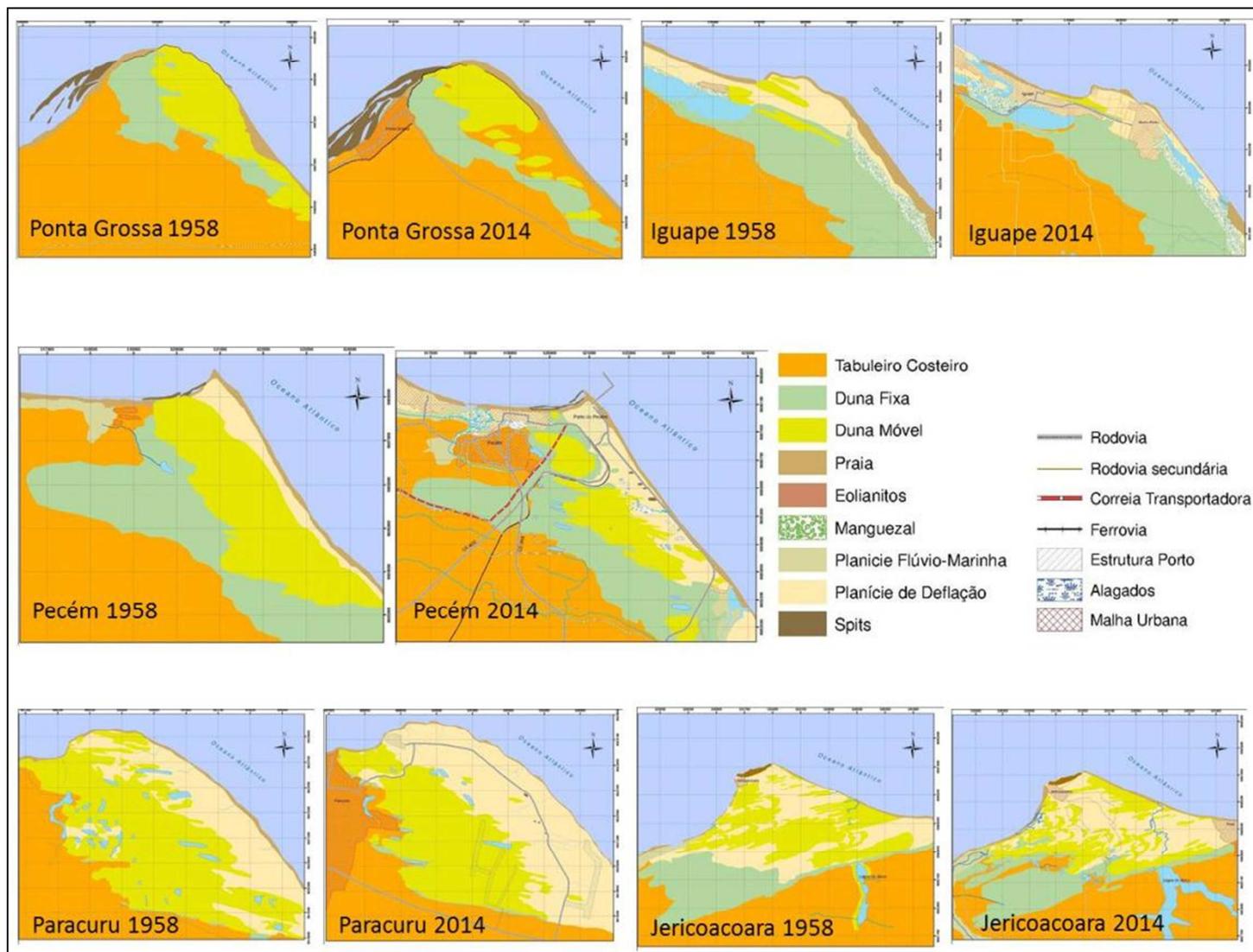
Fonte: Mônica Pinheiro (2015)

Os campos de dunas tiveram sua maior redução na praia do Iguape, com quase 80% de suas dunas móveis sendo suprimidas, sobretudo em função da ocupação imobiliária em seu entorno. Em segundo lugar ficou a praia do Pecém com 42% da área de dunas móveis diminuídas. Essas duas praias foram as mais impactadas durante os últimos 56 analisados e a redução está fortemente ligada a atividades antrópicas.

Em Paracuru, mais de 30% do campo de dunas foi reduzido e tem relação igualmente com fatores locais de ocupação da planície costeira. Os menores índices de redução de dunas móveis foram encontrados nas áreas mais preservadas dentre as analisadas, Ponta Grossa e Jericoacoara, com índices na casa dos 20%, respectivamente. Nesses dois setores não foram encontradas atividades antrópicas locais que interferissem ou reduzissem a atividade eólica dos campos de dunas. A figura 39 apresenta os dois momentos mapeados em cada um dos setores estudados.

Tratando sobre o parâmetro de ocupação das dunas de transpasse faz-se necessário entender a importância do mesmo ao medir se os sedimentos circulam na faixa costeira ou se foram bloqueados por interferências humanas.

Figura 39 – Quadro comparativo das áreas de dunas para os anos de 1958 e 2014



Fonte: Mônica Pinheiro (2015).

Assim, estabeleceu-se os seguintes critérios: Completo quando não existir nenhum tipo de obstáculo impedindo a migração de dunas, ou seja, quando o transpasse ocorrer 100% livre, sem qualquer impedimento; Parcial quando parte do promontório ou da faixa de praia à barlamar apresentar algum tipo de ocupação impedimento a movimentação dos sedimentos em direção à enseda e Inexistente quando o campo de dunas já não evoluir completamente em direção a faixa de praia à sotamar do promontório.

O transpasse apresentou-se completo nas áreas de Ponta Grossa e Jericoacoara. Apresentam a dinâmica realizada de forma completa. Além disso, não existe nenhum tipo de obstáculo entre a faixa de praia à Barlamar do promontório e o campo de dunas que interfira no trânsito de sedimentos.

Nas praias de Paracuru e Iguape o transpasse é parcial. O trânsito de sedimentos na zona costeira possui obstáculos à sua operação. Em Iguape, casas e barracas se interpõem entre a faixa de praia e o início da duna de transpasse, além do loteamento de parte da planície de deflação. Já em Paracuru, uma rodovia e parques eólicos com suas vias de acesso no campo de dunas se interpõem ao trânsito de sedimentos. Nesse sentido, o transpasse costeiro nos dois setores é parcial.

Já no Pecém, a duna de transpasse foi completamente desligada do restante do campo de dunas e sua mobilidade está quase que totalmente comprometida. Além disso, entre a faixa de praia e o campo de dunas existe uma rodovia que diminui o trânsito de sedimentos entre esses dois domínios (Figura 40). Assim, no Pecém o transpasse é inexistente.

Figura 40 - Rodovias que interceptam o campo de dunas no Pecém



Fotos: Mônica Pinheiro (2014).

Com relação ao parâmetro formas de proteção foram identificados a existência de unidades de conservação ou outras formas de proteção nas áreas analisadas. As formas de

proteção tendem a diminuir o impacto das atividades sobre as áreas ambientalmente frágeis, além de tornar-se uma tentativa de gerenciar a ocupação de forma integral ou sustentável.

Das cinco áreas estudadas, somente Iguape não possui proteção através de unidades de conservação. Nas áreas em estudo, somente Jericoacoara e Pecém possuem proteção integral através da Unidade de Conservação. O Parque Nacional de Jericoacoara foi criado com a finalidade de proteção integral do campo de dunas de Jericoacoara, assim como a Estação Ecológica do Pecém.

Nas outras áreas como Ponta Grossa e Paracuru a proteção é de uso sustentável, através de Áreas de Proteção Ambiental (APAs). Em Paracuru, a APA foi instituída com a finalidade de proteger as áreas de dunas. Em Ponta Grossa, a área de proteção municipal, abrange setores de falésias, praias e planície de marés, assim como as dunas.

A partir da análise dos parâmetros envolvidos (redução do campo de dunas, transpasse costeiro, proteção legal e intervenções no campo de dunas (ICD)) podemos considerar diferentes Índices de fragilidade do ambiente dunar para as áreas estudadas, vinculadas a uma análise espaço-temporal.

Estabeleceu-se de alto índice áreas com redução de dunas móveis e fixas maiores de 70%; Área de transpasse costeiro inexistente; sem nenhuma forma de proteção ambiental legal e com interferências antrópicas no campo de dunas. De médio, apresenta-se as áreas com redução do campo de dunas entre 30% a 70%; Área de transpasse costeiro parcial; proteção legal de caráter sustentável e com interferências no campo de dunas, ICD positivo. As áreas de baixo índice de fragilidade são identificadas como de redução do campo de dunas menor que 30%; Área de transpasse livre; Proteção legal relacionada a unidades de conservação do tipo integrais e com ICD negativo. Seguindo essa análise, estabeleceu-se para cada área possuir pelo menos 2 (dois) parâmetros analisados para a indicação do índice de fragilidade dunas (Tabela 7).

Assim, as áreas com alto índice de fragilidade inclui-se o campo de dunas do Iguape e Pecém. A elevada perda de área de dunas móveis (maior que 70%) somada ao alto índice de intervenção no campo de dunas do Iguape e seu entorno (Figura 41) e ausência de áreas de proteção ambiental são parâmetros que mostram a vulnerabilidade dessa área e a inclui dentro do índice de maior fragilidade dentre os setores analisados.

Pecém apresentou uma redução do campo de dunas de 42% e possui atualmente seu campo de dunas de transpasse inativo ou inexistente, além de se tratar da única área de transpasse que sofreu interferência direta (desligamento do campo de dunas), das áreas estudadas, mesmo possuindo área de proteção integral, a expansão do Porto do Pecém

influenciou diretamente na possibilidade de intervenção nas áreas de dunas, planície de deflação e praia, além da possibilidade futura da perda de sedimentos através do transpasse costeiro nas praias à sotamar.

Tabela 7 – Parâmetros de Análise

	Alto	Médio	Baixo
Redução do Campo de dunas	+70%	30%-70%	-30%
Transpasse Costeiro	Inexistente	Parcial	Ativo
Proteção Legal	Inexistente	Sustentável	Integral
Interferência no campo de dunas (ICD)	Presente	Presente	Ausente

Fonte: Mônica Pinheiro (2015)

Figura 41 - Visão da intensa ocupação urbana da planície costeira do Iguape

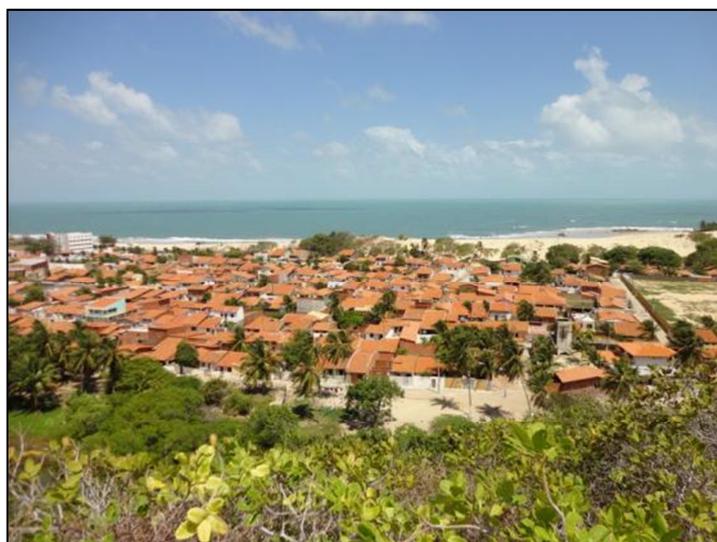
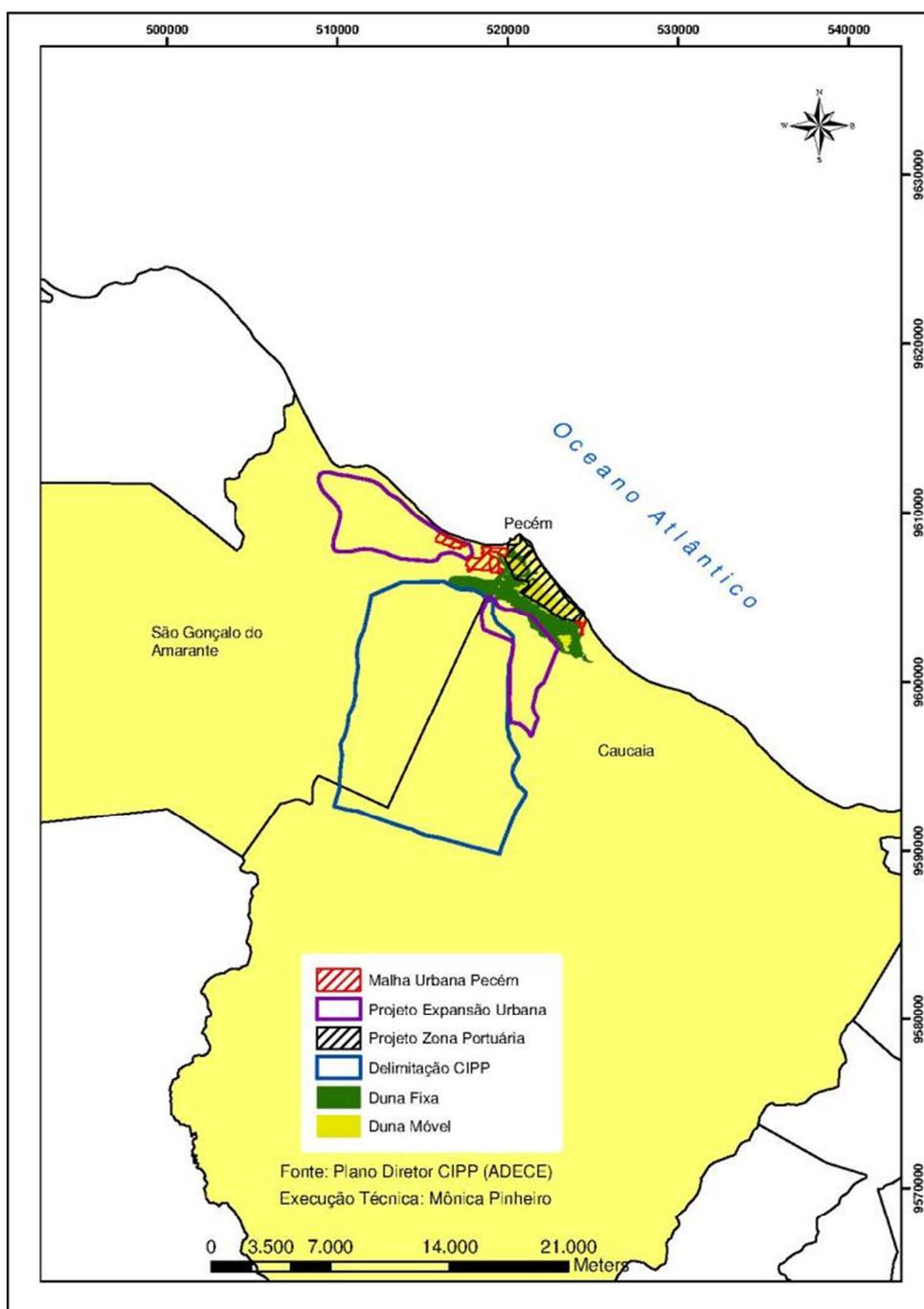


Foto: Mônica Pinheiro (2014).

Além desses fatores desenhados, a expansão futura das instalações do Porto e seu complexo industrial trará importantes alterações em área de dunas móveis e fixas. Os projetos para a área podem ser observados na figura 42, onde estão incluídos projetos de expansão urbana e portuária interferindo diretamente nos ambientes de dunas, por esse motivo o campo

de dunas do Pecém foi incluído dentro do alto índice de fragilidade, pois o mesmo também se adequaria dentro dos parâmetros estabelecidos para o índice de média fragilidade.

Figura 42 - Delimitação da área do CIPP e seus projetos adjacentes



Fonte: Plano Diretor CIPP (ADECE).

Em Paracuru, a redução do campo de duna foi maior que 30%, atualmente o transpasse é parcial, com ICD positivo. A proteção legal é feita de forma sustentável, através de Área de Proteção Ambiental. Destaca-se em Paracuru a intensificação de processos

erosivos, nos períodos de maré cheia que já ocorrem nas áreas à sotamar do promontório (Figura 43).

A disposição espacial desses parâmetros mostra um maior risco costeiro mais próximo da capital Fortaleza. As áreas de Iguape e Pecém, ambos os promontórios adjacentes à área urbana de Fortaleza já passam pela especulação imobiliária e econômica causada pela expansão da capital e por isso apresentam uma alta fragilidade dos seus campos de dunas.

A tabela 8 apresenta os índices de fragilidades para cada setor analisado a partir dos parâmetros anteriormente ponderados.

Tabela 8 – Índice de Fragilidade dos campos de dunas

	Redução do Campo de dunas	Transpasse Costeiro	Intervenção no Campo de Dunas (ICD)	Formas de Proteção	Índice de Fragilidade
Ponta Grossa	-30%	Ativo	Negativa	Sustentável	Baixo
Iguape	+70%	Parcial	Positiva	-	Alto
Pecém	30% a 70%	Inativo	Positiva	Integral	Alto
Paracuru	30% a 70%	Ativo	Positiva	Sustentável	Médio
Jericoacoara	-30%	Ativo	Negativa	Integral	Baixo

Fonte: Mônica Pinheiro (2015).

Com índice baixo inclui-se as praias de Jericoacoara e Ponta Grossa, os dois segmentos mais distantes de Fortaleza, um no litoral leste e outro no oeste. O trânsito livre do campo de dunas, com ICD negativo, a dinâmica do transpasse costeiro ativo e a redução das áreas de dunas móveis menor que 30% faz dessas áreas de baixa fragilidade ambiental (ver tabela 8).

A zona costeira de Ponta Grossa apresentou as melhores condições geoambientais entre todos os setores. A ocupação desse setor é mínima e todo o contexto do transpasse de dunas encontra-se livre de ocupação humana.

Em Jericoacoara, um dos campos de dunas analisados que se enquadram no contexto de fragilidade baixa do campo de dunas já passa por intervenções pontuais para minimizar alterações ligadas, principalmente ao avanço do mar durante as marés mais elevadas, como pode ser visto na figura 44. Essa proteção com pedras foi feita na região à sotamar do promontório, dentro da enseada, na praia imediatamente à frente da Vila de Jericoacoara.

Figura 43 – Destruição de barracas pelas ondas na planície costeira de Paracuru



Fotos: Mônica Pinheiro (2014).

Essas alterações já indicam também o resultado da minimização no aporte de sedimentos dentro do contexto da dinâmica costeira, o que poderá a curto prazo levar a exposição de maiores faixas de praia à processos erosivos.

Figura 44 – Estruturas de contenção de erosão na praia de Jericoacoara



Fotos: Mônica Pinheiro (2013).

Os prejuízos ambientais e econômicos já são sentidos e ocorrem não mais de forma isolada dentro do contexto da zona costeira cearense. A partir da análise realizada compreende-se a ocorrência de uma diminuição significativa na fonte de sedimentos a partir da faixa de praia que poderia atuar na recarga de sedimentos para os campos de dunas. Porém, o que constata-se é a intensificação da ocupação humana, de todos os setores da economia, o que leva ao aumento dessa carência de sedimentos em direção ao campo de dunas.

A partir do exposto, o conhecimento do índice de fragilidade do campo de dunas torna-se relevante ao contribuir no conhecimento sobre a realidade em cada setor se fazendo necessária junto a tomada de decisões sobre futuras intervenções na zona costeira.

REFERÊNCIAS

REFERÊNCIAS

- AGUIAR, L.S., CESTARO, L.A. **Caracterização da Unidade Geoambiental Litorânea-Eólica de Senador Georgino Avelino/RN**. Revista Geonorte. Edição Especial, Vol.3, N.4, 2012.
- ALBUQUERQUE, M. F. C. **Zona Costeira do Pecém: De Colônia de Pescador à Região Portuária**. Dissertação de Mestrado, UECE, 2005.
- AYOADE, J.O. **Introdução à Climatologia para os Trópicos**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2003.
- BARBOSA, L. M. **Métodos de Abordagem sobre Sistemas Eólicos em Ambientes no Brasil**. In: NUNES, J.O.R.; ROCHA, P.C. (org). Geomorfologia: aplicações e metodologias. São Paulo: Expressão Popular / UNESP, 2008.
- BARRETO, A.M.F, SUGUIO, K., BEZERRA, F.H.R., TATUMI, S.H., YEE, M., GIANNINI, F. **Geologia e Geomorfologia do Quaternário Costeiro do Estado do Rio Grande do Norte**. Geol. USP Ser. Cient., São Paulo, v. 4, p. 1-12, 2004.
- BERTRAND, G. **Paysage et géographie physique globale: esquisse méthodologique**. Revue géographique des Pyrénées et sud-ouest, v. 39, fasc. 3, p. 249-272, 3 fig., 2 pol. Phot.h.t. 1968.
- BITTENCOURT, R.; ALMEIDA G.; CARPENTIERI, E. **Potencial Eólico no Litoral do Ceará e Rio Grande do Norte para Geração de Energia Elétrica**. Relatório – DEFA-EORT, CHESF - 002/96, rev.1, outubro, 1996.
- BOEYINGA, J.; DUSSELJEE, D.W.; POOL, A.D.; SCHOUTENS, P.; VERDUIN, F.; VAN ZWICHT, B.N.M.; KLEIN, A.H.F. **The Effects of a Bypass Dunefield on the Stability of a Headland bay beach: A Case Study**. Coastal Engineering, 57, 152–159, 2010.
- BRAGA, A. P. G.; PASSOS, C. A. B.; SOUZA, E. M.; FRANÇA, J. B.; MEDEIROS, M. F. e ANDRADE, V. A. **Geologia da região nordeste do estado do Ceará**. Projeto Fortaleza. Brasília: Ministério das Minas e Energia, 1981.
- BRANCO, M. P. N.C; LEHUGEUR, L. G. O.; CAMPOS, J. E. G.; NOGUEIRA, S. R. P. **Morfodinâmica das Praias Arenosas à Barlamar e à Sotamar do Promontório Ponta do Iguape – Estado do Ceará – Brasil**. Revista de Geologia, v. 18, n 2, p. 215-229, 2005.
- BRANDÃO, R. L. (Org). **Sistema de informações para Gestão e Administração Territorial da Região Metropolitana de Fortaleza – Projeto SINFOR**. CPRM/SEMACE/SRH. Fortaleza: CPRM, 1995.
- BRASIL, DNPM, **RADAMBRASIL**, Folha SA -24- Fortaleza, Vol. 21: 23 – 112. Rio de Janeiro, 1981.
- BROECKER, W.S.; DENTON, G.H. **What Drive Glacial Cycles?** Sc. Am. 49-56, 1990.

CARNEIRO, T. R.; GONÇALVES, T. E. **O Turismo e a Relação Sociedade-Natureza no Litoral do Iguape-CE**. Caminhos de Geografia, Uberlândia, v. 14, n. 45, 2013.

CARVALHO, A.M. **Dinâmica Costeira entre Cumbuco e Matões – Costa NW do Estado do Ceará. Ênfase nos Processos Eólicos**. Tese de Doutorado. Universidade Federal da Bahia, 172p. 2003.

CARVALHO, A. M.; CLAUDINO-SALES, V.; MAIA, L. P. e CASTRO, J. W. A. **Eolianitos de Flecheiras/Mundaú, costa noroeste do estado do Ceará, Brasil**. In: WINGE, M. *et al.* (Edts.). Sítios Geológicos e Paleontológicos do Brasil. Vol. II. Brasília: CPRM, 2009.

CARVALHO, A. M.; DOMINGUES, J. M. L.; MAIA, L. P. **A Influência da Estruturação do Embasamento Pré-Cambriano na Elaboração da Morfologia Costeira**. Revista de Geologia, v. 18, n. 1, p. 83-94, 2005.

CARVALHO, A. M.; MORAIS, J. O.; COUTINHO, P. N. **Caracterização Geoambiental e Dinâmica Costeira da Região de Aquiraz, Costa Leste do Estado do Ceará**. Revista de Geologia UFC, v. 7, p. 55-68, 1994.

CARVALHO, A.M.; MAIA, L.P. **Estudos dos sedimentos Cenozóicos da região de Paracuru, Ceará, Brasil**. Relatório de Graduação. Universidade Federal do Ceará. Dep. Geol. Fortaleza. 86p, 1990.

CASTRO, J. W. A. **Burying Processes Carried out by a Mobile Transversal Dunefield, Paracuru County, State of Ceará, Brazil**. Environmental Geology, v. 49, p.214-218, 2005.

_____. **Transporte Eólico de Sedimentos e Migração de Dunas sobre o Promontório se Paracuru – Litoral Setentrional do Nordeste Brasileiro**. Bol. Mus. Nac., N.S., Geol., Rio de Janeiro, n.72, p.1-10, 2004.

CASTRO, J.W.A. **Geomorfologia do sistema sedimentar eólico de Paracuru - Ceará**. Rio de Janeiro / UFRJ - PPGG - IGEO, Tese (Doutorado), 2001.

CASTRO, J. W. A.; GONÇALVES, R. A. **O Processo de Soterramento da Cidade de Paracuru - Ceará por Dunas Móveis Transversais Submetidas a Regime de Vento Unimodal**. IX Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário, 2003.

CLAUDINO-SALES, V. **Os Litorais Cearenses**. In: SILVA, J. B; CAVALCANTE, M. T.; DANTAS, E. W. C.(Org.). Ceará: Um novo olhar geográfico. Fortaleza: Demócrito Rocha, 2005.

_____. **Les littoraux du Ceará. Evolution Géomorphologique de la Zone Côtière de l'Etat du Ceará, Brésil – du long terme au court terme**. Thèse de Doctorat, Université Paris-Sorbonne, 511p. 2002.

_____. **Cenários Litorâneos - Lagoa do Papicu: Natureza e ambiente na cidade de Fortaleza, Ce**. Dissertação de mestrado, Universidade de São Paulo - USP, 349 p. 1993.

- CLAUDINO-SALES, V.; CARVALHO, A. M. **Dinâmica Costeira Controlada por Promontórios no Estado do Ceará, Nordeste do Brasil.** Geociências, v. 33, n. 4, p.579-595, 2014.
- CLAUDINO-SALES, V., PEULVAST, J.P. **Geomorfologia da Zona Costeira do Estado do Ceará, Nordeste do Brasil.** In: SILVA, J. B., DANTAS, E. W. C., ZANELLA, M. E., MEIRELES, A. J. A.(org). Litoral e Sertão: natureza e sociedade no nordeste brasileiro. Fortaleza: Expressão Gráfica, 2006.
- CLAUDINO-SALES, V.; WANG, P.; MAIA, L. P. e MEDEIROS, A. C. **Headlands in a Deposition Coast: Interactions Among Headlands, Beaches and Dunes in the Coastal Area of Ceará State, Northeast Brazil.** Geomorphology. 2010.
- CORIOLOANO, L. N.; MENDES, E. G. **As Interfaces do Turismo nas Praias de Jericoacoara e Tatajuba: políticas, conflitos e gestões.** Turismo em Análise, v. 20, n. 1, 2009.
- DAVIS, R. **Evolving coasts.** Berlin: Spring-Verler, 2006.
- DOMINGUEZ J.M.L. e BITTENCOURT A.C.S.P. **Regional Assessment of Long-term Trends of Coastal Erosion in Northeastern Brazil.** An. Acad. Bras. Ciências, 68: 355-371, 1996.
- FERREIRA, A. G. e MELLO, N. G. S. **Principais sistemas atmosféricos atuantes sobre a região Nordeste do Brasil e a influência dos oceanos Pacífico e Atlântico no clima da região.** Revista Brasileira de Climatologia, v. 1, n. 1, 2005.
- FITZ, P.R. **Cartografia Básica.** São Paulo: Oficina de Textos, 2008.
- FLORENZANO, T.G. **Geomorfologia: conceitos e tecnologias atuais.** São Paulo: Oficina de Textos, 2008.
- FREIRE, G. S. S.; CAVALCANTI, V. M. M. A. **Cobertura Sedimentar Quaternária da Plataforma Continental do Estado do Ceará.** Brasília: DNPM, Vol. 1, 42 p. 1998.
- GASTÃO, F.G.C. **Caracterização dos Lençóis Maranhenses e Dunas Inativas (Fósseis): Implicações Paleoambientais.** Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Ceará - UFC, 2010.
- GUERRA, A. J. T.; MARÇAL, M. S. **Geomorfologia Ambiental.** Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2006.
- GIANNINI, P.C.F., RICCOMINI, C. **Sedimentos e Processos Sedimentares.** In: TEIXEIRA, W.; TOLEDO, M.C.M; FAIRCHILD, T.R; TAOLI, F. (ORGS.). Decifrando a Terra. São Paulo. Oficina de Textos, 2003.
- HESP, P.A. **Coastal sand dunes. Form and function.** Massey University. Rotorua Printers, New Zealand. 2000.
- INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS HIDROVIÁRIAS (INPH) – Relatório Interno. **Pecém – CE, 2001.**

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Histórico dos Municípios**. Disponível em <http://www.cidades.ibge.gov.br/xtras/home.php> Acesso em 25/02/2015.

JIMENEZ, J. A.; MAIA, L. P.; SERRA, J.; MORAIS, J. **Aeolian dune migration along the Ceará coast, north-eastern Brazil**. *Sedimentology* 46, 689-701, 1999.

JULIO, K.; MAGINI, C.; MAIA, L. P. e CASTRO, J. W. A. **Ponta de Jericoacoara, CE**. In: WINGE, M. et al. (Edts.). *Sítios Geológicos e Paleontológicos do Brasil*. Vol. III. Brasília: CPRM, 2013.

LEDRU, M.P. et al. **The last 50,000 years in the Neotropics (Southern Brazil): Evolution of vegetation and climate**. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 123: 239-257, 1996.

LEVIN, N.; TSOAR, H.; HERRMANN, H.; MAIA, L. P.; CLAUDINO-SALES, V. **Modelling the formation of residual dune ridges behind barchans dunes in North-east Brazil**. *Sedimentology*, 2009.

LIRA, M.A.T.; SILVA, E.M.; ALVES, J.M.B. **Estimativa dos Recursos Eólicos no Litoral Cearense Usando a Teoria da Regressão Linear**. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v.26, n.3, 349 - 366, 2011.

MAGINI, C.; MARTINS, A. H. O.; PITOMBEIRA, E. S. **A Infraestrutura Portuária e suas Influências na Sedimentação Costeira na Vila do Pecém, Ceará, Brasil**. *Geociências*, USP, v. 32, n. 3, 2013.

MAIA, L. P.; FREIRE, G. S. S.; LACERDA, L. D. **Accelerated Dune Migration and Aeolian Transport During El Niño Events along the NE Brazilian Coast**. *Journal of Coastal Research*, v. 21, n. 6, 2005.

MAIA, L. P. **Procesos Costeros y Balance Sedimentario a lo Largo de Fortaleza (NE-Brasil): Implicaciones para una Gestion Adecuada de la Zona Litoral**. Tesis Doctoral, Univ. Barcelona, 198p. 1998.

MAIA, L.P. **Controle Tectônico e Evolução Geológica /Sedimentar da Região da Desembocadura do Rio Jaguaribe, Ceará**. Dissertação de mestrado. Departamento de geologia, UFPE, Recife, 144p. 1993.

MEIRELES, A. J. A. e SERRA, J. R. **Evolução paleogeográfica da planície costeira de Jericoacoara/Ceará**. *Mercator (Revista de Geografia da UFC)*, v. 1, p. 79-94, 2002.

MEIRELES, A. J. A. SILVA, E. V.; THIERS, P. **Os Campos de Dunas Móveis: Fundamentos Dinâmicos para um Modelo Integrado de Planejamento e Gestão da Zona Costeira**. *GEOUSP - Espaço e Tempo*, São Paulo, n. 20, p. 101-119, 2006.

MEIRELES, A.J.A.; SERRA, J.R. e SABADIA, J.A.B. **Sea level changes in Jericoacoara – Ceará coastal plain – northwest of Brazil**. In: Zazo, C e Bardají, T. (eds.), *INQUA*, newsletter n. 22, 2000.

MICHAELIS. **Dicionário Escolar Língua Portuguesa**. São Paulo: Editora Melhoramentos, 2008.

MORAIS, J.I.; FREIRE, G.S.S.; PINHEIRO, L.P.; SOUZA, M.J.N.; CARVALHO, A.M.; PESSOA, P.R.; OLIVEIRA, S.M. **Erosão e Progradação do Litoral Brasileiro- Ceará**. In: MUEHE, D. (org.) *Erosão e Progradação do Litoral Brasileiro*. Brasília: MMA, 2006.

MOURA-FÉ, M.M. **Evolução Geomorfológica do Sítio Natural de Fortaleza**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Ceará, 2008.

PASKOFF, R. **Lês Littoraux – Impact dès Aménagements Sur Leur Évolution**. Paris, Masson, 1996.

PEREIRA, R. C. M. e SILVA, E. V. **Solos e vegetação do Ceará**: características gerais. In: SILVA, J. B. *et al.* (Org.). *Ceará: um novo olhar geográfico*. Fortaleza: edições Demócrito Rocha, 2005.

PEULVAST, J. P.; CLAUDINO SALES, V. **La Bande Côtière De L'état Du Ceará, Nord-Est Du Brésil**: Presentation Geomorphologique. Mercator (Revista de Geografia da UFC), v. 5, p. 95-123, 2004.

PEULVAST, J. P.; VANNEY, J. R. **Géomorphologie Structurale**. Relief et structt.tre Géologique. Paris, 2001.

PINHEIRO, L. S.; MORAIS, J.O.; PITOMBEIRA, E. S. **Caponga Shoreline Rehabilitation Assesments**. Journal of Coastal Research, Itajaí, Special Issue, v. 35, p. 536-542, 2003.

PINHEIRO, M. V. A.; MOURA-FÉ, M. M.; FREITAS, E. M. N.; COSTA, A. T.; AGUIAR, A. C. S.; SOMBRA, E. T. P. **Dunas móveis: Áreas de Preservação Permanente?** Revista Sociedade & Natureza – UFU (Uberlândia-MG), v. 25, n. 3, p. 595-607, 2013.

PINHEIRO, M. V. A. **Evolução Geoambiental e Geohistórica das Dunas Costeiras de Fortaleza, Ceará**. Dissertação (Mestrado em Geografia). Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2009.

PIRAZZOLI, P. A. **Sea-Level changes - The Last 20.000 years**. Willey N.Y. 1996.

RODRIGUES, J.M.M e SILVA, E.V. **A Classificação das Paisagens a partir de uma Visão Geossistêmica**. Mercator, Ano 1, nº1, 2002.

SANT'ANA NETO, J.L. e NERY, J.T. **Variabilidade e Mudanças Climáticas no Brasil e seus Impactos Regionais**. In: SOUZA, C.R.G., SUGUIO, K., OLIVEIRA, A.M.S., OLIVEIRA, P.E. *Quaternário do Brasil*. Ribeirão Preto: Holos Editora, 2005.

SANTOS, A. M. F. **Zoneamento Geoambiental para uma Gestão Planejada e Participativa: Planície Costeira do Município de Icapuí/CE**. Dissertação (mestrado em Geografia). Fortaleza: UFC, 2008.

SCHWÄMMLE, V.; HERRMANN, H.J. **Solitary wave behaviour of sand dunes**. NATURE, VOL 426, DECEMBER 2003.

SHACKLETON, N. J. **Oxygen isotopics, ice volume and sea level**. Quaternary Science Reviews, v. 6, p.183-190, 1987.

SÍGOLO, J. B. **Processos Eólicos: A Ação dos Ventos**. In: TEIXEIRA, W.; TOLEDO, M.C.M; FAIRCHILD, T.R; TAOLI, F. (Org). Decifrando a Terra. São Paulo. Oficina de Textos, 2003.

SILVA, D. R.V; AMARO, V. E. **Integração entre dados ópticos e radar (SRTM) para a caracterização geoambiental da costa setentrional do Rio Grande do Norte**. Revista Geográfica Acadêmica, v.2, p. 111-123, 2008.

SOLARES, J.Q.S. e ZUQUETTE, L.V. **Some geological / geotechnical environmental problems in the coastal zone of Fortaleza, Ceará State, Brazil**. Abstract In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON ENGINEERING GEOLOGY AND THE ENVIRONMENT, Athens, Greece, June 23-27, 1997. Proceedings. Rotterdam, Balkema, v.2, p.1451-1454. 1997.

SOTCHAVA, V.B. **O Estudo de Geossistemas**. São Paulo. Instituto de Geografia – USP, 1977.

SUGUIO, K. **Geologia do Quaternário e Mudanças Ambientais (passado+presente=futuro?)**. São Paulo: Paulo's Comunicação e Artes Gráficas, 1999.

SUGUIO, K., ÂNGULO, R.J., CARVALHO, A.M., CORRÊA, I.C.S., TOMAZELLI, L.J., WILLWOCK, J.A., VITAL, H. **Paleoníveis do Mar e Paleolinhas de Costa**. In: SOUZA, C.R.G., SUGUIO, K., OLIVEIRA, A.M.S., OLIVEIRA, P.E. Quaternário do Brasil. Ribeirão Preto: Holos Editora, 2005.

SOUSA, D. C.; JARDIM DE SÁ, E. F.; VITAL, H.; NASCIMENTO, M. A. L. **Falésias na Praia de Ponta Grossa, Icapuí, CE** - Importantes deformações tectônicas cenozóicas em rochas sedimentares da Formação Barreiras. In: WINGE, M.; SCHOBENHAUS, C.; SOUZA, C. R. G.; FERNANDES, A. C. S.; BERBERT-BORN, M.; QUEIROZ, E. T. (Ed.) Sítios Geológicos e Paleontológicos do Brasil. Publicado na Internet em 24/09/2008 no endereço <http://www.unb.br/ig/sigep/sitio120/sitio120.pdf> [atualmente <http://sigep.cprm.gov.br/sitio120/sitio120.pdf>]

SOUSA, P.H.G.O; CARVALHO, D.A.P.; PINHEIRO, L.S. **A Costa de Paracuru: Turismo, Ocupação e Perfil do Usuário**. Revista da Gestão Costeira Integrada 8(2): 247-258, 2008.

TESSLER, M. G., MAHIQUES, M. M. **Processos Oceânicos e a Fisiografia dos Fundos Marinhos**. In: TEIXEIRA, W.; TOLEDO, M.C.M; FAIRCHILD, T.R; TAOLI, F. (ORGS.). Decifrando a Terra. São Paulo. Oficina de Textos, 2003.

TINLEY, K.L. **Coastal Dune of South Africa**. 1985.

THOMPSON, L.G.E. MOSLEY-THOMPSON, M.E. DAVIS, P-N. L., HENDERSON, K.A., COLE-DAI, J.F. BOLZAN AND K-B. LIU. **Late Glacial Stage and Holocene tropical ice core records from Huascarán, Peru**. Science, Volume 269, 46-50, 1995.

TOMAZELLI, L.J. **Contribuição ao Estudo dos Sistemas Depositionais Holocênicos do Nordeste da Província Costeira do Rio Grande do Sul – com Ênfase no Sistema Eólico.** Tese de Doutorado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS, 1990.

TSOAR H.; LEVIN, N.; PORAT, N.; MAIA, L. P.; HERRMANN, H. J.; TATUMI, S. H.; CLAUDINO-SALES, V. **The effect of climate change on the mobility and stability of coastal sand dunes in Ceará State (NE Brazil).** Quaternary Research, v. 71, p. 217-226, 2009.

TORRES, F.T.P. **Introdução à Geomorfologia.** São Paulo: Cengage Learning, 2012.

VARGAS, A.; RAABE, A.L.A.; KLEIN, A.H.F. **Sistema Computacional para Aplicação do Modelo Parabólico de Praias de Enseada.** Revista Brasileira de Geomorfologia, Ano 3, Nº 1, 11-19, 2002.

VIEIRA, L. A. de A., PITOMBEIRA, E. da S., SOUZA, R. O. de. **Comprovação das alterações da linha de costa e de transporte de sedimentos na área costeira do Porto do Pecém.** XVII Simp. Bras. Rec. Hídricos.P1-17. 1997.

VILLWOCK, J.B.; LESSA, G.C.; SUGUIO, K; ÂNGULO, R.J.; DILLENBURG, S.R. **Geologia e Geomorfologia de Regiões Costeiras.** In: SOUSA, C.R.G et al. Quaternário do Brasil. Ribeirão Preto: Holos Editora, 2005.

ZANELLA, M.E. e MELLO, N.G.S. **Eventos Pluviométricos Intensos em ambiente Urbano: Fortaleza, episódio do dia 29/01/2004.** In: SILVA, JB. ET AL (ORG). Litoral e Sertão: natureza e sociedade no Nordeste brasileiro. Fortaleza: Expressão Gráfica, 2006.

ZANELLA, M. E. **Eventos Pluviométricos Intensos em Ambiente Urbano: Fortaleza: o episódio do dia 29/01/2004.** In: SILVA, J. B; DANTAS, E. W. C. e MEIRELES, A. J. A. (Org.). Litoral e Sertão: Natureza e Sociedade no Nordeste Brasileiro. Fortaleza: Expressão Gráfica, 2006.