



Aspectos geológicos e geomorfológicos da zona costeira entre as praias do Futuro e Porto das Dunas, região metropolitana de Fortaleza, (RMF), Ceará, Brasil

Márcia Thelma Rios Donato Marino^a, George Satander Sá Freire^b, Norberto Olmiro Horn Filho^c

Recebido em 20 setembro 2012, Aceite em 8 de janeiro de 2013

Resumo

Neste trabalho são apresentados os resultados do mapeamento geológico-geomorfológico realizado na zona costeira entre as praias do Futuro e Porto das Dunas, no setor leste do litoral da Região Metropolitana de Fortaleza, Ceará. A metodologia compreendeu revisão bibliográfica, fotointerpretação e geoprocessamento de imagens, trabalhos de campo, análises granulométricas e compilação das informações. A zona costeira é representada por um empilhamento estratigráfico que compreende dois domínios geológicos: unidade basal e planície costeira. A unidade basal é constituída pela unidade litoestratigráfica Vulcânica-Alcalina, Terciária (Oligoceno-Mioceno), representada pelo morro Caruru; e pela Formação Barreiras, Tércio-Quaternário (Mioceno-Pleistoceno), constituída pelos sedimentos dos Tabuleiros Pré-Litorâneos. A planície costeira compreende Depósito aluvial (Quaternário/Pleistoceno); depósitos litorâneos - Arenito de praia (Quaternário/Plioceno), Flúvio-lacustre, Paludial, Eólico e Marinho praiado do Holoceno. Os sedimentos da planície costeira foram originados a partir de processos gravitacionais gerados por oscilações climáticas relacionadas às flutuações relativas do nível do mar ocorridas durante o Quaternário, principalmente durante a última fase regressiva, que iniciou há 5.100 anos A.P. A área tem sido afetada por deformações tectônicas cenozóicas que aproveitaram preferencialmente as linhas de fraqueza crustal herdadas das eras geológicas anteriores. Um número significativo de informações acerca de evidências e características de atividades neotectônicas na região que assumiram um papel decisivo na formação da topografia contemporânea é registrado em pesquisas anteriores.

Palavras-chave: geologia costeira, geomorfologia, paleogeografia - Ceará.

Abstract

This paper presents the results of the geologic and geomorphologic mapping developed in the coastal zone between the beaches of the Future and Porto das Dunas, in the east coast at Fortaleza Metropolitan Region, state of Ceará. The methodology comprehended bibliographic revision, photo-interpretation and GIS images, field work, laboratorial analyses and compilation of information's. According to the geologic and geomorphologic point of view, the coastal zone is represented by two geological domains: unit basal and coastal plain. The basal unit is constituted of rocks Alkaline-Volcanic (Tertiary), that outcrops in Caruru hill; and Formação Barreiras (Tertiary-Quaternary) formed by pre-littoral tableland sediments. The coastal plain includes Alluvial Deposit (Quaternary / Pleistocene) and coastal deposits, comprehending Beach sandstone (Quaternary / Pliocene) and Fluvio-lagoonal, Paludial, Eolic and Marine deposits (Quaternary / Holocene). The coastal plain sediments were derived from gravitational processes generated by climatic variations related to sea level fluctuations that occurred during the Quaternary, especially during the last regressive phase, which started 5100 years ago AP. The area has been affected by Cenozoic tectonic deformation that took preferably weakness

lines of crustal inherited from the previous geological eras. A number of significant informations about the evidences and characteristics of a neotectonic activity in the region which had a decisive role in shaping the contemporary topography is recorded in previous surveys.

Keywords: coastal geology, geomorphology, paleogeography – Ceará.

a) Universidade Federal do Ceará (UFC) / Doutorado do Programa de Pós-graduação em Geologia. Universidade de Fortaleza (UNIFOR) / Especialização em Gestão Ambiental e Bacharelado em Engenharia Ambiental e Sanitária. Campus da UNIFOR, Av. Washington Soares, 1321, CEP: 60.811-905, Fortaleza (CE) – Brasil; marciariosmarino@hotmail.com;

b) Bolsista Produtividade em Pesquisa 2 CNPq. Programa de Pós-graduação em Geologia e Programa de Desenvolvimento e Meio Ambiente – PRODEMA. Universidade Federal do Ceará (UFC). Campus do Pici, Bloco 912, CEP: 60455-760, Fortaleza (CE) – Brasil, freire@ufc.br; c) Bolsista Produtividade em Pesquisa 2 CNPq. Programa de Pós-graduação em Geografia. Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Campus Universitário Trindade, Caixa Postal 476, CEP: 88.040 – 970, Florianópolis (SC) – Brasil horn@cfh.ufsc.br

1. Introdução

A faixa litorânea do estado do Ceará possui uma extensão linear de 573 km, apresentando duas direções principais ESE – NW, com traços avançados de retificação. As direções supracitadas só chegam a ser interrompidas por algumas pontas e promontórios que se projetam para o mar, como por exemplo, a ponta do Mucuripe. A paisagem é composta principalmente de praias arenosas, campos de dunas, estuários com manguezais, lagoas costeiras, falésias e tabuleiros (Campos *et al.*, 2003).

A planície costeira encontra-se em contato direto com as águas do oceano Atlântico sul. As ondas que banham a área apresentam uma forte componente de leste com direções variando entre os quadrantes E, E-NE e E-SE, mantendo uma estreita relação com as direções predominantes dos ventos, os quais são responsáveis pela configuração das dunas litorâneas pretéritas e atuais. Nesta latitude o regime de marés pode ser caracterizado como de mesomarés com periodicidade semi-diurna, em um ciclo de maré com diferenças pequenas de altura e duração entre as sucessivas preamares e baixamares. A incidência de ondas ao longo da costa resulta em uma componente residual e transporte preferencial de sedimentos na direção SE-NW (Maia, 1998).

Pela sua posição entre as latitudes da zona tropical, o clima é do tipo tropical chuvoso (Aw'), semiárido, apresentando uma forte irregularidade pluviométrica no decorrer do ano, com duas estações bem diferenciadas, sendo uma com

precipitações de curta duração e outra com uma estiagem prolongada (Brandão *et. al.*, 1998).

Neste contexto, insere-se a zona costeira da área em estudo, restringindo-se ao trecho entre as praias do Futuro e Porto das Dunas, localizada na porção leste da Região Metropolitana de Fortaleza (RMF), estado do Ceará, perfazendo uma área com um perímetro de 54.007,68m e 14.450,96 ha e que vem sendo ocupada de forma intensiva e sistemática. Esta área representa parte da porção emersa da bacia marginal marinha do Ceará. (Fig. 1).

Com o objetivo de evidenciar em detalhe os diferentes depósitos sedimentares superficiais ocorrentes na porção emersa dessa área, foi realizado o estudo geológico-geomorfológico.

2. Metodologia

Inicialmente foi realizado o levantamento bibliográfico da área de estudo e seu entorno, com informações pertinentes aos domínios geológicos, geomorfologia, paleogeografia, sedimentologia e o cadastramento de dados cartográficos e aerofotográficos da área considerada, imagens em alta resolução (Quickbird 2003, 2004, 2008 e 2009; INPE 2007 e 2008, IPECE 2008).

De posse desses produtos, confeccionamos um mapa geológico unindo a fotointerpretação, cartografia digital e geoprocessamento, com uso do programa ARCINFO 10.0 (2010). Os trabalhos de campo consistiram de reconhecimento preliminar das características geológicas e geomorfológicas

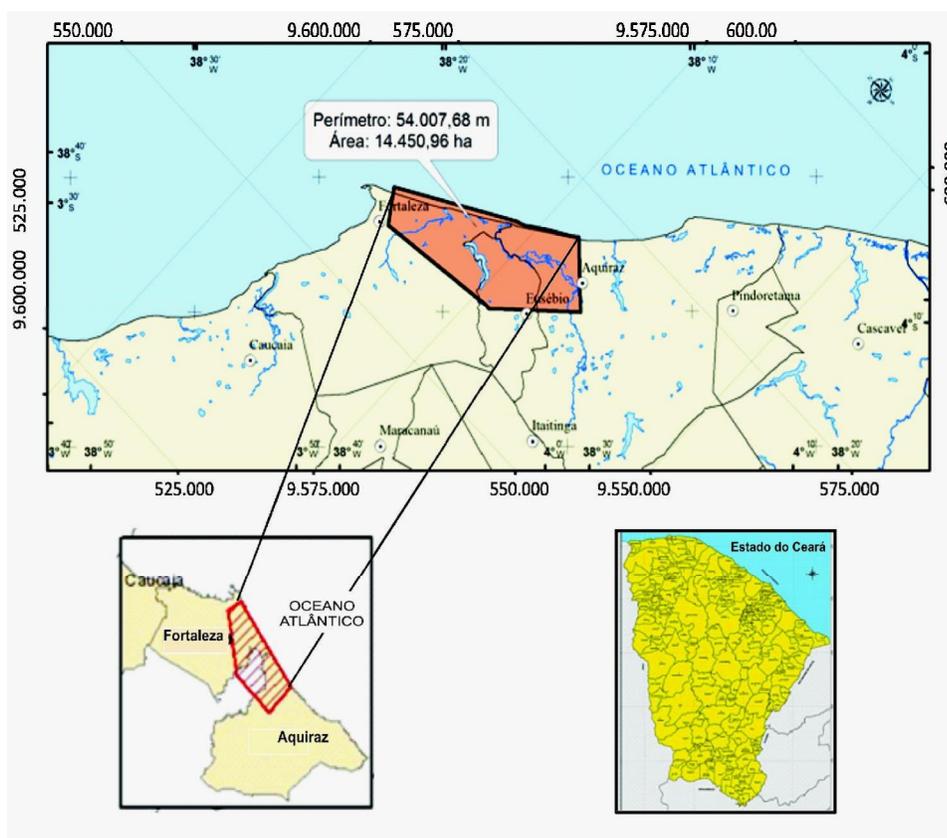


Fig. 1 – Mapa de localização da área de estudo. Fonte: IPECE (2008).

Quadro 1 – Localização dos pontos de coleta na zona costeira do trecho praia do Futuro-praia Porto das Dunas, Ceará (*latitude e longitude=WGS84/SAD69/UTM 24).

Ponto	Estação	Latitude*	Longitude*
1.	Depósito marinho praiar – Praia da Sabaguaba	9.583.130	562.835
2.	Depósito eólico – Abreulândia (Dunas)	9.579.088	564.283
3.	Depósito paludial – Rio Pacoti (Planície fluviomarinha)	9.576.299	564.349
4.	Depósito flúvio-lacustre – Lagoa da Precabura	9.579.380	561.739
5.	Arenito de praia - Praia da Sabaguaba	9.582.435	563.292
6.	Depósito aluvial – Rio Pacoti (Planície Fluvial)	9.570.014	567.049
7.	Formação Barreiras – Abreulândia (Tabuleiro)	9.579.070	564.288
8.	Vulcânica-Alcalina – Morro Caruru (Fonólito)	9.578.530	563.828

superficiais da área e mapeamento geológico-geomorfológico da zona costeira, onde foram realizadas e descritas trincheiras e seções colunares estratigráficas de pacotes sedimentares em oito afloramentos. Os afloramentos foram localizados com auxílio de GPS (*Global Positioning System*),

efetuando-se coleta de sedimentos e rochas, análise e descrição da estrutura dos pacotes sedimentares, espessura, granulometria dos sedimentos, morfoscopia, cor e composição mineralógica fundamental (Quadro 1 e Fig. 2).

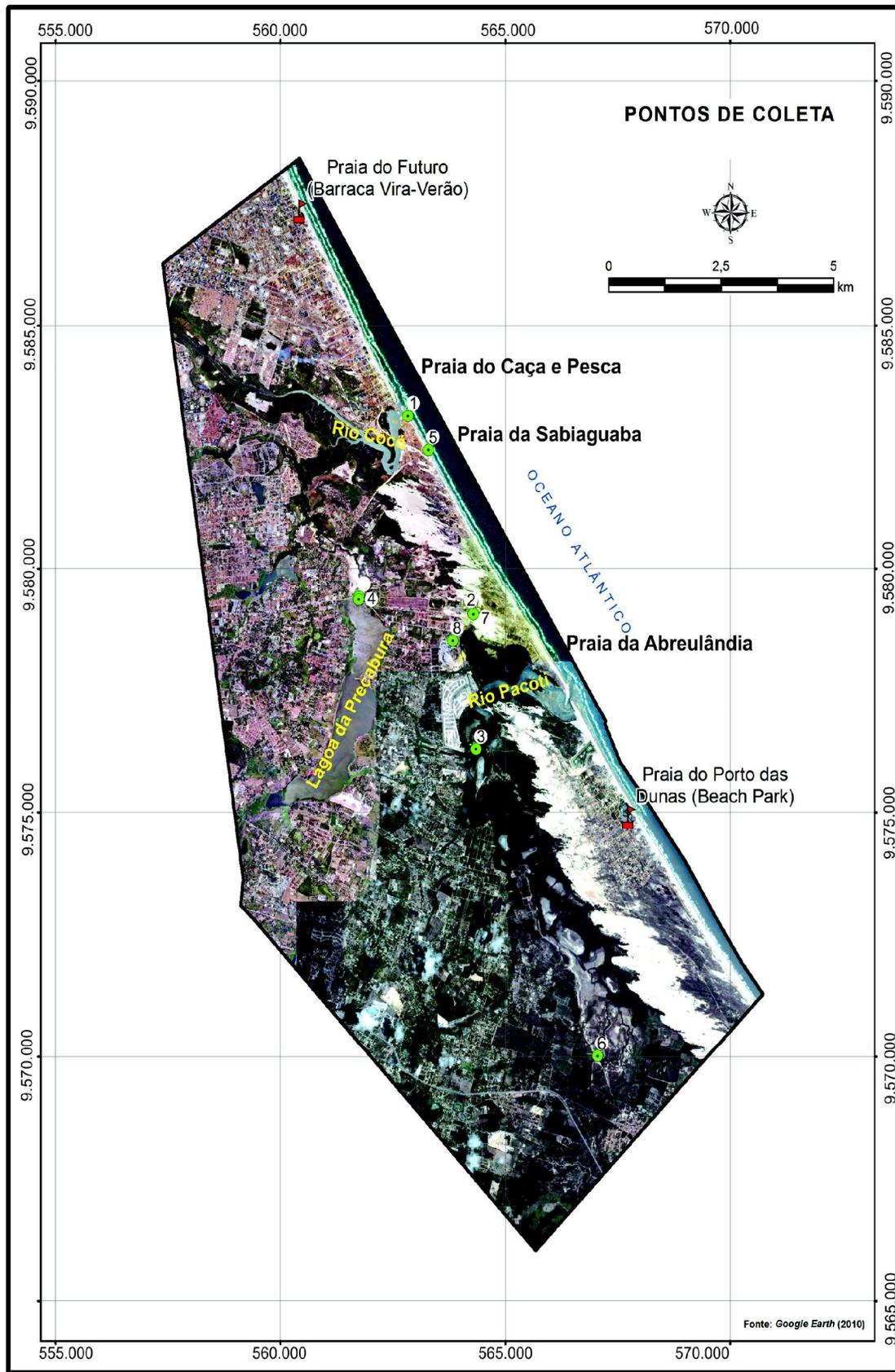


Fig. 2 – Mapa de localização dos pontos de coleta na zona costeira do trecho praia do Futuro - praia Porto das Dunas, Ceará. Fonte: CEARÁ/SEMACE, 2004.

As análises granulométricas dos sedimentos clásticos foram efetuadas através do método de peneiramento segundo a escala do tamanho do grão de Wentworth (1922), adaptada para a escala por Krumbein (1934), utilizando-se um conjunto de peneiras com intervalo de $\frac{1}{2} \phi$. O tratamento dos dados e cálculo dos parâmetros estatísticos das amostras foram efetuados de acordo com as fórmulas de Folk & Ward (1957), utilizando-se o sistema integrado para análises granulométricas ANASED (2001) fornecendo subsídios para a interpretação dos depósitos sedimentares.

A compilação dos resultados e a fotointerpretação final culminaram na confecção do mapa geológico-geomorfológico da zona costeira em estudo, contendo a estratigrafia e paleogeografia.

3. Fisiografia

A área objeto desta pesquisa encontra-se inserida na zona costeira leste da Região Metropolitana de Fortaleza, localizada na carta topográfica Aquiraz (SA 24-Z-C-V), estado do Ceará, Brasil (BRASIL/ME/SUDENE, 1971) restringindo-se ao trecho que vai desde a praia do

Futuro até a praia do Porto das Dunas. Abrange os municípios de Fortaleza, Eusébio e Aquiraz.

A região é bem servida por uma rede viária que tem como base as rodovias pavimentadas CE-040 ou pela CE-025, via pela praia Porto das Dunas, ligando os três municípios, além de uma densa rede de estradas secundárias que cortam a área de estudo em todas as direções.

O clima da Região Metropolitana de Fortaleza, segundo a classificação de Koppen, é do tipo tropical chuvoso (Aw'), apresentando uma forte irregularidade pluviométrica no decorrer do ano. As chuvas se concentram em cerca de 90% no primeiro semestre do ano, tendo seu ápice nos meses de março a maio, como pode ser verificado na figura 3, relativa à chuva acumulada mensal para o ano de 2010 versus a normal climatológica 1961-1990 (INMET, 2010). Os meses de março e abril são os que apresentam a menor quantidade de horas de sol respectivamente com 148,9 e 152,8 horas/mês, correspondendo ao ano de 2010. Já os meses de outubro (296,1 horas) e novembro (283,2 horas) apresentam a maior incidência de radiação solar, tabela 1 (INMET, 2010).

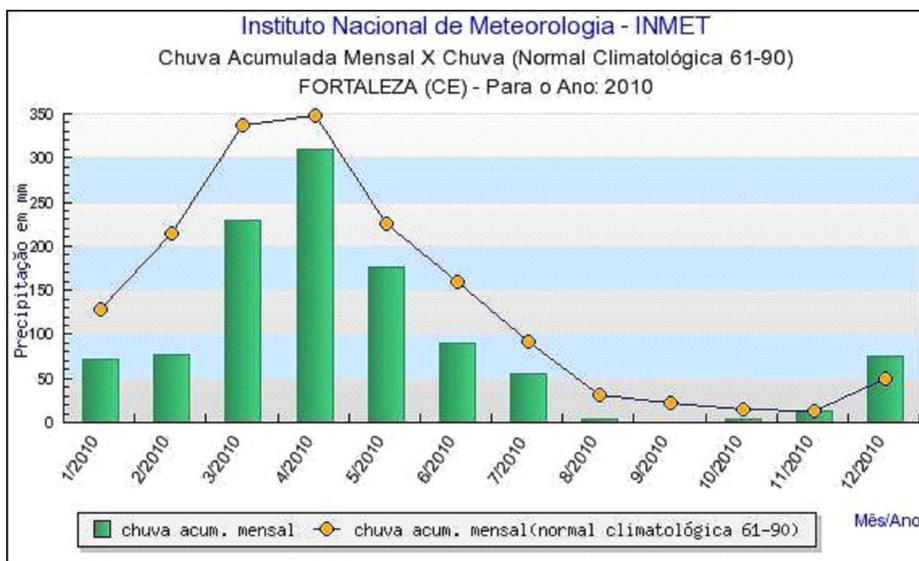


Fig.3 – Distribuição das chuvas acumulada mensal para o ano de 2010 em relação à normal climatológica 1961 – 1990/Fortaleza. Fonte: INMET (2010).

Tab. 1 - Horas de insolação total (horas) ao longo do ano (período 1961-1990).

Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
216,2	175,8	148,9	152,8	209,1	239,6	263,4	168,9	282,9	296,1	283,2	257,4

Fonte: INMET (2010).

De acordo com Santos (2006) os solos na área estudada têm variações significativas quanto à tipologia, classes de solos e variação espacial. São encontradas as seguintes classes de solos: Argissolo Vermelho Amarelo Eutrófico, Argissolo Vermelho Amarelo Distrófico, Neossolos Quartzarênicos, Neossolos Flúvicos e Gleissolos. O quadro 2 exibe a classificação de solos conforme o novo Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 1999), as unidades litoestratigráficas e suas respectivas feições geomorfológicas.

A forma com a qual a cobertura vegetal da área se encontra é resultado das condições climáticas, do solo e da ação antrópica. No que se refere aos aspectos fitoecológicos as principais unidades representadas na área pesquisada são: Mata Ciliar e Lacustre e Complexo Vegetacional da Planície Litorânea (mangues, Mata de Tabuleiro e vegetação pioneira do campo de dunas, planície de deflação e faixa praial), representadas no quadro 3.

Quadro 2 - Classe de solos, unidades litológicas e feições geomorfológicas. Fonte: Adaptado de Santos (2006).

CLASSE DE SOLO			UNIDADE LITOLÓGICA	FEIÇÃO GEOMORFOLÓGICA
<i>Argissolo Eutrófico</i>	<i>Vermelho</i>	<i>Amarelo</i>	Vulcânica-Alcalina	Maciço residual
<i>Argissolo Distrófico</i>	<i>Vermelho</i>	<i>Amarelo</i>	Formação Barreiras	Tabuleiro
			Formação Barreiras	Tabuleiro
<i>Neossolos Quartzarênicos</i>			Depósito eólico e Depósito marinho praial	Duna fixa, duna semi-fixa, duna móvel, duna frontal, superfície de deflação e faixa praial atual
<i>Neossolos Flúvicos</i>			Depósito aluvial e Depósito flúvio-lacustre	Planície de inundação e planície flúvio-lacustre
<i>Gleissolos Sálcos</i>			Depósito paludial	Planície flúvio-marinha

As águas superficiais da área abrangem os estuários de três principais cursos fluviais formados pelos rios Pacoti, Cocó e Coaçu, que fazem parte das Bacias Metropolitanas, definidas pela Secretaria de Recursos Hídricos – Ceará (1992). Esses rios têm suas nascentes em terrenos cristalinos.

Devido ao estuário dos rios Pacoti, Cocó e Coaçu estarem localizados em uma região subúmida e o regime pluviométrico ser deficiente, a Zona de Maré do Rio (ZR), classificada por Miranda (2002) como a parte fluvial mais elevada e com salinidade praticamente igual a zero, mas exposta à influência da maré, pode não existir em certas épocas do ano. Em outros momentos, por causa da concentração da precipitação, ocorre grande descarga de água doce, redirecionando a Zona de Mistura para a Zona Costeira.

4. Geologia e Geomorfologia

A descrição geológica e geomorfológica da zona costeira entre as praias do Futuro e Porto das Dunas

Revista de Geologia, Vol. 25 (1), 2012

Dunas permite, além de sua caracterização, definir os principais tipos de processos naturais que comandaram a evolução até o presente momento e, ainda, prever o seu comportamento futuro.

Uma série de fenômenos de magnitude planetária exerce influência sobre a morfologia das regiões costeiras. Os mais importantes são a tectônica de placas, o clima, e as variações do nível relativo do mar. Os movimentos entre as placas continentais e oceânicas determinam o tipo de costa e a sua orientação quanto à exposição às ondas e correntes. O clima é um fator que controla a erosão dos continentes e, sobretudo, é responsável pelas oscilações do nível do mar, desempenhando papel importante na evolução das planícies costeiras.

Há pouco mais de 120 milhões de anos (120 Ma), o litoral cearense não havia sido originado, a África ainda achava-se unida à América do Sul, formando em conjunto com a Oceania, a Índia e a Antártida, o supercontinente Gondwana. A completa ruptura das placas sul-americana e africana ocorreu

entre 100 e 99 Ma atrás, no período Cretáceo da era Mesozoica, processo que originou o segmento equatorial do Atlântico-Sul e as margens continentais do Nordeste e do centro-oeste africano, que deslizaram uma em relação à outra. (Claudino Sales, 2007).

Segundo Claudino Sales (2007) dos cenários litorâneos cretáceos, pouca coisa resta além de relíquias na paisagem – a ação de processos posteriores erodiu e/ou enterrou as estruturas primárias. De acordo com a autora, essas relíquias, ainda hoje, influenciam a dinâmica costeira, através de alternância de compartimentos relativamente deprimidos e elevados, das mudanças de orientação da linha de costa e da presença de pontas rochosas cristalinas como as pontas do Iguape, Mucuripe, Pecém e Jericoacoara, as duas primeiras com grande influência na área de estudo, e que a grosso modo, representam eixos de ruptura do Gondwana ainda visíveis na paisagem. A fachada marítima cearense pode ser subdividida em cinco grandes domínios morfoestruturais resultantes diretamente dessa subdivisão continental – a saber: os domínios Jaguaribe, Choró, Baturité, Jaibaras e Chaval (Claudino Sales, 2002).

A área de estudo pertence ao Domínio Baturité, o qual se estende da praia do Presídio/Ponta do Iguape até a área da praia de Lagoinha (Paraipaba). Segundo a autora supracitada, trata-se de um compartimento estrutural elevado, caracterizado pela persistência no tempo dos vestígios do ombro oeste do rift Potiguar (maciço de Baturité, com extensões até a zona litorânea através das pontas do Mucuripe e Pecém) e do ombro do rift/bacia atlântica Potiguar (Ponta do Iguape). A parcela fundamental da evolução desses complexos estruturais parece ter sido encerrada no Terciário Superior, com a ocorrência de flexura marginal e consequente deposição da cobertura sedimentar Barreiras, eventos que mudaram para sempre a morfologia da área. Em todos os domínios estruturais os sedimentos Barreiras mascaram as irregularidades do terreno com tal intensidade que, vindo dos sertões em direção à zona costeira, nela adentra-se sem que nenhuma ruptura topográfica denuncie o fato – tal modelado plano valeu a denominação de “tabuleiros pré-litorâneos” (eg. Souza, 1988) ou “tabuleiros costeiros” (eg. Claudino Sales, 2002) para esse segmento da fachada marítima cearense.

Quadro 3 - Unidades fitoecológicas, feições geomorfológicas e vegetação. Fonte: Adaptado de Santos (2006).

UNIDADE FITOECOLÓGICA	FEIÇÃO GEOMORFOLÓGICA	VEGETAÇÃO
<i>Complexo Vegetacional Litorâneo</i>	Faixa praial	Algumas espécies pioneiras de estrato herbáceo (gramíneas)
	Duna móvel, duna frontal e planície de deflação	Algumas espécies pioneiras de estrato herbáceo (gramíneas)
	Duna fixa e semi-fixa	Vegetação litorânea de porte arbóreo arbustivo à sotavento e herbáceo arbustivo à barlavento
	Planície flúvio-marinha	Vegetação de mangue, altamente especializada, suportando elevados níveis de salinidade.
<i>Mata Ciliar e Lacustre</i>	Planície flúvio-lacustre e Planície de inundação	Vegetação ciliar, principalmente carnaúbas que se encontram fortemente alteradas
	Planície fluvial	Mata ciliar bastante descaracterizada
<i>Mata de Tabuleiro</i>	Tabuleiro e maciço residual	Mata de tabuleiros, complexo já fortemente descaracterizado

De acordo com Shackleton (1987) e Pirazolli (1996) *apud* Claudino Sales (2007), as variações do nível do mar foram frequentes entre o final do Terciário e o início do Quaternário, mesmo intervalo que data a deposição da Formação Barreiras, e a interação entre os eventos parece ter sido intensa: durante as regressões, a faixa litorânea ampliou-se e a deposição e/ou dissecação do Barreiras pode avançar até as áreas expostas da plataforma continental interna; durante as transgressões marinhas ao contrário, parcela da zona costeira submergiu e o mar erodiu os sedimentos pré-existentes, formando as falésias e depositando novos materiais.

Segundo os autores supracitados, o último pico glacial ocorreu há cerca de 20 mil anos (20 Ka), no qual o nível do mar ficou 100 m abaixo do atual; o final dessa 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; o Atlântico ainda sofreu outra modificação de nível na área de estudo: dois ou três mil anos após a transgressão holocênica, o peso da água sobre a plataforma acabou por produzir uma pequena “flexura marginal” com expressão apenas na zona costeira, afundando assim a plataforma e soerguendo a área continental adjacente, resultando uma pequena regressão, da ordem provável de três metros em relação à posição anterior, até atingir o nível atual; e com essa regressão holocênica, ocorreu o acúmulo de novos depósitos na área descoberta, iniciando a evolução recente dos litorais cearenses.

Os afloramentos rochosos também são representados entre as praias do Futuro e Porto das Dunas pelos arenitos de praia (beachrocks), situados entre a zona de estirâncio em direção ao oceano. Apresentam-se em forma de cordões paralelos à linha de costa, representando sedimentos de antigas praias, consolidados por carbonato de cálcio (CaCO₃) fornecidos pela água do mar, desenvolvendo-se para rochas de grande dureza, mostrando-se como excelentes fatores na definição espaço-temporal das flutuações do nível do mar.

Sobre o conjunto do litoral, de maneira mais contínua, a regressão holocênica teria facilitado a formação de planícies litorâneas constituídas pela acumulação de sedimentos marinhos (Meireles,

1991; Maia *et al.*, 1999), flúvio-lagunares, lagunares, lacustres e dunares (Maia, 1993; Claudino Sales, 2002).

Considerando que o principal elemento formador das planícies litorâneas são as variações eustáticas, elas representam idades diversas, sendo as mais conservadas às associadas ao Holoceno Superior (Claudino Sales, 2007). Logo, uma das evidências exemplificadas é a formação das dunas, das quais “proporcionaram a origem de três gerações de dunas, evidenciando os tipos barcana, transversal, dômica e parabólica” (Meireles, 2007) registradas na área de estudo.

Atualmente, conforme Claudino Sales e Peulvast (2006), os estoques arenosos litorâneos acham-se submetidos a uma forte deflação e numerosas praias a uma intensa erosão. Essa tendência erosiva pode estar associada a um controle climático e sedimentológico próprio do período atual, ou ainda à ocupação social e urbana da região, bem como, pode ao contexto atual da subida mundial do nível do mar, registrados pelos marégrafos do mundo inteiro, segundo Pirazzoli (1991, 1996) *apud* Claudino Sales & Peulvast (2006).

A área pesquisada encontra-se geologicamente representada por um empilhamento estratigráfico composto por dois domínios geológicos: o mais antigo, unidade basal, e o mais recente, a planície costeira, na qual são evidenciados depósitos de dois subsistemas deposicionais, denominados de sistema deposicional continental e sistema deposicional litorâneo ou transicional.

Na coluna estratigráfica aparecem oito unidades litoestratigráficas, sendo uma da unidade basal/sistema cristalino, duas do sistema deposicional continental, cinco do sistema deposicional litorâneo ou transicional (Quadro 4). Com exceção da unidade litoestratigráfica da unidade basal/cristalino, que é rochosa na sua essência, as demais consistem de sedimentos de distintos depósitos. Segundo Almeida (1986) e Almeida *et al.* (1988), a idade cronológica das unidades varia de ± 30 Ma AP ao presente.

O quadro 5 apresenta uma síntese dos domínios geológicos com as unidades litoestratigráficas representativas e as suas respectivas idades.

Quadro 4 – Coluna estratigráfica da zona costeira entre as praias do Futuro e Porto das Dunas, Ceará (¹1.000 anos; ²1.000.000 anos).

DOMÍNIO GEOLÓGICO	SISTEMA	SUBSISTEMA	UNIDADE LITOLÓGICA	IDADE	FEIÇÃO GEOMORFOLÓGICA	ANOS AP
Planície costeira	Depositional	Litorâneo	Depósito marinho praial	Quaternário (Holoceno)	Praia atual	± 5,1 ka ¹
			Depósito eólico		Dunas fixas, semifixas e móveis, dunas frontais, superfície de deflação. Planície flúvio-marinha	
			Depósito paludial		Planície flúvio-lacustre	
			Depósito flúvio-lacustre			
	Continental	Depósito aluvial	Quaternário (Pleistoceno)	Planície de inundação	± 2 Ma ²	
	Litorâneo	Arenito de praia	Quaternário (Plioceno)	Recife	2,7 Ma ²	
Unidade Basal		Continental	Formação Barreiras	Terciário-Quaternário (Mioceno-Pleistoceno)	Tabuleiro	± 22 Ma ²
	Cristalino	Hipoabissal	Vulcânica-Alcalina	Terciário (Oligoceno-Mioceno)	Maçico residual	± 30 Ma ²

Quadro 5 – Domínios geológicos, unidades litológicas idade (¹1.000 anos; ²1.000.000 anos).

DOMÍNIO GEOLÓGICO	UNIDADE LITOLÓGICA	IDADE	ANOS AP
Planície costeira	Depósito marinho praial	Quaternário (Holoceno)	± 5,1 ka ¹
	Depósito eólico		
	Depósito paludial		
	Depósito flúvio-lacustre		
Unidade Basal	Depósito aluvial	Quaternário (Pleistoceno)	± 2 Ma ²
	Arenito de praia	Quaternário (Plioceno)	2,7 Ma ²
	Formação Barreiras	Terciário-Quaternário (Mioceno-Pleistoceno)	± 22 Ma ²
	Vulcânica-Alcalina	Terciário (Oligoceno-Mioceno)	± 30 Ma ²

As unidades litoestratigráficas da área de estudo foram descritas com base no levantamento de campo, complementado pelos resultados dos mapeamentos geológicos anteriormente elaborados por CEARÁ/SEMACE/LABOMAR (2005), Moura (2009) e Martins *et al.* (2010), que apresentaram mapas geológicos do Quaternário costeiro da Região Metropolitana de Fortaleza. A figura 4 apresenta o mapa geológico da zona costeira pesquisada.

4.1. Terciário

Vulcânica-Alcalina

No que se refere à unidade basal (cristalino) da zona costeira, está sendo considerada somente uma unidade litoestratigráfica representativa deste domínio, denominada Vulcânica-Alcalina. Esta unidade está representada no morro Caruru, situado no limite sudeste da cidade de Fortaleza, limitado pelas coordenadas geográficas 38°25'466" de longitude oeste, e 3°49'077" de latitude sul. Segundo

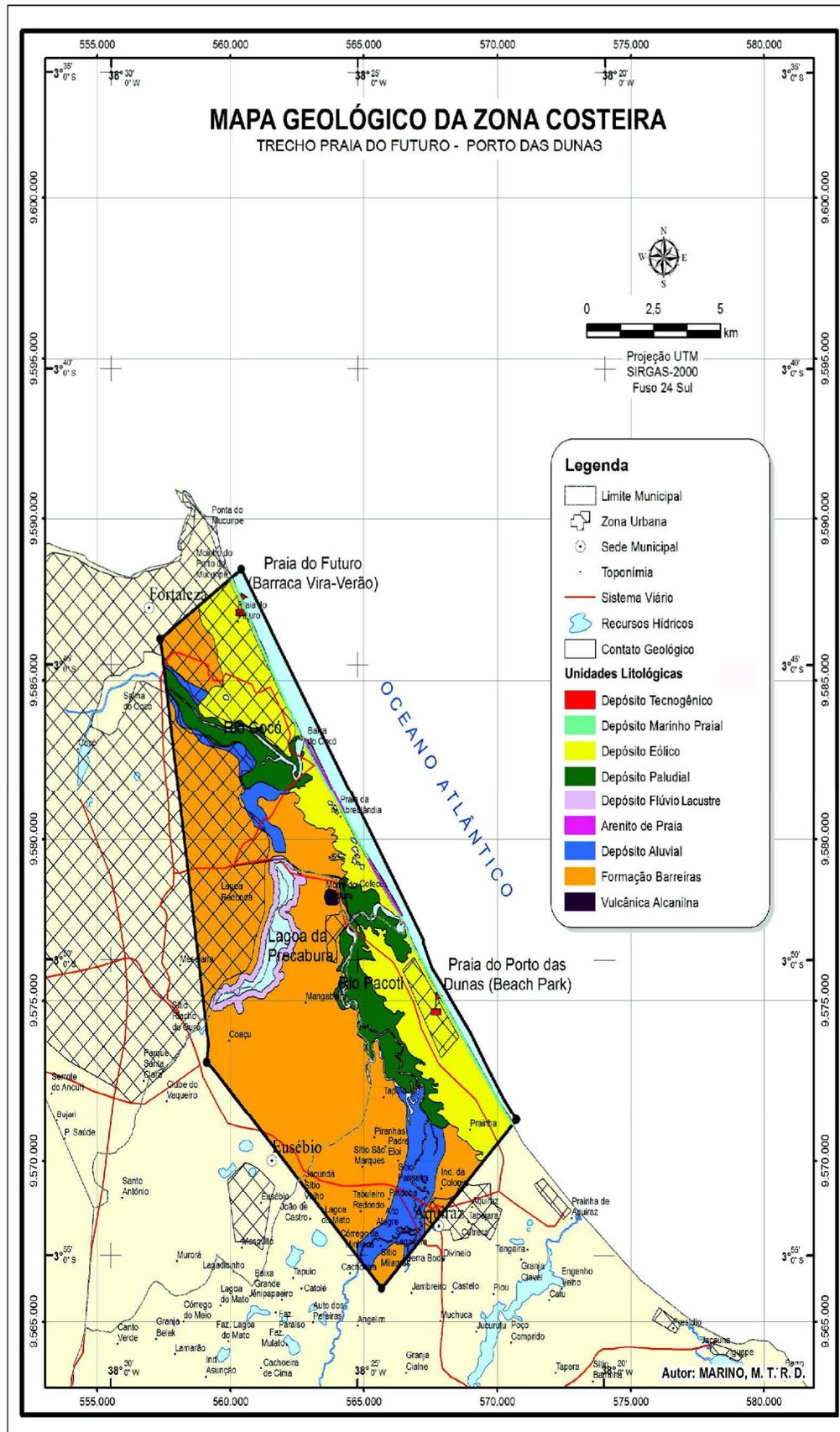


Fig. 4 – Mapa geológico da zona costeira entre as praias do Futuro e Porto das Dunas, Ceará.

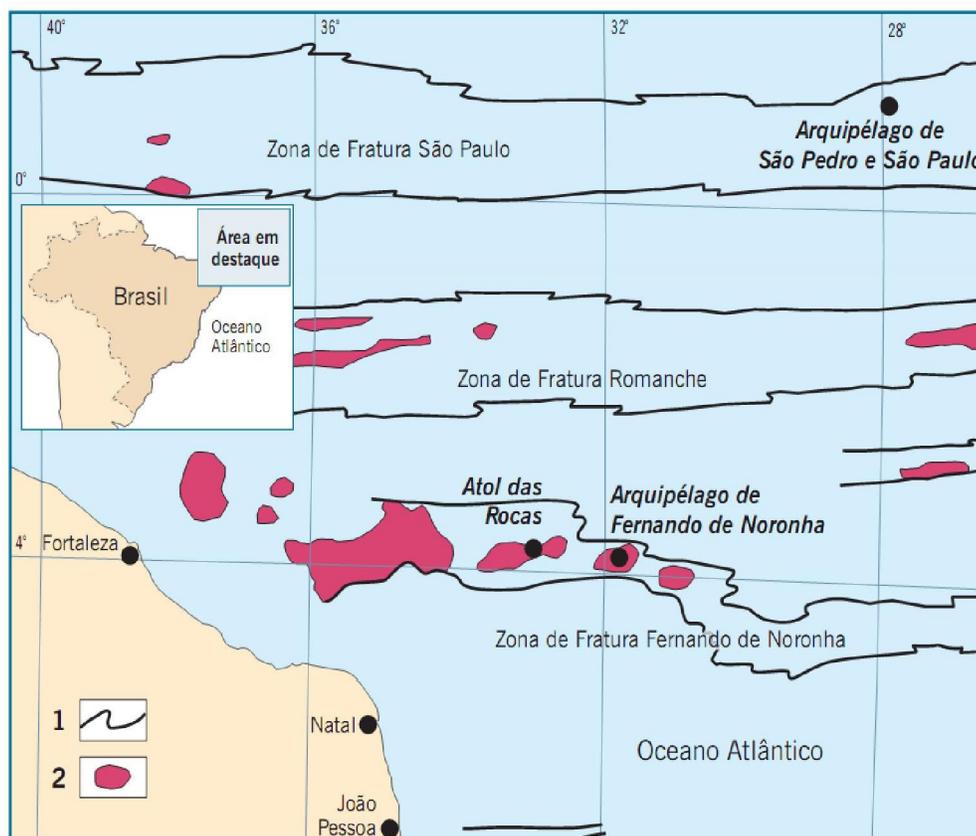


Fig. 5 – Região oceânica adjacente ao Nordeste Brasileiro. Observa-se o alinhamento entre a zona de fratura do Arquipélago de Fernando de Noronha e a localização do Morro Caruru, no extremo leste da cidade de Fortaleza. 1- Limite de zonas de fratura; 2 - Rochas Magmáticas. Fonte: Almeida (2006).

Almeida (2006) o morro Caruru é formado por fonólitos de idade terciária, associado ao vulcanismo do Arquipélago de Fernando de Noronha (Fig. 5).

Segundo Costa (2008) a mineralogia do fonólito constitui-se principalmente de feldspato potássico (sanidina), nefelina, piroxênio sódico, biotita, e minerais do grupo da sodalita, apresentando textura afânítica.

Quanto às suas características morfológicas, este relevo apresenta-se radial, tendo 350m de extensão e 59m de altitude. Apresenta topo plano, vertentes relativamente íngremes, mas com tendência à forma convexa. Desde sua origem submetida às intempéries, não apresenta as mesmas formas originais. No entanto, sua forma topográfica de abóbada nos remete a definir este relevo como um exemplo típico de neck vulcânico (Costa, 2008).

No entorno do corpo pode-se observar uma fina camada de sedimentos agregados bastante oxidados, resultado do intemperismo químico, além de blocos arredondados e semi-arredondados (matacões) oriundos, principalmente, do

intemperismo físico (termoclastia) ao longo do tempo. Atualmente, a vertente oeste do domo acha-se desfigurada, face à atividade de mineração, fato que muda completamente a morfologia desse segmento.

4.2. Tércio Quaternário

Formação Barreiras

A Formação Barreiras apresenta-se como uma faixa alongada de largura variável disposta paralelamente à linha de costa atual. É formada por sedimentos terciário-quaternários mal selecionados, de textura areno-argilosa e coloração avermelhada, creme ou amarelada, muitas vezes apresentando aspecto mosqueado. Forma um relevo tabular, com suave inclinação em direção ao litoral, e inclinações não superiores a 5°.

Essas formações são interrompidas pelos estuários dos rios que atingem o litoral. Penetram

cerca de 40 km na direção oeste avançando para interior do continente e tem altitude média de 30 a 50m, raramente ultrapassando 80m.

Os solos da Formação Barreiras apresentam-se de dois tipos, Argissolos Vermelho Amarelo Eutróficos e Neossolos Quartzarênicos recobertos originalmente por Mata de Tabuleiros e Complexo Vegetacional Litorâneo, todos já fortemente descaracterizados e um remanescente de cerrado cercado pela intensa ocupação urbana (Santos, 2006). Na área são caracterizadas porções de caráter mais arenoso localizado na porção norte que grada para uma fácies areno-argilosa ao sul.

Ocorre também uma expressiva quantidade de lagoas perenes e intermitentes ligadas originalmente por uma série de canais que se encontra fortemente alterada.

A posição estratigráfica dessa unidade encontra-se sobreposta, discordantemente, à superfície de erosão das rochas pré-cambrianas do embasamento e sotoposta, na região litorânea, aos Depósitos eólicos.

4.3. Quaternário

Arenito de praia

O Arenito de praia, do Quaternário (Plioceno), apresenta-se como faixas descontínuas de corpos rochosos alongados e estreitos, que se encontram dispostos paralelamente à linha de costa atual podendo se estender na direção do mar, constituídos de areias de praia cimentadas por carbonatos, podendo apresentar seixos e fragmentos de conchas. Sua espessura, em geral, não ultrapassa dois metros e funcionam como anteparo natural para dissipação da energia das ondas, protegendo as praias da erosão. Estão intimamente relacionados às desembocaduras dos rios Cocó e Pacoti, sendo uma interação entre o ambiente fluvial e marinho. A datação de um desses cordões de arenitos de praia, na praia da Sabiaguaba (Fortaleza), indica idade ^{14}C de 2,7 mil anos (Claudino-Sales, 2002).

A gênese dessas rochas está associada a processos de diagênese das areias de praia por

precipitação de carbonato de cálcio em ambiente marinho, meteórico e transicional. Essas rochas têm ocorrência restrita às regiões tropicais e subtropicais. A litologia varia de conglomerado a arenito grosso a muito grosso, que reflete a presença de maior energia em momento anterior a cimentação.

Os arenitos de praia podem ter mais de um horizonte, e se estenderem por dezenas de quilômetros como nas praias do Futuro, em Fortaleza, Sabiaguaba e Abreulândia (COFECO), em Aquiraz (Fig. 4).

Depósito aluvial

O Depósito aluvial representa áreas de acumulação de sedimentos quaternários de constituição litológica areno-argilosa mal selecionados, de granulometria fina a grossa, cuja topografia baixa e plana ocasiona freqüentes inundações por ocasião das cheias. Apresentam bom potencial de águas subterrâneas, os solos são neossolos flúvicos com boa fertilidade natural.

As áreas de acumulação aluvial apresentam-se moderadamente degradadas em função do extrativismo vegetal acentuado (carnaúba), do uso intenso do solo pelas agriculturas de subsistência e lavouras de vazante. A deficiência de drenagem, a salinidade e a ocorrência de inundações periódicas nesses depósitos são fatores que restringem suas potencialidades naturais, além das restrições legais à sua ocupação.

Depósito flúvio-lacustre

Os Depósitos flúvio-lacustres são formados por sedimentos oriundos da ação combinada de ambos processos, podendo exibir as características dos dois ambientes de sedimentação de forma miscigenada. Estão associados à lagoa da Precabura e aos rios supracitados. São constituídos por areia muito fina, silte, argila de cores negras e matéria orgânica em decomposição que, associadas ao ambiente redutor, favorecem o surgimento de turfeiras. Pode-se observar a ocorrência desse depósito às margens das lagoas Sapiranga e Precabura. Segundo Claudino-Sales & Peulvast in Silva et al. (2006), as lagoas nas partes internas da zona costeira estão relacionadas, em particular a

existência de climas mais ou menos úmidos ao curso do Pleistoceno Superior e de oscilações entre climas úmidos e secos ao curso do Holoceno.

Depósito paludial

O Depósito paludial caracteriza-se por ambiente complexo que sofre influência das oscilações das marés e dos processos continentais, formado pela deposição de sedimentos argilo-areno-siltosos, ricos em matéria orgânica em suas áreas de inundação e vegetação de mangue. As planícies flúvio-marinhas dos rios Pacoti, Cocó e Coaçu são as feições geomorfológicas representativas desse depósito. Sua origem está associada ao processo natural de colmatação de corpos aquosos costeiros, que vão sendo vegetados à medida que as lâminas d'água diminuem.

O regime fluvial é perene com padrão de drenagem anastomosado. A topografia é plana, com eventuais ocorrências de solapamento nas margens.

O manguezal serve de berçário de várias espécies animais. Apresenta vegetação de mangue que é extremamente especializada, com predominância do mangue vermelho (*Rhizophora mangle*).

Depósito eólico

O Depósito eólico é constituído, predominantemente, por sedimentos holocênicos, areno-quartzosos, de granulometria fina a média, que foram selecionados pelo transporte eólico, estando geralmente sobrepostos a uma litologia mais antiga, Formação Barreiras, por exemplo. O relevo é fortemente ondulado. Formam os campos de dunas com preponderância de Neossolos Quartzarênicos, bem selecionados e de colorações claras. Este depósito está presente em quase toda a área de estudo, entre os municípios de Fortaleza e Aquiraz, sendo limite entre outros depósitos como o aluvial, paludial e marinho praias. Estão representados pelas dunas fixas, semifixas e móveis, e superfícies de deflação.

De acordo com Claudino-Sales & Peulvast in Silva *et al.* (2006), as dunas costeiras relacionadas às variações climáticas do final do Pleistoceno e do Holoceno, durante as fases de regressão marinha a acumulação de areias na zona costeira teria sido mais

importante, em função da emersão da plataforma continental. Já as condições que são associadas aos períodos de transgressão, as areias da zona litorânea seriam transportadas em direção à plataforma, enquanto uma transferência de areias da plataforma em direção ao litoral teria lugar durante as regressões.

Na área de pesquisa, estas feições encontram-se dispostas paralelamente à linha de praia, apresentando um relevo ondulado e prolongando-se sobre a zona dos tabuleiros pré-litorâneos no sentido NW, em decorrência da predominância do vento nessa direção.

As dunas móveis têm larguras distintas dentro da área de pesquisa, variando de 300m a 1250m, no sentido perpendicular à linha de praia. Algumas chegam a atingir 90m (perfil topográfico da figura 6). A principal fonte dos sedimentos são as areias depositadas ao longo da faixa de praia e pós-praia. Na área de estudo, a intensidade e o predomínio dos ventos alísios, principal fator de formação e migração das dunas, tendem a deslocá-las no sentido NW. As dunas fixas ou estáveis e semi-fixas, situadas à vanguarda das dunas móveis, estão distribuídas de forma descontínua e chegam, em alguns locais da área, no sentido perpendicular à linha de costa, a mais de 2000 m de largura e têm em média de 40 a 90 m de altitude. Essas feições possuem formação mais antiga e estão recobertas total ou parcialmente por vegetação pioneira (Meireles *et al.*, 2001). São constituídas por areias bem selecionadas, de granulação fina a média, e apresentam matéria orgânica na composição de seu substrato. As dunas mais antigas, edafizadas, são mais interiorizadas e foram provavelmente remobilizadas durante a última transgressão marinha. Essas dunas acham-se rebaixadas e por vezes recobertas pelas dunas atuais (Souza, 1989), na região de Sabiaguaba.

As planícies de deflação são superfícies planas horizontais, ou ligeiramente inclinadas, que se estendem desde o limite de maré alta, até a base do campo de dunas. Nestas superfícies predomina a remoção de sedimentos pelos processos eólicos, com formação de feições residuais. Esta faixa da planície litorânea é relativamente plana e, é de lá que o vento retira a areia para formar as dunas, principalmente, no litoral cearense, onde as dunas

frontais, não são comuns e têm pouca expressão superficial. A formação da superfície plana é rápida e, à medida que vai se tornando mais uniforme, diminui a turbulência do vento, responsável pelo transporte da areia. Às vezes o vento é tão brando que não tem energia para carregar os grãos de areia por grandes distâncias, acumulando o sedimento nas depressões da própria superfície de deflação (CEARÁ/SEMACE, 2004).

As dunas frontais (*foredunes*) constituem um cordão arenoso que se desenvolve paralelo à linha de praia, ocupando a zona de pós-praia (*backshore*), apresentando uma relação geométrica característica, em que as dimensões (comprimento e altura) são pequenas em relação a sua largura. A densidade de cobertura vegetal varia de acordo com as condições climáticas da área (Castelo Branco *et al.*, 2003). Ressalta-se que essas feições não estão representadas no mapa geológico, figura 4, em razão de suas pequenas dimensões.

Depósito marinho praiial

O Depósito marinho praiial exibe uma configuração contínua e alongada que se estende por toda costa até a base do campo de dunas, constituído por sedimentos marinhos arenosos, depositados pela deriva litorânea, e que são constantemente mobilizados pela ação eólica e retrabalhados pela abrasão marinha na faixa praiial. Esses depósitos foram originados durante a regressão holocênica (Claudino Sales & Peulvast in Silva *et al.*, 2006).

Há uma infinidade de modificações sazonais durante os processos de deposição e remoção de sedimentos arenosos na faixa de praia, que são causados pelas variações das marés, uma vez que ocorre uma maior intensidade de acumulação na preamar e predomina a erosão durante o refluxo da baixa-mar, sendo, portanto, a praia, dentro dos ambientes litorâneos, um dos ambientes mais instáveis e com intensa dinâmica.

Os sedimentos praiiais são constituídos, predominantemente, por areia média, apresentando grãos de quartzo subarredondados e de esfericidade média. Entretanto, as características granulométricas tendem a variar de areia grossa a fina, em função do estágio evolutivo da costa, conseqüência de

modificações espaciais e temporais, podendo ocorrer ocasionalmente a presença de grânulos e seixos próximos a desembocaduras dos rios e abundantes restos de conchas, matéria orgânica e minerais pesados.

Na área de estudo o Depósito marinho praiial é representado pela faixa praiial com larguras variadas e ocorrência pontual de arenitos de praia. Esses depósitos são arenosos e tem largos perfis de pós-praia ou antepraia. O pós-praia desenvolve-se a partir da faixa litorânea em altitudes médias de 2m. A largura da faixa de praia varia de 100 a 120m, levando em consideração a maré do dia e os sedimentos que são de médios a finos, em se tratando da sua granulometria, por vezes recoberta por uma vegetação pioneira herbácea.

5. Paleogeografia

A paleogeografia da zona costeira entre as praias do Futuro e Porto das Dunas é definida com base nas unidades litoestratigráficas presentes, considerando as características altimétricas, litológicas, sedimentológicas, tectônicas, geomorfológicas e posicionais geográficas em relação à linha de costa atual (Figuras 6 e 7).

Na área pesquisada, esses processos originaram diferentes depósitos sedimentares, preservando apenas os mais recentes do Tércio-Quaternário e Quaternário, com exceção do maciço residual, representado pelo Morro Caruru, datado do Terciário.

Vale ressaltar que a Plataforma Brasileira foi, segundo Sykes (1978), em toda a sua extensão, afetada por deformações tectônicas cenozóicas que aproveitaram preferencialmente as linhas de fraqueza crustal herdadas das eras geológicas anteriores, sem prejuízo de terem, concomitantemente e/ou em seguida, nucleado estruturas novas.

De acordo com Saadi (1993), o resultado final é expresso por uma compartimentação em unidades neotectônicas (micro-placas?), delimitadas por Descontinuidades Crustais resultando da reativação, geralmente em regime transcorrente, dos mais expressivos lineamentos pré-cambrianos brasileiros; a Descontinuidade Crustal dos Dois “Brasis” (DCDB) constitui um rasgo fundamental na Plataforma Brasileira, a partir do qual se organizou

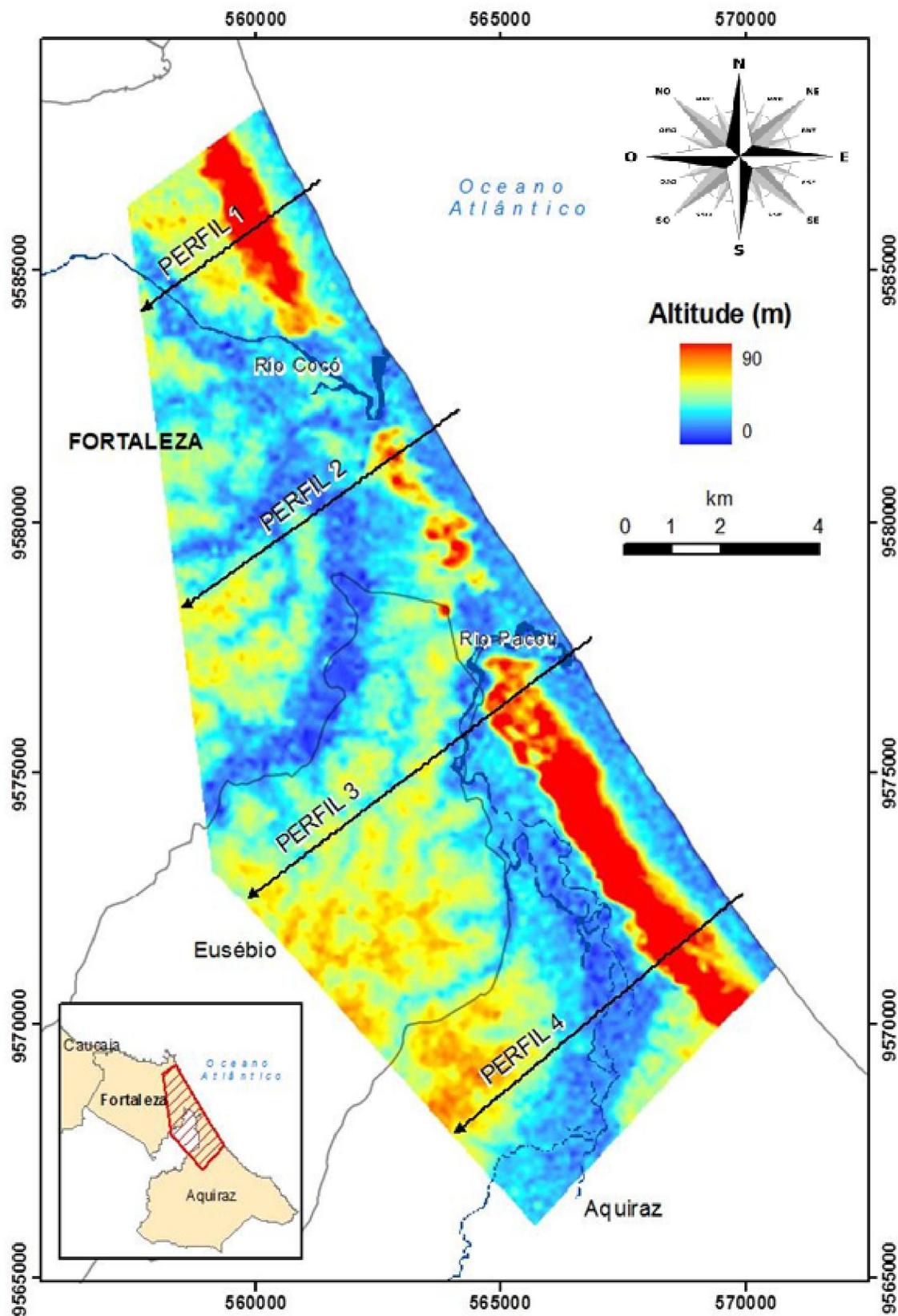


Fig. 6 – Modelo digital da zona costeira entre as praias do Futuro e Porto das Dunas, RMF, Ceará.

a hidrografia moderna e, conseqüentemente, a evolução geomorfológica cenozóica; e a participação dos prolongamentos continentais dos lineamentos oceânicos a este arcabouço é bastante evidente na região Nordeste.

Baseando-se nos levantamentos e estudos desenvolvidos por Claudino-Sales & Peulvast in Silva *et al.* (2006) e Fundação Brasil Cidadão (2009), os principais conjuntos morfológicos da fachada marítima cearense foram herdados da reativação tectônica cretácea que produziu a ruptura entre os continentes africano e sulamericano, descritos a seguir:

No Cretáceo Inferior

- (1) extensão intracontinental difusa (rifting), com formação de rifts no eixo estrutural Cariri/Potiguar, de orientação SE-NW e de idade neocomiana (145-130 Ma);
- (2) abortamento dos rifts no Barremiano (130-125 Ma), com a formação das bacias sedimentares do Araripe e Apodi nas fossas abortadas;
- (3) abertura das fossas transformantes através de esforços transtensionais e transpressivos de orientação SE-NW no Aptiano/Albiano (entre 125 e 100 Ma), rasgando a bacia do Apodi e criando as zonas de fraturas que deram origem ao oceano Atlântico no Nordeste equatorial brasileiro, por volta de 100 Ma;

No Cretáceo Superior

- (1) subsidência térmica das bacias sedimentares, propiciando a deposição das coberturas entre o Cenomaniano e Campaniano (99-85 Ma), representadas pelas formações Açú e Jandaíra na bacia Potiguar. Esses depósitos ultrapassaram largamente os limites da bacia, recobrando parcela das áreas aplainadas adjacentes, que teriam portanto sido aplainadas em tempos pré-cenomanianos;
- (2) soerguimento flexural do interior do continente com subsidência da zona costeira, em curso até o Presente;

No Terciário

- (1) atividade vulcânica-alcalina na fachada marítima (entre 30 Ma e 10 Ma), associada à zona de fraturas oceânicas relacionada à expansão do assoalho do oceano Atlântico, através da ascensão de magma ao longo de falhas transformantes, responsável pelo alinhamento no qual se localizam diversos montes vulcânicos no fundo oceânico na região Nordeste do Brasil, como o arquipélago Fernando de Noronha;
- (2) variações climáticas e eustáticas, com deposição da Formação Barreiras entre o Mioceno e Pleistoceno (30 Ma - 2 Ma), o nível relativo do mar encontrava-se mais elevado que o atual, provocando erosão marinha sobre os relevos pretéritos, permitindo a formação de uma ampla plataforma de deposição de sedimentos continentais (e provavelmente também litorâneos) e responsável pela modelagem dos tabuleiros pré-litorâneos (glacis de deposição), no qual sua evolução é controlada, sobretudo, pela ação eólica e por processos continentais (intemperização, pedogenização, escoamentos superficiais com ravinamentos, ação fluvial).
- (3) arenitos de praia associados a processos de diagênese das areias de praia por precipitação de carbonato de cálcio em ambiente marinho, meteórico e transicional (idade ^{14}C de 2,7 Ka, segundo Claudino-Sales, 2002).

No Quaternário

- (4) variações climáticas e do nível do mar (provavelmente com ocorrência de uma transgressão holocênica e uma regressão holocênica); modelagem de formas litorâneas quaternárias (planícies de inundação, planície flúvio-lacustre, planície flúvio-marinha, dunas – fixas, móveis e semi-fixas, dunas frontais, planície deflação e praias atuais).

Ainda segundo os autores supracitados, atualmente, os estoques arenosos litorâneos acham-

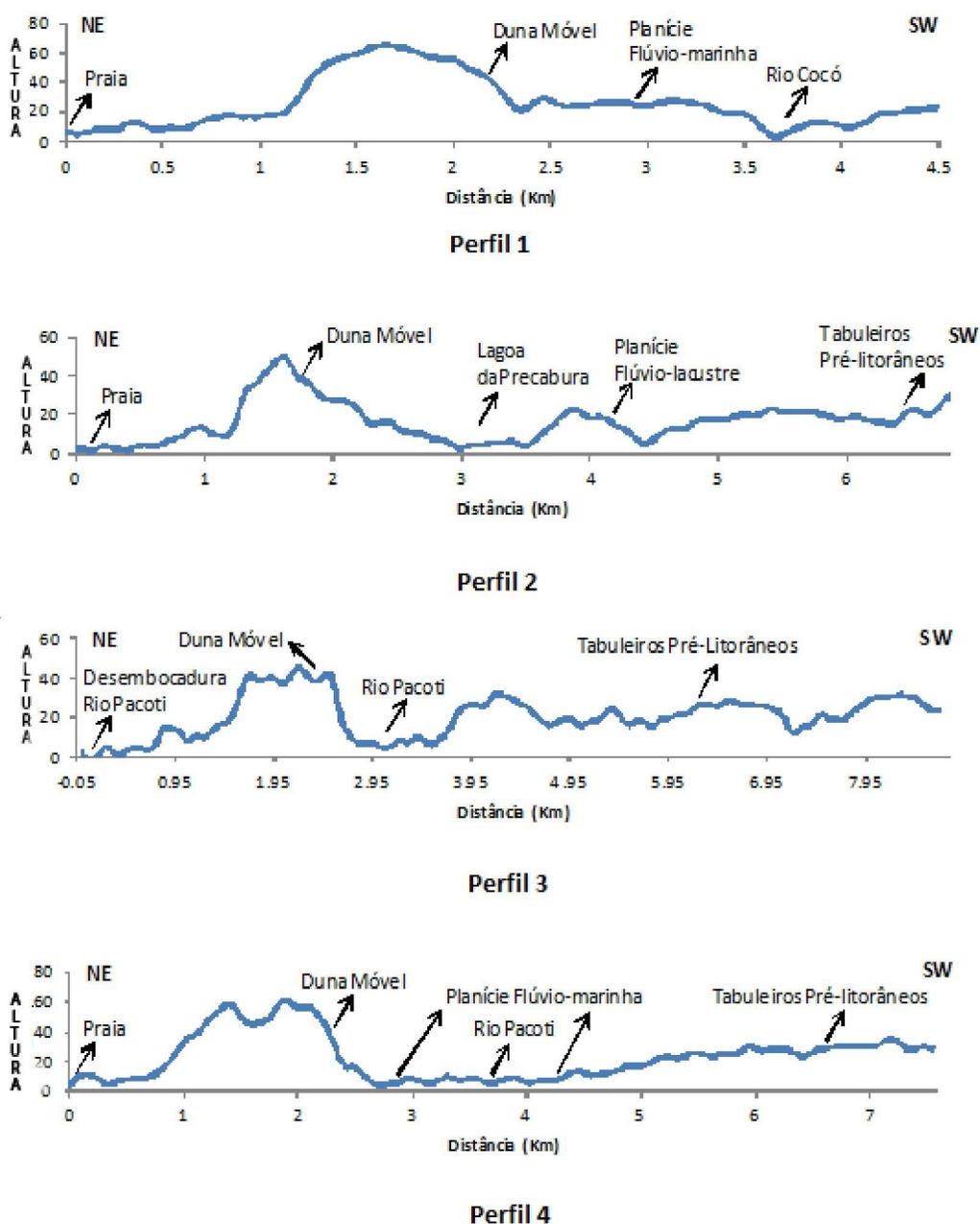


Figura 6 – Modelo digital da zona costeira entre as praias do Futuro e Porto das Dunas, RMF, Ceará.

se submetidos a uma forte deflação e numerosas praias, a uma intensa erosão. Essa tendência erosiva pode estar associada a um controle climático e sedimentológico próprio do período atual, ou ainda uma resposta aos impactos antropogênicos, ocupação social e desenvolvimento urbano acelerado da região, como pode também estar associada ao contexto atual de subida do nível relativo do mar.

De acordo com Martin *et al.* (1984), com raras exceções, os estudos publicados sobre as

tendências da evolução paleoclimática quaternária só consideram as mudanças ocorridas durante o Pleistoceno Superior e o Holoceno, principalmente no intervalo compreendido entre o último pico glacial e a última regressão eustática de 18 Ka e os primeiros milênios do período pós-glacial, com o máximo da transgressão holocênica de 7 Ka na maioria das costas mundiais e de 5,1 Ka no Brasil.

6. Conclusões

A zona costeira pesquisada, apesar de sua pequena dimensão territorial, apresenta significativa diversidade de unidades litoestratigráficas, o que confere grandes potencialidades paisagísticas e disponibilidade de recursos ambientais.

Quanto às unidades litoestratigráficas da zona costeira destacam-se as rochas vulcânicas alcalinas presentes no morro Caruru; os sedimentos continentais representados pela Formação Barreiras e Depósito aluvial; os sedimentos litorâneos (Arenito de praia, Depósito flúvio-lacustre, Depósito paludial, Depósito eólico e Depósito marinho praiado), com grande potencial para exploração.

A maioria da área da zona costeira de estudo é constituída pela Formação Barreiras do Tércio-Quaternário, tal como foi observado nos trabalhos preliminares e de campo realizado na área da pesquisa. A unidade litoestratigráfica de menor expressão encontra-se representada pela unidade Vulcânica-Alcalina (morro Caruru). Vale ressaltar que a presença dos arenitos de praia funcionam como anteparo natural para dissipação da energia das ondas, protegendo as praias da erosão costeira (Fig. 4).

Os sedimentos da planície costeira foram originados a partir de processos gravitacionais gerados por oscilações climáticas relacionadas às flutuações relativas do nível do mar ocorridas durante o Quaternário, principalmente durante a última fase regressiva, que iniciou há 5.100 anos A.P.

Na área pesquisada vale destacar a grande influência do soerguimento flexural do interior do continente com subsidência da zona costeira, em curso até o presente. Ao longo da fachada marítima desloca-se como um paleopiedmont, formando o substrato dos sedimentos da Formação Barreiras. Esse processo, herdado do Cretáceo, parece não ter mudado ao longo do Cenozóico, sugerindo a presença de relevos herdados por falhas bordejando antigos rifts e de corredores estruturais guiados pelas grandes zonas de cisalhamento reativadas no Cretáceo.

De acordo com os estudos pretéritos, a região tem sido afetada por deformações tectônicas cenozóicas que aproveitaram preferencialmente as linhas de fraqueza crustal herdadas das eras

geológicas anteriores. A ocorrência de importante atividade neotectônica na região, com decisiva influência sobre a evolução morfogenética, tem sido aceita em vários trabalhos geomorfológicos de caráter regional sobre o Nordeste Brasileiro, bem como variações climáticas e eustáticas associadas com deposição da Formação Barreiras, época em que o nível do mar encontrava-se mais elevado que o atual, provocando erosão marinha sobre os relevos pretéritos. Esse processo permitiu a formação de uma ampla plataforma de deposição de sedimentos continentais responsável pela modelagem dos tabuleiros pré-litorâneos. A sua evolução é controlada, sobretudo, pela ação eólica e por processos continentais.

Recomenda-se para futuros trabalhos a realização de sondagens estratigráficas ao longo da planície costeira, a análise de detalhe dos sedimentos quanto à morfoscopia e mineralogia, o monitoramento morfodinâmico e sedimentológico da faixa praiado e a batimetria e faciologia da antepraia e plataforma continental interna adjacente.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Programa de Pós-graduação em Geologia da Universidade Federal do Ceará (UFC) pela oportunidade de realização do referido estudo, ao Laboratório de Geologia Marinha Aplicada (LGMA - UFC) e ao Laboratório de Química Ambiental da Universidade de Fortaleza (UNIFOR) pelas análises laboratoriais efetuadas. Em especial à Prof^ª Dr^ª Loreci Gislaíne de Oliveira Lehugeur (*in memoriam*) por sua dedicação e compromisso profissional e ético, sempre dispensados em prol da ciência e da formação de qualidade dos seus alunos.

Referências Bibliográficas

- Almeida, F. F. M. 1986. Distribuição regional e relações tectônicas do magmatismo pós-paleozóico no Brasil. *Revista Brasileira de Geociências* 16 (4): 325 - 349.
- Almeida, F. F. M.; Carneiro, C. D. R. Machado Jr., D. L.; Dehira, L. K. 1988. Magmatismo pós-paleozóico no nordeste oriental do Brasil. *Revista Brasileira de Geociências* 18 (4): 451 - 462.

- Arcinfo Gis 10.0. 2010. Software Teaching Lab *Pak ArcInfo 10*. Sistema Microsoft Windows 2000, XP 32 e 64 bits e 2003: Arc Editor – ESRI. Versão 10.0, idioma: pt. CD-ROM.
- Brandão, R. L. et al. 1998. Sistema de informações para gestão e administração territorial da Região Metropolitana de Fortaleza - *Projeto SINFOR*: diagnóstico geoambiental e os principais problemas de ocupação do meio físico da Região Metropolitana de Fortaleza. Fortaleza: CPRM. 105 p., il. (Ordenamento territorial, 1).
- Brasil/ME/Sudene. Ministério Do Exército/ Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste. Diretoria do Serviço Geológico. 1971. Região Nordeste do Brasil (Aquiraz). Índice de nomenclatura. *Folha SA-24-Z-C-V. 1971*. 1 mapa. Escala 1:100.000.
- Campos, A. A. et al. 2003. Uso e ocupação da zona costeira e seus impactos. In: *a zona costeira do Ceará: diagnóstico para gestão integrada*. Associação de Pesquisa e Preservação de Ecossistemas Aquáticos-AQUASIS, Fortaleza.
- Castelo Branco, M. P. N., Lehugeur, L. G. O. & Campos, J.E.G. 2003. Proposta de classificação para as feições eólicas do setor leste da região metropolitana de Fortaleza – Ceará – Brasil. São Paulo, UNESP, *Geociências 22(2)*: 163-174.
- Ceará/Semace–Superintendência Estadual do Meio Ambiente. 2004. *Programa estadual de gerenciamento costeiro*. GERCO-CE. Fortaleza: SEMACE.
- Ceará/SRH – Secretaria De Recursos Hídricos. 1992. *Plano Estadual dos recursos hídricos de Fortaleza*.
- Claudino-Sales, V. C. 2002. *Evolution géomorphologique de la zone côtière de Ceará (Nordest du Brésil): du long terme au court terme..* 520p. Tese de Doutorado. Universidade de Paris IV.
- Claudino-Sales, V. C. 2007. *Os litorais cearenses*. In: Ceará: um novo olhar geográfico / organizadores, José Borzacchiello da Silva, Tércia Correia Cavalcante, Eustógio Wanderley Correia Dantas; Maria Salette de Sousa... [et al] – Fortaleza: Edições Demócrito Rocha, 480p.
- Claudino-Sales, V. C.; Peulvast, J. P. 2006. *Geomorfologia da zona costeira do estado do Ceará, nordeste do Brasil*. In: Silva, J. B. da et al (org). Litoral e sertão, natureza e sociedade no nordeste brasileiro. Fortaleza: Expressão Gráfica.
- Costa, A. T. da. 2008. *Estudo morfoambiental dos relevos vulcânicos da região metropolitana de Fortaleza, CE*. Dissertação de Mestrado em Geografia/UFC. Fortaleza.
- EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. 1999. *Sistema Brasileiro de Classificação de Solos*. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Brasília: EMBRAPA. Produção de Informação, Rio de Janeiro: Embrapa Solos, xxvi; 412 p., il.
- Folk, R. L. & Ward, C. 1957. Brazos river bar: a study in the significance of grain size parameters. *Journal of Sedimentary Petrology*, 27 (1): 3-26.
- Fundação Brasil Cidadão. 2009. *Projeto de olho na água: estratégia para a sustentabilidade*. Coordenado por João Bosco Carbogim. Fortaleza: Fundação Brasil Cidadão.
- INMET – Instituto Nacional de Meteorologia. 2010. *Observações/Condições Registradas/Gráficos*. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/sim/abre_Graticos.php?data=01/2011&data2=2010&lista=11,12,&est=82397&uf=C>. Acessado em: 12/2010.
- INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. 2007. *Imagens de satélite vetorizadas da região Nordeste do Brasil*. CPTEC, 2007. Disponível em: <http://www1.cptec.inpe.br/satelite/indexp.html>. Acessado em: 12/2010.
- INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. 2008. *Imagens de satélite vetorizadas da região Nordeste do Brasil*. CPTEC, 2008. Disponível em: <http://www1.cptec.inpe.br/satelite/indexp.html>. Acessado em: 12/2010.
- IPECE – Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará. 2008. *Levantamento aerofotogramétrico - Ortofotocartas, do projeto Ortofotográfico do Pólo Ceará Costa do Sol*.
- Krumbein, W. C. 1934. Size frequency distribution os sediments. *Journal of Sedimentary Petrology*, 4: 65-77.
- Lima, S. F. et al. 2001. ANASED – Programa de análises, classificação e arquivamento de parâmetros metodológicos. In: *Anais Congresso da ABEQUA*. Mariluz-Imbé: ABEQUA 2001(8): 458-459.
- Maia, L. P. 1998. *Processos costeros y balance sedimentário a lo largo de Fortaleza (NE-BRASIL): implicaciones para uma gestión adecuada de la zona litoral*. 1998. 269p. Tese (Programa Doutorado em Ciencias del Mar). Universidade de Barcelona. Barcelona – Espanha.
- Maia, L. P. 1993. Controle tectônico e evolução geológica/sedimentar da região da desembocadura do rio Jaguaribe, Ceará. Dissertação de Mestrado (Departamento de Geologia). UFPE, Recife. 144p.
- Maia, L. P. et al. 1999. Correlação estratigráfica em poços de subsuperfície e datação de dunas costeiras inativas da região de Cauípe/Pecém – costa oeste do Ceará. *Anais VII Simpósio da ABEQUA*, Florianópolis, p. 65-68.
- Martin, L. et al. 1984. Evolução da planície costeira do rio Paraíba do Sul (RJ) durante o Quaternário: influência das flutuações do nível do mar. *XXXIII Congresso Brasileiro de Geologia*, Rio de Janeiro 1: 19-35.

- Martins, E. P. et al. 2010. Aspectos ambientais da lagoa da Precabura, zona costeira, estado do Ceará, Brasil. In: XVI Encontro de Iniciação à Pesquisa da UNIFOR, 2010, Fortaleza. *CD Resumos - XVI Encontro de Iniciação à Pesquisa da UNIFOR*. Fortaleza: UNIFOR, 2010. v. único.
- Meireles, A. J. A. 2001. *Mapeamento geológico/geomorfológico da planície costeira de Icapuí, extremo leste do estado do Ceará*. Dissertação de Mestrado, UFPE. 178p.
- Meireles, A. J. A. 2007. *As unidades morfoestruturais do estado do Ceará*. In: Ceará: um novo olhar geográfico / organizadores, José Borzacchiello da Silva, Tércia Correia Cavalcante, Eustógio Wanderley Correia Dantas; Maria Salete de Sousa... [et al] – Fortaleza: Edições Demócrito Rocha, 480p.
- Meireles, A. J. A., Silva, E. V & Raventos, J. S. 2001. Geomorfologia ambiental da planície litorânea entre as desembocaduras dos rios Pacoti e Ceará. *Revista GeoNotas*. Dep. Geografia. Universidade Estadual de Maringá. V. 5. Nº 1.
- Miranda, L. B.; Castro, B. M.; Kjerfve, B. 2002. Princípios de Oceanografia Física. In: _____. *Introdução ao Estudo dos Estuários*. In: Classificação dos Estuários. São Paulo: EDUSP.
- Moura, M. R. 2009. *Processos costeiros e evolução da ocupação nas praias do litoral oeste de Aquiraz, Ceará entre 1970-2008*. 137p. Dissertação de Mestrado (Mestrado Acadêmico em Geografia) - Universidade Estadual do Ceará, Fortaleza.
- Saadi, A. (1993). Neotectônica da plataforma brasileira: esboço e interpretação preliminares. *Geonomos 1 (1)*: 1-15, UFMG ISSN: 0104-4486
- Santos, J. O. 2006. *Vulnerabilidade ambiental e áreas de risco na bacia hidrográfica do rio Cocó: Região Metropolitana de Fortaleza – CE*. Dissertação (Mestrado em Geografia). UECE. Fortaleza, 218p. Disponível em: <<http://www.dominiopublico.gov.br/download/texto/cp013217.pdf>>. Acessado em: 23 mai. 2009.
- Silva, J. B. da et al. 2006. *Litoral e sertão, natureza e sociedade no nordeste brasileiro*. Fortaleza: Expressão Gráfica.
- Souza, M. J. N. 1988. Contribuição ao estudo das unidades morfoestruturais do estado do Ceará. *Revista de Geologia (1)*: 73-91, UFC.
- Souza, M. J. N. 1989. Geomorfologia. In: Ceará. Secretaria de Planejamento e Coordenação – SEPLAN. Fundação de Planejamento do Estado do Ceará – IPLANCE. *Atlas do Ceará*, Fortaleza, 1989. p. 14-15.
- Sykes, L. R. 1978. Intraplate seismicity, reactivation of preexisting zones of weakness, alkaline magmatism and other tectonism postdating continental fragmentation. *Review of Geophysics and Space Physics (6)*: 621-688.
- Wentworth, C. K. 1922. A scale of grade and class terms for classic sediments. *Journal of Geology* 30: 377-392.