



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ CENTRO DE CIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA**

**A GEODINÂMICA E MORFOGÊNESE DAS DUNAS EÓLICAS NO MUNICÍPIO
DE CANOA QUEBRADA, ARACATI, CEARÁ, BRASIL.**

Adriana Albuquerque Pedrosa

Orientador: Prof. Dr. Itabaraci Nazareno Cavalcante

Co-Orientadora: Prof^ª. Dr^ª. Vanda de Claudino Sales

FORTALEZA, 2016

ADRIANA ALBUQUERQUE PEDROSA

A GEODINÂMICA E MORFOGÊNESE DAS DUNAS EÓLICAS NO MUNICÍPIO
DE CANOA QUEBRADA, ARACATI, CEARÁ, BRASIL.

Tese de Doutorado submetida à
Coordenação do Curso de Pós-Graduação
em Geologia da Universidade Federal
do Ceará.

**Orientador: Prof. Dr. Itabaraci Nazareno
Cavalcante**

**Co-Orientadora: Prof^a. Dr^a. Vanda Claudino
Sales**

FORTALEZA, 2016

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca de Ciências e Tecnologia

-
- P414g Pedrosa, Adriana Albuquerque.
 A geodinâmica e morfogênese das dunas eólicas no município de Canoa Quebrada, Aracati,
 Ceará, Brasil. / Adriana Albuquerque Pedrosa. – 2016.
 111 f. : il. color.
- Tese (doutorado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências, Departamento de
 Geologia, Programa de Pós-Graduação em Geologia, Fortaleza, 2016.
 Área de Concentração: Geologia marinha e ambiental
 Orientação: Profa. Dr. Itabaraci Nazareno Cavalcante.
 Coorientação: Prof. Dra. Vanda de Claudino Sales.
1. Geomorfologia – Ceará. 2. Meio ambiente. 3. Dunas. I. Título.

ADRIANA ALBUQUERQUE PEDROSA

A GEODINÂMICA E MORFOGÊNESE DAS DUNAS EÓLICAS NO MUNICÍPIO DE
CANOA QUEBRADA, ARACATI, CEARÁ, BRASIL.

Tese apresentada ao Curso de Doutorado
em Geologia da Universidade Federal do
Ceará, como requisito a aprovação ao
Doutorado em Geologia. Linha
de Pesquisa: Geologia Marinha Ambiental

Aprovada em: 22/01/2016

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Itabaraci Nazareno Cavalcante
(Orientador) Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof.Dr. George Satander Sá Freire
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Christiano Magini
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Dr. Alexandre Medeiros de Carvalho
LABOMAR/UFC

Prof. Dr. Paulo Roberto Lopes Thiers
Universidade Federal do Ceará (UFC)

A D. Zélia e o Sr. Pedrosa (in memorian) meus pais,

Ao meu amor, Luisa,

Ao meu anjo da guarda, sempre presente.

AGRADECIMENTOS

A construção desta pesquisa foi resultado de muita dedicação, trabalho, sacrifícios, despendidos por mim e por pessoas muito importantes que muito contribuíram para a conclusão desta Tese.

Agradeço primeiramente a DEUS por todo o processo de construção dessa Tese, sem ele jamais teria tido garra, força de vontade e muita dedicação. Obrigada meu DEUS por todos os dons que me deste!

Agradeço a CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior), pelo suporte financeiro que proporcionou a execução dessa pesquisa.

Ao Programa de Doutorado em Geologia, na pessoa do Coordenador Professor Doutor José de Araújo Nogueira Neto, a Professora Doutora Loreci Gislaine (in memorian), minha primeira orientadora deste Programa, pelos ensinamentos, confiança que a mim depositou.

Ao meu querido orientador Professor Doutor Itabaraci Nazareno pelo grande incentivo, dedicação do seu precioso tempo, grandes ensinamentos, deixo aqui meu muito obrigada!

A Professora Doutora Vanda Claudino Sales que em todos os momentos da realização dessa Tese esteve contribuindo com seus fantásticos conhecimentos, atenção e muito compromisso para que essa pesquisa alcançasse seu objetivo. Muito obrigada!

Ao pesquisador Dr. Alexandre Medeiros do LABOMAR – Laboratório de Ciências do Mar, pela sua gentileza e pela grande contribuição que teve na realização dessa pesquisa.

A amiga Nilza Moura pela grande contribuição na interpretação de textos em francês deixo aqui meu muito obrigada!

Ao professor e coordenador escolar Rérison Rebouças pela imensurável dedicação através das correções ortográficas realizadas contribuindo para o enriquecimento da minha Tese. Deixo aqui meu muito obrigada!

RESUMO

Esta Tese apresenta uma análise da geodinâmica e morfogênese do campo de dunas na região de Canoa Quebrada localizada no município do Aracati inserido no estado do Ceará. Abrange a área formada pela planície fluvio-marinha, a faixa de praia e o campo de dunas localizados na margem direita da foz do rio Jaguaribe. O recorte temporal avaliado corresponde à análise da dinâmica do campo de dunas com base nas taxas de migração no período de 1988 a 2013. Os objetivos dessa pesquisa foram analisar a dinâmica ambiental do campo de dunas móveis em direção ao ecossistema manguezal localizado na foz do rio Jaguaribe. Associado à abordagem metodológica, utilizou-se um conjunto de técnicas necessárias à realização da presente pesquisa. A partir de então, analisou-se através do geoprocessamento de fotografias aéreas da década de 80 na escala de 1:25.000 e imagens de satélites Quickbird dos anos de 2004, 2010 e 2013 associados ao estudo da dinâmica eólica com base nos registros da variação de suas taxas de migração. Na área de estudo, encontramos dunas móveis do tipo longitudinais, de pequena ocorrência, barcanóides, de expressiva ocorrência e a predominância dos lençóis de areias. Do ponto de vista de cobertura vegetal, foram identificadas dunas semi-fixas no contato com o ecossistema manguezal. Essas dunas podem ser classificadas como semi- fixas sem forma definida. Não há ocorrência de dunas fixas ou de dunas cimentadas na região. Quanto às gerações dunares, em Canoa Quebrada, domina a geração D1, caracterizada pela ocorrência de dunas atuais, móveis. No contato com o ecossistema manguezal, as dunas semi-fixas se combinam com a geração de dunas anteriores às atuais, do tipo sub-atuais, definindo a existência de dunas de geração D2. A taxa média de migração no campo de dunas durante todo esse período de 40 anos foi de 7m/ano. Nos anos de 2010 a 2013 praticamente não ocorreu migração, mas as dunas continuam migrando em direção ao ecossistema manguezal.

PALAVRAS CHAVE: Dunas costeiras, geodinâmica e morfogênese.

ABSTRACT

This thesis presents an analysis of geodynamic and morphogenesis of the dune field in the Canoa Quebrada region located in the municipality of Aracati inserted in the state of Ceará. It covers the area formed by fluvial-marine plain, the strip of beach and dune field located on the right bank of the mouth of the river Jaguaribe. The estimated time frame corresponds to the dynamic analysis of the dune field based on migration rates from 1988 to 2013. The objectives of this study are to analyze the environmental dynamics of the mobile dune field towards the mangrove ecosystem located at the mouth of the river Jaguaribe. Associated with the methodological approach, we used a set of techniques necessary for the completion of this research. From then analyzed through GIS aerial photographs of the 80 on the scale of 1: 25,000 and 2004 Quickbird the years of satellite images, 2010 and 2013 associated with the study of wind dynamics based on the variation of records their migration rates. In the study area, we find the moving dunes of the longitudinal type, small occurrence barcanoids, expressive occurrence and prevalence of sand sheets. The vegetation point of view, semi-fixed dunes were identified in contact with the mangrove ecosystem. These dunes can be classified as semi-fixed shapeless. There is no occurrence of fixed dunes or cemented dunes in the region. As for dune generations in Canoa Quebrada, dominates the generation D1, characterized by the occurrence of current dunes, furniture. In contact with the mangrove ecosystem, the semi-fixed dunes combine with the previous generation of dunes to the current, the current sub-type, defining the existence of D2 generation dunes. The average migration of the dune field during that period of 40 years was 7m / year. In the years 2010-2013 virtually no migration occurred, but the dunes continue to migrate towards the mangrove ecosystem.

KEYWORDS: Coastal dunes, geodynamics and morphogenesis.

SUMÁRIO

LISTA DE

FIGURAS LISTA

DE TABELAS

LISTA DE ABREVIATURAS

1. INTRODUÇÃO	16
2. LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE PESQUISA	21
2.1. Localização e acesso	22
2.2. Caracterização geoambiental da área de estudo	22
2.2.1. Geologia	22
2.2.2. Geomorfologia	25
2.2.3. Clima	32
2.2.4. Hidrografia	38
2.2.5. Pedologia	41
2.2.6. Cobertura Vegetal	42
3. METODOLOGIA E TÉCNICAS UTILIZADAS	44
3.1. Levantamento bibliográfico.....	44
3.2. Levantamento cartográfico	45
3.3. Sensoriamento remoto	46
3.4. Geoprocessamento	46
3.5. Levantamento de campo	47
4. GEODINÂMICA COSTEIRA NO QUATERNÁRIO	48
4.1. Mudanças climáticas no Quaternário.....	48
4.2. Variações relativas no nível do mar	51

4.3. Mudanças paleoclimática na zona costeira	53
4.4. Mudanças Quaternária paleoclimática no campo de dunas da costa do Ceará	55
5. AS DUNAS NO ESTADO DO CEARÁ	59
5.1. As grandes formas de dunas	59
5.2. Dunas móveis.....	59
5.2.1. Dunas longitudinais e as dunas parabólicas	60
5.2.2. Dunas barcanas, barcanóides e megabarcanas	61
5.2.3. Os lençóis de areia	62
5.3. Dunas semi-fixas	62
5.3.1. Dunas frontais	62
5.3.2. Nebkas	63
5.4. Dunas fixas	64
5.4.1. Dunas com geometria indefinida	64
5.4.2. Dunas parabólicas hairpin	65
5.5. Dunas cimentadas	66
5.6. As gerações e as idades dos campos de dunas	66
5.6.1. Os campos de dunas atuais ou D1	67
5.6.2. As dunas sub-atuais ou D2	68
5.6.3. As dunas de idade regressiva Holocena ou D3	68
5.6.4. As dunas de idade transgressiva Holocena ou D4	69
5.6.5. As dunas de idade posterior à transgressão Holocênica ou D5	69
5.6.6. As dunas de idade anterior à transgressão Holocênica ou D6	70

5.7. As dunas na área de pesquisa	70
6. CARACTERÍSTICAS SOCIOECONÔMICAS E AMBIENTAIS DA PRAIA DE CANOA QUEBRADA	73
6.1. Problemas ambientais em Canoa Quebrada.....	76
6.2. A APA – Área de Proteção Ambiental de Canoa Quebrada	82
6.3. O desmatamento e a prática da carcinicultura	90
7. ANÁLISE DOS DADOS METEOROLÓGICOS E TAXAS DE MIGRAÇÃO DO CAMPO DE DUNAS DA PRAIA DE CANOA QUEBRADA	91
7.1. As taxas de migração do campo de dunas móveis	92
7.2. Análise dos dados meteorológicos e taxas de migração do campo de dunas.....	96
8. CONSIDERAÇÕES FINAIS	100
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	102

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 01 – Mapa da localização da área de estudo	21
Figura 02 – Arenitos da Formação Barreira na praia de Ponta Grossa, 2015.....	23
Figura 03 – Margem esquerda do baixo curso do rio Jaguaribe, 2014	25
Figura 04 – Dunas móveis e lagoas interdunares em Canoa Quebrada, 2014	27
Figura 05 – Planície fluvio-marinha do rio Jaguaribe, 2014	28
Figura 06 – Margem direita do baixo curso do rio Jaguaribe, 2014	29
Figura 07 – Falésias da Formação Barreiras na praia de Canoa Quebrada, 2014..	29
Figura 08 – Bordejada de falésias vivas, 2014	30
Figura 09 - Unidades geoambientais da área de estudo.....	32
Figura 10 – Localização da Zona de Convergência Intertropical – ZCIT ao longo do ano em relação a área de estudo, 2013	33
Figura 11 – Gráfico dos dados pluviométricos do município do Aracati do mês de janeiro, 2013.....	34
Figura 12 - Gráfico dos dados pluviométricos do município do Aracati do mês de fevereiro, 2013.....	34
Figura 13 - Gráfico dos dados pluviométricos do município do Aracati do mês de março, 2015.....	35
Figura 14 - Gráfico dos dados pluviométricos do município do Aracati do mês de abril, 2015.....	35
Figura 15 – Climograma do município do Aracati	36
Figura 16 – Gráfico de temperatura do município do Aracati	36
Figura 17 – Clima do município do Aracati	37

Figura 18 – Baixo curso do rio Jaguaribe, 2013	39
Figura 19 – Rhizophora mangle no estuário do rio Jaguaribe, 2014	44
Figura 20 – Mapa de circulação termo-halina, 2004	52
Figura 21 – Duna móvel localizada na margem direita do rio Jaguaribe, área de estudo, 2014	60
Figura 22 – Dunas nebkas, Ilhas Canárias – Espanha,	63
Figura 23 – Duna fixa na praia de Canoa Quebrada, 2014	64
Figura 24 – Duna barcanóide do tipo transgressiva medindo 34 metros de altura, 2014	70
Figura 25 – Tipos de dunas na área de estudo, 2015	71
Figura 26 – Duna semi-fixa próximo ao ecossistema manguezal, 2014	72
Figura 27 – Sobrados no município do Aracati, 2015	73
Figura 28 – Núcleo urbano de Canoa Quebrada	76
Figura 29 – Vista geral do núcleo de Canoa Quebrada, 2014	77
Figura 30 – Mapa do loteamento na Área de Proteção Ambiental – APA - de Canoa Quebrada, 2012	78
Figura 31 – Mapa do uso e ocupação do espaço geográfico da área de estudo	79
Figura 32 – Ocupação desordenada das falésias na praia de Canoa Quebrada	81
Figura 33 – Condomínio de veraneio localizado sobre a planície de deflação em Canoa Quebrada, 2014	81
Figura 34 – Aerogeradores sobre as dunas de Canoa Quebrada, 2014.....	82
Figura 35 – Mapa de localização da Área de Proteção Ambiental de Canoa Quebrada – APA	83

Figura 36 – Estrada construída sobre as dunas móveis em Canoa Quebrada para a realização de passeios de bugres atendendo o mercado de turismo,2014.....	84
Figura 37 – Duna móvel na área de estudo medindo 33 metros de altura	85
Figura 38 – Aspecto do esgoto a céu aberto na praia de Canoa Quebrada, 2015	86
Figura 39 – Aspecto de sopés das falésias nos fundos das barracas utilizados para armazenamento de entulho ou instalação de tanques de esgoto, 2002	86
Figura 40 – Carcinicultura em Cumbe, Aracati, 2014	91
Figura 41 – Mapa da média de migração para todo o campo de dunas da área de estudo	93
Figura 42 – Dados de migração dos intervalos estudados (1988-2004; 2004-2010; 2010-2013).....	94
Figura 43 – Mapa das distâncias da face de sotavento das dunas ao leito do rio Jaguaribe e áreas de mangue	95
Figura 44 - Gráficos das taxas de migração e precipitação.....	97
Figura 45 – Gráfico de dados pluviométricos e eólicos dos anos de 2010 e 2013...	99

LISTA DE TABELAS

Tabela 01 – Precipitação e índice de aridez do município do Aracati, 201241

Tabela 02 – Principais problemas de Canoa Quebrada identificados na oficina de planejamento, 2002.....88

LISTA DE ABREVIATURAS

- ARIE – Área de Relevante Interesse Ecológico
- APA – Área de Proteção Ambiental
- CAPES – Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
- CAGECE – Companhia de Água e Esgoto do Ceará
- COGERH – Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos
- CPRM – Companhia de Pesquisa dos Recursos Minerais/Serviço Geológico do Brasil
- DNOCS – Departamento Nacional de Obras Contra as Secas
- FUNCEME – Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos
- GPS – Sistema de Posicionamento Global
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
- INCRA – Instituto Nacional de Colonização de Reforma Agrária
- INPE – Instituto de Pesquisas Espaciais
- IPLANCE – Fundação Instituto de Planejamento do Ceará
- LABOMAR – Instituto de Ciências do Mar
- LAGECO – Laboratório de Geomorfologia Ambiental Costeira e Continental
- PCD – Plataforma de Coleta de Dados
- PET- Programa Educacional Tutorial
- SEMACE – Superintendência Estadual do Meio Ambiente do Estado do Ceará
- SIG – Sistema de Informação Geográfica
- UECE – Universidade Estadual do Ceará
- UFC – Universidade Federal do Ceará
- UTM – Universal Transverso de Mercator
- ZCIT– Zona de Convergência Intertropical

1. INTRODUÇÃO

A zona litorânea corresponde a uma faixa de terra que possui características mistas. Em primeiro lugar, trata-se de um elemento natural, aqui compreendida como um segmento de terra composto por praias que sofrem influência direta do mar que é banhado pelas marés altas. Por zona costeira, por outro lado, entende-se a área de influência indireta do mar, incluindo os setores que sofrem ação das brisas marítimas e de salinidade – a extensão dessa área é primariamente ditada pela dinâmica climática e fluviomarina sendo variável de um setor a outro (e.g CLAUDINO SALES, 2002), podendo estender-se por vários quilômetros em direção ao continente.

Geomorfológica e geologicamente, podemos observar que na costa brasileira existem uma sucessão de planícies costeiras, alternando-se com falésias e costões rochosos, bordejando uma área continental composta por rochas de complexos ígneos e polimetamórficos pré-cambrianos, sobre os quais se assentam sequências sedimentares e vulcânicas acumuladas em Bacias Paleozóicas, Mesozóicas e Cenozóicas (SILVEIRA, 1964).

A área de estudo está localizada na Costa Nordeste do Brasil. Predominantemente é constituída pelos sedimentos terciários da Formação Barreiras, que parcialmente trabalhados no Pleistoceno e no Holoceno originaram os Tabuleiros Costeiros e os campos de dunas. Ao longo da costa do Nordeste Brasileiro, os sedimentos Barreiras se sobrepõem ao embasamento cristalino e aos depósitos mais antigos pertencentes às diversas bacias sedimentares que ali ocorrem, integrantes da margem continental brasileira.

Com o intuito de apresentar uma evolução multitemporal do campo de dunas com base nas taxas de migração da zona costeira de Canoa Quebrada, Ceará, resgatou-se estudos pretéritos da sua zona costeira para uma contribuição enriquecedora para análise da migração das dunas no período compreendido entre 1988 a 2013.

As dunas, sejam elas fixas ou móveis, são grandes reservatórios de águas pluviais, alimentando um dos principais aquíferos inserido na zona costeira. Os campos de dunas têm, ainda, importância fundamental no equilíbrio das zonas costeiras ao fornecer sedimentos para os mananciais e litoral, contribuindo para a

dinâmica da deriva litorânea. Portanto, no seu processo de migração ao longo da costa, são responsáveis pelo controle e regulação do balanço sedimentar de toda a planície litorânea.

Os depósitos eólicos ativos no Brasil classificam-se em dois tipos: os campos de dunas livres e os lençóis de areia. O segundo tipo são as semi-fixas ou vegetadas, que incluem: dunas frontais (*foredunes*) incipientes (embrionárias) e estabelecidas, exclusivas de áreas costeiras; rupturas de deflação (*blowouts*) que, quando alongadas, transformam-se em duas parabólicas com rastros lineares residuais (*trailing ridges*); os retrocordões (*gegenwalle*) e os *nebkhas*.

Os campos de dunas livres são formados por grandes massas de areias em constante movimento, constituídos de simples ou compostas. No litoral, estes campos eólicos livres migram da praia em direção ao continente e devido a esse processo são designados campos de dunas transgressivos.

As dunas móveis constituem as formas mais remarcáveis da zona costeira do Ceará, formam-se na pós praia e representam apenas uma parte minoritária dos campos de dunas, o resto corresponde aos campos antigos. As formas mais frequentes são as dunas longitudinais de frente transgressivas, as barcanas e as barcanóides, assim como as megabarcanas e as parabólicas.

A área de pesquisa encontra-se interligada por uma boa infraestrutura composta por rodovias que viabilizam o transporte entre os municípios adjacentes, contribuindo de forma significativa para a intensificação do fluxo turístico e desenvolvimento econômico desse município. Trata-se de uma área fisicamente constituída pela sede municipal (Aracati), Canoa Quebrada, Majorlândia, Quixaba e Lagoa do Mato. Dentre esses, Aracati é o que se destaca, haja vista a infraestrutura e as condições urbanas e demográficas de maior concentração.

Aracati localiza-se na porção leste do Estado do Ceará e possui um acervo arquitetônico que se manifesta na morfologia urbana com a presença de sobrados e casarões tombados como Patrimônio Histórico do Ceará. A arquitetura reflete o grande apogeu econômico que o Município teve durante o século XVIII. A organização do espaço é resultado das forças que atuaram na sua produção, como o Estado Português, os agentes econômicos, as irmandades religiosas, a Igreja e demais grupos sociais.

O município do Aracati, onde está localizada a praia de Canoa Quebrada, data de 1603, quando foi erguido o Forte de São Lourenço, tornando-se povoado edificado sobre uma vasta planície à margem direita do rio Jaguaribe, vindo a elevar-se à condição de cidade somente em 1842.

Depois de Aracati, a área de maior influência na região é a Praia de Canoa Quebrada (área de estudo), que se destaca na atividade turística, sendo uma das regiões de maior fluxo turístico do país e de intensa especulação imobiliária. Pode-se afirmar que Canoa Quebrada é um espaço turístico, abstrato e fragmentado para alguns tipos de turistas, especuladores imobiliários e moradores estrangeiros, mas também é espaço vivido e percebido e, fundamentalmente, lugar para grande parte dos nativos e de moradores que vêm de outros estados brasileiros e países.

A praia de Canoa Quebrada, até a década de 1970, tinha como principal atividade econômica a pesca e o artesanato. Trabalhos com labirintos como toalhas, toalhas de mesa, bordados e outras artes, são atrativos para os turistas. As areias coloridas trabalhadas dentro das garrafas atraem a curiosidade dos que visitam a região. Brincos, pulseiras, anéis feitos de búzios, sementes e de partes de animais complementam o artesanato que além de gerar empregos, mostra aos turistas a criatividade da população local.

A principal atividade econômica de Canoa Quebrada é o turismo, a beleza paisagística da praia e o carnaval geram recursos para os setores primário e terciário. A carcinicultura e a exportação de lagosta lideram o setor primário, enquanto que no setor terciário destaca-se o comércio artesanal, de hotelaria e de alimentação, representado pelo turismo.

A Área de Proteção Ambiental - APA de Canoa Quebrada foi criada através de um ante-projeto em 1989, tendo em 1997 transformando-se na Lei nº 01/97, a qual determina os limites da Área de Preservação Ambiental e Paisagística da Zona Costeira do Município de Aracati.

A área compreendida pela APA de Canoa Quebrada engloba trecho da zona costeira, incluindo dunas móveis e fixas, falésias, manguezais, mananciais e lagoas. A maior abrangência da APA de Canoa Quebrada corresponde ao campo de dunas móveis que se estende continuamente desde a enseada, entre o complexo turístico Porto Canoa e o povoado de Canoa Quebrada, até a foz do rio Jaguaribe.

Alguns impactos ambientais são causados no campo de dunas em Canoa Quebrada pelos turistas em passeio de bugres e cavalos, que resulta na degeneração das espécies vegetais fixadoras das dunas, causando aumento do transporte eólico e contribuindo no deslocamento das dunas móveis, bem como no surgimento de ravinas e voçorocas.

Nesse cenário considera-se, também, as pesquisas geomorfológicas realizadas na zona costeira cearense, as quais reúnem informações que caracterizam as potencialidades da região em estudo. Nesse sentido, podem ser mencionadas as pesquisas de Claudino Sales (2000), Nogueira (2000), Suguio (1999), Branco (2003) e Neta (2007).

Observa-se, de uma forma geral, a carência de trabalhos de pesquisa relacionada à migração de dunas na costa cearense, especificamente no campo de dunas da praia de Canoa Quebrada, por parte do Estado e outros órgãos oficiais que poderiam desenvolver projetos geomorfológicos que agregassem informações técnica-científicas consistentes sobre o assunto pesquisado.

O segundo capítulo inicia com uma caracterização geoambiental da área de estudo analisando seus aspectos geológicos, geomorfológicos, os condicionantes climáticos da área, assim como os tipos de solos, cobertura vegetal e recursos hídricos. Em seguida, temos o terceiro capítulo abordando a metodologia adotada e as técnicas utilizadas associadas ao método de pesquisa detalhando as etapas pertinentes a pesquisa.

No quarto capítulo retrata a geodinâmica costeira no Quaternário abordando as mudanças climáticas nesse período bem como as variações relativas no nível do mar e as mudanças paleoclimáticas na zona costeira enfatizando os campos de dunas do litoral cearense. discute-se as características sócio-econômicas de Canoa Quebrada e do município do Aracati, no qual está inserida a área de estudo.

No quinto capítulo adentra-se na análise da morfogênese das dunas existentes em toda zona costeira cearense, analisando a formação de diversos tipos de dunas, bem como as diversas gerações que se formaram em diferentes períodos da história geológica recente, relacionando-as com as gerações de dunas encontradas na zona costeira de Canoa Quebrada, área de estudo.

No sexto capítulo é abordado os problemas ambientais tendo como foco o desmatamento para a prática da carcinicultura. No penúltimo capítulo, faz-se uma análise espaço-temporal das taxas de migração do campo de dunas da praia de Canoa Quebrada calculando as taxas de migração.

No último, oitavo capítulo, último da Tese são apresentadas as considerações finais da presente pesquisa com análises e comentários em relação a geodinâmica do campo de dunas da praia de Canoa Quebrada no tocante a evolução multitemporal das taxas de migração; logo em seguida, apresentamos as referências bibliográficas que contêm os trabalhos que subsidiaram na elaboração dessa pesquisa.

2. LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE PESQUISA

A área de estudo localiza-se na Praia de Canoa Quebrada, litoral leste do Estado do Ceará no Nordeste do Brasil (Figura 01). Mede 11 km de extensão com uma área total de 2.500 hectares. Dista 156 km de Fortaleza, Capital do Estado, e 12 km da sede do município do Aracati.

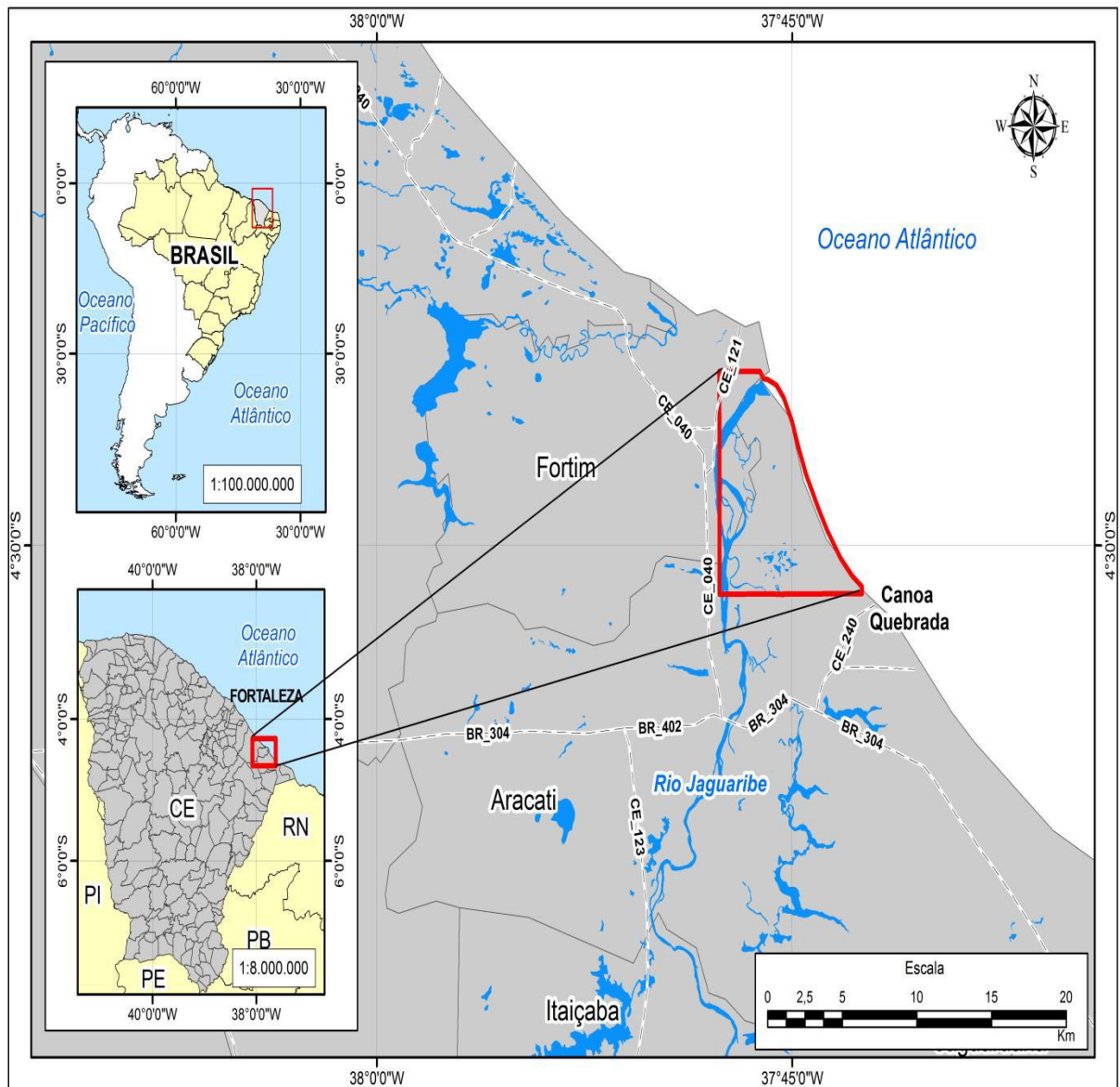


Figura 01 - Localização da Área de Estudo. Fonte: (PEDROSA, 2015).

2.1. Localização e acesso

A zona costeira do Estado do Ceará estende-se desde o Município de Icapuí, que faz divisa com o Estado do Rio Grande do Norte, até o Município de Barroquinha, limítrofe com o Estado do Piauí, compreendendo 573 km de extensão.

O acesso à área de estudo, dista 162 km do Município de Fortaleza (com uma área de 313,8 km²), é efetuado pela rodovia estadual CE-040, conhecida como Via Litorânea e BR-304 até o Município do Aracati. A partir de então, se prossegue, em via secundária pela Praia de Canoa Quebrada.

Os limites Oeste e Leste são, respectivamente, os Distritos de Pontal de Maceió, Município de Fortim e Canoa Quebrada, Distrito de Aracati. Ao Norte limita-se ao Oceano Atlântico ao Sul a sede do Município do Aracati. As coordenadas geográficas da área de pesquisa são: 4° 24' 27.04" S / 37° 46'58.33" O e 4° 31' 47.98"S / 37° 41' 34.40" O (Figura 01).

2.2. Caracterização geoambiental da área de estudo

A análise geoambiental tem como objetivo caracterizar os sistemas físico-sociais de uma determinada região. Esta caracterização é relevante para a compreensão dos diferentes elementos ambientais e das suas inter-relações.

2.2.1. Geologia

A geologia do litoral cearense está representada, basicamente, em alguns pontos isolados pelo embasamento cristalino, por manchas isoladas da Formação Tibau, rochas sedimentares cretáceas do Grupo Apodi (Formação Tibau), pelos sedimentos Tércio-quaternários da Formação Barreiras e pelas faixas de praia e campos de dunas formadas no Quaternário.

Na Era Mesozóica foi formado o Grupo Apodi, que aflora no litoral cearense através das Formações Açu, Jandaíra e Tibau, surgindo na forma de falésias e pontais rochosos que se interagem com os processos hidrodinâmicos na construção da zona costeira no município de Icapuí, a leste (SOUZA, 2000).

Na Praia de Ponta Grossa, no limite do município do Aracati com Icapuí, a Formação Barreira (Figura 02) apresenta-se em pequenas exposições na forma de falésias vivas, predominantemente argilosas, composta de folhelhos cinzas, com intercalações de arenitos e siltitos; a Formação Jandaíra ocorre também nas falésias de Ponta Grossa como arenitos calcíferos (SOUZA, 2000).



Figura 02 – Arenitos da Formação Barreira, Praia de Ponta Grossa, Aracati. (Fonte: PEDROSA, 2015).

A Formação Tibau corresponde ao estágio transgressivo e regressivo do entulhamento final da Bacia Potiguar, evento associado à divisão do Pangea, portanto de idade cretácica. Aflora como paredão fluvial na margem esquerda do rio Jaguaribe, próximo à cidade de Fortim e recobre a Formação Jandaíra na Bacia Potiguar que se situa no extremo leste da Margem Equatorial Brasileira, compreendendo um segmento emerso e outro submerso, ao longo dos estados do Rio Grande do Norte e do Ceará. (SOUZA, 2000).

A Formação Tibau aflora, também, na localidade de Maceió, na divisa dos Municípios de Fortim e Aracati, como falésia ativa, formando a constituição geológica do Pontal de Maceió. Litologicamente compreende arenitos médios a conglomeráticos, com tons variando de verde amarelado a creme, mal selecionados, duros e friáveis, contendo quartzo e feldspato (CASTELO BRANCO, 1996).

Além dos materiais cretáceos, a zona costeira do Estado do Ceará é caracterizada pela existência de superfícies estruturais arenosas ou conglomeráticas pertencentes à Formação Barreiras e pelos vales fluviais que os dissecam (CLAUDINO SALES, 2002).

A Formação Barreira constitui uma cobertura sedimentar terrígena continental (ARAI, 2006) de idade miocênica a pleistocênica inferior (SUGUIO e NOGUEIRA, 1999; VILAS BOAS, SAMPAIO e PEREIRA, 2001). Por ser praticamente afossilífero, possui datação dificultada. Em todo caso, em que se

pesem as dúvidas sobre a origem da referida formação, considera-se que, pelo menos a última grande mobilização de seus sedimentos, parece ser mais recente que o Mioceno, conforme as datações procedidas por Krasser em 1903 e Berry, referendadas respectivamente por Bigarella e Andrade (1964) e King (1956).

A Formação Barreiras estende-se por todo litoral brasileiro, desde a região Amazônica, por toda região costeira norte e nordeste, até o Estado do Rio de Janeiro. A continuidade física, na forma de lençol quase contínuo, sugere que inicialmente correspondia a rampas detríticas coalescentes mergulhando em direção ao Oceano Atlântico, correspondendo à sedimentação correlativa de eventos de soerguimento epirogenético, que edificaram as superfícies culminantes em diversos pontos do interior brasileiro (BEZERRA, 2001; SAADI et al, 2005).

Segundo Bezerra (2001), os sedimentos Barreiras se constituem no último depósito sedimentar terciária do Nordeste do Brasil formada na história da abertura do Atlântico, representada pela sequência sedimentar ao longo de mais de 4.000 km do litoral.

Os sedimentos da Formação Barreiras são constituídos por depósitos plio-pleistocênicos que em função das variações litológicas, tonalidades, estruturas sedimentares e inter-relações das fácies, foram agrupados em três classes faciológicas (BRANCO, 2003).

O autor afirma que a primeira classe caracteriza-se pelas intercalações das fácies F1 e F2, onde a fácies F1 é marcada pelo predomínio de seixos de quartzo em relação à matriz areno-argilosa (conglomerado ortoquartzítico) e estruturas de corte e preenchimento de canais, e na fácies F2, os seixos de quartzo tornam-se escassos e distribuem-se aleatoriamente na matriz arenoargilosa, classificando a rocha como lamito conglomerático ou diamictito.

A segunda classe de fácies engloba as exposições areno-argilosa, de coloração avermelhada, aspecto maciço, com presença de grânulos de quartzo dispersos no arcabouço da rocha. A terceira classe corresponde aos depósitos areno-argilosos de coloração avermelhada e aspecto maciço que afloram no topo das sequências plio-pleistocênicas das falésias dos municípios de Beberibe, Aracati e Icapuí. Sua deposição ocorreu por meio de correntes de fluxo em condições de clima semi-árido, interpretado como testemunhos da sedimentação distal dos leques aluviais (BRANCO, 2003).

A geologia dessas falésias é variada, pois na extremidade oeste da área, isto é, em Fortim, elas aparecem como parte integrante da Formação Tibau, e no extremo leste, ou seja, no litoral de Icapuí, afloram constituídas de arenitos e calcários da Formação Açu e Jandaíra. No trecho entre Canoa Quebrada e proximidades da praia de Ponta Grossa, Icapuí, as falésias são testemunhos de Formação Barreiras (MORAIS et al, 2002).

Claudino Sales (2002) aponta as dificuldades de se distinguir os sedimentos Barreiras dos depósitos dunares antigos. No presente, eles são atingidos pelas ondas que atuam no litoral cearense, pela deflação (ação dos ventos alíseos e das brisas marítimas) e pela dissecação fluvial, sendo este o mais importante entre os processos morfológicos, apesar do caráter intermitente e pouco denso da rede hidrográfica (Figura 03). Esse processo resulta da pequena espessura dos depósitos Barreiras que, às vezes, não excedem cinco metros. A autora ressalta que sobre esses tabuleiros costeiros, outras importantes formas de relevo e de paisagem não exclusivamente costeiras – as dunas e as lagoas – se desenvolvem nessa região.



Figura 03 -- Margem esquerda do baixo curso do rio Jaguaribe (Fonte: PEDROSA, 2014).

2.2.2. Geomorfologia

Na zona costeira cearense ocorrem como principais formas de relevo os tabuleiros costeiros, campos de dunas móveis e fixas e planície fluviomarinha.

Os tabuleiros são formas estruturais que se desenvolveram, predominantemente, sobre os sedimentos areno-argilosos e mal consolidados da Formação Barreiras, hoje mascarados na sua quase totalidade pelos sedimentos de dunas de diversas idades. Apresentam uma topografia em forma de rampas suaves que se inclinam em direção ao litoral com declives inferiores a 5°, cobertos por sedimentos areno-argilosos, fracamente dissecadas em interflúvios tabulares. Nos topos dos tabuleiros são encontrados areias quartzosas e solo podzólico vermelho-amarelo espesso e com fertilidade natural de baixa à média (SOUZA, 2000).

Os depósitos da planície litorânea representam uma unidade constituída por sedimentos inconsolidados que formam as faixas de praias, flechas litorâneas e acumulações dunares que se distribuem continuamente e de forma paralela à linha de costa. Os sedimentos desta unidade são representados por areias esbranquiçadas, de granulação de fina à média, bem selecionadas, de composição quartzosa (CARVALHO NETA, 2007).

Os depósitos eólicos ativos no Brasil podem ser classificados em dois tipos: os campos de dunas livres e os lençóis de areia que apresentam grande extensão e volume de areia.

O segundo depósito eólico ativo encontrado no Brasil são as dunas “semi- fixas” (CLAUDINO SALES, 2002), ou vegetadas, que incluem dunas frontais (*foredunes*) incipientes (embrionárias) e estabelecidas exclusivas em áreas costeiras. Já nas dunas fixas, encontram-se as parabólicas, sobretudo do tipo *haipin*.

Os campos de dunas livres consistem de grandes massas individuais em movimento (megaformas), constituídas de dunas eólicas simples e/ou compostas (cavalgantes ou coalescentes). Em áreas costeiras, os campos de dunas livres migram, via de regra, da praia rumo ao interior, sendo por isso designados campos de dunas transgressivos (*transgressive dunefields*, termo introduzido por Gardner, 1955). Os lençóis de areia (termo já utilizado por Bagnold, 1941) são massas de areia eólica em movimento, superfície de relevo negligenciável, isto é, sem superimposição de dunas com faces de avalanche (KOCUREK & NIELSON, 1986).

Os campos de dunas móveis do Nordeste brasileiro formam um cinturão quase contínuo de areias eólicas que se estende do Rio Grande do Norte ao Maranhão em mais de 1.000 km de comprimento. Sobre esse total, 573 km situam-se no Ceará, constituindo os campos de dunas atuais e antigas de diversas

gerações. As dunas antigas ocupam cerca de 5.000 km² dispostas em larguras que atingem 10 a 15 km distantes da praia. Elas avançam, às vezes, até 40 km sobre os tabuleiros costeiros. Quanto às dunas atuais, elas se estendem em torno de 1.700 km de maneira descontínua (CLAUDINO SALES, 2002).

Para a formação das dunas é fundamental que a velocidade do vento e a disponibilidade de areias praias de granulometria fina sejam adequadas para o transporte eólico (MUEHE, 1994). Para o seu desenvolvimento, é necessário que as areias de porções secas das praias sejam sopradas em direção ao continente até que a energia do vento se dissipe ou uma barreira física, por exemplo, a vegetação, cause a deposição dos grãos de areia (HESP, 2002).

As grandes famílias das formas dunares no Estado do Ceará são as móveis, fixas, semifixas e as de deflação (CLAUDINO SALES, 2002).

As dunas móveis são desprovidas de cobertura vegetal (Figura 04) e portanto, migram constantemente de acordo com a direção dos ventos, principalmente no segundo semestre do ano com a influência dos alísios de sudeste no período de estiagem. Possuem colorações amarelo-esbranquiçadas.

A altura dessas dunas varia de 30 a 50 metros e há uma predominância das dunas longitudinais, que são dispostas paralelamente aos ventos, possuindo direção E-SE; as barcanas, com formato de *croissant* com os braços voltados ao vento; as parabólicas, com formato de *croissant* com braços contrários ao vento; dunas de arraste ou *trailing dunes*, são traços de migração de dunas; barcanóides transversais e os lençóis de areia ou os *sandsheets*, acumulações de areia livre sem forma definida.



Figura 04 - Dunas móveis e lagoas interdunares em Canoa Quebrada. (Fonte: PEDROSA, 2014).

As dunas semi-fixas, apesar de possuírem um certo grau de estabilidade, são dinâmicas. Podem ser representadas pelas dunas frontais, que são as pioneiras que se formam a partir da faixa de praia; as nebkas, que são montículos cobertos por vegetação, e as parabólicas.

As dunas fixas são depósitos eólicos estáveis. São cobertas por vegetação do tipo arbórea/arbustiva; as paleodunas são as que representam a maior parcela das dunas do Estado do Ceará. Ocorrem também as dunas parabólicas *hairpin*, em formato de grampo de cabelo.

São observadas barcanóides, *shansheets*, dunas de precipitação, classificadas como dunas transgressivas, que migram recobrimdo qualquer obstáculo no terreno), *rebdous* – morro dunar vegetalizado esculpido pela deflação (CLAUDINO SALES, 2002) e as dunas frontais.

A planície fluvio-marinha é a superfície plana de um estuário, que se situa entre o nível médio da maré baixa de sizígia e o nível médio de maré alta equinocial (MELLO, 2005; CEARÁ, 2006).

As porções mais baixas são cobertas, pelo menos duas vezes por dia, por água salgada, por estarem situadas entre as marés baixa e alta, e são formadas por solo tipicamente argiloso, rico em matéria orgânica e mostram-se ocupadas pelos mangues. As áreas topograficamente mais elevadas que as dos manguezais e que são atingidas pelas águas marinhas apenas duas vezes no período de um mês, durante as marés de sizígia, são conhecidas como “salgados” ou apicuns. Estas duas áreas compõem uma unidade geoambiental denominada de planície fluvio-marinha (Figura 05) (LEAL, 2003).



Figura 05 - Planície fluvio-marinha do rio Jaguaribe. (Fonte: PEDROSA, 2014).

Na margem direita do rio Jaguaribe presenciamos a formação de esporões, confirmando o predomínio da corrente longitudinal sobre a vazão desse rio (Figura 06). Nessa margem, o processo acumulativo eólico é muito significativo estendendo a praia em virtude de espigão hidráulico do rio Jaguaribe.



Figura 06 -- Margem direita do rio Jaguaribe (Fonte: PEDROSA, 2014).

Na área de estudo, na praia de Canoa Quebrada, a geomorfologia é marcada pela presença de falésias (Figura 07), que localizam-se desde Aracati até Icapuí, estendendo-se por cerca de 30 quilômetros. Em todo esse trecho, observamos falésias vivas, sob o impacto constante da dinâmica das marés e das ondas. De Canoa Quebrada à praia de Majorlândia, os processos erosivos marinhos não chegam a causar impactos, ocorrendo presença de falésias mortas.



Figura 07 – Falésias – Formação Barreiras, Canoa Quebrada. (Fonte: PEDROSA, 2014)

A área de estudo caracteriza-se pela presença de extensa faixa de praia desde Canoa Quebrada até a desembocadura do rio Jaguaribe (Figura 08), sendo delimitada pela margem esquerda desse rio. Nessa região encontramos as dunas fixas e móveis, planície fluviomarinha e fluvial, campo de deflação, tabuleiro litorâneo e Área de Proteção Ambiental de Canoa Quebrada – APA (Figura 09).



Figura 08 – Bordejada por falésias vivas (Fonte: PEDROSA, 2014).

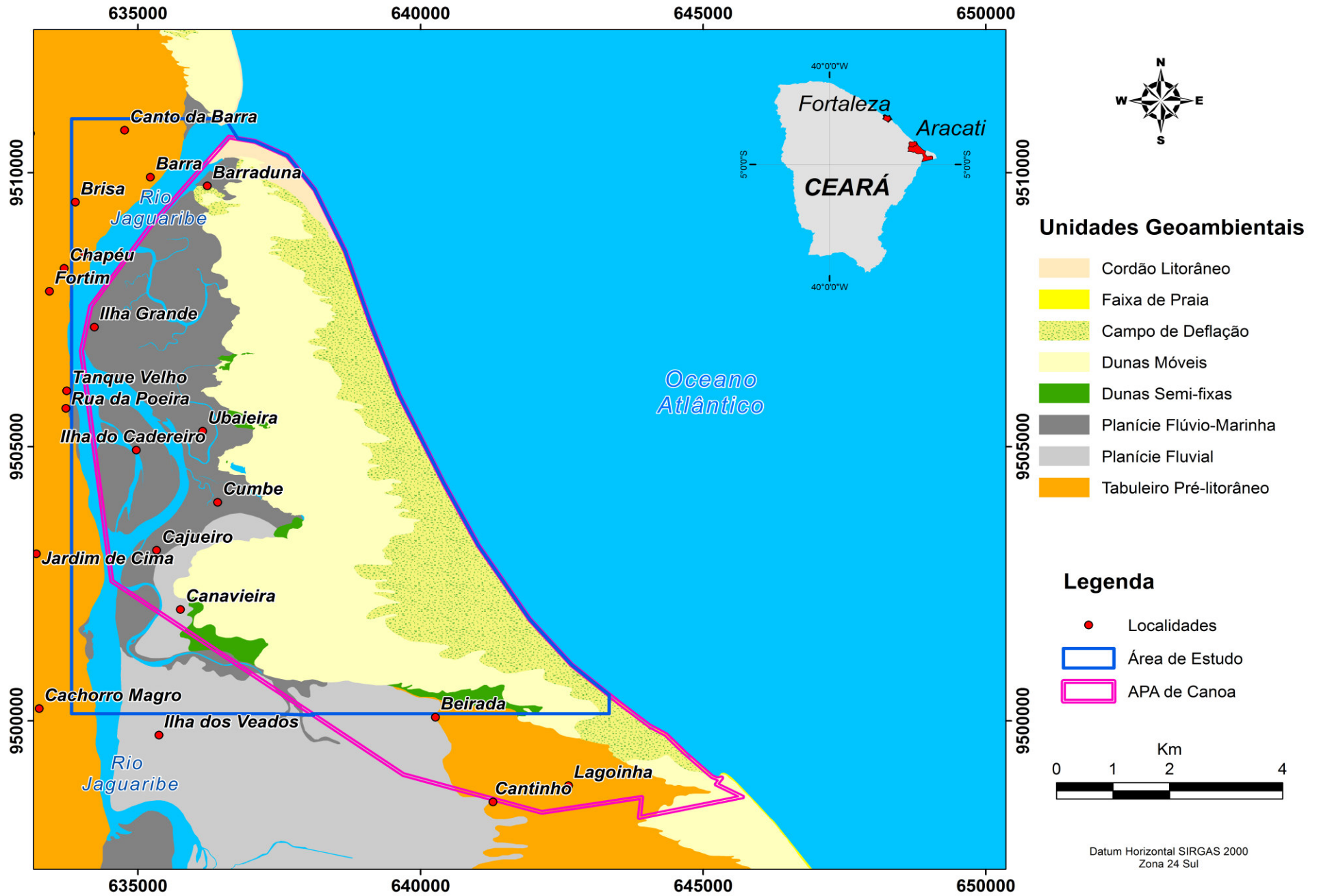


Figura 09 – Unidades geoambientais da área de estudo (Fonte: PEDROSA, 2015).

Esses depósitos eólicos estão incluídos na Área de Proteção Ambiental - APA de Canoa Quebrada, que é uma Unidade de Conservação – UC, incluída na categoria de Unidade de Uso Sustentável, na qual é permitido o uso sustentável de parcela de seus recursos naturais, em compatibilidade com a conservação da natureza.

2.2.3. Clima

A localização geográfica do território brasileiro nas terras emersas do globo, estendendo-se desde a latitude de 5º Norte até cerca de 34º Sul e de longitude Leste até aproximadamente 72º Oeste, corresponde a uma grande variedade de climas regionais. Segundo a climatologia dinâmica, o território brasileiro é controlado por massas de ar tropicais, equatoriais e polares. As massas de ar originam-se nos centros de ação e desenvolvem-se adquirindo características específicas de umidade e temperatura das regiões por onde se deslocam.

A configuração do relevo (altimetria e disposição das vertentes) e a proximidade (ou distância) do mar influenciam nas proximidades das massas de ar, particularizando e definindo suas características (PBEG, 1980).

Tratando a respeito das condições climáticas do Nordeste seco, onde se insere grande parte do território cearense, Ab'Saber (1974), destaca-o como uma área de climas semiáridos quentes, colocando-o em posição marginal em relação ao cinturão dos climas áridos e semiáridos tropicais e subtropicais do globo terrestre.

Em estudo produzido a respeito do Redimensionamento da Região Semi-árida do Nordeste do Brasil (FUNCEME, 1993), concluiu-se que o semi-árido envolve 788.064 km², equivalentes a 48% da Região Nordeste e a 9,3% do País. No Ceará, o semi-árido abrange 136.328 km² que equivalem a 92,1% do território do Estado, segundo o mesmo estudo.

O principal sistema atmosférico das condições climáticas vigentes no Ceará é a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) que garante o período de chuvas no período correspondendo ao verão/outono do hemisfério sul. A estação chuvosa, particularmente nos sertões, ocorre de fevereiro a maio, com máximas em março/abril. O sistema é gerado pela convergência dos alísios de NE (hemisfério norte) e de SE (hemisfério sul) (SOUZA, 2000).

O clima no leste do Estado do Ceará é fortemente influenciado pela Zona de Convergência Intertropical – ZCIT, principal agente controlador da distribuição espacial e temporal das precipitações e dos ventos na região (Figura 10).

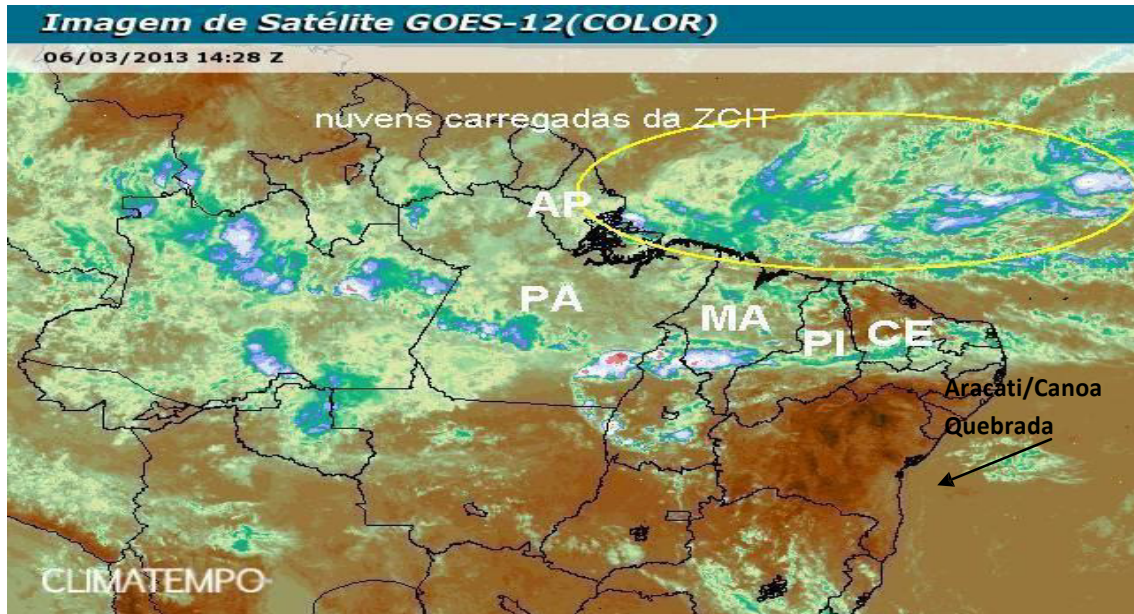


Figura 10 – Localização da ZCIT ao longo do ano em relação a área de estudo (Fonte: satélite GOES, 2013).

A ZCIT é definida por um conjunto de variáveis meteorológicas que atuam sobre os oceanos, como a convergência dos ventos alísios de nordeste e de sudeste e a área de máxima temperatura da superfície do mar (TSM) (MELO et al. 2009). O gradiente de TSM entre o Atlântico Sul e Norte é fator predominante no posicionamento da ZCIT. Para Cavalcanti et al. (2009), a ZCIT tem variação anual, com posição mais ao norte durante o verão do hemisfério norte e posição mais ao sul durante o mês de janeiro. Segundo Zhou & Lau (1998) e Vera et al. (2006), o Sistema de Monções Sul-Americano (SMSA) atuante na região sul amazônica, principalmente durante o verão austral, está relacionado aos ventos alísios de nordeste responsáveis pelo transporte de umidade no oceano para o interior do continente (ZHOU & LAU, 1998).

Devido à localização do município do Aracati nas coordenadas geográficas de Latitude 4°33'42" S e Longitude 37°46'11" O, no qual está inserida a área de estudo, essa posição faz com que se estabeleça um clima tropical brando e uma pluviosidade média de 1024 mm/ano. A classificação do clima é AW, segundo Koppen (1927), e temperatura em torno de 27,1°C, segundo a FUNCEME - Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos (2015).

A ocorrência maior das precipitações pluviométricas em Aracati corresponde a quadra chuvosa representada pelos meses de janeiro a abril de 2015 (Figuras 11, 12, 13 e 14), sendo o mês de março mais chuvoso com 222,1mm (Figura 13).

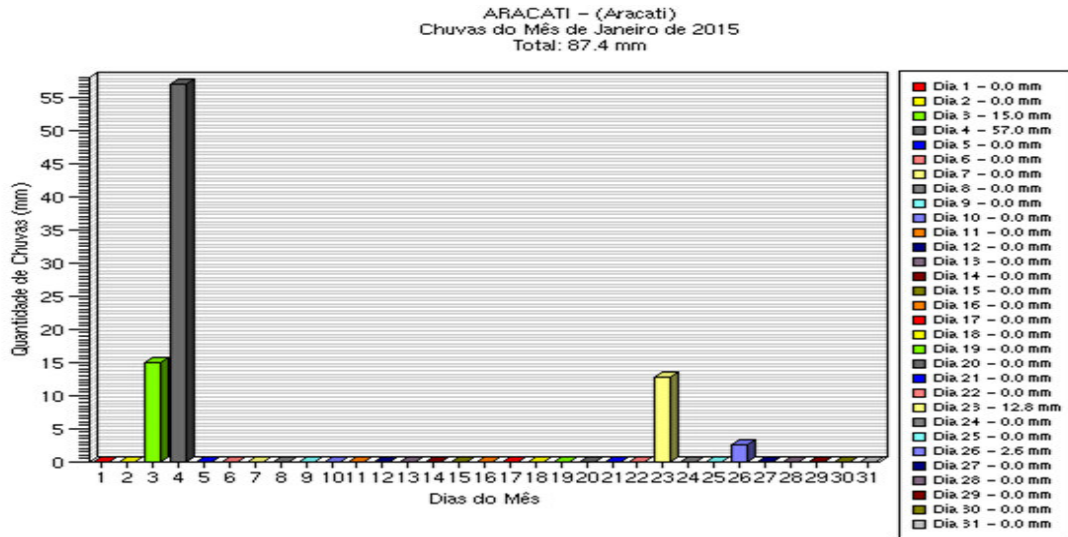


Figura 11 – Dados pluviométricos do Município do Aracati – Janeiro (Fonte: FUNCEME – 2015).

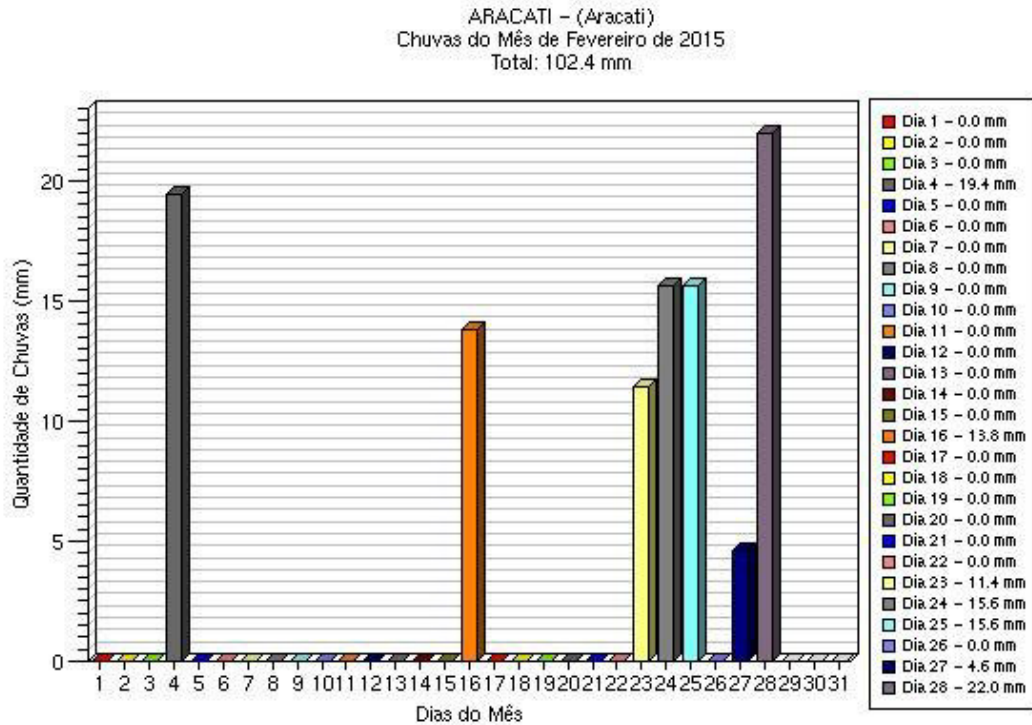


Figura 12 – Dados pluviométricos do Município do Aracati – Fevereiro. Fonte: FUNCEME – 2015

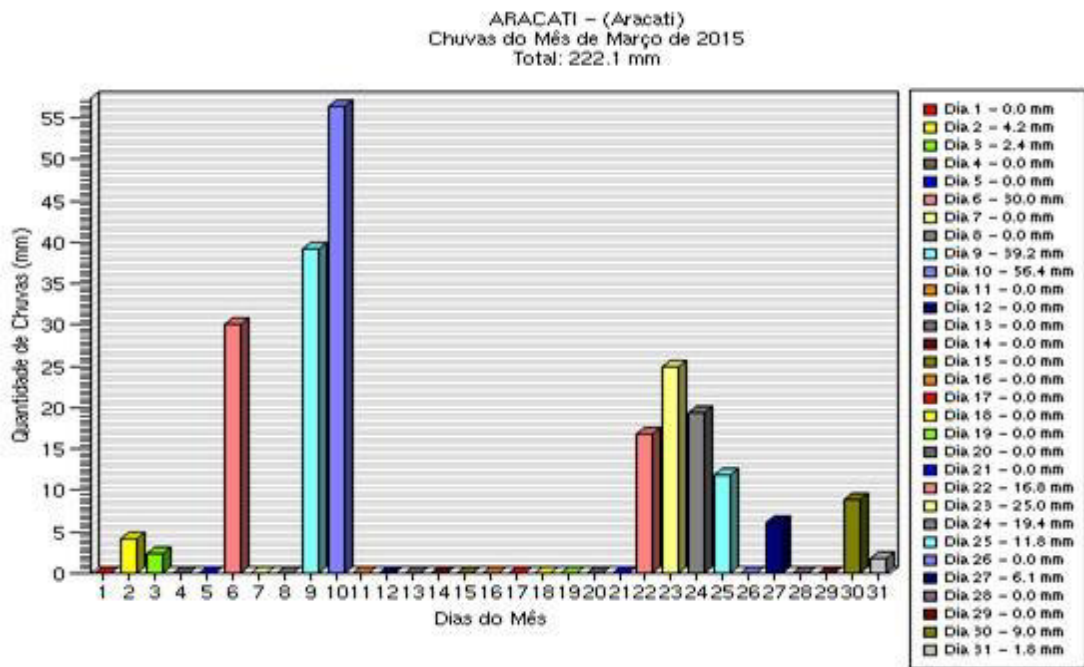


Figura 13 – Dados pluviométricos do Município do Aracati – Março (Fonte: FUNCEME – 2015).

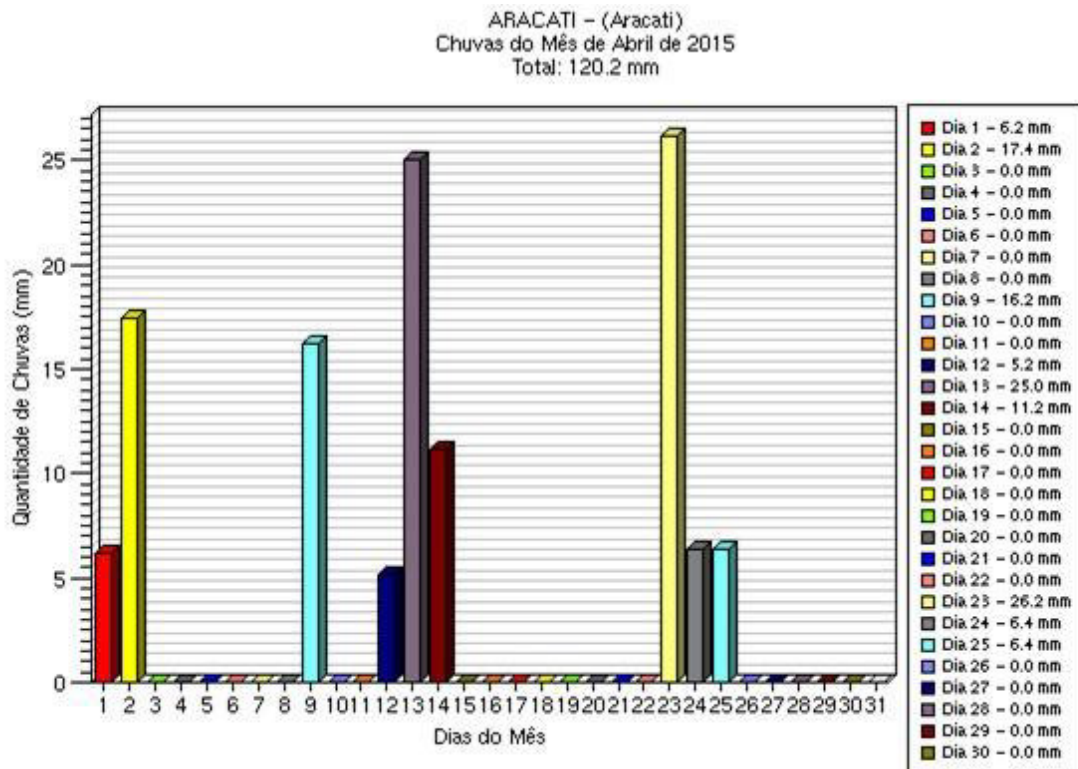


Figura 14 – Dados pluviométricos do Município do Aracati – Abril (Fonte: FUNCEME – 2015)

Setembro é o mês mais seco com 5 mm. A maioria da precipitação cai em Março, com uma média de 264 mm (Figura 15).

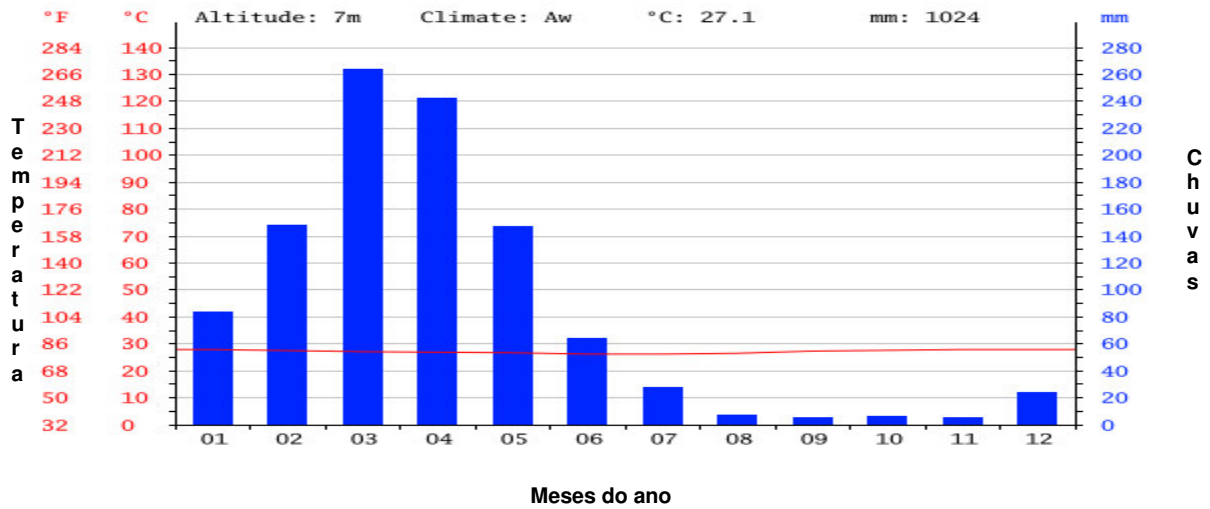


Figura 15 - Climograma – Aracati (Fonte: www.es.climate-data.org, 2015).

No clima semi-árido há uma estação seca prolongada e uma chuvosa de menor duração, sendo uma das características importantes para justificar a irregularidade do regime pluviométrico na região. No maior parte do Estado do Ceará a estação chuvosa é curta com duração de três a quatro meses.

Com uma temperatura média de 27.9 °C, Novembro é o mês mais quente do ano. Com uma temperatura média de 26.2 °C, Julho é o mês com a mais baixa temperatura ao longo do ano (Figura 16).

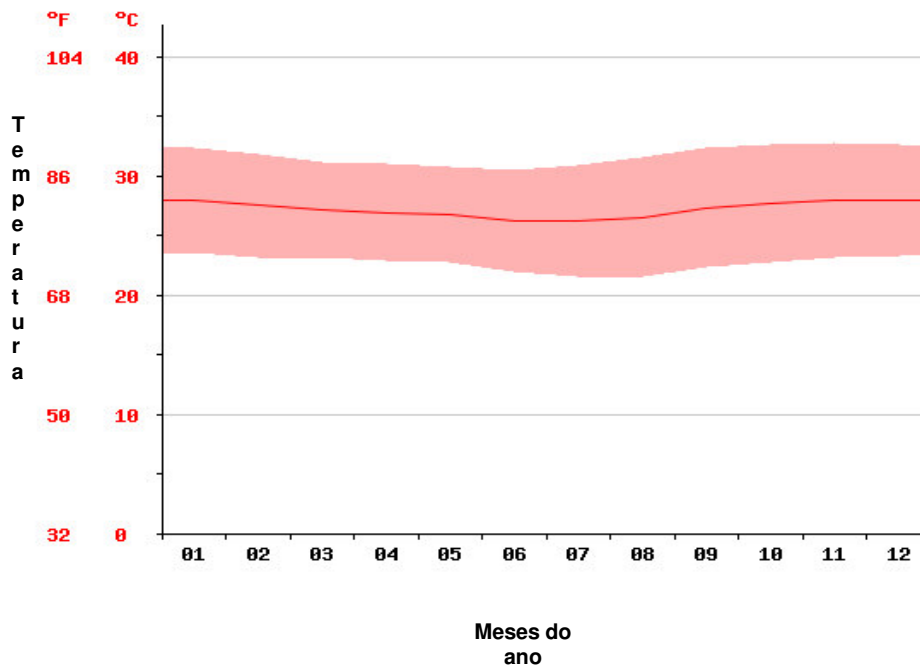


Figura 16 – Temperatura – Aracati-Ce. (Fonte: www.es.climate-data.org, 2015).

Ao comparar-se o mês mais seco com o mês mais chuvoso, verificamos que existe uma diferença de precipitação de 259 mm. 1.7 °C é a variação das temperaturas médias durante o ano, contrariamente ao regime das chuvas, as temperaturas sofrem pequenas variações anuais, com médias em torno de 26 a 29°C (Figura 17).

Mês	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
Chuvas (mm)	84	148	264	242	147	64	28	7	5	6	5	24
°C	27.9	27.5	27.1	26.9	26.7	26.2	26.2	26.5	27.3	27.6	27.9	27.9
°C (min)	23.5	23.2	23.2	22.9	22.7	22	21.6	21.5	22.3	22.7	23.1	23.3
°C(max)	32.4	31.8	31.1	31	30.8	30.5	30.9	31.6	32.3	32.6	32.7	32.6
°F	82.2	81.5	80.8	80.4	80.1	79.2	79.2	79.7	81.1	81.7	82.2	82.2
°F (min)	74.3	73.8	73.8	73.2	72.9	71.6	70.9	70.7	72.1	72.9	73.6	73.9
°F(max)	90.3	89.2	88	87.8	87.4	86.9	87.6	88.9	90.1	90.7	90.9	90.7

Figura 17 – Clima Aracati (Fonte: www.es.climate-data.org, 2015).

Legenda:

°c – graus Celsius

°F – graus Fahrenheit

As amplitudes térmicas, na maioria das vezes, não ultrapassa a 5°C, correspondendo os meses mais quentes, Novembro e Dezembro, final da estação seca. Os ventos alísios de NE e o deslocamento das baixas pressões são responsáveis pelo ligeiro decréscimo das temperaturas no fim da estação chuvosa. Estes ventos controlam o regime eólico no litoral cearense, os quais atingem a costa, provindos do quadrante E. Os ventos alísios de NE predominam por todo o primeiro semestre do ano, já no segundo semestre predominam os alísios de SE, durante a estiagem (MORAIS, 2000).

Os ventos exercem um papel fundamental em toda costa nordestina e como resultado dessa ação eólica tem-se a formação de grandes cordões de dunas e praias arenosas ao longo da costa cearense. A intensidade dos ventos é

sazonal, sendo mais fortes nos meses de estiagem, a partir de Junho, que são os ventos alísios do quadrante de SE e NE.

No inverno predominam os ventos alísios de sudeste com o deslocamento do equador térmico para o norte. A região de confluência de ventos alísios de nordeste e sudeste é formada pela Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) (MORAIS, op.cit).

Os alísios de SE, mais intensos que os de NE, têm também menos umidade e são, assim, os mais importantes para a geomorfologia costeira do Ceará, pois mobilizam uma maior quantidade de sedimentos durante o período em que predominam, orientando a direção de migração das dunas (PINHEIRO e SALES, 2007).

No Estado do Ceará, os ventos se apresentam como um dos elementos climáticos mais importantes. Têm velocidades médias de 5,5 m/s, dominando os alísios de SE, E NE (CLAUDINO SALES, 2002). Esses são naturalmente impulsionadores de sedimentos para edificação de dunas, utilizando estoques sedimentares das zonas de estirâncio, de berma e das praias.

Na área de pesquisa, localizada no litoral leste do Estado do Ceará, a estação chuvosa prolonga-se por cinco a seis meses. As chuvas são mais distribuídas e regulares que ultrapassam anualmente a 900 mm. Justifica-se pela proximidade do mar, da altitude, da exposição das encostas em relação ao deslocamento dos ventos úmidos. Quanto ao ritmo mensal das chuvas, observa-se que 90% ocorrem no primeiro semestre, correspondendo aos meses de fevereiro a maio (SOUZA, 2000).

2.2.3. Hidrografia

No estado, as médias térmicas são elevadas ao longo do ano e, conseqüentemente, ocorrem altas taxas de evapotranspiração justificando balanços hídricos deficitários durante a maior parte do ano. Os recursos hídricos de superfície e subterrâneos são, também, influenciados pelas condições climáticas, implicando numa rede hidrográfica com rios intermitentes e baixa capacidade de recarga dos aquíferos.

Segundo Brandão (2003), a escassez hídrica em superfície é ocasionada pelo curto período pluviométrico determinante do clima semiárido; no caso da bacia hidrográfica do litoral, as águas acumuladas evaporam ou percolam. Sendo o

substrato rochoso constituído por rochas ígneas e metamórficas, a percolação condicionada pelos sistemas de fraturas nesse meio representa a única forma de armazenamento de água subterrânea.

Segundo dados da Secretaria dos Recursos Hídricos do Estado do Ceará (SRH, 1992), o rio Jaguaribe percorre aproximadamente 610 km desde suas nascentes na Serra da Joanhina (Tauá - Ceará) até a sua foz litorânea (Fortim Ceará). A região estuarina do rio Jaguaribe localiza-se no litoral leste do Estado do Ceará, área que corresponde a parte do baixo-curso, percorrendo os municípios de Fortim, Aracati e Itaiçaba-Ceará (Figura 18).



Figura 18 – Baixo curso do rio Jaguaribe. (Fonte: PEDROSA, 2014)

Dentro do contexto da classificação geométrica dos padrões de drenagem, o rio Jaguaribe é predominantemente dentrítico ou arborescente. No entanto, podem ser encontrados também os padrões paralelos (fluxos d' água fluindo quase paralelamente uns aos outros) e retangulares (caracterizados pelo reticulado ortogonal), dentre outros (IPLANCE, 1997).

Como principais afluentes destacam-se os rios Banabuiú, Palhano e riacho do Sangue, na margem esquerda. Na margem direita, os principais são o rio Salgado e Cariús; todos os demais são de pequena à média extensão (GATTO, 1999).

No médio curso do rio Jaguaribe encontra-se o maior açude público do estado do Ceará, o Castanhão, que está localizado no semiárido porção sudoeste do Estado, com bacia de 20.069,9 km² e capacidade de armazenamento de água média mensal de 77,7 mm.

O Castanhão possui 70,6% do seu território drenando solos cristalinos, sob uma precipitação média anual de 882,6 mm. No setor sul do Estado, na parte alta da bacia, recebe chuvas no mês de janeiro, principalmente proveniente da influência da incursão de frentes frias que se localizam no setor centro-norte do Nordeste.

Pinheiro e Sales (2007) propuseram a partir do método de balanço hídrico de Thornthwaite & Mather, um perfil climatológico para o litoral cearense. O método de Thornthwaite é aplicado a partir de variáveis tais como, temperatura, precipitação pluviométrica, graus de latitude e tempo/hora de luz solar (NIMER e BRANDÃO, 1985).

O índice de aridez é calculado através do quociente da média anual de precipitação em relação ao potencial anual de evapotranspiração (TSOAR e ARENS, 2003) para o litoral cearense de maneira geral, apresentou características de climas úmidos, com índice médio de 0.70. Dos vinte e quatro postos espalhados ao longo do litoral cearense, apenas nove possuem índice igual ou inferior a 0.65 (PINHEIRO e SALES, 2007), intervalo que define terras secas (TSOAR e ARENS, 2003).

Os valores médios de precipitação foram calculados, com base na pluviometria dos anos de 1974 a 2012, para 190 estações pluviométricas da FUNCEME que tem, no mínimo, 20 anos de dados.

Pode-se observar a importância do mar no controle climático quando no município do Fortim, localizado mais próximo ao litoral, se tem índice de aridez igual a 51,6, enquanto o município do Aracati apresenta o valor de 51,1 conforme a Tabela 01.

Tabela 01 – Precipitação e índice de aridez Aracati/Fortim- Ceará (Fonte: FUNCEME, 2012).

Posto/município	Pr (mm)	ET₀ (mm)	IA (mm)
Fortim/Fortim	939,9	1.822,8	51,6
Aracati/Aracati	933,8	1.827,9	51,1

Legenda: Precipitação (Pr), Evapotranspiração de referência média anual (ET₀), Índice de Aridez (IA).

A partir de fevereiro as chuvas são provenientes da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), climatologicamente com maior intensidade nos meses de março e abril. O Açude Castanhão tem um longo período de estiagem nos meses de julho a novembro.

A área de estudo localiza-se à margem direita do rio Jaguaribe, maior bacia hidrográfica do Estado, que reúne cinco das onze bacias hidrográficas do Ceará. São elas, a Bacia do Alto Jaguaribe com 24.538 km², a do Banabuiú com 19.810 km² de área, a do Salgado com 12.216 km², a do médio Jaguaribe com 10.509 km² e a do baixo Jaguaribe com 12.216 km² (COGERH, 2003).

2.2.4. Pedologia

Os solos do Ceará apresentam-se distribuídos e mantém relação com a compartimentação das unidades geomorfológicas que configuram as unidades morfopedológicas.

Em relação aos solos da região, são formados por areias quartzosas, e representam solos muito profundos, excessivamente drenados, limitando-se pela acidez excessiva com baixa fertilidade natural, sendo assim suscetível à erosão. Esses solos associam-se às feições de praia, campo de dunas móveis e planície fluvio-marinha do rio Jaguaribe.

Pereira e Silva (2005) afirmam que a planície fluvial é representada pela planície aluvial do baixo curso do rio Jaguaribe, onde apresenta associação de neossolos flúvicos, planossolos e vertissolos.

É importante ressaltar que os desmatamentos indiscriminados por todos os geossistemas do Estado vêm comprometendo seriamente a capacidade produtiva dos solos e o seu estado de conservação. Os desmatamentos na maioria das vezes são sequenciados por queimadas que conduzem ao empobrecimento do solo em função da eliminação da microfauna e da redução da matéria orgânica dos horizontes superficiais. Além disso, eles ficam mais diretamente expostos às ações erosivas comandadas principalmente pelo escoamento superficial (difuso e em lençol) que conduzem, também, à ablação da parte superficial dos solos (SOUZA, 2000).

2.2.5. Cobertura vegetal

A distribuição da vegetação numa região está intimamente relacionada aos elementos naturais, clima, solo, rochas, relevo e aos recursos hídricos.

Tratando a respeito da vegetação do Nordeste brasileiro, Kuhlmann (1977) considerou a vegetação litorânea englobando tipos diversos, tais como o manguezal, a vegetação de praias arenosas e dunas e as restingas.

A planície litorânea caracteriza-se por apresentar condições pedologicamente instáveis e pela constante sedimentação do terreno em virtude da deposição fluvial e/ou marítima (RADAMBRASIL, 1981).

Figueiredo (1989), em um mapeamento sobre os tipos de vegetação do Estado do Ceará, considerou a cobertura vegetal da zona litorânea, incluindo os terrenos desde a fímbria oceânica até as áreas de contato com as rochas cristalinas.

A vegetação é um elemento fundamental para justificar a mobilidade ou a retenção dos sedimentos arenosos, principalmente no campo de dunas. Não há presença de nenhuma cobertura vegetal nas dunas móveis e, quando muito pequenas aglomerações de muricis e, portanto, os sedimentos transportam-se livremente por toda a costa cearense.

As dunas semi-fixas são cobertas por uma vegetação esparsa, em tufo e com a distribuição de espécies herbáceas dispostas descontinuamente sobre a superfície dunar. As espécies arbustivas e mesmo arbóreas podem ser encontradas parcialmente enterradas pelo fluxo de sedimentos.

As espécies dominantes nos ambientes das dunas semi-fixas são: *Indigofera macroparca* (anil miúdo), *Alternanthera tenel/a* (quebra-pedra), *Ipomea*

pescapre (salsa de praia), *Ipomea asarifolia* (salsa), *Iresine portulacoides* (bredinho de prata), *Remirea maritima* (cipó de praia), *Borreria maritima* (cabeça branca), *Sesuvium portulacastrum* (beldroega da praia), *Canavalia obtusifolia* (fava de boi) (SOUZA, 2000).

Segundo Souza (2000), as dunas fixas, por serem de gerações mais antigas, encontram-se colonizadas por uma cobertura vegetal de porte arbóreo relativamente denso e se dispõe a retaguarda das dunas móveis. Em direção ao interior, contatam com a superfície dos tabuleiros em sedimentos da Formação Barreiras. São espécies dominantes: *Anacardium occidentale* (cajuzeiro), *Tocoyena formosa* (jenipapim), *Lantana camara* (camará), *Ouratea fieldingiana* (batiputá), *Byrsonima crasifolia* (murici), *Bauhinia unguolata* (mororó), *Hymenoe courbaril* (jatobá), *Ziziphus joazeiro* (juazeiro), *Mouriri cearensis* (mandapuça), *Manilkara triflora* (macarandula), *Copaifera langsdorffii* (pau d'óleo), *Buchenavia capitata* (amarelão), *Caesalpinia bracteosa* (catingueira), *Basanacantha spinosa* (espinho de carneiro).

Encontra-se nessa região de dunas fixas, a vegetação subperenifólia que assume grande importância na estabilização do relevo, reduzindo o avanço dos sedimentos que compõem as dunas em direção ao interior.

A vegetação de mangue é típica das planícies fluviomarinhas que se desenvolvem em solos lamacentos sujeitos às ações das marés ao longo da zona estuarina, que corresponde ao ecossistema denominado manguezal.

Segundo Walsh (1974, apud Ferreira, 2002), a ocorrência dos manguezais está associada a cinco condicionantes: 1) temperaturas tropicais, com média superior a 20°C nos meses mais frios; 2) substratos aluviais, com predominância de matéria orgânica e materiais finos como silte e argila; 3) áreas de baixa energia, caracterizadas por depósito de elementos no ambiente e pela ausência de ventos ou marés fortes; 4) presença de água salgada; 5) grande amplitude de maré associada a reduzida declividade do terreno, o que permite a colonização por espécies de mangue adaptada às altas taxas de salinidade desses ambientes. A área de estudo é marcada pela presença de grandes áreas de manguezais. Espécies como *Rhizophora mangle* (Figura 19), *Laguncularia racemosa* e *Avicennia schaueriana* são de ocorrência comum no estuário.



Figura 19 - *Rhizophora mangle* (mangue vermelho) no estuário do rio Jaguaribe, Aracati-Ce. (Fonte: PEDROSA, 2014).

Nesses locais, o regime de maré se destaca por ser semidiurno com amplitudes que variam entre 1,4 e 2,6 metros para as marés de quadratura e sizígia, respectivamente. (TANAKA; MAIA, 2006).

3. METODOLOGIA E TÉCNICAS UTILIZADAS

A metodologia utilizada na análise da geodinâmica e morfogênese com base nas taxas de migração dos campos de dunas da zona costeira da praia de Canoa Quebrada entre os anos de 1988 a 2013, foi dividida em dois momentos. Primeiramente, foram buscados os documentos bibliográficos e cartográficos; posteriormente, realizou-se o estudo desses documentos, bem como as atividades técnicas de campo.

3.1. Levantamento bibliográfico

A pesquisa bibliográfica fundamentou-se em pesquisas anteriores: monografias, dissertações, teses, artigos e livros relacionados à migração das dunas, desembocadura fluvial e baixo curso do rio Jaguaribe, zona costeira cearense e as feições geomorfológicas do litoral leste.

A Universidade Federal do Ceará, nos seus diversos departamentos dos Centros de Ciências e Tecnologias, Ciências Agrárias, busca pela internet e nas bibliotecas vinculadas à Universidade Federal do Ceará: Biblioteca Central do Centro de Ciências e Tecnologia, Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, a do

Centro de Ciências Agrárias, bem como a do Instituto de Ciências do Mar – LABOMAR, muito contribuíram para o enriquecimento dessa pesquisa.

Continuando a pesquisa bibliográfica, também foram consultadas as bibliotecas internas dos Laboratórios do Departamento de Geografia, a saber: Laboratório de Geomorfologia Ambiental Costeira e Continental – LAGECO, Laboratório de Climatologia e Recursos Hídricos e biblioteca do Programa de Educação Tutorial – PET.

A metodologia empregada teve como base o levantamento de informações referentes aos meios físicos – geologia, geomorfologia, clima, cobertura vegetal, dinâmica eólica, dados de precipitação e socioeconômicos.

As bibliotecas do Departamento Nacional de Obras Contrás as Secas – DNOCS Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos do Estado do Ceará – COGERH, Secretaria Estadual do Meio Ambiente – SEMACE e Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais – CPRM, muito contribuíram na fundamentação teórica da pesquisa.

3.2. Levantamento cartográfico

O levantamento de material cartográfico existente sobre a região, fotografias aéreas, imagens de satélites, para a elaboração de uma base cartográfica foi efetuado em Departamentos de Cartografia de diversos órgãos públicos da esfera estadual e federal e em segmentos da própria Universidade Federal do Ceará. Perante à SEMACE, CPRM, COGERH, INCRA e LABOMAR.

Nesse momento da pesquisa, encontrou-se uma das maiores dificuldades: conseguir encontrar aerofotos e material cartográfico referente às décadas de 60 e 70 e que se encontrassem em estado razoável de conservação, no que diz respeito à nitidez, baixo teor de umidade e integralidade pictográfica, além de datação confiável.

As aerofotos a que se teve acesso no DNOCS encontravam-se na escala de 1:25.000, mas não se encontrou a área total de estudo. Na CPRM tivemos acesso a uma aerofoto na escala de 1:70.000, não atendendo as necessidades da pesquisa devido à falta de detalhes. Só foi possível trabalhar com as imagens de satélites dos anos de 1988 (fotografia aérea da SUDENE) e 2004, 2010, 2013 encontradas no LABOMAR de altas resoluções.

3.3. Sensoriamento remoto

O sensoriamento remoto permite uma visão sintética do problema, além de possibilitar o resgate de dados, identificando feições de interesse. A aquisição de material de sensoriamento remoto foi realizada a partir dos sites da internet, mas também foram usadas imagens fornecidas pela SEMACE (Quickbird dos anos 2004, 2010 e 2013).

Optou-se pelo uso da imagem do Quickbird por ser capaz de capturar imagens da Terra com resolução espacial de alta resolução. O satélite foi lançado em outubro de 2001, e tem como objetivo oferecer suporte às aplicações de gerenciamento urbano e rural, avaliação de riscos ambientais, levantamentos cadastrais ou mapeamentos em escala de detalhe, dentre outros mais específicos. O sistema é composto por três bandas multiespectrais, com resolução espacial de 2,6 metros e mais uma banda pancromática que reduz o tamanho do pixel, unidade mínima que compõe a imagem, a 0,6 metros (MONTEIRO, 2005).

As imagens desse satélite correspondentes à área de estudo foram de grande relevância para a realização da pesquisa. As imagens pertencentes a SEMACE foram georreferenciadas, ou seja, posicionadas corretamente sobre a superfície terrestre.

3.4. Geoprocessamento

A determinação da taxa de migração para os campos de dunas móveis da APA de Canoa Quebrada, ao longo do intervalo de observação entre os anos de 1988 e 2013 foi obtida com o auxílio da extensão Digital Shoreline Analysis System – DSAS 3.2 para o ArcMapGIS 9, ferramenta adaptada para o presente trabalho, uma vez que a mesma é utilizada para fazer a análise da variação da linha de costa (OLIVEIRA, 2005), baseando-se na relação entre distância (espaço), entre as linhas e o tempo de cada imagem que estão sendo utilizados na pesquisa.

O DSAS (Sistema de Análise Digital da Linha de Costa) é uma extensão que realça a funcionalidade normal do software da ERSI ArcGIS, que permite ao usuário calcular taxas de mudanças da linha de costa de uma série estatística entre o tempo e posições múltiplas da linha. O DSAS é também útil para as séries de dados que usam polilinhas, como uma representação das posições de pontos específicos no tempo, como o limite para avanço de geleira e canaleta de rio, uso da terra, entre outras (THIELER, 2005). O presente trabalho utilizou tal ferramenta para

o cálculo das taxas de migração (velocidade de avanço) de campos de dunas móveis.

O DSAS trabalha gerando transectos ortogonais em um espaçamento definido pelo usuário, que neste caso foi de 200m; calcula, então, as taxas de mudanças entre o espaço e o tempo, gerando as estatísticas associadas que são mostradas em uma tabela de atributos. O método estatístico escolhido da ferramenta foi o de Regressão Linear (LRR).

A ferramenta DSAS foi aplicada a partir da criação das linhas em formato *shapefile* no *software* ArcMapGIS 9. A linha limite dos campos de dunas, na face de sotavento, ou linha que toca outra unidade ambiental no sentido da migração, foi criada para cada ano de observação (1988, 2004, 2010 e 2013) possibilitando a análise multitemporal entre os anos. Foi adquirida, também, em formato *shapefile*, uma linha de base ou *baseline*, criada perpendicular ao sentido de migração dos campos de dunas. A observação do sentido de migração foi feita nas imagens de satélites, sobrepondo uma sobre as outras. E por último a aplicação da ferramenta que cria os *transectos*, também em formato *shapefile*, para cálculo das taxas de migração. Cada transecto, ao passar pelas linhas, calcula as taxas, considerando o espaço e o tempo existente entre elas. O valor que cada transecto calcula corresponde a determinado ponto da duna. Portanto, a taxa de migração de um campo de dunas como o todo pode ser adquirida tirando a média de todos os valores de todos os transectos.

3.5. Levantamento de campo

Posterior à pesquisa bibliográfica e cartográfica, iniciou-se o trabalho com as bases cartográficas para a elaboração dos mapas do campo de dunas para analisar a geodinâmica e morfogênese, bem como a evolução das taxas de migração.

Essa etapa se efetivou com as visitas técnicas na área de estudo e na realização de registros fotográficos. Através de percurso de barco pela foz do rio Jaguaribe e de carro (bugre) pelo campo de dunas móveis, realizaram-se observações e anotações acerca das unidades geoambientais identificadas, dos viveiros de camarão, localizados na planície fluvio-marinha do rio Jaguaribe, e das dunas em direção ao ecossistema manguezal.

Essa etapa consistiu no reconhecimento e identificação das formas dunares móveis, semi-fixas, fixas e classificação da sua tipologia no litoral do Ceará. Foi observado, também, o estágio atual do processo de uso e ocupação e degradação ambiental, associados, na área em estudo.

4. GEODINÂMICA COSTEIRA NO QUATERNÁRIO

A atmosfera e o clima terrestre resultam de forças que agem sobre o globo, tanto provenientes do sol, quanto originadas no interior da terra. Dessa forma, o clima é resultante da combinação de fatores entre essas duas grandes fontes energéticas. Qualquer alteração ocorrida em uma dessas fontes primárias afeta profundamente o clima terrestre.

O objetivo desse capítulo é analisar as mudanças climáticas e paleoclimáticas da zona costeira e no campo de dunas da costa cearense, bem como as variações relativas no nível do mar.

4.1. Mudanças climáticas no Quaternário

Segundo Tessler (2003), o registro geológico revela que o planeta está sujeito a importantes mudanças climáticas, que têm 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.

O período Quaternário teve início há cerca de 1.5 M.a e engloba o Pleistoceno e o Holoceno, caracterizado por ter sido um período de grandes alterações climáticas, com longos intervalos de tempo, como as glaciações intercalados com tempos mais quentes, como o atual (SALGADO-LABOURIAU, 1994).

Atualmente, a Teoria de Milankovich é a mais aceita para se explicar tanto a origem das glaciações quanto às mudanças climáticas de origem natural, segundo Salgado-Labouriau (1994). Ela sugere que fatores ligados aos movimentos orbitais da Terra, como as alterações da distância da terra em relação ao sol e as variações na inclinação do eixo da Terra (obliquidade da elíptica) são os principais causadores das mudanças climáticas, inclusive da origem das glaciações (SANTANA NETO e

NERY, 2005). Dentro desse contexto, supõe-se que o último grande período glacial tenha terminado entre o intervalo de 12.000-10.000 AP (antes do presente).

Desde o surgimento do Planeta Terra, ocorrem variações do nível do mar. Durante o último período glacial, o nível do mar era muito inferior ao que é observado agora devido ao congelamento e armazenamento da água nos continentes. Hoje em dia, o nível do mar aumenta e o principal causador chama-se “aquecimento planetário”.

As pesquisas científicas mais recentes indicam a ocorrência, no Atlântico Norte, nas altas altitudes, de mudanças e oscilações rápidas no clima, denominadas Eventos Heinrich e Ciclos Dansgaard-Oeschger (D/O). Essas variações climáticas apresentam uma periodicidade de poucas mil centenas de anos, demonstrando que a circulação oceânica na região do Atlântico Norte se altera e se organiza em um curto período de tempo (BOND et al. 1993, 2000; DANSGAARD et al., 1993 apud HIDALGO et al, 2005).

A partir de estudos de sondagens de gelo da Groenlândia e estudos posteriores é que se constataram essas rápidas variações climáticas e a presença dessa variabilidade rápida em uma ampla variedade de estudos paleoclimáticos. Há uma mudança brusca nos Ciclos Dansgaard-Oeschger de um intervalo frio (estadial) para um quente (interestadial). Observa-se que na maioria das vezes se agrupa no denominados ciclos de Bond, que consistem em quatro ciclos progressivamente mais frios e que culmina em um stadial prolongado e simultâneo a um dos eventos de Heinrich descritos no Atlântico Norte.

Segundo Tsoar et al (2008), foram cerca de vinte eventos Dansgaard-Oeschger, cada um caracterizado por uma mudança abrupta do clima passando de um período relativamente aquecido para um mais frio. Esses eventos foram espacializados em um ciclo regular de 1.470 anos.

Behling (2003) destaca que no intervalo entre 11.800-5.500 anos, datado através de ^{14}C , ocorreu o período mais úmido no Nordeste, já registrado no Holoceno. Para o autor, o movimento anual da Zona de Convergência Intertropical sobre a região, a forte influência das frentes frias vindas da Antártica e mudanças na célula de alta pressão do Atlântico Sul podem explicar a elevada umidade do último período glacial no Nordeste brasileiro.

O autor destaca, ainda, o aumento do transporte fluvial de material terrígeno em direção aos depósitos marinhos, por volta de 40.000, 33.000 e 24.000

anos AP e entre 15.500 – 11.800 ¹⁴C anos AP, indicando a ocorrência de curtos períodos de fortes chuvas no Nordeste brasileiro, durante o Pleistoceno.

Segundo Santana Neto e Nery (2005), a vegetação do Nordeste se diferenciou ao longo do Quaternário entre Pleistoceno/Holoceno até cerca de 10.540 anos AP quando o clima da região era úmido. Tal fato favoreceu o estabelecimento de uma floresta tropical exuberante, com afinidade florística com as Florestas Amazônica e as da Costa Atlântica.

Para Moreno et al (2004), os esforços dedicados aos estudos dessas variações climáticas de escala milenar, as causas originais de seu desencadeamento, os mecanismos que se transferem entre regiões remotas, assim como o motivo que se desenvolvem a uma periodicidade de cerca de 1.500 anos, são, todavia, objetos de discussão.

As mudanças milenares ocorridas no clima implicam em alteração na ação dos ventos. Tudo indica que a precipitação pode ter sido alterada com os períodos stadial e interstadial. Wang et al (2004) indicam a ocorrência de períodos chuvosos nos últimos milênios associados com o limite da Zona de Convergência Intertropical várias centenas de quilômetros mais ao sul que o limite atual.

No Estado do Ceará, os períodos stadial (frio), a média de precipitação sobre a costa foi mais alta que o presente e, em particular, a força dos ventos foi mais baixa. Durante o período quente do Pleistoceno Superior, quando a Zona de Convergência Intertropical migrou mais para norte do que a média de localização do presente, a costa do Ceará obteve baixa precipitação, porém um correlato aumento na força do vento (TSOAR et al, 2004).

Diante desse contexto relatado por Tsoar et al (2004), fez-se uma correlação entre os períodos stadial e interstadial para a estabilização e mobilização de dunas no litoral cearense; para os períodos stadial, houve predomínio de umidade, as precipitações foram abundantes, os ventos com menor intensidade e, conseqüentemente, ocorreram condições favoráveis à estabilização de dunas costeiras, ou seja, a formação de uma cobertura vegetal com base sobre as areias que migravam anteriormente. Nos períodos interstadial, o clima estava mais seco e a umidade relativa do ar mais baixa, proporcionando elevada velocidade dos ventos e, simultaneamente ocorreu um intenso processo migratório das areias em direção ao interior da costa cearense, ou seja, um período pouco propício à estabilização de dunas.

Para Peterson et al (2000, apud TSOAR et al, 2008), essas frequentes mudanças de temperatura do clima e a conseqüente mudança na Zona de Convergência Intertropical podem ser resultados de rápidas mudanças entre os períodos stadial e interestadial.

De acordo com as datações realizadas recentemente, Tsoar et al (2008) constataram a estabilização de dunas na Costa Cearense de idade 6.7 ± 0.4 ka (milhares de anos). Assim, o episódio retratado por Santana Neto e Nery (2005) parece não ter tido expressão na Costa Cearense.

4.2. Variações relativas no nível do mar

Ao longo do tempo geológico, o nível do mar apresentou oscilações de subida e descida. Os fenômenos da glacioeustasia e tectonoeustasia favoreceram a elaboração de um elevado número de componentes morfológicos costeiros, fundamentados em processos dinâmicos irreversíveis em processo contínuo de formação. A integração entre os continentes, litosfera, atmosfera, biosfera e hidrosfera, os fluxos de matéria e energia foram envolvidos pela “flecha do tempo” (PRIGOGINE, 2011). Ao longo do litoral brasileiro, esses registros causados pelos eventos transgressivos e regressivos ficaram marcados na morfologia litorânea.

Para se analisar os processos morfogenéticos, bem como compreender a origem da planície costeira, é de suma importância o estudo das oscilações do nível do mar e as mudanças climáticas.

Segundo Suguio et al. (1985), o conceito de nível de mar é relativo. As variações eustáticas têm um caráter global, enquanto os movimentos observados nos continentes são claramente localizados no espaço. Os ambientes onde predominam o tectonismo tendem a formar terraços estruturais, falésias e estuários encaixados; em plataformas passivas predominam os campos de dunas, terraços marinhos glacioeustáticos e estuários nos baixos cursos fluviais.

Alguns trechos do litoral são regulados pelas correntes marinhas que têm sua dinâmica influenciada pelas alterações de salinidade, densidade da coluna de água e temperatura dos oceanos. A corrente termohalina é responsável pela dinâmica de integração dos oceanos (Figura 20).

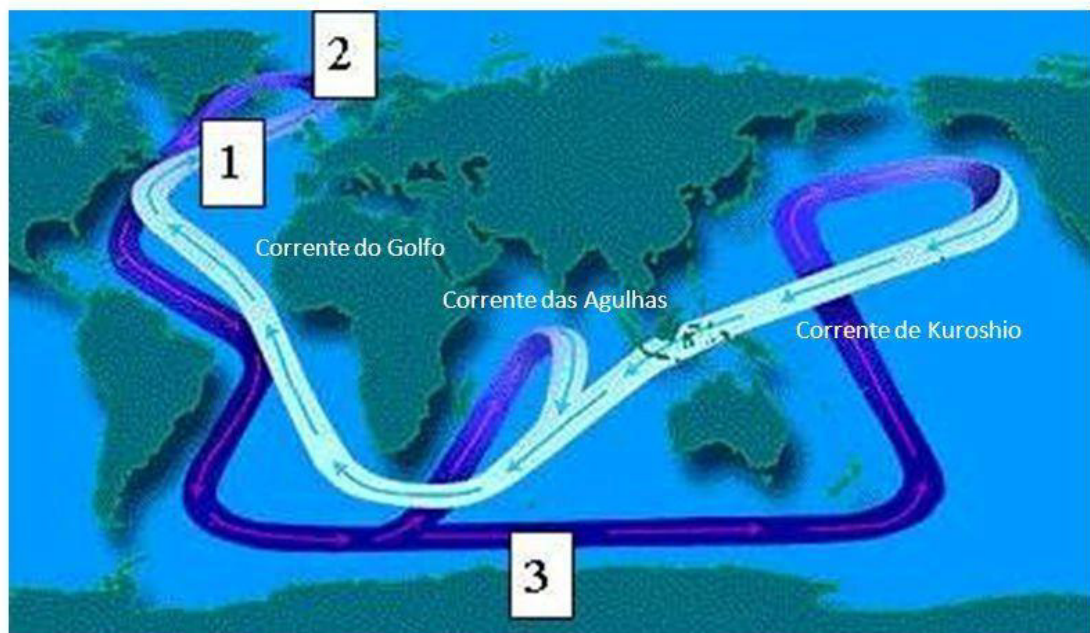


Figura 20 – Circulação termohalina (Fonte: Nasa, 2004).

Os eventos glaciais e interglaciais com transferência de água dos oceanos para as calotas de gelo continentais durante os períodos glaciais influenciaram as variações no Nível Relativo do Mar – NRM no Quaternário. A idade e a amplitude dessas variações têm sido estimadas por diversos métodos, como isótopos de oxigênio, em testemunhos marinhos (SCHACKLETON, 1987) e salinidade em testemunhos de sedimentos (ROHING et al., 1998). Entretanto, essas variações são afetadas por fatores locais a regionais, como isostasia e tectônica.

No que se refere ao Holoceno, época mais recente da História da Terra, existem várias evidências de subida e descida do nível do mar, tanto no litoral brasileiro quanto em outras partes do mundo que possibilitaram a construção de curvas de variações a partir de métodos de datação, entre estes, radiocarbono e termoluminescência.

Conforme Martin et al (1997), o nível do mar pode ser estudado através de diversos indicadores, entre estes, sedimentológicos, biológicos e arqueológicos. O nível do mar pode variar devido à variação da quantidade de água nos oceanos, ou porque os continentes se movimentam. A Terra leva muito tempo para se ajustar à variação do peso da água e do gelo que se encontram em cima dela. É, por esse motivo que os movimentos dos continentes, hoje, são geralmente o resultado de processos que aconteceram há milhares de anos. As variações da quantidade de água nos oceanos podem acontecer mais rapidamente.

Segundo Suguio et al (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 e deglaciação, dando origem à glacioeustasia; e deformações das superfícies oceânicas, principalmente por causas gravitacionais causando a geoidoeustasia.

4.3. Mudanças paleoclimáticas na zona costeira

O nível do mar é um conceito da maior importância para a evolução geomorfológica dos continentes, juntamente com os processos de erosão que controlam a evolução dos litorais, ou seja, a situação de avanço ou de recuo da linha de costa.

Para Suguio (1999), o nível do mar em um determinado ponto do litoral é a resultante momentânea de interações complexas entre a superfície do continente e o mar. As modificações de volume das bacias oceânicas (tectono-eustasia) e as variações do volume de água dos oceanos (glácio-eustasia) fazem sentir os efeitos em escala mundial. Por outro lado, as modificações de nível dos continentes (tectônica e isostasia) e do geóide (geóide-eustasia) atuam em escalas local ou regional.

Segundo Santana Neto e Nery (2005), 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.

Para Tessler (2003), na última regressão marinha que ocorreu entre 20 e 17 ka (milhares de anos), 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. O autor afirma, ainda, que esses 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 de nível do mar.

Essas mudanças apresentam-se registradas no Brasil há aproximadamente 17.500 anos AP, 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).

Para Claudino Sales (2002), no Brasil, as associadas 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.

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). Mas vale ressaltar que ocorreram pequenas flutuações em pequenos intervalos de tempo até alcançar o nível marinho atual.

Para Suguio et al (2005), há cerca de 5,5 ka, o paleonível do mar estava entre 3m e 5m acima do atual, tendo baixado há cerca de 3,0 ka, entre 2m e 3m acima do atual. O autor afirma que a 2,8 ka ocorreu novamente pequena descessão, atingindo provavelmente um nível inferior ao atual; e na de 2,5 ka, foi atingido um paleonível 1,5 a 2m acima do atual.

Para Suguio et al (2005), as subidas do nível do mar nas fases tardiglaciais e pós-glaciais ocorreram a velocidades que, em termos geológicos podem ser consideradas alarmantes, pois a grosso modo, em 10.000 anos o nível do mar subiu mais de 100m, representando taxa superior a 1cm/ano.

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

Para Suguio et al (2005), entre os indicadores geológicos das variações do nível do mar podem ser citados os terraços de construção marinha, os terraços de abrasão marinha, as rochas praias e os campos de dunas.

Segundo Suguio (1999), as posições dos paleoníveis marinhos podem ser encontradas também pelas plataformas de abrasão marinha, entalhes marinhos, cavernas marinhas e outras formas de erosão, além de feições de construção marinha em forma de terraços, como as plataformas de construção marinha.

Efetivamente, os depósitos sedimentares marinhos, como os terraços de construção marinha, situados acima do atual nível do mar formando as planícies costeiras ou as baixadas litorâneas – ou terraços marinhos, como são comumente definidas as planícies litorâneas, geralmente são evidências de paleoníveis do mar acima do atual (SUGUIO et al, 2005).

Claudino Sales (2002) efetuou a datação por ^{14}C no Ceará, dentro do conjunto de rochas da Praia de Sabiaguaba, localizada na Cidade de Fortaleza que resultou em uma idade de 2,7 ka +/- -140 AP. Segundo a autora, tal datação pode estar relacionada à pequena regressão marinha ocorrida há 2,8 ka, citada anteriormente.

4.4. Mudanças Quaternárias paleoclimáticas nos campos de Dunas da costa do Ceará

Para os autores Giannini (2007), Ewing e Kocurek (2010) e Giannini et al (2011), o surgimento, desenvolvimento e estabilização de sistemas eólicos costeiros são resultados de condições limites como o Nível Relativo do Mar - NRM, clima, aporte sedimentar, geometria da área fonte, condições antecedentes e extensão e fronteiras do campo de dunas. Dentre desses fatores resultantes, as variações de clima e do NRM ao longo do tempo são os principais condicionantes da evolução do sistema eólico, pois estes contribuem para as dimensões e fronteiras do campo de dunas (espaço de acumulação) como o aporte de sedimentos, controlando o saldo de influxo-efluxo eólico.

Os autores Lancaster et al (2002), Munyikwa (2005), Giannini et al (2007), Mason et al (2009) e Wolfe & Hogenholtz (2009) afirmam que a utilização de depósitos eólicos permite inferir a variação das condições limites ao longo do tempo, a indicação exata dos momentos de ocorrência dessas variações depende da aplicação de métodos geocronológicos. As idades LOE-SAR em grãos de quartzo por fornecer a idade da última exposição à luz solar (i.e. soterramento), são, dessa forma, essenciais para o entendimento dos registros eólicos como arquivos de variações climáticas e/ou de NRM e tem, de certo modo, revolucionado o estudo de sistemas eólicos quaternários.

Segundo Tsoar (2005) e Yizhaq et al (2008), nas regiões de clima árido e semi-árido, com precipitações de até 800 mm anuais, a influência da precipitação é dominante, enquanto a intensidade do vento é o principal agente no controle do

desenvolvimento da cobertura vegetal e da estabilização das dunas em áreas com precipitações superiores a 800 mm anuais. Os autores afirmam que a reativação de dunas estabilizadas pela cobertura vegetal somente é possível com grande intensidade dos ventos, sendo superior ao normal, para manter a atividade de um campo ativo. Em relação à área de estudo, a precipitação e a intensidade dos ventos estão relacionadas com a Zona de Convergência Intertropical - ZCIT. No primeiro semestre, sob a influência da ZCIT, os ventos alísios sopram menos, com menor intensidade e a precipitação é mais elevada, já no segundo semestre, devido ao período de estiagem, ocorrem precipitações insignificantes com os ventos alísio intensos.

Diante desse contexto, os autores afirmam que as baixas temperaturas de superfície no Oceano Atlântico Sul associam-se à intensificação dos ventos alísios de NE e diminuição na precipitação, com a ZCIT localizada mais a norte. Já quando a ZCIT localiza-se mais a sul, relaciona-se ao enfraquecimento dos ventos alísios de NE no Nordeste brasileiro.

Para Tsoar et al (2009), no estudo sobre as dunas eólicas ativas e estabilizadas na costa cearense levando-se em consideração à série histórica de dados meteorológicos, os autores observaram correlação inversa entre precipitação e intensidade do vento. Os mesmos autores ao estudarem a precipitação e diferença de temperatura superficial nos Oceanos Atlânticos Tropicais Norte e Sul, encontraram a mesma correlação inversa.

Geralmente, os diversos estudos indicam como principal modificação na dinâmica climática em tempos passados a posição da ZCIT Behling et al (2000); Ledru et al (2001, 2002); Sifeddine et al (2003); Jacob et al (2004); Pessenda et al (2004); Cruz et al (2009); Tsoar et al (2009). Para Cruz et al (2009), mudanças nessa posição, em milhões de anos, seriam controladas pelo gelo marinho, temperaturas nas altas latitudes do hemisfério norte e pela circulação de monções. Tsoar et al (2009) atribuem à intensificação ou ao enfraquecimento dos ventos alísios as mudanças na posição da ZCIT relacionadas a variações na temperatura dos Oceanos Atlânticos Tropicais Norte e Sul. Segundo os autores, períodos de estabilização das dunas podem ser atribuídos a períodos frios no hemisfério norte, como os eventos de Heinrich ou Younger dryas. Períodos de secas, com favorecimento de transporte eólico, não seriam suficientes para a remobilização das dunas estabilizadas previamente pela vegetação.

As massas de ar do Atlântico Sul e do Atlântico Norte controlam a posição da ZCIT, que dependem do gradiente de temperatura superficial dos Oceanos Atlânticos Tropicais Norte e Sul (TSOAR et al., 2009). Já a dinâmica de troca de calor entre os oceanos Atlânticos Norte e Sul é feita pela Circulação do Atlântico Meridional - AMOC. O enfraquecimento da AMOC tem sido atribuído aos eventos Heinrich (Arz et al., 1999; Weldeab et al., 2006; Baker et al., 2009).

Ao longo das bases para a correlação entre os 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).

Analisando os grandes campos de dunas atuais no litoral do Estado do Ceará, constata-se, obviamente, que para a formação dessas dunas, a existência atual de sedimentos não seria suficiente e diante desse contexto, esse grande aporte de sedimentos provavelmente tenha sido originado da plataforma continental durante os episódios de regressão marinha.

Alguns acontecimentos de formação de dunas fixas parabólicas existentes nas Praias de Sabiaguaba e do Futuro, na Cidade de Fortaleza, segundo Meireles et al (2001), foram originadas durante um período em que as condições climáticas e o nível do mar geraram grandes volumes de areia para o transporte eólico.

Para Claudino Sales e Peulvast (2006), a presença de paleofalésias da altitude da plataforma situadas acima do nível marinho atual, bem como de planícies litorâneas desenvolvidas no sopé de paleofalésias, nas Praias de Icapuí, Barra Nova, no Município de Beberibe e Porto das Dunas em Aquiraz, parecem 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. Pode-se avaliar que a transgressão holocênica parece ter atingido cotas da ordem de 2,7m a 3,0 m em relação ao nível médio do mar (NMM).

A ação abrasiva ocorrida por essa transgressão marinha teria produzido uma linha descontínua de paleofalésia ao longo de quase toda a faixa costeira central e leste. Para Claudino Sales e Peulvast (2006), atualmente essas paleoformas estão mascaradas, onde existem, por acumulações dunares, não apresentando mais do que uma modesta descontinuidade topográfica entre o litoral

e a costa. Esse aspecto é bem marcado em Fortaleza pelos desníveis entre a parte central da cidade e a Avenida Beira-mar, perceptível nas Avenidas Desembargador Moreira, Barão de Studart, Rui Brabosa, Dom Manoel e no Forte de Nossa Senhora de Assunção.

Segundo Claudino Sales e Peulvast (2006), do ponto de vista da disponibilidade de sedimentos produzida pelas últimas transgressões marinhas no Ceará, 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. A disponibilidade de sedimentos controladas pelos climas e a dinâmica litorânea dominante parecem 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.

Para Giannini et al (2001), a formação desse campo de dunas foi resultante dos 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 seriam formadas a partir do retrabalhamento de areias da planície exposta da regressão. A maior importância da Formação Barreiras como litologia-fonte imediata nos períodos do 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 realidade, 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.

Segundo Tsoar et al (2008), datações recentes realizadas nos campos de dunas do Estado do Ceará demonstram que não há relação direta entre a formação

de geração de dunas e variações do nível do mar. Para Claudino Sales e Peulvast (2006) e Maia et al (2008), as mudanças climáticas responsáveis pela formação de diferentes idades de dunas parecem, portanto, resultar de eventos não associados às glaciações e mudanças eustáticas e, sim, a curtos períodos de mudanças no clima a partir do Pleistoceno.

5. AS DUNAS NO ESTADO DO CEARÁ

Existem várias formas de deposição de sedimentos na superfície terrestre, dentre elas destacam-se as dunas, que representam depósitos gerados pelo vento. O processo de formação de dunas, com idade e tipologia, foi relativamente pouco estudado no Estado do Ceará até a presente data, ressaltando-se os trabalhos de Moraes e Souza (1971), RADAMBRASIL (1981), Meireles e Gurgel Jr (1994), Maia (1998), Jimenez et al (1999), Claudino Sales e Peulvast (2000, 2001 e 2002) e Claudino Sales (2002).

5.1. As grandes formas de dunas

Segundo Cordani (2008), a classificação baseada na estrutura interna das dunas leva em consideração a sua dinâmica de formação, sendo reconhecidos dois tipos: as dunas estacionárias e as migratórias, ou ativas. Essas dois tipos de dunas se apresentam sob diversas formas. As grandes formas de dunas são apresentadas a seguir, baseado no trabalho de Claudino Sales (2002).

5.2. Dunas móveis

As dunas móveis (Figura 21) constituem as formas mais remarcáveis da zona costeira do Ceará. Apesar disso, elas representam apenas uma parte minoritária dos campos de dunas, o restante correspondendo aos campos de dunas antigos, fixos por vegetação. Os tipos móveis se formam a partir do pós praia. As formas mais frequentes são as dunas longitudinais de frentes transgressivas, as parabólicas, as barcanas e as barcanóides.



Figura 21 – Duna móvel na margem direita do rio Jaguaribe - Aracati – área de estudo (Fonte: PEDROSA, 2014).

5.2.1. Dunas longitudinais e as parabólicas

O termo dunas parabólicas, introduzido por Steenstrup (1894), apud HOWELL, 1960), refere-se a dunas caracterizadas por geometria plana em “U” ou “V”, com convexidade voltada para sotavento. Elas são formadas em regiões com predominância de ventos fortes e constantes.

No Ceará, as dunas parabólicas são geralmente de grande porte, podendo chegar até 30m de altura com uma extensão de 2 a 3 km, sendo frequentes apenas nos setores a oeste da área estudada. Seu desenvolvimento comporta a formação de lagoas litorâneas permanentes ou temporárias, pois a deflação se faz até atingir o lençol freático, normalmente superficial na pós praia.

Segundo Bagnold (1941), as dunas longitudinais são acumulações dispostas paralelamente ao vento dominante, representando formas alongadas. Elas resultam da mobilização de montículos de areia individuais por oposição à migração do conjunto do corpo dunar.

Estas dunas são conhecidas como do tipo “seif”, do árabe, encontradas no deserto da Arábia devido aos fortes ventos e de sentido constante. Podem atingir até 300 km de comprimento e mais de 300m de altura. Em muitos casos esse tipo de duna produz feições morfológicas idênticas a “cordões de areia”.

Claudino Sales (2002) afirma que a formação das dunas longitudinais móveis na zona costeira do Estado do Ceará é devido à ação dos ventos de leste, dos alísios de sudeste em particular. Elas ocorrem por toda a zona costeira cearense.

5.2.2. Dunas barcanas, barcanóides e megabarcanas

As dunas barcanas desenvolvem-se em ambientes de ventos moderados e fornecimento limitado de areia. Como resultado, esse tipo de duna assume forma de meia-lua ou lua crescente com suas extremidades orientadas no mesmo sentido do vento (CORDANI, 2008).

No interior da zona costeira, formam-se cadeias de dunas similares às barcanas, recebendo o nome de cadeias barcanóides. As dunas barcanas são formadas na pós-praia e devido à ação da direção dos ventos de nordeste deslocam-se para o interior dos campos de dunas.

Para Claudino Sales (2002) as dunas móveis incluem campos de barcanóides e barcanas, às quais podem associar-se feições longitudinais. Apresentam altura de 20m em média e dominam, sobretudo, os segmentos mais externos das planícies litorâneas cearenses. No Ceará, as regiões onde as barcanas se formam e evoluem são caracterizadas principalmente pela existência de lagoas intermitentes.

Jennings (1967) afirma que as condições de formação e de evolução das barcanas são, desde muito tempo, objeto de debates centrados sobre o caráter supostamente limitado do estoque de areia necessário à sua formação e sobre a manutenção de sua forma ao longo da migração.

Segundo Bagnold (1941), as barcanas são formas estáveis que migram mantendo sua forma e seu volume de areia.

No litoral oeste do Estado do Ceará, na Praia de Jericoacoara, existem grandes barcanas individuais atingindo 50m de altura, ou mais, e 500 a 600m de comprimento e largura (JIMINEZ et al., 1999). Trata-se de megaformas denominadas de megabarcanas isoladas, para distinguir das barcanóides que representam os sistemas de formas transversais de dimensões regulares frequentes nos lençóis de areia descritos em várias regiões do mundo (e.g. GOLDSMITH, 1978; THOMAS, 1992,1997).

5.2.3. Lençóis de areia

Segundo Claudino Sales (2002), os lençóis de areia representam os maiores campos de dunas da zona costeira cearense, apresentando largura de 2 km a 6 km e altura de 20 a 30 metros, em média. Sua existência parece se dá à acumulação em um longo período de tempo de areia levada pela deflação das praias, assim como das dunas antigas e dos sedimentos da Formação Barreiras. Acumulam-se no topo das falésias mortas e de tabuleiros costeiros. Na realidade, os lençóis de areia são campos de dunas transversais, que migram guardando cristas transversais contínuas e sinuosas.

No litoral oeste do Ceará, encontramos os maiores campos de dunas transversais do estado. A leste, em Barra Nova, o processo erosivo que ocorre nas falésias na praia de Beberibe é responsável pela alimentação dos lençóis de dunas transversais. Um outro grande campo de dunas existe na praia do Presídio/Prainha, tendo como depósito de areia a erosão na célula sedimentar de Barro Preto/Aquiraz.

5.3. Dunas semi-fixas

As dunas semi-fixas são associadas à vegetação e se desenvolvem próximas às desembocaduras dos rios, apresentam dunas vegetadas com características distintas das existentes nas regiões afastadas dessas zonas de interação. Assim, as dunas “livres” associadas à vegetação, próximo a desembocaduras dos rios, são classificadas em: campos de dunas frontais e nebkhas, encontradas no litoral cearense.

5.3.1. Dunas frontais

Claudino Sales (2002) afirma que as dunas frontais são formas essencialmente litorâneas, pois elas se formam apenas na pós-praia. Para que ocorra sua formação é necessário a presença de ventos fortes, a existência de plantas psamofilas fixadoras e, sobretudo, grande abundância de areia de granulometria heterogênea sobre o estirâncio. As areias mais grossas são fixas no pós praia, de tal maneira que as dunas frontais evoluem, de início, como pequenos montes de areias tornando coalescentes até, finalmente, constituir uma duna na borda do mar.

As dunas frontais protegem o litoral contra a ação erosiva das ondas. Formam um cordão de dunas paralelo ao estirâncio de dimensões variáveis, onde os

principais efeitos são de proteger o litoral contra a ação erosiva das ondas e de permitir a penetração das águas salgadas no reservatório litorâneo de água doce. Elas ocorrem de forma descontínua ao longo de toda a faixa litorânea do Estado.

5.3.2. Nebkas

O termo Nebka é de origem árabe utilizado para designar os montículos de areia frescas acumuladas pela ação de ventos regulares a barlavento de obstáculos vegetais (e.g. Goudie e Thomas (1985), Cooke et al., (1993), e.g. Goldsmith (1978), Hesp e Thom (1990), Carter e Wilson, (1990), Psuty (1990)). Em diversas publicações, as dunas de formas parecidas foram definidas como morros e morros gramíneos. Geralmente, essas não são formas muito citadas, e na literatura brasileira elas são completamente ignoradas (Figura 22).

No litoral do Ceará, os nebkas são frequentes no pós praia e onde as células sedimentares permitem a acumulação de areias frescas. Elas são colonizadas por uma vegetação *psamofila* diferente das dunas frontais – sobre os nebkas a vegetação é arbustiva sendo as espécies mais frequentes as *iresine* e em certos setores o *conocarpus erectus* (FIGUEIREDO, 1997).



Figura 22 – Dunas Nebkas – Ilhas Canárias/ Espanha (Fonte: www.flickr.com).

Na sua formação inicial, as nebkas não passam de alguns centímetros de altura e de largura. A vegetação tem um papel fundamental na retenção de sedimentos sobre a praia onde a formação e a coalescência de montículos arenosos sob a ação do vento, de forma que eles podem atingir alguns metros de altura, de largura e de comprimento. Apesar das nebkas se formarem mais frequentemente sobre as cristas de praias e na pós praia, encontramos sobre o revés de dunas desenvolvidas. Observamos uma zona de abrigo a sotavento das nebkas.

Essa zona de abrigo facilita o aumento das formas. Tal fenômeno parece contribuir para a formação de dunas longitudinais, móveis ou semi-fixas, forma para as quais os nebkas parecem evoluir (CLAUDINO SALES, 2002). As dunas nebkas ocorrem ao longo do litoral leste.

5.4. Dunas fixas

As dunas fixas são campos de dunas vegetalizadas. Normalmente correspondem a dunas antigas, testemunhas de períodos climáticos úmidos, que facilitaram a formação de uma cobertura vegetal capaz de barrar a migração das areias (Figura 23).



Figura 23 – Duna fixa na praia de Canoa Quebrada (Fonte: PEDROSA, 2014).

5.4.1. Dunas com geometria indefinida

Geralmente são encontradas como depósitos dunares totalmente cobertos e fixos por uma vegetação litorânea do tipo floresta costeira. Originalmente, essas dunas vegetalizadas parecem apresentar formas de barcanas, de

barcanóides, de dunas parabólicas ou de dunas longitudinais - ou seja, da forma que a dinâmica e a morfologia local produzem normalmente. Entretanto, o desenvolvimento da cobertura vegetal acaba por mascarar as formas iniciais.

A cobertura vegetal funciona como uma armadilha para as areias transportadas pelos ventos, propiciando e o crescimento vertical dessas formas: sua evolução é marcada por um aumento de altura e não pelo alongamento (GOLDSMITH, 1978). Nesse caso, mesmo fixas, as dunas vegetalizadas continuam a apresentar uma evolução ativa. As dunas fixas sem forma definida ocorrem ao longo de toda a zona costeira, nos setores mais interiores e distantes da faixa de praia.

5.4.2. Dunas parabólicas hairpin

A morfologia das dunas hairpin são semelhantes a grampos de cabelo, de onde vem sua denominação. Elas representam formas compostas formadas por dois braços longos dispostos longitudinalmente em relação ao vento de frente em forma de “croissant” apresentando seu lado delicado ao vento.

No Ceará, onde o estoque de areia sob o estirâncio é mais abundante, as dunas hairpins têm suas partes adjacentes situadas a barlavento. Esse fato parece confirmar a ideia de que a formação das dunas necessita de uma boa alimentação de areia (e.g. Pye e Tsoar, 1987); de ventos regulares (e.g. Jennings, 1957); Davis (1994) e da existência de superfícies planas para sua migração (e.g. Tinley, 1981); Pye e Tsoar, 1987).

Atualmente, no Ceará as dunas parabólicas hairpin existem apenas sob a forma de dunas fixas, situação que sugere uma falta de alimentação ou um corte completo em relação à sua fonte no decorrer da evolução. A cobertura vegetal que as fixa é do tipo arbórea bem desenvolvida, formando verdadeira floresta litorânea onde as espécies *Caesalpinia ferrea* (Jucá), *Zizyphus joazeiro* (Juazeiro), *Pisonia tomentosa* (João Mole) (FIGUEIREDO, 1997) são as mais frequentes. Os solos os quais essa cobertura vegetal se desenvolve são de areias quartzosas distróficas e de solos podzólicos vermelho-amarelo (LEITE e MARQUES, 1997).

No que se refere ao seu grande tamanho, as dunas parabólicas harpin podem ser comparadas àquelas descritas por Pye (1983) sobre as costas australianas, elas têm efetivamente 20 e 30 metros de altura que atinge facilmente 3km de comprimento, na praia do Iguape, podendo ir até 6km, na praia do Pecém e

14km nas praias de Taíba/Lagoa dos Talos em Jericoacoara/Guriú. Nessa última região, elas têm formas bastante aplainadas.

5.5. Dunas cimentadas

As dunas cimentadas estão presentes na zona costeira do litoral oeste, desde a faixa praial até o campo de dunas móveis. São ricas em carbonato de cálcio. A existência desses tipos no litoral oeste cearense, aparentemente pode estar ligada à disponibilidade de carbonatos na plataforma continental adjacente. Elas apresentam taxas de cimentação muito variada, outras bem consolidadas com crostas superficiais formadas por estruturas em sanduíche mais ou menos atingida pela corrosão anterior, como podemos observar nas praias do Pecém, Taíba/São Gonçalo do Amarante, Mundaú/Trairi, Amontada ou Tatajuba/Camocim.

5.6. As gerações e as idades dos campos de dunas

No Ceará, a formação e a evolução do campo de dunas costeiras são devidos a vários episódios sucessivos de acumulação de areia. Esses episódios podem ser explicados pelas variações paleoclimáticas e eustáticas do Quaternário. As gerações de dunas que puderam se formar por intermediário desses processos não são, ainda, bem conhecidas. As pesquisas realizadas por alguns autores relativas ao tema fornecem, entretanto, algumas precisões que concernem a certos aspectos estratigráficos, climáticos e cronológicos.

Segundo Maia (1998), ao longo do litoral do Estado do Ceará estão presentes várias gerações de dunas e embora seja bastante difícil determinar se foram construídas em várias épocas de formação, se podem diferenciar em função de algumas variáveis: a forma, o nível de coloração, seu grau de cimentação e o tipo de vegetação. Com a individualização e as gerações se pode fazer uma reconstrução paleográfica, partir de datações ou de esquemas baseados em critérios pedológicos, sedimentológicos e estratigráficos.

O autor afirma que a partir dessas relações estratigráficas foram diferenciadas até em três gerações de dunas e em alguns pontos, principalmente no litoral oeste, há presença de uma quarta geração. A geração mais antiga foi identificada como um depósito eólico (paleodunas) sem forma definida e que se encontra em contato direto com a Formação Barreiras. As paleodunas estão formadas por areias quartzosas inconsolidadas, variando de fina a moderadamente selecionadas, com granulação fina à média e de cor vermelha intensa. Sua

espessura é variável, diminuindo em direção ao interior e apresenta um elevado grau de pedogênese, com solos bem desenvolvidos.

A segunda geração consiste em dunas parabólicas inativas composta por areias quartzosas inconsolidadas, variando de fina a moderadamente selecionadas e granulação de fina e média, variando de laranja a cinza. A morfologia das dunas é em forma de “U” e “V”, com alturas de 20 a 40m, comprimento entre 1.200 e 2.000m e largura variando de 320 a 460m respectivamente, o que atribui a estas dunas uma forma alargada (PARENTE, 1998).

Claudino Sales e Peulvast (2000) apresentaram uma classificação tipológica e hierárquica de gerações de dunas do Estado do Ceará, caracterizado pela existência de quatro diferentes períodos de acumulação – de dunas de idade pré-transgressão holocênica, outras contemporâneas dessa transgressão e outras contemporâneas da regressão ou estabilização holocênica e as dunas atuais, sendo:

1 – as dunas atuais, com migração situada entre 7 m/ano e 20 m/ano (JIMENEZ et al, 1999); D1; 2 – dunas sub-atuais D2; 3 - dunas contemporâneas da regressão holocênica, aqui denominadas D3; 4 – dunas de geração contemporânea da transgressão holocênica, formando as dunas D4; do conjunto de dunas de idade pré- transgressão holocênica, nominadas aqui dunas D5. Essas diferentes gerações de dunas podem ser observadas isoladamente ou em sucessão em vários locais da costa, porém nenhuma sequência completa foi, ainda, identificada em um mesmo sítio. Elas comportam diferentes tipos de formas em razão das especificidades da dinâmica costeira e das características sedimentológicas de cada compartimento geomorfológico onde elas se situam (CLAUDINO SALES, 2002).

5.6.1. Os campos de dunas atuais ou D1

Segundo Claudino Sales (2002), a geração de dunas D1 correspondem aos depósitos dunares formados pelo menos ao curso dos dois ou três últimos séculos. Tal determinação desse período de tempo foi devido à identificação de uma ruptura, visível no terreno e nas cartas e fotografias aéreas, de acumulação de areia. A autora afirma que a origem da ruptura identificado na migração de dunas não é clara, mas pode ser associada a mudanças climáticas, seja por

razões antrópicas – sugeridas pelo fato de que a ocupação efetiva, acompanhadas de mudanças de condições ambientais da zona costeira do Ceará, início em torno do século XVIII (e.g. CORREIA DANTAS, 2000) -, seja por razões naturais. Entretanto, essas considerações são apenas hipotéticas, pois há carência documental e dados históricos concernentes ao tema.

5.6.2. As dunas sub-atuais ou dunas D2

As dunas D2 correspondem a acumulações sedimentares que se desenvolveram entre 300/400 anos, idade estimada a partir do início da formação D1/1200 anos. Esse limite superior foi estimado considerando o comportamento das barcanas nas praias de Barrinha, Jericoacoara e Guriú (CLAUDINO SALES, 2002).

Na célula sedimentar em pauta, as dunas se formam em Barrinha e migram sobre a planície costeira de Jericoacoara, até sua chegada a Guriú, onde se situa a parte distal da célula, 12km a jusante. A rapidez da migração na ordem de 11 m/ano – velocidade de migração das barcanas no local (JIMINEZ et al., 1999), o tempo necessário à chegada dessas dunas à Guriú seria na ordem de 1.100 anos. Diante desse contexto, as dunas barcanas de Guriú representariam as mais antigas das dunas D2 segundo a classificação de Maia et al. (1999).

Para Maia et al (1999), a idade desse limite superior, de 1,2 ka corresponde também àquele obtido por termo luminescência sobre uma duna hairpin vegetalizada situada na Praia do Pecém, provavelmente contemporânea de um clima um pouco mais úmido que o atual, que parece ter caracterizado esse período.

5.6.3. As dunas de idade regressiva Holocênica ou dunas D3

As dunas de idade D3 correspondem ao conjunto de gerações que são acumuladas e fixadas sob as condições climáticas provavelmente úmidas de regressão Holocena. Não são bem estabelecidas a idade e importância da regressão, mas tudo indica se situar entre os 1,2 ka das dunas D2 e 2,7 ka B.P. No que concerne ao limite superior, essa proposição se apoia sobre a idade $14C$ de $2,7 \pm 140$ ka B.P. de beach-rocks da Praia de Sabiaguaba (CLAUDINO SALES, 2002).

5.6.4. As dunas de idade transgressiva Holocênica ou D4

As dunas D4 parecem ser correlativas do período associado à transgressão pós-glacial, em que o início poderia ser entre 13 ka (BARD, 1994) o pico culminando em torno de 5,1 ka B.P. e a descida para o nível atual entre 3,7 ka-2,7 ka. Uma grande parte dessas dunas D4 seja hoje soterradas sob as dunas mais recentes ou ainda foram destruídas pelas prováveis fases de deflação ocorridas entre 0,4 ka e o Presente.

5.6.5. As dunas de idade posterior à transgressão Holocênica ou D5

As dunas D5 são normalmente compactadas, pedogenizadas, formadas no intervalo anterior, sincrônico e posterior à transgressão holocênica (CLAUDINO SALES e PEULVAST, 2002).

Para Claudino Sales (2002), a geração de dunas de idade D5 poderia pertencer às dunas recortadas pelas falésias inativas nas Praias de Canoa Quebrada e de Lagoinha. A autora afirma que na Praia de Canoa Quebrada, a erosão marinha atual ou recente transformaram em falésias os depósitos dunares de idade provável D5 – trata-se da falésia de Canoa Quebrada, medindo em média 6 a 10 metros. No presente, sua formação parece estar parada, de tal forma que a falésia é estável, salvo os modelos de deflação que continuam ativos no topo.

As dunas D5 formariam também, uma parte dos depósitos que afloram nas falésias inativas na praia de Redonda no Município de Icapuí. Outro tipo de dunas D5 seria representado pelas coberturas arenosas que atingem até 2m de extensão (RADAMBRASIL, 1981; LEITE e MARQUES, 1997) sobre os tabuleiros costeiros, sobretudo por trás da costa oriental. Nas cartas pedológicas, elas aparecem caracterizada por solo do tipo “areias marinhas distróficas” representando, provavelmente, areias dunares remanescentes ou instalada na praia durante as fases anteriores de evolução da morfologia costeira. Um último tipo de dunas D5 é reparado na quase totalidade dos quase 573 km de costa. Trata-se de campos de dunas descontínuas atapetando a franja externa dos tabuleiros, formando extensões arenosas na topografia ondulada, talvez representativas das mais recentes gerações de dunas D5. Essas superfícies arenosas se estendendo até 10 ou 15 km das margens.

Para Claudino Sales (2002), a migração das dunas D5 na superfície dos tabuleiros tem certamente provocado a migração de vários vales fluviais, mas atualmente os índices são mascarados pela chegada de dunas de gerações seguintes. Um desses episódios tem deixado traços sob a forma de um paleovale. Trata-se de depósitos do tipo paleolítico fluvial identificado em Icapuí na Praia de Redonda considerado, aqui, por Peulvast, como uma testemunha da migração pleistocena em direção oeste de uma antiga embocadura do Rio Jaguaribe. Alguns episódios dessa migração parecem ser controlados pela migração em direção a oeste dos sistemas de dunas transgressivas.

5.6.6. As dunas de idade anterior à transgressão Holocênica ou D6

As dunas D6 representam depósitos arenosos compactados sobre os tabuleiros, e agregados à Formação Barreiras no seu fácies arenosos (CLAUDINO SALES e PEULVAST, 2002).

5.7. As dunas na área de pesquisa

Em Canoa Quebrada, identificamos os seguintes tipos de dunas: dunas móveis do tipo longitudinais (de pequena ocorrência), barcanóides (Figura 24) (de expressiva ocorrência) e lençóis de areias (dominantes). Não foram registradas a presença de dunas barcanas e megabarcanas, tampouco de parabólicas. Do ponto de vista de cobertura vegetal, foram identificadas dunas semi-fixas no contato com o ecossistema manguezal (Figura 25).



Figura 24 - Duna barcanóide do tipo transgressiva medindo 34 metros de altura. Área de estudo (Fonte: PEDROSA, 2014)

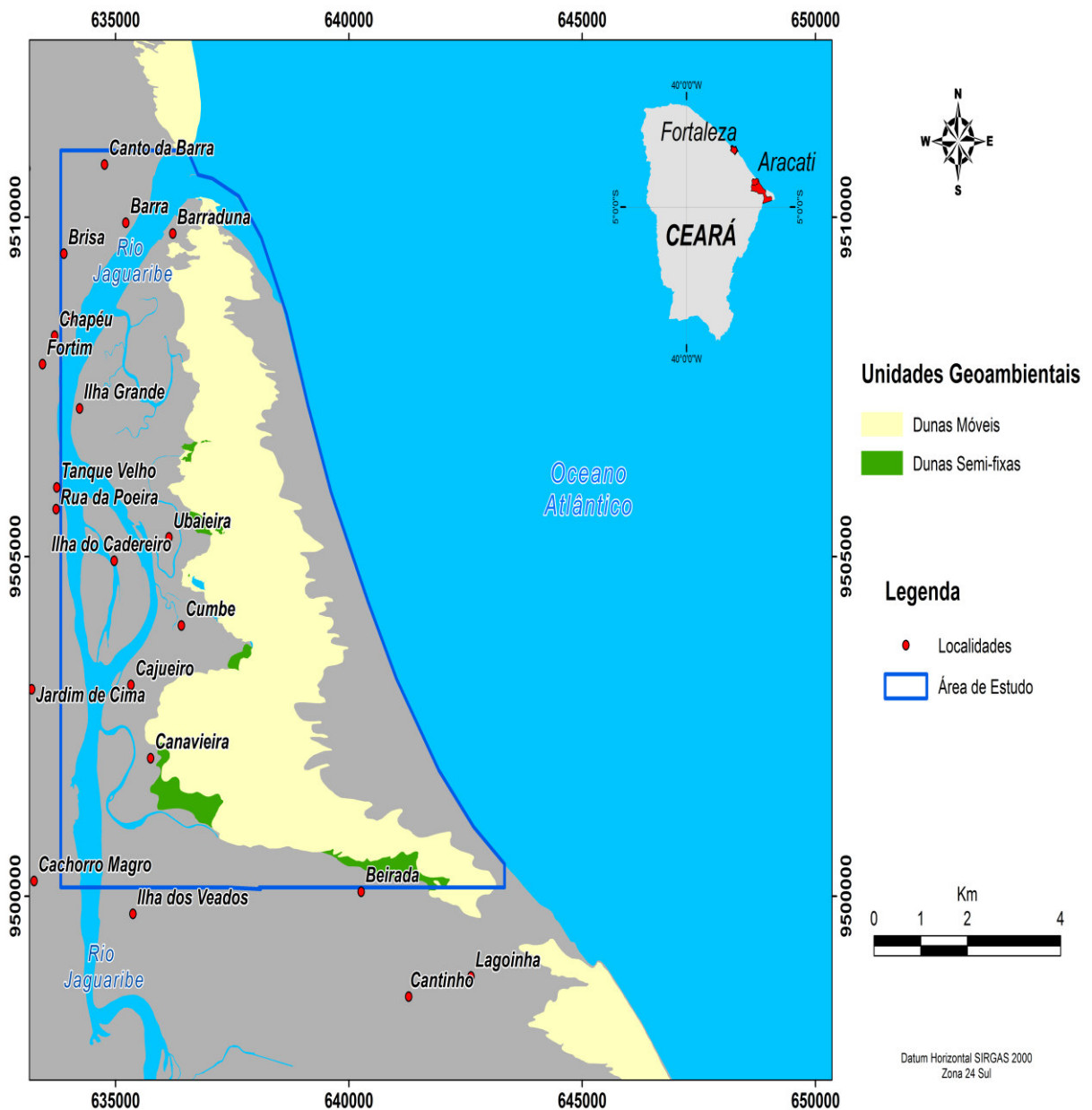


Figura 25 - Tipos de dunas na área de estudo (Fonte: PEDROSA, 2015).

Essas dunas podem ser classificadas como dunas semi-fixas (Figura 26) sem forma definida. Não há ocorrência de dunas fixas ou de dunas cimentadas na região. A ausência de dunas fixas na área provavelmente deriva do fato da existência de permanente disponibilidade de areias a sotamar, face à erosão provocada pelas ondas nas falésias que existem imediatamente a barlavento do setor de dunas, na Praia de Canoa Quebrada.

A ação permanente dos ventos alísios, que transportam as areias para a praia adjacente, também pode contribuir para essa situação. Considera-se que as

areias eólicas formam novas dunas que recobrem as antigas, impedindo a vegetalização, e sempre garantindo a migração do campo de dunas. Fatores climáticos tais como taxa de precipitação e intensidade de vento também podem interferir nesse processo (ver Capítulo 7).



Figura 26 - Duna semi-fixa próxima ao ecossistema manguezal (área de estudo) (Fonte: PEDROSA, 2014).

A ausência de dunas cimentadas pode ser explicada pela inexistência de afloramentos calcários. Com efeito, as dunas cimentadas estão limitadas ao setor oeste do litoral cearense, onde na plataforma continental interna estão confinados depósitos de calcários, os quais provavelmente foram remobilizados durante as transgressões marinhas do Quaternário.

Quanto as gerações dunares, em Canoa Quebrada domina a geração D1, caracterizada pela ocorrência de dunas atuais, móveis. No contato com o ecossistema manguezal, as dunas semi-fixas se combinam com geração de dunas anteriores às atuais, do tipo sub-atuais, definindo a existência de dunas de geração D2.

6 – CARACTERÍSTICAS SÓCIOECONÔMICAS E AMBIENTAIS DA PRAIA DE CANOA QUEBRADA

Numa visão geral da ocupação atual da zona costeira, numa escala macro-regional, pode-se aferir que do litoral norte do Rio Grande do Sul até o litoral no oeste imediato de Fortaleza, predomina uma dinâmica capitalista de uso e apropriação da terra, onde as áreas dominadas por gêneros de vida tradicionais são residuais, tendentes ao desaparecimento num curto prazo de tempo (MORAES, 1999).

Ao longo dessa vasta e contínua zona litorânea podemos constatar uma lógica do mercado, onde os espaços que ainda não foram ocupados encontram-se submetidos a processos de especulação, aguardando projetos para serem colocados à venda.

Aracati localiza-se na porção leste do Estado do Ceará, possui um acervo arquitetônico que se manifesta na morfologia urbana com a presença de sobrados e casarões tombados como Patrimônio Histórico do Ceará, a arquitetura reflete o grande apogeu econômico que o Município teve durante o século XVIII (Figura 27).

A organização do espaço é resultado das forças que atuaram na sua produção, como o Estado Português, os agentes econômicos, as irmandades religiosas, a Igreja e demais grupos sociais.



Figura 27 - Sobrados em Aracati (Fonte: PEDROSA, 2015).

GIRÃO (1989) afirma: “Aracati, como porto de mar acessível, relativamente próximo do Recife e de Salvador, tornou-se, mesmo antes de ser elevada à Vila, o pulmão da economia colonial da Capitania, cuja riqueza era, em maior parte, por ela transitada. (...) Com as charqueadas, as rendas cresceriam e mais ainda, a Vila. Aracati exteriorizava sua opulência na arquitetura e no trato social (...)”.

Em decorrência das secas constantes que assolaram a região, mais precisamente a seca dos “três setes” (1777), houve um declínio das charqueadas e da criação de gado, quando o Ceará perdeu parte do rebanho e a partir desse momento, surgiu outra atividade econômica, a cultura do algodão, assumindo papel de destaque na economia cearense.

A população absoluta do Município do Aracati, segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE (2013), é de 71.749 habitantes. A composição do perfil populacional do Município apresenta dois grupos distintos, sendo o primeiro grupo representado pela população nativa, os que residem no Município e, o segundo grupo, pela população que vem do próprio Estado, principalmente da capital cearense, além dos veranistas e os turistas que vêm de vários países.

Em relação às condições educacionais, segundo o Censo (2010), o Município do Aracati apresenta uma taxa de 19,35% de analfabetismo na faixa etária acima de 15 anos, superior a taxa de 9,37% no Brasil, a rigor, deveria estar ingressando no ensino médio.

Vale ressaltar que essa faixa etária deveria estar amparada pelo Estado, visto que é um direito constitucional. Existe uma necessidade de compromisso político dos governantes e da sociedade civil com a educação de crianças e adolescentes na área.

Em relação à distribuição de renda, de acordo com os estudos socioeconômicos do IPLANCE, a população do Município do Aracati é extremamente pobre, com rendimento domiciliar per capita mensal de até R\$ 70,00 (CENSO, 2010). A renda dos chefes de domicílios, segundo as classes de rendimento médio mensal dos seus respectivos chefes em 1991, teve os rendimentos médios tomados com base no salário mínimo, o que permite considerar válida a apreciação dos resultados ainda hoje. No Estado do Ceará, observa-se que

60,6% dos chefes de famílias recebem até um salário mínimo, por outro extremo, 3,1% dos chefes de domicílios recebem acima de dez salários mínimos, essa discrepância nos faz concluir que no Ceará existe uma grande desigualdade na distribuição de renda.

As condições de saúde no Município são precárias a exemplo da falta de equipamentos e materiais essenciais, bem como escassez de recursos humanos, tudo isso vindo a comprometer seu desempenho e acesso aos serviços com responsabilidade de atendimento. Segundo a Organização Mundial da Saúde, a relação leito/hab é de 3,33 e no Município é de apenas, 0,29 leito/hab; no tocante à relação médico por mil habitantes, o Município registra 0,82, relação considerada insatisfatória e abaixo da última registrada no Ceará, que foi de 1,69 em 1997. Em 1988, o Município só possuía 86 agentes de saúde, o recomendado pela Organização Mundial da Saúde é de 146 agentes de saúde para atender 100% da população.

Este segundo grupo justifica-se pela localização da praia de Canoa Quebrada no Município, um dos destinos internacionais mais procurados pelos visitantes. Esse grande número de turistas que frequenta o ano inteiro a Praia de Canoa Quebrada contribui, de forma significativa, no incremento da economia e geração de empregos no local. Outro grande evento que contribui na geração de renda do Município é o tradicional carnaval que atrai uma média de 150.000 visitantes todos os anos.

A lógica mercantilista se expressa de forma bastante concreta, incluindo a área de estudo, a Praia de Canoa Quebrada, destacando-se a atividade turística, sendo uma das regiões de maior fluxo turístico do país e de intensa especulação imobiliária.

O crescimento do espaço urbano de Canoa Quebrada ocorreu de forma desordenada e com ausência de planejamento e, conseqüentemente, houve uma ocupação predatória dos recursos naturais.

Canoa Quebrada é um espaço turístico, abstrato e fragmentado para alguns tipos de turistas, especuladores imobiliários, moradores estrangeiros, mas também é espaço vivido e percebido e, fundamentalmente, lugar, para grande parte dos nativos e de moradores que vêm de outros estados brasileiros e países.

Cada agente produtor do espaço é responsável pelas práticas que desenvolvem na Praia de Canoa Quebrada, através da vivência e interpretação que fazem desse núcleo urbano (Figura 28).



Figura 28 - Núcleo urbano de Canoa Quebrada (Fonte: PEDROSA, 2015).

Os hippies, após a população nativa, foram os primeiros a chegar à Canoa Quebrada, que a partir desse momento passou gradativamente a ser conhecida nacional e internacionalmente. Por outro lado, essa fama também atraiu pessoas que se estabeleceram definitivamente em Canoa, provocando mudanças significativas em todos os aspectos da sociedade.

6.1. Problemas ambientais em Canoa Quebrada

Em todo o litoral brasileiro a problemática ambiental torna-se comum, a valorização acelerada da zona costeira brasileira não tem atenção por parte do poder público quanto ao uso e ocupação do solo de forma ordenada, necessitando urgentemente de um planejamento eficaz para impedir a degradação da paisagem.

Rodrigues (1998) concorda quanto ao papel fundamental da ação social quando afirma que: “a questão ambiental deve ser compreendida como um produto da intervenção da sociedade sobre a natureza. Diz respeito não apenas a problemas

relacionados à natureza, mas a problemas decorrentes da ação social. Corresponde à produção destrutiva que se caracteriza pelo incessante uso de recursos naturais sem possibilidade de reposição”.

A especulação imobiliária é a maior responsável por todas as transformações na produção do espaço geográfico em Aracati, especialmente na Praia de Canoa Quebrada, distrito de maior ocupação atual dentro do município. A ocupação desordenada do núcleo urbano através de pousadas, condomínios residenciais, casas de veraneio, barracas de praia são marcantes na paisagem (Figura 29).



Figura 29 - Vista geral do núcleo urbano de Canoa Quebrada (Fonte: Site www.aracati.com.br, 2015).

Com efeito, em Canoa Quebrada, em função da ausência de aplicação das leis ambientais e pela omissão do poder público, sérios impactos ambientais podem ser observados ao longo da faixa praial.

Assim, ocorreu a proliferação de segundas residências: casas de veraneio, condomínios fechados, rede hoteleira e loteamentos. Em muitos casos desrespeitando as leis ambientais (lei nº 40/98), a qual determina os limites da Área de Proteção Ambiental e paisagística da zona costeira do município do Aracati, sendo construídos em área de preservação ambiental como podemos observar na Figura 30.



Figura 30- Loteamento na Área de Proteção Ambiental. UTM: 4°30'07.97"S / 37°43'35.57"O e 4°30'59.15"S / 37°42'50.81"O (Fonte: Google Earth, 2015).

Toda a faixa de Praia de Canoa Quebrada é caracterizada pelo uso e ocupação desordenada do espaço (Figura 31). São escadarias construídas sobre as falésias (Figura 32), construções de condomínios de veraneio sobre as dunas e planície de deflação (Figura 33) e aerogeradores sobre as dunas (Figura 34). Fica registrado no espaço geográfico de Canoa Quebrada o predomínio do desenvolvimento econômico, tendo como foco o grande potencial turístico, econômico, geração de emprego e renda para a comunidade local, em detrimento do desenvolvimento socioambiental.

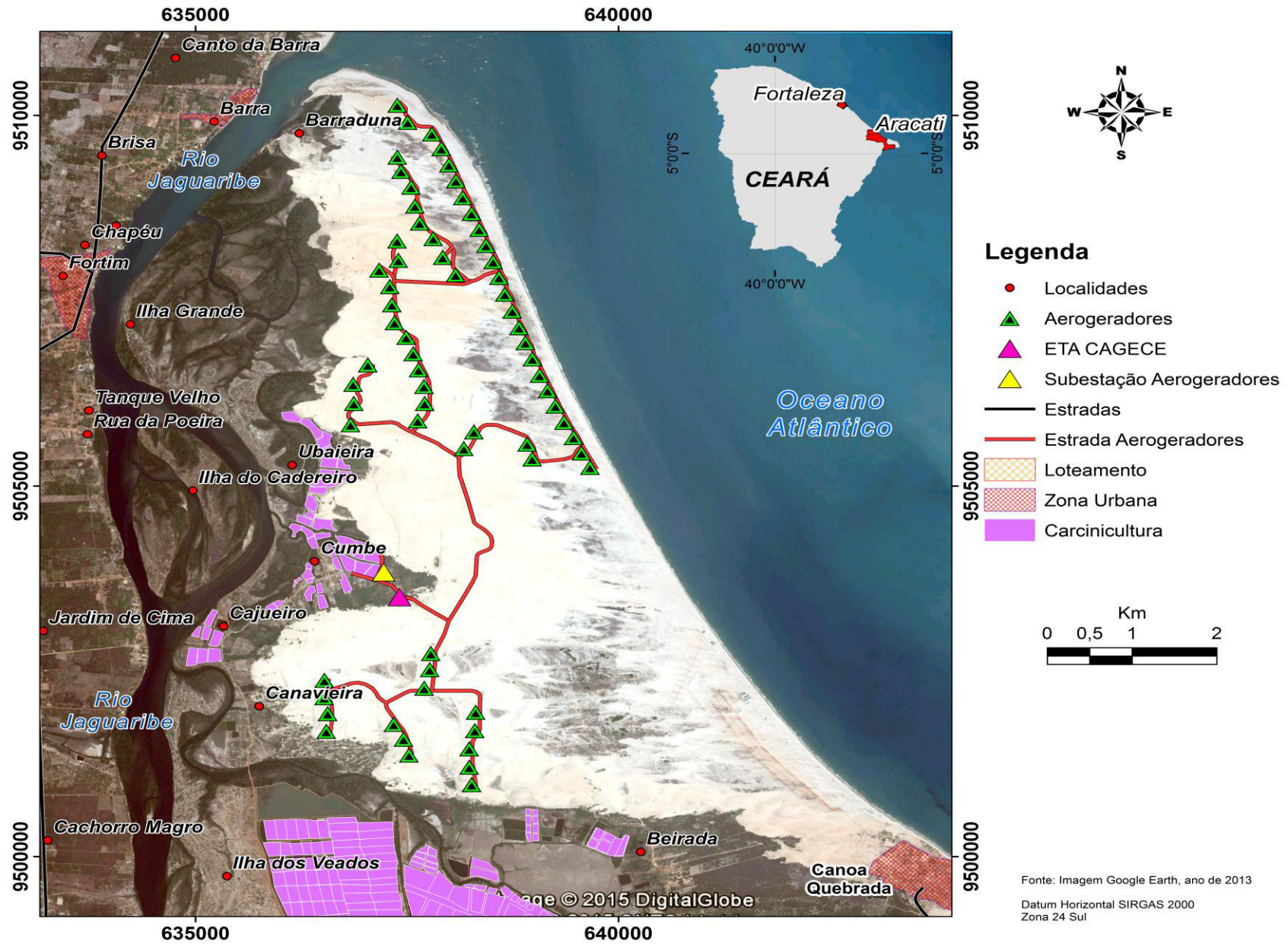


Figura 31 - Mapa do uso e ocupação do espaço geográfico (Fonte: PEDROSA, 2015).



Figura 32 – Ocupação desordenada da falésia em Canoa Quebrada (Fonte: PEDROSA, 2014).



Figura 33 – Condomínio de veraneio localizado sobre planície de deflação – Canoa Quebrada (Fonte: PEDROSA, 2014).



Figura 34 - Aerogeradores sobre as dunas em Canoa Quebrada. (Fonte: PEDROSA, 2014)

6.2. A APA – Área de Proteção Ambiental de Canoa Quebrada

A Área de Proteção Ambiental – APA de Canoa Quebrada foi criada através da Lei nº 40/98 de 20 de março de 1998 a qual determina os limites da Área de Preservação Ambiental e Paisagística da Zona Costeira do Município de Aracati, na qual também foram criados a Área de Relevante Interesse Ecológico, ARIE – Estêvão, com 200 hectares, e o Conselho Deliberativo da APACQ, órgão que tem como objetivo fiscalizar a APA-CQ juntamente com o Comitê Gestor.

A Lei nº 052/01 foi aprovada pela Câmara Municipal de Aracati, ampliando a área da APA para 6.340,75 hectares, com perímetro de 38.139,22 metros.

De acordo com a lei, a criação da APA de Canoa Quebrada teve por objetivos:

a) *Proteger as comunidades bióticas nativas, as dunas fixas e móveis, as paleodunas, as falésias, as gamboas, as lagoas perenes e intermitentes, os mangues, as formações geológicas de grande potencial paisagístico, os arrecifes e os solos;*

b) proporcionar e desenvolver na população regional uma consciência ecológica e conservacionista através de métodos e técnicas apropriadas ao uso do solo, de maneira a não interferir no funcionamento dos refúgios ecológicos.

A área de Proteção Ambiental de Canoa Quebrada é uma unidade de conservação que pretende regular a exploração e ocupação da região. Sua extensão vai de Porto Canoa à foz do rio Jaguaribe. Engloba trecho da zona costeira, incluindo dunas móveis e fixas, falésias, manguezais, mananciais e lagoas (Figura 35).

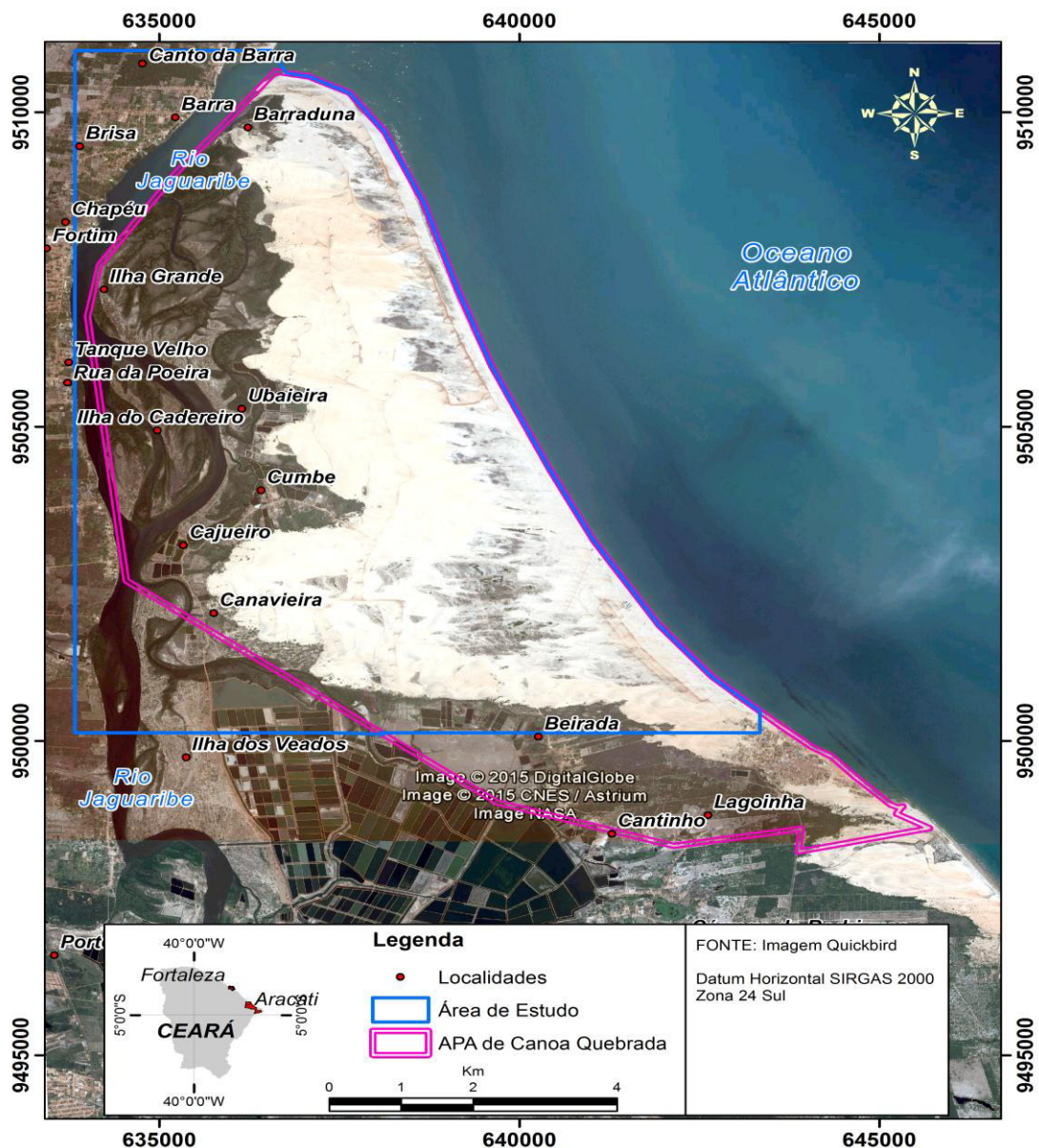


Figura 35 – Mapa de localização da APA de Canoa Quebrada em relação à área estudo. Fonte: (PEDROSA, 2015)

A maior abrangência da APA de Canoa Quebrada corresponde ao campo de dunas móveis que se estende continuamente desde a enseada entre o Complexo Turístico Porto Canoa e o povoado de Canoa Quebrada até a foz do rio Jaguaribe.

Alguns impactos ambientais são causados no campo de dunas em Canoa Quebrada pelos turistas em passeio de bugres e cavalos, que resulta na degeneração das espécies vegetais fixadoras das dunas, causando aumento do transporte eólico contribuindo no deslocamento das dunas móveis bem como surgimento de ravinas e voçorocas (Figura 36).



Figura 36 - Estrada construída sobre as dunas móveis na APA de Canoa Quebrada para a realização de passeios de bugres atendendo mercado do turismo (Fonte: PEDROSA, 2014).

Alguns impactos naturais, sem intervenção antrópica, são observados nas falésias causados pela dinâmica das ondas, que têm expressão topográfica desde Canoa Quebrada até quase Porto Canoa, sendo em alguns trechos recobertas pelas dunas móveis. Constatamos que na Praia de Canoa Quebrada as dunas ultrapassam 30 metros de altura (Figura 37).



Figura 37 – Duna móvel na área de estudo medindo 34m de altura (Fonte: PEDROSA, 2014).

Um aspecto comum observado na costa brasileira e no litoral leste do Ceará, onde está localizada a área de estudo, é a dinâmica natural das ondas, que está provocando escavamento e solapamento nas falésias sendo agravados devido à intensa ocupação antrópica oriunda da especulação imobiliária. A ocupação esta produzindo impermeabilização do solo, através das construções, impedindo a infiltração das águas das chuvas, ocorrendo assim o escoamento superficial provocando voçorocas.

A ausência de saneamento básico é um problema gravíssimo em Canoa Quebrada e agrava-se ainda mais devido à permeabilidade do solo; não havendo nenhum tratamento adequado dos esgotos, estes infiltram-se poluindo e comprometendo a qualidade ambiental e de vida da comunidade (Figura 38) .



Figura 38 – Esgoto a céu aberto na praia de Canoa Quebrada (Fonte: PEDROSA, 2014).

Em relação às barracas de praia, durante todo o dia, armazenam, em tanques localizados no sopé das falésias, todos os efluentes coletados dos banheiros e no final da tarde são lançados no mar (Figura 39).



Figura 39 – Sopés das falésias nos fundos das barracas utilizados para armazenamento de entulho ou instalação de tanques de esgoto- Canoa Quebrada. (Fonte: Projeto Canoa, 2002).

A CAGECE – Companhia de Água e Esgoto do Ceará é responsável pelo sistema de abastecimento d'água em Canoa Quebrada. A coleta de lixo é realizada pela Prefeitura Municipal de Aracati através de carroças, caçambas ou tratores em função das dificuldades de acessibilidade a alguns pontos. O lixo coletado é acondicionado em *containers*, muitas vezes mal localizados causando incômodo aos moradores da região.

Em 2002 surgiu o Projeto Canoa, como Projeto Estruturante de Aracati quando da elaboração do Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano (PDDU) do Município, tendo em vista a importância de Canoa Quebrada no cenário turístico do Estado e seu frágil e rico patrimônio paisagístico-ambiental (PMA, 2002). Teve como principais objetivos a organização espacial da ocupação urbana e desenvolvimento das potencialidades do espaço natural e da atividade turística de Canoa Quebrada/Estevão; resolver situações insustentáveis viabilizando um sistema de circulação de pessoas, transportes satisfatório e proporcionar infra-estrutura básica aos núcleos urbanos atendendo a demanda turística.

Este projeto deverá trazer mudanças estruturais importantes no núcleo urbano de Canoa Quebrada, tais como: rede coletora de esgotamento sanitário com estação de tratamento; sistema de drenagem de águas pluviais, terraplanagem, iluminação pública e pavimentação em pedras das principais vias; edificações de apoio à comunidade e às atividades turísticas como: centro esportivo, centro de apoio à comunidade e ao turismo, terminal de passageiros, Praça Dragão do Mar e Praça dos Pescadores com tratamento paisagístico e urbanístico; calçadão da Broadway, além de estacionamentos e obras de contenção e restauração de falésias.

Antes de ser implementado, o projeto foi debatido com a comunidade através da realização de oficinas de modo a informar a população local e para que este correspondesse aos seus anseios. Como resultado das inúmeras oficinas realizadas, foram produzidos relatórios onde se constatou a existência de uma consciência ambiental, embora não ocorrendo em toda comunidade, bem como a importância que a atividade turística vem exercendo em Canoa Quebrada; passando a exigir um maior controle sócio-ambiental para o núcleo, assim como intervenções

destinadas a construção de infra-estrutura e novos espaços de convivência, de modo a mitigar a degradação progressiva da área.

O projeto teve o financiamento do Banco Internacional para a Reconstrução e Desenvolvimento - BIRD, que exigiu que fosse elaborado um plano de gestão da APA de Canoa Quebrada simultaneamente aos projetos físicos, o que demonstrou uma preocupação ambiental, visto que não se poderia qualificar um espaço para o turismo sem um mecanismo de ordenamento e controle do uso e ocupação da APA. Este plano envolveu seis fases: diagnóstico sócio-ambiental, zoneamento ambiental, legislação ambiental, programas de ação, sistema de gestão e monitoramento ambiental.

Um grande aspecto positivo com a implementação do Projeto Canoa foi a articulação da comunidade de Canoa Quebrada no tocante ao posicionamento de expressar suas ideias através das oficinas de planejamento e, mesmo sendo a favor do turismo, tem a consciência da realidade atual dos impactos ambientais em Canoa Quebrada, e entende que toda essa degradação ambiental ocorreu devido à apropriação inadequada, desordenada do espaço, que é responsável pelos sérios problemas ambientais.

Como resultado do Projeto Canoa, através do desenvolvimento de oficinas nas quais a opinião da população foi levada em consideração, os principais problemas identificados pela comunidade, técnicos e órgãos governamentais encontram-se relacionados na Tabela 02.

Tabela 02 - Principais problemas de Canoa Quebrada identificados nas oficinas de Planejamento.

01. Destruição das falésias;	06. Falta de arruamento ordenado, dificultando a circulação;
02. Construção nas falésias;	07. Ocupação em terreno de cemitério;
03. Surgimento de crateras nas falésias; provocadas pelas águas da chuva;	08. Ausência de acesso à praia e a algumas áreas do núcleo;
04. Construção irregular nas dunas;	09. Especulação imobiliária;
05. Falta de disciplinamento na circulação de veículos nas dunas;	10. Invasão de areia nas casas;
11. Desmatamento das dunas fixas;	18. Pouca arborização nas ruas;
12. Águas servidas nas ruas e becos;	19. Iluminação pública deficiente;
13. Ausência de drenagem nas ruas;	20. Congestionamento nas principais

14. Esgotos na praia; 15. Invasão de construções na rua Broadway; 16. Ausência de normas urbanísticas (como limite de altura para edificações); 17. Ausência de padronização para construção de pousadas;	ruas; 21. Animais e lixo na praia; 22. Implantação de barracas de praia provocando poluição visual e ambiental; 23. Ausência de disciplinamento para horário de funcionamento e limite de volume de som de bares e restaurantes.
--	---

(FONTE: Projeto Canoa / PMA, 2002).

Decorridos treze anos do surgimento do Projeto Canoa, que objetivava proporcionar mudanças estruturais e ambientais na região, os principais problemas identificados pelo referido projeto, infelizmente não foram concretizados. Existe uma continuidade das práticas inadequadas de utilização do espaço, como: uso e ocupação desordenados das falésias e dunas desrespeitando as leis ambientais, infra-estrutura precária (ausência de saneamento), poluição sonora e visual. Vale ressaltar que toda essa região está inserida na APA, protegida por lei.

6.3. O desmatamento para a prática da carcinicultura

Bolós (1992), ao delimitar o tempo como referência participante da definição de uma paisagem, atenta para o fato de que ele possui um interesse múltiplo indicando o tempo presente, o tempo da constituição de uma paisagem e o tempo referido à dinâmica de uma paisagem. No caso da planície fluvial e da planície fluviomarina do rio Jaguaribe a situação se apresentaria da seguinte forma:

- x Tempo presente - o tempo referido à paisagem somada ao espaço, delimitado em função de um recorte para a análise;
- x Tempo de constituição - o tempo necessário para a formação das planícies fluvial e fluviomarina;
- x Tempo referido à dinâmica da paisagem, estaria ligado ao primeiro momento em que a atividade se instalou na região e inseriu modificações.

O tempo é um elemento interessante no estudo de uma paisagem como é o caso da área já especificada. Ao longo do tempo, a natureza e o homem deixam impressas suas marcas evolutivas que, indispensavelmente, fazem-se presentes na constituição das paisagens. Os resultados são observáveis e já podem ser

identificados como elementos que se estabelecem através de interações com outros mais recentes, se não atuais, caracterizando os processos evolutivos da paisagem.

Neste sentido, relativamente à carcinicultura no Município de Aracati, algumas considerações são pertinentes, sendo:

- Quando foi iniciada a implantação da atividade, produtores construíram fazendas em áreas de manguezal;
- a construção de tanques nos manguezais ocorreu principalmente por desconhecimento dos problemas causados pelas variações bruscas de salinidade na água;
- as novas áreas de expansão da atividade localizam-se na planície de inundação fluvial em áreas de carnaubais;
- os efluentes são direcionados ao rio, pois não existem estações coletoras para o tratamento;
- apenas um número reduzido de fazendas possuem lagoas de decantação;
- a atividade promoveu a abertura de postos de trabalho formais na sede e nas localidades mais afastadas, modificando sensivelmente a vida dos habitantes que dependiam de atividades sazonais;
- a carcinicultura mantém relação de conflito com o turismo, considerando que a primeira necessita modificar a paisagem para se alocar e, a segunda, tratando-se do turismo ecológico, necessita da paisagem natural para se realizar;
- a carcinicultura mantém relação de conflito com o artesanato da palha da carnaúba, tendo em vista que as áreas mais recentes de expansão da atividade localizam-se nos carnaubais.

A carcinicultura é realizada em regiões estuarinas, local de encontro das águas salinas e fluviais. Essa atividade destaca-se no cenário econômico do Município do Aracati. De acordo com informações da Agência de Desenvolvimento do Estado do Ceará S/A - ADECE (2013), o Ceará é o maior produtor de camarão do país, apresentando 180 empreendimentos em fase de operação no ano de 2009, distribuídos no interior mas, principalmente, no litoral, os quais juntos somam uma área 5.645,00 ha em 21 municípios, produzindo 25 mil toneladas por ano e valor bruto da produção de R\$ 200 bilhões, onde a maior parte destina-se ao mercado interno.

A prática da carcinicultura em Aracati provoca grandes modificações no espaço geográfico, principalmente com a retirada do manguezal, apicuns, salgados e carnaubais causando impacto ambiental (Figura 40). Estas modificações no espaço ocorrem em várias etapas, onde no primeiro momento de implantação da carcinicultura, são construídos os viveiros de engorda fixados nas áreas de bosques de manguezais, nesse momento faz-se o desmatamento do manguezal, como podemos observar na localidade de Cumbe.

No segundo momento, os cativeiros são instalados nas áreas de salgado e apicuns, regiões com grande dinâmica ambiental. No médio curso do rio Jaguaribe foram construídas fazendas, sendo desmatadas a carnaúba e mata ciliar.



Figura 40 – Carcinicultura - Cumbe/Aracati. (Fonte: PEDROSA, 2014).

7. ANÁLISE ESPAÇO-TEMPORAL DAS TAXAS DE MIGRAÇÃO DO CAMPO DE DUNAS DA PRAIA DE CANOA QUEBRADA COM BASE NA INTERAÇÃO DOS INDICADORES METEOROLÓGICOS

Aqui verificamos as análises das taxas de migração do campo de dunas móveis como um todo considerando os anos de 1988, 2004, 2010 e 2013 fazendo uma inter-relação com os dados meteorológicos.

7.1. As taxas de migração do campo de dunas móveis

A ação dos ventos, a sazonalidade das precipitações pluviométricas e a insolação, atuam na dinâmica de transporte de sedimentos. Os ventos na região nordeste do Brasil sofrem influência de um forte ciclo temporal definido por um período anual. As variações da ZCIT (Zona de Convergência Intertropical) ocasionam mudanças nesse sistema climático, uma vez que controla essa ação eólica.

A ZCIT é uma região caracterizada pela confluência dos ventos alísios de nordeste e sudeste, correspondendo a uma elevada nebulosidade e baixa pressão atmosférica. Esta zona de convergência migra de sua posição mais ao norte nos meses de agosto a outubro, diminuindo progressivamente com sua migração para o equador, até alcançar os mínimos valores anuais durante os meses de março e abril, quando os ventos de sudeste são mais fracos (QUADRO et al. 1997; MARENGO e UVO, 1997 e Maia et al., 1996).

Os ventos apresentam-se no litoral cearense como um importante componente da dinâmica da paisagem e fundamental para o entendimento da geodinâmica do campo de dunas. As direções predominantes são de SE, ESE, E e NE. As médias de velocidade chegam a superar os 4,5 m/s nos meses mais secos. No período de estiagem, que ocorre no segundo semestre, os ventos são mais intensos e os de sudeste são os que predominam. No início da estação chuvosa, passa a predominar os de nordeste devido à chegada da ZCIT.

Para evidenciar a geodinâmica evolutiva do campo de dunas de Canoa Quebrada, foram definidas as dunas móveis do tipo longitudinais (de pequena ocorrência), barcanóides (de expressiva ocorrência) e os lençóis de areias que são dominantes e que migram de leste para oeste.

As dunas móveis presentes no litoral de Canoa Quebrada exercem importante função como reservatórios de sedimentos para a manutenção de um aporte regulador de areia ao longo da faixa de praia. Agem de modo a evitar processos erosivos, ao contribuir com aporte sedimentar para a deriva litorânea.

Na Figura 41 podemos observar a média de migração para todo o campo de dunas de Cano Quebrada, que foi de 7,25 m/a. A maior taxa de migração foi 18,40 m/a (Transecto 39), enquanto a menor foi de 0,50 m/a (Transecto 2).

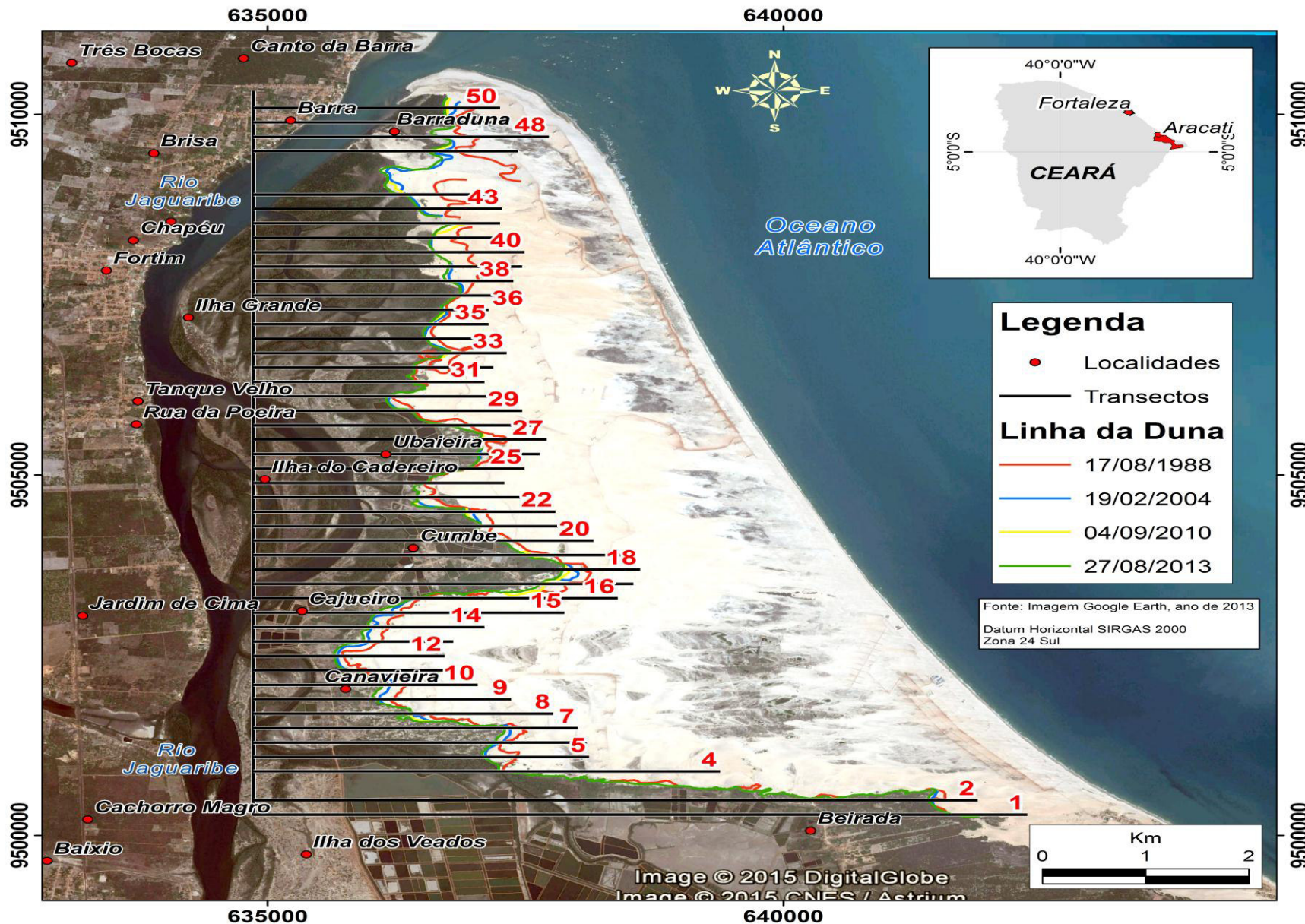


Figura 41 – Mapa da média de migração para todo o campo de dunas da área de estudo (Fonte: PEDROSA, 2015).

Na Figura 42 temos os dados de migração considerando os intervalos de 1988-2004; 2004-2010 e 2010-2013. No período de 1988-2004, ocorreram as maiores taxas de migração no campo de dunas. Já nos espaços entre 2004-2010 e 2010-2013, observa-se uma diminuição das taxas de migração, sendo que, nesse último intervalo, percebemos as menores taxas.

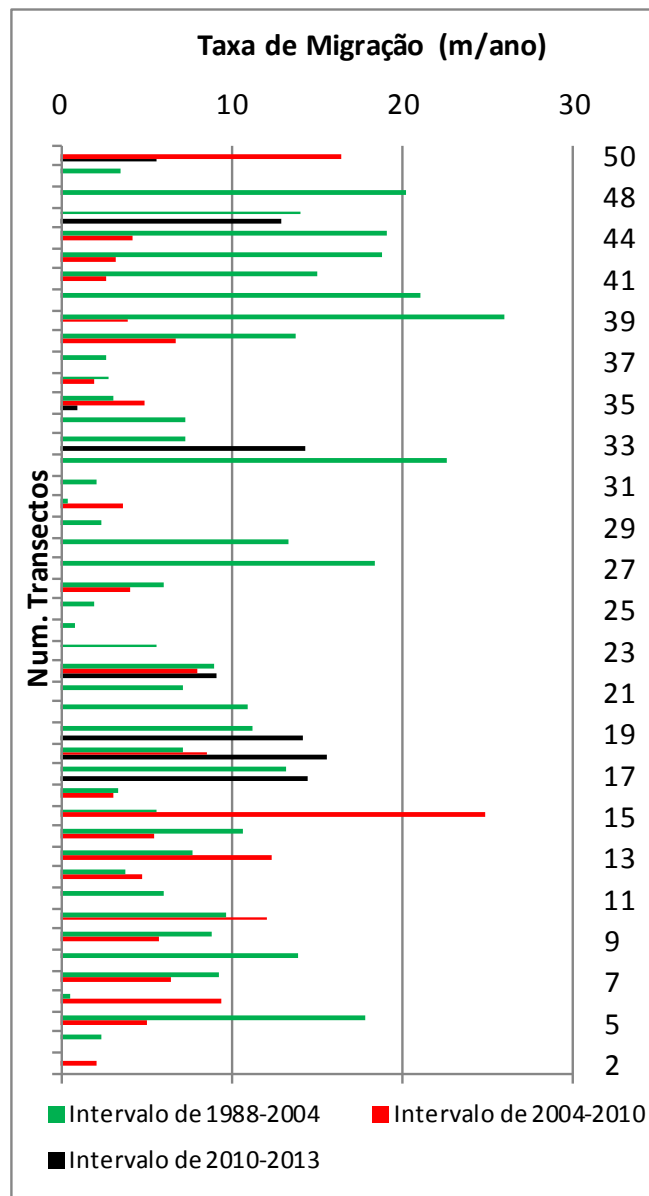


Figura – 42- Dados de migração dos intervalos estudados (1988-2004; 2004-2010; 2010-2013) (Fonte: PEDROSA, 2015).

A partir das cinco distâncias observadas na Figura 42, tem-se uma distância média da face de sotavento das dunas até o leito do rio Jaguaribe, de 1.432,76m, onde está localizado o ecossistema manguezal. O ponto mais distante (04), mede 2.479,46m, já o mais próximo (03), dista 607,71m (Figura 43).

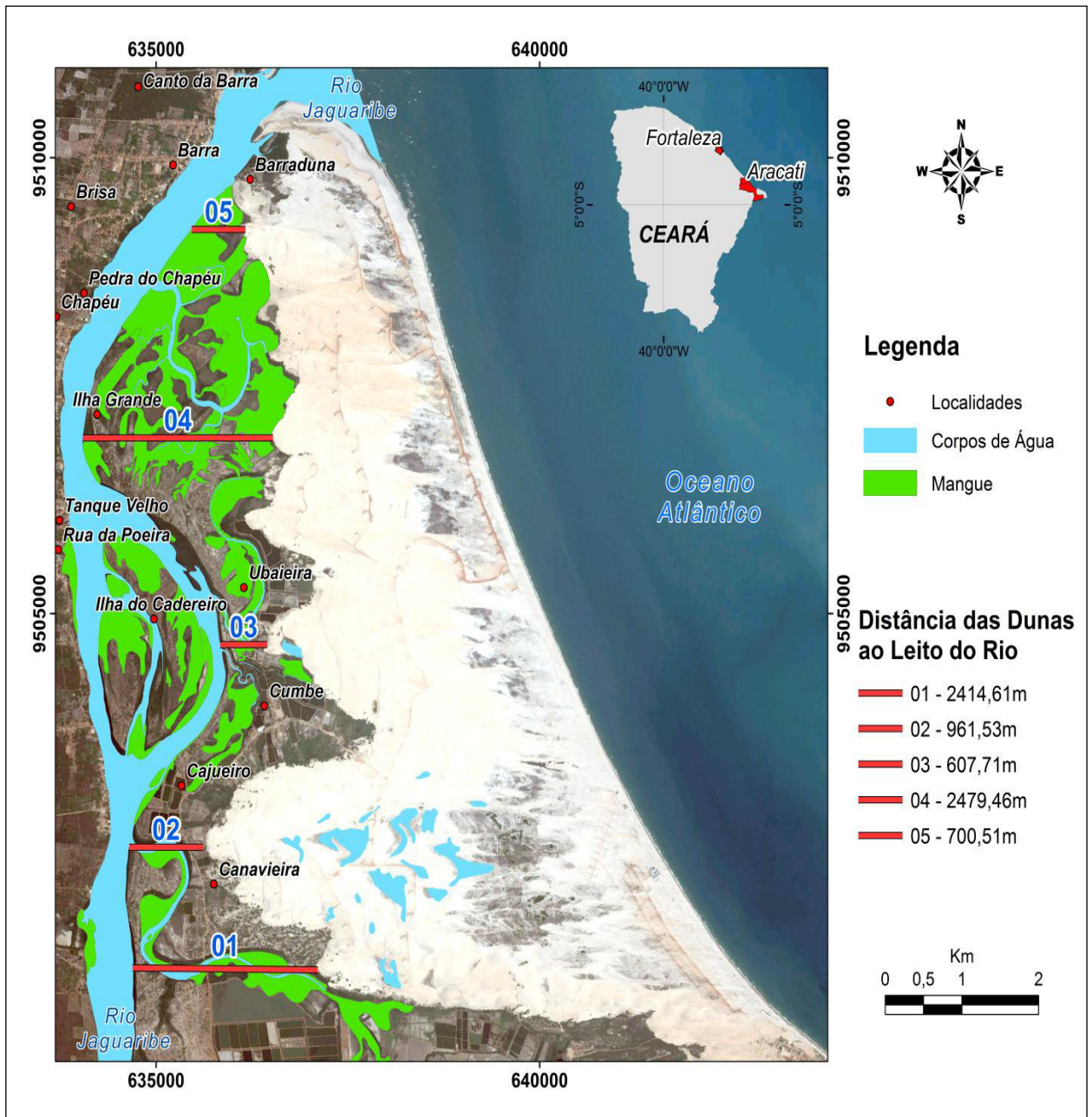


Figura 43 – Mapa das distâncias da face de sotavento das dunas ao leito do rio Jaguaribe e áreas de mangue (Fonte: PEDROSA, 2015).

7.2. Análise dos dados meteorológicos e taxas de migração do campo de dunas

A variação anual da precipitação pluviométrica é controlada pelo movimento da ZCIT, principal sistema sinótico responsável pela quadra chuvosa no Estado, que dependendo da sua posição e tempo, pode provocar chuvas intensas.

Com o regime pluviométrico variável, todavia, as precipitações ocorrem no primeiro semestre, distribuindo-se entre os meses de março e maio (BRANDÃO, 1995). Para a região em estudo, a precipitação média anual alcança valores em torno de 1024 mm (FUNCEME, 2015).

O regime pluviométrico da área de estudo é do tipo tropical brando com a estação chuvosa concentrada em cinco meses consecutivos. A estação chuvosa começa geralmente no mês de fevereiro, com os valores máximos frequentemente associados aos meses de março e abril.

No primeiro semestre, a intensidade dos ventos e a insolação são menos elevados, apresentando elevados índices de precipitação. No segundo semestre, ocorre o inverso, elevando-se a velocidade dos ventos e a insolação. Desta forma, a migração das dunas da área de estudo é mais efetiva no segundo semestre.

A partir de julho as precipitações diminuem até o mês de novembro, ocorrendo as maiores taxas de migração da área de estudo. O primeiro semestre do ano responde, em média, por mais de 90% das precipitações anuais, principal fator responsável pela queda das taxas de migração do campo de dunas de Canoa Quebrada.

A relação entre as médias de pluviometria, velocidade dos ventos é um importante indicador para a análise da geodinâmica morfogenética do campo de dunas de Canoa Quebrada. É importante evidenciar que o regime dos ventos atua de modo a definir o formato e a orientação das dunas (KOCUREK e EWING, 2005).

Na Figura 44 temos o gráfico A onde verificamos a relação das taxas de migração e precipitação anual no campo de dunas da área de estudo nos intervalos 1988-2013.

As maiores precipitações ocorreram no período de 2004-2010 superando 1.000 mm/ano (Gráfico B), enquanto que as maiores taxas de migração foram registradas no intervalo de 1988-2004, alcançando 9.3 m/ano (Gráfico A). Já as menores precipitações e taxas de migração aconteceram no período de 2010-2013 com 700 mm/ano e 2 m/ano respectivamente (Gráfico A e C).

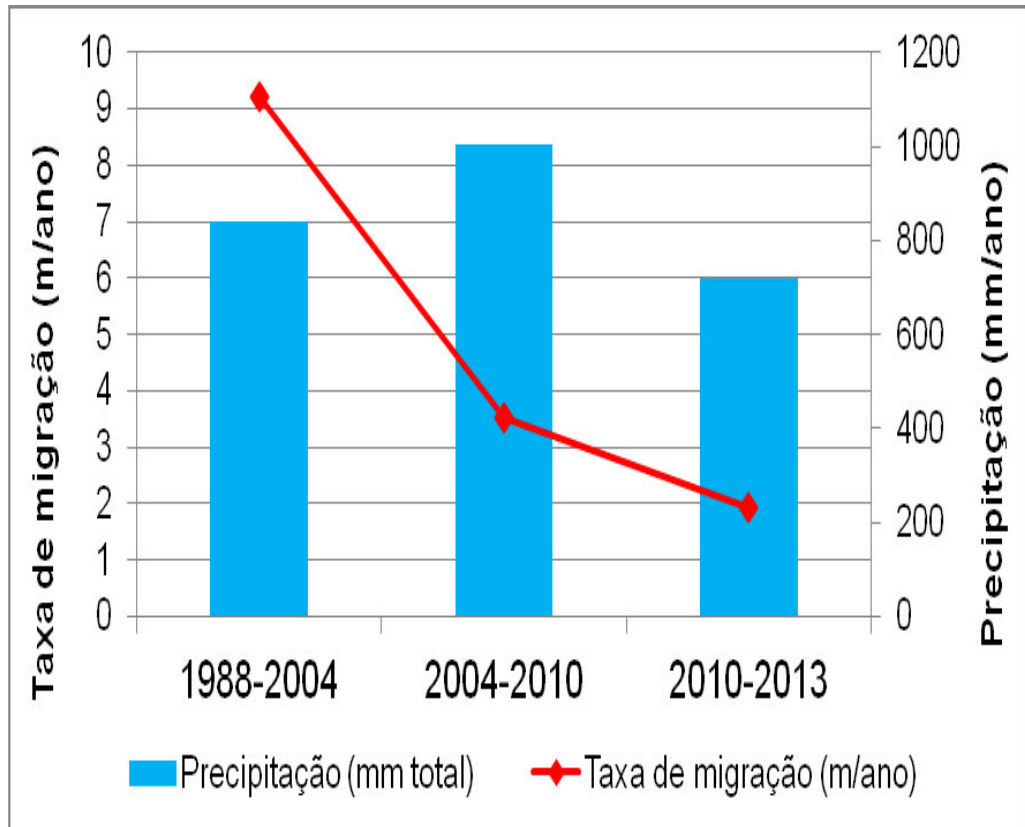


Gráfico A

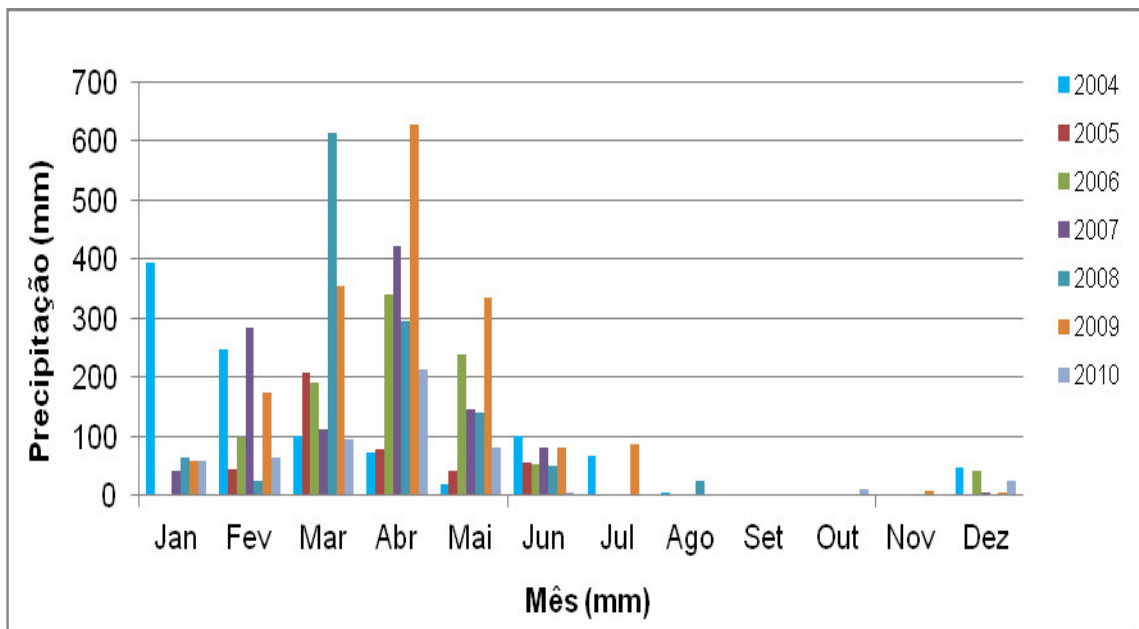


Gráfico B

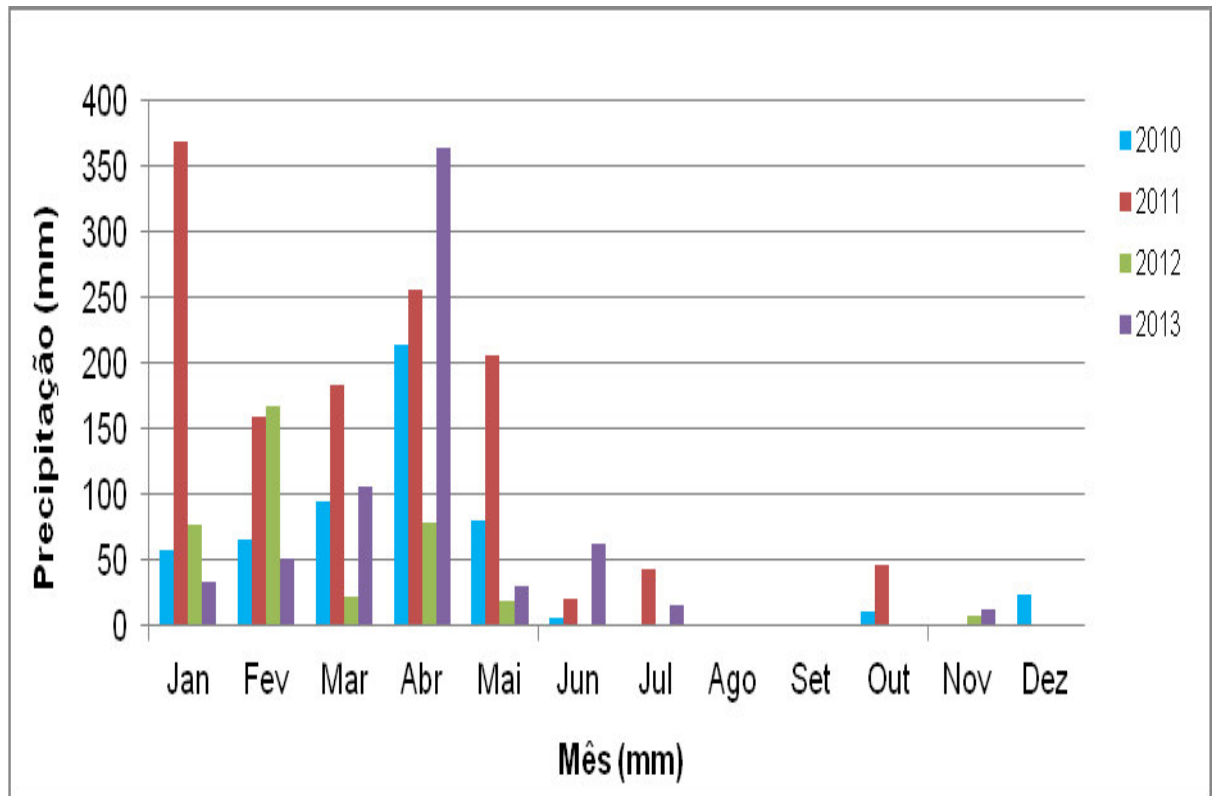


Gráfico C

Figura 44 – Gráficos das taxas de migração e precipitação (Fonte: PEDROSA, 2015).

As causas podem ser explicadas através da implantação dos aerogeradores, construídos a partir de 2009 e pela contenção de sedimentos nas dunas realizada pela ação antrópica.

As usinas que estão operando revelaram que a área ocupada pelos aerogeradores é gravemente degradada – terraplenada, fixada, fragmentada, alteradas a morfologia, topografia e fisionomia do campo de dunas -, pois se faz necessário a manutenção de uma rede de vias de acesso para cada um dos aerogeradores e resguardar a base dessas estruturas da erosão eólica. Com isso iniciou-se um generalizado e aleatório processo de fixação artificial das areias.

A Figura 43 mostra que quando há queda na precipitação por ano há um aumento na taxa de migração anual. Salvo para o intervalo entre os anos de 2010 e 2013 que por algum motivo as dunas não migraram seguindo o padrão de taxa de migração dos anos anteriores, ou seja, quando ocorre a queda na precipitação no intervalo 2004-2010 para 2010-2013, há uma queda na taxa de migração para aproximadamente 1,8 m/ano. Pode-se então retomar a questão do porquê da taxa

de migração ter diminuído neste intervalo. Na figura 45 podemos ver dados eólicos dos anos de 2010 e 2013 relacionados com as precipitações pluviométricas.

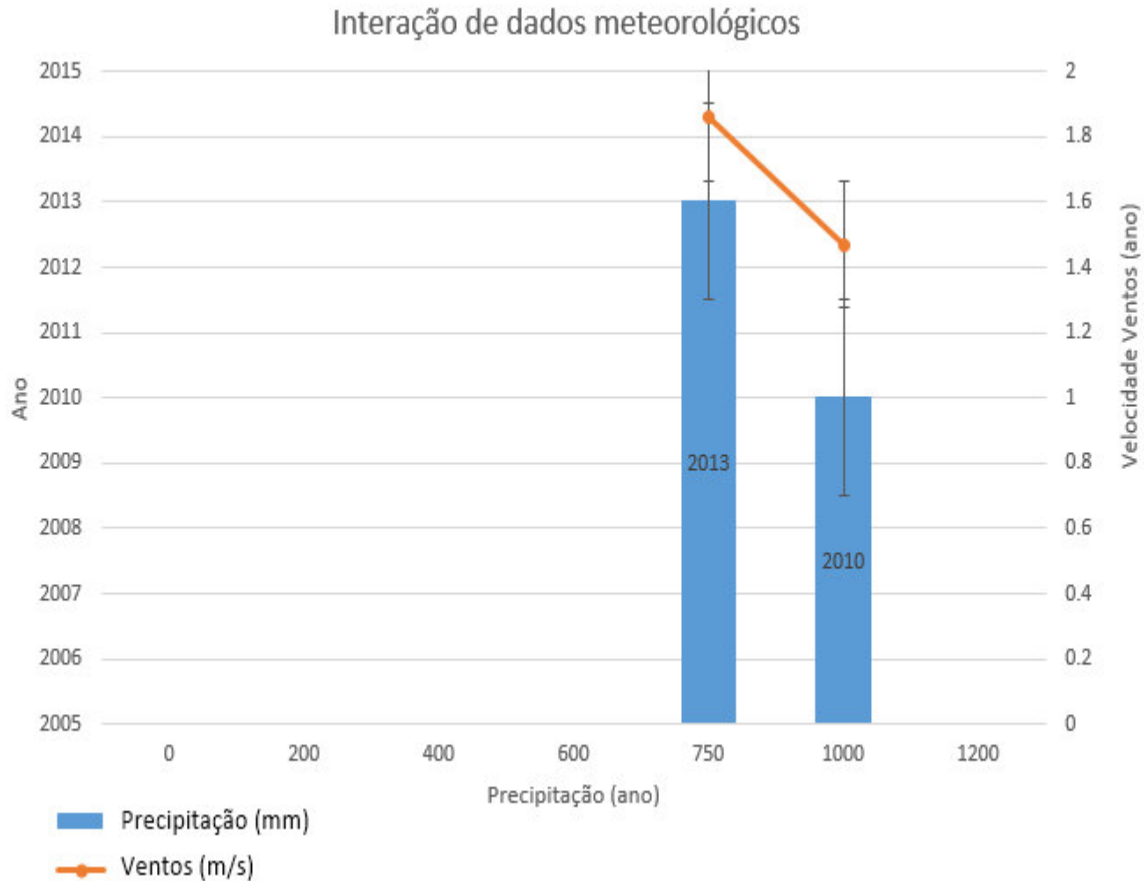


Figura 45 – Gráfico de dados pluviométricos e eólicos dos anos de 2010 e 2013. (Fonte: PEDROSA, 2016).

Observamos que no ano de 2010, a média das precipitações pluviométricas chegaram a 1.000mm, enquanto a média de velocidade dos ventos alcançou 1,46m/s, já no ano de 2013, as precipitações chegaram a 750mm apresentando uma velocidade média dos ventos de 1,86m/s. A velocidade dos ventos é maior quando há uma menor quantidade de chuvas. No nordeste brasileiro e na área de estudo esse fenômeno ocorre com maior frequência no segundo semestre com a chegada da estiagem.

8. CONSIDERAÇÕES FINAIS

As dunas costeiras são formadas pelos ventos que vêm do litoral carregando sedimentos finos até que se estabilizem por uma vegetação pioneira. Exercem funções ambientais importantes como a estabilização da linha de costa e proteção do lençol freático, constituindo barreira natural contra as ressacas do mar.

Devido à sua importância são consideradas áreas de preservação permanente e assim, são protegidas por lei, o que obriga os municípios costeiros a adotarem planos de manejo no que se refere ao cuidado e recuperação desse ecossistema. Sua vegetação, composta principalmente de gramíneas e plantas rasteiras, desempenha papel importante na sua formação e fixação.

Os campos de dunas encontrados ao longo do litoral cearense apresentam acumulações arenosas de forma alongada, com crista e face de deslizamento, indicando o efeito da frequência e da direção do vento. A ação eólica é o principal fator responsável pelo processo de construção das dunas em toda costa.

As dunas predominantes na área de estudo, na grande maioria são os lençóis de areia, que em contato com o manguezal transformam-se em barcanóides do tipo transgressivas. O campo de dunas mede 11km de extensão compreendendo 2.500 ha, locomovendo-se no sentido E-W.

Com os estudos realizados através do geoprocessamento/georreferenciamento, foi possível calcular as taxas de migração das dunas nos períodos de 1988 a 2013. Verificou-se que as dunas estão migrando, em média, 7m/ano. A partir de 2010, as dunas praticamente não migraram. Isso pode ser explicado pelo uso e ocupação da área através da construção dos aerogeradores, que teve início em 2009, bem como a construção de vias para a locomoção de bugres, atendendo o mercado do turismo e fixação por palhas.

Levando-se em conta dados de precipitação pluviométrica, verifica-se que os valores médios da taxa de migração/ano aumentam com a diminuição dos valores de precipitação por ano, ocorrendo assim uma taxa de migração maior no período de estiagem.

No período de 2010 a 2013, verifica-se que houve uma queda tanto na migração quanto na precipitação (menores valores encontrados). A fixação de

algumas dunas e a presença das usinas eólicas podem ser fatores que explicam esse paradoxo.

Tem-se no gráfico de precipitação que os valores médios da taxa de migração/ano quase não obedecem à regra de relação com a precipitação. Esse fato pode ser explicado por tratar-se de uma parte de todo o campo de dunas onde a maior parte é composta por planície de deflação de baixa altitude. O fluxo de sedimento e transporte eólico não encontram obstáculos, facilitando o aumento das taxas de migração do campo de dunas naquele setor específico.

Verifica-se, ainda, que mesmo a migração das dunas ser pequena - a menor de todo o Estado do Ceará, atualmente está quase inexistente, onde se pode constatar que existe ameaça de soterramento do manguezal, mesmo que seja em um futuro longínquo, visto que atualmente a distância média duna/manguezal é de aproximadamente 1432,76m.

Considerando uma taxa média de migração de todos os campos de dunas de 7,25m/ano, pode-se afirmar que provavelmente as dunas migrarão até o manguezal, já que estão migrando com mais lentidão, pois estarão cobrindo água. Daqui a 198 anos toda a duna chegará ao leito do rio e levando em consideração apenas o ponto mais próximo, a duna poderá chegar em 84 anos.

Outro cenário possível, mas com menor possibilidade de acontecer, seria o manguezal como obstáculo, contendo o avanço do campo de dunas em direção a ele, pois parece que a velocidade de migração está diminuindo. Nesse caso, elas nunca avançariam muito, só aumentariam de altitude, ou poderiam se transformar em dunas fixas ou semi-fixas, pois cada nova geração cobriria a que já existe depositada. São pelo menos dois cenários possíveis, nesse contato manguezal/dunas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AB'SABER - O Domínio Morfoclimático Semi-Árido das Caatingas Brasileiras. Geomorfologia, nº 43, IGEOG-USP, São Paulo, 1974.

ARAI, M. A Grande elevação eustática do Mioceno e sua influência na origem do Grupo Barreiras. Geologia USP. Série Científica, São Paulo, v. 6, n. 2, p. 1-6, 2006.

BARRETO, A.M.F.; SUGUIO, K.; BEZERRA, F.H.R.; TATUMI, S.H.; Y.EE, ; GIANNINI, P.C.F. Geologia e geomorfologia do Quaternário costeiro do Estado do Rio Grande do Norte. São Paulo, Geologia-USP, 4(2): 1-2. 2004.

BARD, E., M. Arnold, J. Mangerud, M. Paterne, L. Labeyrie, J. Duprat, M. A. Mélières, E. Sunstegaard & J. C. Duplessy, 1994. The North Atlantic atmosphere-sea surface ^{14}C gradient during the Younger Dryas Climatic event. Earth Plan. 126:275-287.

BEHLING, H. Dinâmica Vegetacional no Quaternário Superior no Brasil, com ênfase no Brasil Meridional. In: CLAUDINO-SALES, V. (org). Ecossistemas Brasileiros: Manejo e Conservação. Fortaleza: Expressão Gráfica e Editora, 2003.

BEZERRA, F. H. R. et al. Pliocene-quaternary fault control of sedimentation and coastal plain morphology in NE Brazil. Journal of South American Earth Sciences. Amsterdam, v. 14, p. 61-75, 2001.

BIGARELLA J. J. et al. Estrutura e origem das paisagens tropicais e subtropicais. 2ª. ed. Florianópolis: Editora da UFSC, 2007. 1436 p. 3. v.

BIGARELLA, J. J.; ANDRADE, G. O. Considerações sobre a estratigrafia dos sedimentos cenozóicos em Pernambuco (Grupo Barreiras). Arquivos UR. ICT, nº. 2, p. 1-14, 1964.

BRANCO, P. N. C. Análise dos Sistemas Depositionais e Dinâmica Costeira do Município de Aquiraz, Estado do Ceará, com Auxílio de Imagens de Sensoriamento Remoto. Tese de doutorado em processamento de dados em geologia e análise ambiental. Universidade de Brasília, 2003.

BRANDÃO, Ricardo de Lima. Zoneamento Geoambiental da Região de Irauçuba - CE. Fortaleza: Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais/Serviço Geológico do Brasil - CPRM, 2003.

BRYAN, R.B., YAIR, A. and HODGES, W.K. (1978). ... Cambridge University Press. Cambridge, 294 p. BRYANT, E. (1997). *Climate, Process and Change*. Cambridge University Press. Cambridge, 209 p.

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.

CASTELO BRANCO, M. P. N. Sistemas Depositionais da Região Costeira do Estado do Ceará (Folhas Parajuru e Aracati). Dissertação de Mestrado. Recife: UFPE, 1996.

CLAUDINO SALES, C. V. 2002 - Les littoraux Du Ceará: evolution géomorphologique de la zone côtière de L 'Etat Du Ceará, Du long terme au court terme. Sorbonne. 523p. Thèse (Doctorat) – Université Paris.

CLAUDINO SALES, C. V. MEGAGEOMORFOLOGIA DO NOROESTE DO ESTADO DO CEARÁ, BRASIL. Universidade Federal do Ceará - UFC, 2011.

COGERH – Companhia de Gestão de Recursos Hídricos, 2003. www.gogerh.ce.gov.br.

CRUZ JR., F.W., VUILLE, M., BURNS, S.J., WANG, X., CHENG, H., WERNER, M., EDWARDS, R.L., KARMANN, I., AULER, A.S., NGUYEN, H. Orbitally driven east-west antiphasing of South American precipitation. *Nature Geoscience*, London, v. 2, p. 210-214, 2009.

CPRM – Serviço Geológico do Brasil. Carta Geológica do Brasil ao milionésimo: Sistema de Informações Geográficas – SIG.

Ewing, R.C. and Kocurek, G., (2010) Aeolian dune interactions and dune-field pattern formation: White Sands, New Mexico. *Sedimentology*, 57, 1199-1219.

FERREIRA, T.O. Solos de mangue do rio Crumahú (Guarujá-SP): pedologia e Contaminação por esgoto doméstico. Piracicaba, 2002. 113p. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura —Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo. 2002.

FIGUEIREDO, M. A. 1997. A cobertura vegetal do Ceará (Unidades Fitoecológicas). In: IPLANCE. Atlas do Ceará. Fortaleza, p. 28-29. (Mapas coloridos – Escala 1:1.500.000).

GATTO, L.C.S. (Supervisor). Diagnóstico ambiental da bacia do rio Jaguaribe: diretrizes gerais para a ordenação territorial. Salvador/BA. IGBE: 1999, 77p.

GIANNINI, P. C. F., SAWAKUCHI, A. O., MARTINHO, C.T., GUEDES, C.C.F., NASCIMENTO, Jr., D.R., TANAKA, A.P.B., MENDES, V.C., ZULAR, A., ANDRADE, H.A.A., FORNARI, M. Classificação e dinâmica de feições eólicas costeiras: um modelo sistêmico baseado em exemplos brasileiros. In: CONG. ASSOC. BRASIL. DE ESTUDOS DO QUATERNÁRIO, 13., 2011, Búzios. Resumos expandidos... Búzios: Abequa, 2011. Disponível em: [HTTP://www.abequa.org.br/trabalhos/Giannini et al. Abequa2011.pdf](http://www.abequa.org.br/trabalhos/Giannini_et_al_Abequa2011.pdf)>. Acesso em: 20 set. 2012.

GIRÃO, Valdelice Carneiro. As Charqueadas. In: Souza, Simone de (Coord.). História do Ceará. Fortaleza. Universidade Federal do Ceará / Fundação Demócrito Rocha / Stylus Comunicações, 1989. p.63-78.

GRIMM, A. M. Variabilidade Interanual do Clima do Brasil. In: CAVALCANTI, I. F. A.; FERREIRA, N. J.; JUSTI DA SILVA, M. G. A.; SILVA DIAS, M. A. F. (Orgs.). Tempo e Clima no Brasil. São Paulo: Oficina de Textos, 2009, cap. 22, p. 353-374.

GUEDES, F.C.C. Cronologia e Sedimentologia dos depósitos eolitos quaternário da costa leste maranhense. Tese de Doutorado. São Paulo, USP, 2012.

GUIMARARES, G. B.; MELO, M. S.; GIANNINI, P. C. F. ; MELEK, P. R. . Geologia dos Campos Gerais. In: Melo, M.S.; Moro, R.S.; Guimarães, G.B. (Org.). Patrimônio Natural dos Campos Gerais do Paraná. 1 ed. Ponta Grossa, PR: Editora UEPG, 2007, v., p. 23-32.

HESP, P. A. A Gênese de Cristais de Praia e Dunas Frontais. Mercator 2, Fortaleza, 2002.

HIDALGO, E. C., FLORES, J. A., SIERRO, F. J., GRIMALT, J. O. Reconstrucción De Las Temperaturas Superficiales Marinas Del Margen Ibérico Sudoriental Durante El Último Periodo Glacial Mediante El Empleo De Cocolitofóridos. GEOGACETA, 38, 2005.

JACOB, J, DISNAR, J.R., BOUSSAFIR, M., SIFEDDINE, A., TURCQ, B., ALBUQUERQUE, A.L.S. 2004. Major environmental changes recorded by lacustrine sedimentary organic matter since the last glacial maximum near the equator (Lagos do Caçó, NE Brasil). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 205: 183-197.

JACOBI, Pedro (coord.). Pesquisa sobre problemas ambientais e qualidade de vida na cidade de São Paulo. São Paulo: Cedec/SEI, 1994.

KING, L. C. A geomorfologia do Brasil oriental. *Revista Brasileira de Geografia*, Rio de Janeiro, v. 18, n. 2, p. 3-121, 1956.

KOCUREK, G. & NIELSON, J. 1986. Conditions favourable for the formation of warm climate aeolian sand sheets. *Sedimentology*, v.33, n.6,p.795-816.

KÖPPEN, W.; GEIGER, R. *Klimate der Erde*. Gotha: Verlag Justus Perthes. 1928. Wall-map 150cmx200cm.

LANCASTER, N., KOCUREK, G., SINGHVI, A., PANDEY, V., DEYNOUX, M., GHIEUNE, J.F., AND LÔ, K., 2002, Late Pleistocene and Holocene dune activity and wind regimes in the western Sahara Desert of Mauritania: *Geology*, v. 30, p. 991-994.

LEAL, J. R. L. V. Zoneamento Geoambiental da Área de Proteção Ambiental de Canoa Quebrada – Aracati – Ceará. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2003. 210p.

LEDRU, M.P., CORDEIRO, R.C., DOMINGUEZ, J.M.L., MARTIN, L., MOURGUIART, P., SIFEDDINE, A., TURCQ, B. 2001. Late-glacial cooling in Amazônia inferred from pollen at Lagoa do Caçó, Northern Brazil. *Quaternary Research*, 55: 47-56.

LEDRU M, P., MOURGUIART P., CECCANTINI G., TURCQ B., SIFFEDINE A. 2002, Tropical climates in the game of two hemispheres revealed by abrupt climatic changes. *Geology*, 30(3): 275-278.

MAIA, L. P., HERRMANN, H., LACERDA, L. D. de., CLAUDINO-SALES, V. Modelagem Numérica: Um Ferramenta para Determinar as Implicações Ambientais

de Mudanças Climáticas na Evolução de Campos de Dunas Costeiras do Nordeste do Brasil. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, 2008 (prelo).

MASON, J.S., LU, H., ZHOU, Y., MIAO, X., SWINEHART, J.B., LIU, Z., GOBLE, R.J., YI, S., 2009, Dune mobility and aridity at desert margin of northern China at a tie of peak monsoon strength: *Geology*, v. 37, p. 947-950.

MELO, A. B. C.; CAVALCANTI, I. F. A., SOUZA, P. P. Zona de convergência intertropical do Atlântico. In: CAVALCANTI, I. F. A.; FERREIRA, N. J., SILVA, M. G. A. J.; DIAS, M. A. F. S. *Tempo e clima no Brasil*. São Paulo: Oficina de Textos, 2009. Cap. 2, p. 25-41. ISBN 978-85-86238-92-5.

MELO, J. B. Ocupação Urbana e Impactos Ambientais de Empreendimentos Construídos na Zona Costeira de Fortaleza, CE. In: SILVA, JB. ET AL (ORG). *Litoral e Sertão: natureza e sociedade no Nordeste brasileiro*. Fortaleza: Expressão Gráfica, 2006.

MEIRELES, A. J. A; Silva, E. V.; Raventos, J. S. Geomorfologia e Dinâmica Ambiental da Planície Litorânea entre as Desembocaduras aos Rios Pacoti e Ceará, Fortaleza – Ceará. *Revista Geonotas*, vol.5 N^o1. 2001.

MORAES, Antônio Carlos Robert & COSTA, Wanderley Messias. *Geografia Crítica – A Valorização do Espaço*. São Paulo. Editora Hucitec, 1999.

MORAES, Antônio Carlos Robert. *Contribuições para a Gestão da Zona Costeira do Brasil – Elementos para uma Geografia do Litoral Brasileiro*. São Paulo. Editora Hucitec, 1999.

MOREIRA, A.A.N. – Aspectos fisiográficos. In *Diagnóstico Sócio-Econômico do Ceará – 1^o Vol.* IPE-UFC, Imp. Univ. do Ceará. Fortaleza, 1964.

MORENO, A., CACHO, I., CANALS, M. GRIMALT, J. O., SIERRO, F. J. Relación Entre los Procesos Atmosféricos y Oceánicos a Escala Milenaria a partir Del Registro Climático de Los últimos 50.000 años del Mar de Alborán (Mediterráneo Occidental). *GEOTEMAS* 6(5), 2004.

MUEHE, D. Geomorfologia Costeira. In: GUERRA, A. J. T. e CUNHA, S. B. (org.). *Geomorfologia: Uma atualização de bases e conceitos*. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1994.

MUNYIKWA, K., 2005, Synchrony of Douthern Hemisphere Late Pleistocene arid episodes: A review of luminescence chronologies from arid Aeolian landscapes south of the Equator: *Quaternary Science Reviews*, v. 24, p. 2555-2583.

NETA, C.L.M. Evolução geomorfológica atual e análise ambiental da foz do rio. Jaguaribe, Ceará. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Ceará - UFC, 2007.

NIMER, E., BRANDÃO, A. M. P. M. Balanço Hídrico Anual a partir de Valores Normais e Tipologia Climática. *Revista Brasileira de Geografia*. Rio de Janeiro: IBGE, 1985.

OLIVEIRA, S. M. C. 2005. Evolução recente da linha de costa no Troço Costeiro Forte Novo. Dissertação de Mestrado- Universidade de Lisboa, Portugal.
PBEG – Projeto Brasileiro para o Ensino de Geografia. 1980. O tempo e o clima. São Paulo: Edart/Funbec. 104p.

PEREIRA, R. C. SILVA, E.V. Solos e Vegetação do Ceará: características gerais. In: Silva, J.B; CAVALCANTE, T. DANTAS, E.W. C (Org). Ceará, um novo olhar geográfico. Fortaleza; Edições Demócrito Rocha, 2005.

PESENDA, L.C.R., RIBEIRO, A.S., GOUVEIA, S.E.M., ARAVENA, R., BOULET, R., BENDASSOLLI, J.A 2004. Vegetation dynamics during the late Pleistocene in the Barreirinhas region, Maranhão State, northeastern Brazil, based on carbon isotopes in soil organic matter. *Quaternary Research*, 62: 183-193.

PINHEIRO, M. V. A; SALES, M. C. L. Determinação do balanço hídrico como subsídio para o estudo da dinâmica costeira cearense. In: Anais do XII Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada. Natal, UFRN, 8 a 13 de julho de 2007.

PREFEITURA MUNICIPAL DE ARACATI. Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano de Aracati - PDDU. Aracati, 2000.

RODRIGUES, Adyr Balastreri. Natureza e Método de Análise do Espaço do Turismo. In: _____. Turismo e Espaço – Rumo a um Conhecimento Transdisciplinar. São Paulo. Ed Hucitec, 2001.

SAADI, A. et al. Neotectônica da plataforma brasileira. In: QUATERNÁRIO no Brasil. Ribeirão Preto: Holos, 2005. p. 211-230.

SACHS, Ignacy. Desenvolvimento: includente, sustentável, sustentado. Rio de Janeiro: Garamond, 2004.

SALGADO-LABOURIAU, M.L. 1994. História ecológica da terra. São Paulo: Edgard Blucher. 307p.

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.

SHACKLETON, N. J. Oxygen Isotopics, Ice volume and sea level. Quaternary Science Reviews, 6: 183 – 190, 1987.

SIFFEDINE, A., ALBUQUERQUE, A. L. S., LEDRU, M. P., TURCQ, B., KNOPPERS, B., MARTIN, L., MELLO, W. Z., PASSENAU, H., DOMINGUEZ, J. M. L., CORDEIRO, R. C., ABRÃO, J. J., BITTENCOURT, A. C. S. P. 2003. A 21000 cal years paleoclimática record from Caçó Lake, northern Brazil: evidence from sedimentary and pollen analyses. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 189: 25-34.

SILVEIRA, J.D. 1964. Morfologia do litoral. In Azevedo, A. (Ed.) Brasil: a Terra e o Homem. São Paulo: Companhia Editorial Nacional. p.253-305

SOUZA & MORAIS - Compartimentação territorial e a gestão regional do Ceará. FUNECE, 2000.

Suguió, K; Angulo, 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 et al (Ed.) Quaternário do Brasil. Ribeirão Preto, Holos Editora, 2005. p.114-129.

SUGUIO, K. 1999. Geologia do Quaternário: mudanças ambientais (passado+presente=futuro?). São Paulo: Paulo's Editora. 366p.

SUGUIO, K., MARTIN, L., BITTENCOURT, A. C. S. P., DOMINGUEZ, J. M. L., FLEXOR, J. M. AZEVEDO, A. E. G. Flutuações do Nível Relativo do Mar durante o Quaternário Superior ao Longo do Litoral Brasileiro e suas Implicações na Sedimentação Costeira. Revista Brasileira de Geociências, v. 15 nº4, 1985.

SUGUIO, K.; NOGUEIRA, A. C. R. Revisão crítica dos conhecimentos geológicos sobre a Formação (ou Grupo?) Barreiras do Neógeno e o seu possível significado como testemunho de alguns eventos geológicos mundiais. Revista Geociências, São Paulo, v. 18, n. 2, p. 461-479, 1999.

TANAKA, M. O.; MAIA, R. C. Shell morphological variation of *Littoraria angulifera* among and within mangroves in NE Brazil. *Hydrobiologia* v.559, p.193–202, 2006.

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.

THIELLER, E. R.; MARTIN, D. ; ERGUL, A. 2005. *The Digital Shoreline Analysis System, version 2.3. Shoreline change measurement software extension ArcMap 9.0*. USGS Open-File.

TRICART, J. – *La terre, planète vivante*. Presses Universitaires de France, Paris, 1972.

TSOAR, H; ARENS, S. M. Mobilização e Estabilização de Dunas em Climas Úmidos e Secos. *Mercator* 5: 131 – 144, Fortaleza, 2003.

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

TSOAR. H. 2005. Sand dunes mobility and stability in relation to climate. *Physica A*, 357: 50-56.

VERA, C.; HIGGINS, W.; AMADOR, J.; AMBRIZZI, T.; GARREAUD, R.; GOCHIS, D.; GUTZLER, D.; LETTENMAIER, D.; MARENGO, J.; MECHOSO, C. R.; NOGUÉSPAEGLE, J.; SILVA DIAS, P. L.; ZHANG, C. Toward a Unified View of the American Monsoon Systems. *Journal of Climate – Special Section*, v. 19, p. 4977-5000, out. 2006.

VILAS BOAS, G. S.; SAMPAIO, F. J.; PEREIRA, A. M. S. The Barreiras Group in the northeastern coast of the State of Bahia, Brasil: depositional mechanisms and processes. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, v. 73, n. 3, p. 417-427. 2001.

YIZHAQ. H., ASHKENAZY. Y., TSOAR. H. 2008. Sand Dune dynamics and climate Change: A modeling approach. *Journal of Geophysical Research*. Vol. 114. P. F01023.

ZHOU, J.; LAU, K. M. Does a Monsoon Climate Exist Over South America? *Journal of Climate*, v.11, n.5, p.1020- 1040, 1998.

