



Universitat de Barcelona
Programa de Doctorado Ciencias del Mar
Departament d'Ecologia
Departament d'Estratigrafia i Paleontologia

**EVOLUCIÓN ACTUAL DEL LITORAL DE
NATAL – RN (BRASIL) Y SUS APLICACIONES
A LA GESTIÓN INTEGRADA**

Eugenio Marcos Soares Cunha

Tesis Doctoral

2004

**EVOLUCIÓN ACTUAL DEL LITORAL DE
NATAL – RN (BRASIL) Y SUS APLICACIONES
A LA GESTIÓN INTEGRADA**

Memoria de la Tesis Doctoral que Eugenio Marcos Soares Cunha presenta para la obtención del grado de Doctor en Ciencias del Mar.

Esta tesis se ha realizado bajo la dirección del Dr. Jordi Serra i Raventós (UB), en el Departamento d'Estratigrafia, Paleontología i Geociencias Marines.

Tesis Doctoral adscrita al Departament d'Ecología, Facultat de Biología, Universitat de Barcelona.

Programa Doctorado de Ciencias del Mar
(Bienio 1996 - 1998)

Barcelona, Enero de 2004.

RESUMEN
RESUMO
ABSTRACT
AGRADECIMIENTOS

	ÍNDICE	PÁGINA
I – INTRODUCCIÓN		
1 – PRESENTACIÓN.....		03
2 – OBJETIVOS		05
3 – METODOLOGÍA Y DESARROLLO DEL TRABAJO		06
II – CARACTERIZACIÓN GENERAL DEL ÁREA		
1 – ASPECTOS GEOAMBIENTALES.....		09
1.1 – Encuadramiento Geológico y Geomorfológico Regional.....		09
1.1.1 – Geología y Geomorfoloía Continental.....		10
1.1.1.1 – Margen Continental Brasileña.....		10
1.1.1.2 – Caracterización Geológica de la Costa del Noreste de Brasil.....		10
1.1.1.3 – Caracterización Geológica de la Costa del Estado de Rio Grande do Norte.....		11
1.1.1.4 – Evolución Paleogeográfica.....		12
1.2 – Encuadramiento Geológico y Geomorfológico Local.....		12
1.2.1 – Sedimentos Terciarios / Formación Barreras.....		12
1.2.2 – Unidades Cuaternarias y Recientes.....		13
1.2.2.1 – Dunas.....		13
1.2.2.2 – Playas.....		13
1.2.2.3 – Arrecifes.....		14
1.2.2.4 – Terrazas y Aluviales.....		15
1.2.2.5 – Planicie Fluvio-marina.....		15
2 – CONSIDERACIONES CLIMATICAS.....		16
2.1 – Aspectos Regionales.....		16

2.2 – Clima Local.....	16
2.3 – Vientos.....	17
2.4 – Temperatura del Aire.....	17
2.5 – Precipitación.....	18
2.6 – Humedad Relativa.....	18
2.7 – Nebulosidad e Insolación.....	18
2.8 – Presión Atmosférica.....	19
3 – HIDROGRAFIA.....	19
3.1 – Río Potengi.....	19
3.2 – Río Jundiá.....	20
3.3 – Río Doce.....	20
4 – SUELOS.....	20
5 – COBERTURA VEGETAL.....	21
5.1 – Ecosistemas terrestres.....	21
5.1.1 – Vegetación Nativa.....	21
5.1.2 – Vegetación Antrópica.....	22
5.2 – Ecosistema de Transición.....	22
5.2.1 – Manglar.....	22
6 – OCUPACIÓN URBANA.....	23
6.1 – El Puerto y la Región Metropolitana de Natal.....	24
6.2 – Dinámica Poblacional del Entorno del Puerto.....	24
6.3 – Transformaciones Urbanas.....	25
III - CONSIDERACIONES GENERALES SOBRE LA ZONA COSTERA	
1 – ZONA COSTERA.....	29

1.1 – Playas - Espacio Natural.....	29
1.2 – Caracterización de la Costa Brasileña.....	29
1.3 – Intervenciones Antrópicas.....	30
2 – SITUACION ACTUAL DE LAS REGIONES COSTERAS.....	30
2.1 – Erosión Costera.....	30
2.1.1 – Causas Naturales.....	31
2.1.2 – Causas Antrópicas.....	31
2.1.3 – Fluctuaciones del nivel del mar.....	32
3 – ESTUÁRIOS.....	33
3.1 – Clasificación Geomorfológica de los Estuarios.....	33
3.2 – Clasificación de los Estuarios en Función de la Circulación de las Aguas.....	33
3.3 – Principales Impactos Ambientales.....	34
4 – MANGLARES.....	35
4.1 – Los Manglares y sus Recursos: Repercusiones y Utilizaciones.....	35
4.1.1 – Tendencias Socio-económicas.....	35
4.1.2 – La Pesca.....	36
4.1.3 – Acuicultura.....	36
4.1.4 – Salinas.....	36
5 – LEGISLACIÓN COSTERA.....	37
IV – DINÁMICA LOCAL DE LOS SISTEMAS COSTEROS	
1 – FRENTE LITORAL.....	41
1.1 – Morfología de la Plataforma Continental del Área de Estudio.....	41
1.2 – Clima de Oleaje.....	42
1.2.1 – Olas de Período Corto.....	42
1.2.2 – Olas de Período Medio.....	43
1.3 – Transporte Generado por las Olas.....	43

1.4 – Transporte Longitudinal de Sedimentos.....	44
1.5 – Limitaciones a la Ocupación Costera.....	45
2 – ESTUÁRIO DEL RÍO POTENGI.....	46
2.1 – Morfología Marina Actual.....	46
2.1.1 – Formas Batimétricas y Condicionantes Morfológicos.....	46
2.1.2 – Comparación de las Cartas Batimétricas.....	47
2.1.3 – Interpretación de Datos Sísmicos de Alta Resolución.....	48
2.2 – Dinámica Estuarina de Marea.....	49
2.2.1 – Observaciones Maregráficas.....	50
2.3 – Observaciones Limnimétricas.....	50
2.4 – Corrientes de Marea.....	51
2.5 – Circulación del Estuario.....	51
2.6 – Influencia Estuarina en la Circulación Costera.....	52
2.7 – Evolución del Prisma de Marea.....	52
2.8 – Comportamiento de las Corrientes en el Estuario del Río Potengi.....	53
2.9 – Comportamiento de la Salinidad.....	53
2.9.1 – Distribución General.....	53
2.10 – Temperatura.....	54
2.10.1 – Distribución General.....	55
2.11 – Transparencia.....	55
2.12 – Oxígeno Disuelto.....	55
2.13 – Distribución del pH.....	55
2.14 – Material en Suspensión.....	56
2.14.1 – Comportamiento General del Material en Suspensión.....	56
2.15 – Sedimentos.....	57
2.15.1 – Distribución Textural.....	58
2.15.2 – Parámetros Estadísticos.....	58
2.15.2.1 – Diámetro Medio.....	58
2.16 – Distribución del Carbonato de Calcio.....	59
2.17 – Distribución de Materia Orgánica.....	59

V – INTERVENCIONES ANTRÓPICAS Y SUS CONSECUENCIAS AMBIENTALES	
1 – ESTUÁRIO DEL POTENGI.....	63
1.1 – Antecedentes Históricos.....	63
1.2 – Influencia de las Obras.....	67
1.2.1 – Dragado.....	67
1.2.2 – Derrumbe.....	67
1.2.3 – Obras de Defensa (Escollera).....	68
2 – ANÁLISIS DE LA EVOLUCIÓN DEL ESTUÁRIO.....	68
2.1 – Modificaciones Morfológicas.....	68
2.1.1 – Evolución de la Forma en Planta y Perfil.....	69
2.1.2 – Evolución del Banco de las Velhas.....	70
2.1.3 – Evolución del Canal de Acceso del Puerto.....	72
2.1.4 – Evolución de la Barra.....	72
3 – FRENTE LITORANEA.....	75
3.1 – Evolución de la Línea de Costa (1974-2003).....	75
3.2 – Análisis de las Intervenciones Urbanas y Sus Repercusiones en la Frente Litoranea	75
3.2.1 – Playa de Areia Preta.....	75
3.2.2 – Playa del Forte	79
3.2.3 – Playa de la Redinha.....	82
3.3 – Características Granulométricas de los Sedimentos	84
VI – PROPUESTA DE GESTIÓN INTEGRADA DEL FRENTE MARÍTIMO DE NATAL	
1 – PROPUESTA DE GESTIÓN INTEGRADA DEL FRENTE MARÍTIMO DE NATAL	89
VII – CONSIDERACIONES FINALES	
1 – CONSIDERACIONES FINALES.....	99

1.1 – Estuario Potengi.....	101
1.2 – Playa de Areia Preta.....	106
1.3 – Playa del Forte.....	108
1.4 – Playas de la Redinha y Redinha Nova.....	111

BIBLIOGRAFÍA

BIBLIOGRAFÍA.....	117
-------------------	-----

RESUMEN

El Análisis de la evolución costera reciente de la región de Natal (Estado de Rio Grande do Norte – Brasil) es llevado a cabo en esta tesis de doctorado, que tiene como objetivo primero proveer los elementos necesarios para la gestión ambiental de este territorio urbanizado en su mayor parte. El presente estudio comprende: la caracterización geológica-geomorfológica, la identificación, caracterización y cuantificación de los agentes dinámicos y sus respectivos procesos ambientales. Estos estudios se han realizado bajo una amplia perspectiva científica, siendo de fundamental importancia conocer el funcionamiento de los agentes costeros, las interrelaciones de los procesos, las respuestas a las interferencias externas y la influencia en los diversos ecosistemas existentes en el área, tales como estuarios, manglares, playas, dunas, arrecifes y acantilados.

Los principales agentes identificados y analizados como responsables por la evolución costera son: los vientos, que generan el transporte eólico, las olas y las mareas que influyen la dinámica estuarina y la dinámica litoránea. Las interacciones espacio-temporal entre los agentes, factores y procesos ambientales fueron caracterizadas de forma detallada, permitiendo la elaboración de un modelo conceptual de evolución costera. Este modelo, analizado desde el punto de vista de las informaciones históricas disponibles, además de permitir evaluar los cambios ocurridos a lo largo de este trecho costero, tanto debido a la actuación humana, intervenciones portuarias y urbanas ocurridas a partir del inicio del siglo, como por variaciones climáticas, provee elementos fundamentales para las medidas mitigadoras necesarias. Como ejemplo de la aplicación de este modelo de evolución costera, se presentan como parte de este estudio los Proyectos de Protección y Recuperación de Areia Preta y de Protección de Redinha Nova.

Finalmente, este trabajo se propone como elemento básico de evaluación para futuros planos de desarrollo regional, proyectos específicos de intervenciones costeras, y principalmente, como instrumento clave para la implementación de un plan de gestión costera integrado.

Palabras clave:

Natal, Rio Grande do Norte, Estuario Potengi, Areia Preta, Dinámica litoral, Gestión costera, Redinha.

RESUMO

A análise da evolução costeira recente da região de Natal (Estado do Rio Grande do Norte – Brasil) é delineada nesta tese de doutorado que tem como objetivo primeiro fornecer subsídios à gestão ambiental desta parcela territorial já bastante urbanizada. O presente estudo compreende: a caracterização geológica-geomorfológica da zona costeira, a identificação, caracterização e quantificação dos agentes dinâmicos e seus respectivos processos ambientais. Estes estudos se realizaram dentro de uma ampla perspectiva científica, sendo de fundamental importância conhecer o funcionamento dos agentes costeiros, as inter-relações dos processos, as respostas às interferências externas e a influência nos diversos ecossistemas existentes na área, tais como estuários, mangues, praias, dunas, recifes e falésias.

Os principais agentes identificados e analisados como responsáveis pela evolução costeira são: os ventos, que geram o transporte eólico; as ondas e correntes costeiras, que controlam o transporte de sedimentos ao longo da costa, e as marés que influenciam a dinâmica estuarina e a dinâmica litorânea. As interações espaço-temporal entre os agentes, fatores e processos ambientais foram caracterizadas de forma detalhada, permitindo a elaboração de um modelo conceitual de evolução costeira. Este modelo, quando analisado a luz de informações históricas disponíveis, além de permitir avaliar as mudanças ocorridas ao longo deste trecho costeiro, tanto devido à atuação humana, oriundas das intervenções portuárias e urbanas ocorridas a partir do início do século, como por variações climáticas, fornece elementos fundamentais para as medidas mitigadoras necessárias. Como exemplo da aplicação deste modelo de evolução costeira, se apresentam como parte deste estudo os Projetos de Proteção e Recuperação de Areia Preta e de Proteção da Redinha Nova.

Finalmente, este trabalho se propõe como um elemento básico de avaliação para futuros planos de desenvolvimento regional, projetos específicos de intervenções costeiras e principalmente, como instrumento chave para a implementação de um plano de gestão costeira integrada.

Palavras chave:

Natal, Rio Grande do Norte, Estuário Potengi, Areia Preta, Dinâmica litoral, Gestão costeira, Redinha.

ABSTRACT

Coastal evolution of the Natal city region analysis (Rio Grande do Norte state – Brazil) is made in this doctorate thesis, whose aim is to provide helping tools for an environmental management of this already much-urbanized tract of land. This study encompasses the geological-geomorphological characterization of the coastal zone, the identification, and quantification of the dynamic agents and the synergy of the environmental processes. These studies were carried out from a wide scientific perspective, since knowing the way the coastal agents work, the process inter-relations, the responses to external interferences and the influence on the many existing ecosystems in the area, such as estuaries, swamps, beaches, dunes, reefs and cliffs are of the main importance.

The main agents identified and analyzed as accountable for the coastal evolution are: the winds, which generate sand transportation and shape the coastal dunes when it blows; the waves and coastal currents which control the transportation of sediments along the coast, the ebb and flow of the tide which influence the estuary and beach dynamics. The space-time interaction between the agents, environmental factors and processes are characterized in detail, allowing us to build a conceptual model for the coastal evolution over at least the last century. This model, when analyzed with the help of available historical information, not only permits one to evaluate the changes which have occurred in this coastal tract of land due to human intervention by means of ports, urbanization and to weather variations, but also provides the main elements to make the policy measures needed for a correct coastal zone management. As an example of this model of coastal evolution being put into practice is the orientation to form the basis for the Projeto de Proteção e Recuperação de Areia Preta and the Projeto de Proteção da Redinha Nova.

In the same fashion, this model is a basic element for the evaluation of future plans for regional development, specific projects and coastal interventions and, mainly, as a key instrument for the implementation of a plan following new concepts on the integrated coastal zone management (ICZM).

Key Words:

Natal, Rio Grande do Norte, Estuário Potengi, Areia Preta, Littoral dynamic, Coastal management, Redinha.

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar quiero expresar mis más sinceros agradecimientos al Doctor Jordi Serra i Raventós del Departamento de Estratigrafía y Paleontología de la Universidad de Barcelona, por la disposición, sugerencias y tiempo destinados a la orientación de esta tesis.

La Coordinación de Perfeccionamiento de Personal de Nivel Superior – CAPES, por el apoyo financiero a través de la beca de estudios y al Departamento de Oceanografía y Limnología de la Universidad Federal de Rio Grande do Norte – UFRN, por la liberación para el Doctorado.

A los Doctores Luis Parente Maia (UFC), Paulo da Nóbrega Coutinho (UFPE), Gilberto Macedo Tavares Dias (UFF), por las discusiones técnicas, incentivos, siempre con una postura amigable, contribuyendo significativamente para la realización de esta tesis.

A los profesores y funcionarios de la Universidad de Barcelona, en especial a los del Departamento de Estratigrafía y Paleontología y de Ecología, por el apoyo técnico y logístico prestado durante la realización de este doctorado.

A los colegas, doctores y/o maestros, José Antonio Beltrão Sabadia (UFC), Jeovah Meireles (UFC), Virginio Neuman (UFPE), Graco Aurelio Câmara de Melo Viana (UFRN), que han estado presentes en diversos momentos importantes a lo largo del doctorado, contribuyendo con sugerencias y, sobretudo con amistad.

A los compañeros que me han ayudado bastante en los viajes de campo e impresión final de la tesis, Roberto Luiz Curioso, Leão Xavier Neto, Leonardo Hisley, Silvania Magalhães, Glauber Nóbrega, Domingos Neto, Keila Moraes da Silva, Ronaldo Diniz, Rosa Pinheiro, Paulo Eduardo Cunha, por su apoyo y sugerencias.

Al Ayuntamiento de Natal (RN), por el apoyo prestado durante las visitas técnicas a la ciudad de Natal, del Profesor Director de esta Tesis Doctoral, Dr. Jordi Serra, para conocimiento del área de estudio y acompañamiento de trabajos de campo.

A mi esposa Rute Pinheiro, a mi hijo Gregorio, a mis padres Waldemiro y Dalva y a mis suegros Waldson y Osvailita. Y a todos los que de un modo u otro han contribuido directa e indirectamente con este trabajo.

Capítulo I

INTRODUCCIÓN

1 - PRESENTACIÓN

La región costera ha sido a lo largo de los tiempos un espacio singular para todas las civilizaciones, por proporcionar la impagable posibilidad de comunicarse con otros a través del transporte marítimo, constituyéndose dentro de una perspectiva histórica, como la puerta de entrada de toda la colonización y desarrollo de un país. Ellas sobresalen debido a una característica muy particular de concentrar en un espacio reducido, un gran número de actividades humanas que ahí encuentran condiciones muy favorables para su establecimiento.

Ejemplo de la importancia de la región costera y, en particular estuarina, como factor determinante urbano y económico es que, a nivel mundial, 7 (siete) de las 10 (diez) mayores metrópolis del mundo como Nueva York, Tokio, Londres, Shanghai, Buenos Aires, Osaka y Los Ángeles, están asentadas en esas áreas, y, a nivel local, cuando nos remitimos al surgimiento de la nación brasileña, verificamos que la existencia de puertos naturales, como estuarios y bahías, fueron determinantes para los primeros núcleos poblacionales en Brasil, o sea, la Baía de Todos os Santos y la ciudad de Salvador, la Baía de Guanabara y la ciudad de Rio de Janeiro; la Baía de São Marcos y la ciudad de São Luiz; o Estuario del río Capibaribe y la ciudad de Recife; entre otras.

La ciudad de Natal, en el Estado de Rio Grande do Norte (Brasil), se encaja perfectamente en esa situación, cuyas condiciones naturales del Estuario Potengi como una ancla segura para embarcaciones, favorecieron la creación de un poblado a finales del siglo XVI.

El crecimiento normal de un centro urbano a lo largo de los siglos sin un planeamiento adecuado, siguiendo el ejemplo de otras regiones costeras de extrema fragilidad, causó una progresiva deterioración del paisaje, sea por intermedio de repercusiones, como la erosión costera, que actualmente afecta a todos los países con litoral, sea por la interferencia directa humana, ocupando dunas, manglares, destruyendo coberturas vegetales nativas y contaminando cuerpos de agua, como ríos, playas y lagunas.

En el caso específico de erosión costera, las repercusiones económicas, tales como la pérdida de infraestructuras públicas o propiedades privadas, pueden ser sumamente serias, sobretudo en los países en desarrollo, debido a la falta de recursos para la recuperación de los daños, como es el caso de Brasil.

Con la intención de proveer elementos que permitan revertir esa situación es que surgió la idea de este trabajo de doctorado, junto al Programa de Ciencias del Mar de la Universidad de Barcelona y Politécnica de Cataluña, que objetiva la capacitación técnico-científica de personal docente en este campo tan vasto, partiendo de la premisa de que para una gestión adecuada de la región costera se hace imprescindible el conocimiento de los agentes naturales actuantes y sus respectivos procesos dinámicos.

De esta manera, en este estudio de carácter ambiental, fueron analizados todos los factores, agentes y procesos que contribuyeron para la evolución de un trecho de la costa del estado de Rio Grande do Norte (Brasil).

El área de estudio seleccionada comprende el trecho litoráneo metropolitano de la ciudad de Natal, más precisamente las playas de la Redinha, Forte, Meio, dos Artistas y Areia Preta, y el estuario del Rio Potengi, con 20 Km de extensión, asemejándose a una gran ensenada.

La ciudad de Natal, capital de este estado, está situada en la margen derecha de la región estuarina del Rio Potengi cerca de la desembocadura (Figura 01). Los límites transversales son definidos en dirección al mar por la plataforma continental interna (*inner shelf*) y en dirección al continente hasta la zona limítrofe de la influencia de las mareas en los estuarios y limítrofe de la migración de las dunas.

De la misma forma, tratándose de Brasil, un país del 3º mundo y la región nordeste, donde está inserida el área de estudio, siendo tradicionalmente la más pobre del país, es importante que los estudios científicos tengan un objetivo aplicado, intentándose transferir los conocimientos y experiencias obtenidos durante el curso del doctorado en iniciativas de mejoría de la calidad ambiental y de vida de la región.

De esta manera, el presente estudio, aún antes de su finalización, ha mostrado resultados concretos, proveyendo subsidios para la implantación de propuestas de intervención, objetos de esta tesis doctoral. Como ejemplo, tenemos: el Proyecto de Protección y Recuperación de la Playa de Areia Preta, el Proyecto de Protección de la Redinha Nova, y aún la aplicación de los datos generados durante las investigaciones para la tesis en el Proyecto de Ampliación del Puerto de Natal y en el Proyecto de Urbanización de la Playa de la Redinha.

En este contexto de procurar contribuir incisivamente con soluciones y herramientas para la gestión costera, han sido aportados nuevos conocimientos

sobre el área en estudio, donde se ha buscado organizar un compendio amplio de informaciones sobre los procesos costeros actuantes en el área de Natal, con datos inéditos obtenidos en campañas y estudios específicos, complementados con datos ya existentes de trabajos anteriores de este autor (Cunha, 1982) y datos históricos rescatados. Con todo este bagaje, se ha llegado a establecer un modelo general del sistema dinámico, así como redactar proyectos de gestión de áreas concretas: Areia Preta y Redinha.

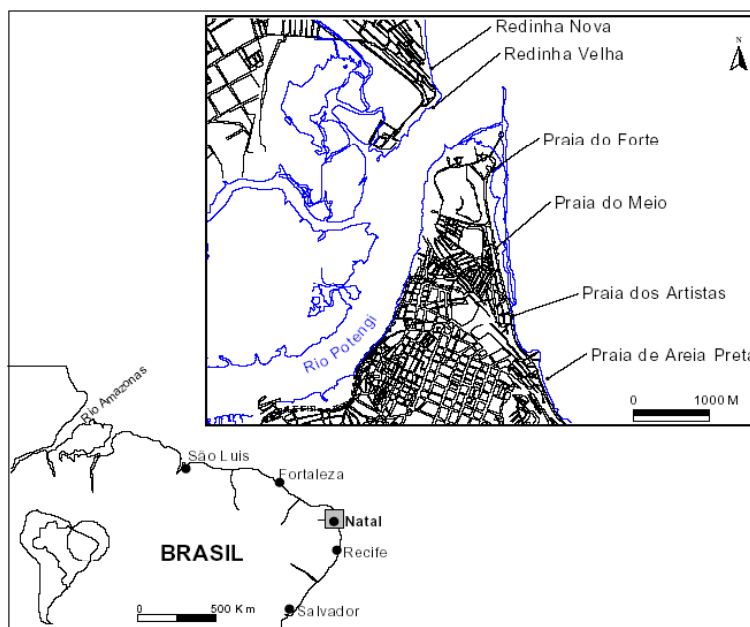


Figura 1 - Mapa de localización del área de estudio

2 – OBJETIVOS

En el ámbito general, el objetivo de este trabajo consiste en caracterizar los procesos sedimentares e hidrodinámicos actuantes en la zona costera y en el estuario del Río Potengi de la ciudad de Natal, estado de Rio Grande do Norte (Brasil), donde se identificarán los tramos críticos de erosión, la eficiencia de las medidas de recuperación y estabilización utilizadas en estas áreas, además de obtener informaciones básicas que puedan ser utilizadas en la gestión y planeamiento costero y estuarino. En el ámbito local, serán analizados

detalladamente los principales agentes dinámicos (vientos, ondas, mareas y corrientes) así como los procesos costeros que actúan en la región, a través de la definición de una metodología adecuada contribuyendo, de esta manera en el equilibrio y evolución de la zona costera. Además de eso, será realizada una amplia caracterización del Estuario del Río Potengi utilizando, entre otras herramientas, la cartografía temática, por medio de la confección de planos que localizarán los puntos de estudio y caracterizarán los parámetros analizados (carbonato de calcio, materia orgánica, material en suspensión, sedimentos, batimetría, uso y ocupación del suelo).

3 – METODOLOGÍA Y DESARROLLO DEL TRABAJO

Los trabajos realizados en este estudio fueron divididos en dos etapas distintas. La primera etapa constó de los trabajos de revisión bibliográfica y tratamiento de los datos existentes del clima; la segunda, de los ensayos de campo y colecta de nuevos datos, obtenidos a través de la aplicación de metodologías específicas, induciendo a la caracterización de las formas de relevo y sus agentes naturales y antrópicos, análisis de las muestras y evaluación de los resultados.

Basados en la metodología utilizada, fue posible caracterizar los ambientes de playa y de estuario, la diversidad morfológica de la línea de costa, cuantificar las variaciones volumétricas observadas, además de correlacionar estos eventos con los agentes hidrodinámicos.

Capítulo II

CARACTERIZACIÓN GENERAL DEL ÁREA

1 – ASPECTOS GEOAMBIENTALES

1.1 – Encuadramiento Geológico y Geomorfológico Regional

Geológicamente, el litoral del Nordeste Oriental de Brasil está constituido por terrenos cristalinos precambrianos, en el zócalo, con amplia primacía de rocas metamórficas, como migmatitos, gneisses, equixistos, cuarcitos y mármoles, representantes del Complejo Caicó (Jardim de Sá, 1994) in Cunha (1990).

Sobre este boceto, reposan los sedimentos meso-cenozoicos, los cuales se presentan como una estrecha franja semicontinua, que componen, de norte para sur, las cuencas sedimentarias Potiguar y de Pernambuco – Paraíba; estas cuencas fueron generadas asociadas al proceso de ruptura de Godwana, y evolucionaron para una fase transicional y, posteriormente de océano abierto, siendo de esta fase los registros aflorantes.

Sobrepuestos a estas secuencias y en discordancia erosiva, se hallan los sedimentos plio-pleistocénicos del Grupo Barreiras, que a su vez son recubiertos, también discordantemente, por sedimentos continentales y transicionales más recientes.

- Cuadro Morfo-Escultural

Una gran diversificación geomorfológica es patente en el Nordeste de Brasil, donde son evidentes los papeles desempeñados por la estructuración geológica precenozoica y por la evolución morfoclimática, combinados con la acción de los demás agentes modeladores del relieve.

En este sentido, la Superficie de los Tableros Costeros, denominación consagrada en la literatura neocientífica brasileña, se muestra como la mayor expresión morfoescultural del área en estudio, siendo la unidad geomorfológica más sensible a los efectos de las variaciones climáticas cuaternarias.

Otros elementos morfoesculturales presentes en el litoral estudiado corresponden a las líneas de arrecifes constituidas por areniscas de playa (beach rocks), representando antiguas líneas de playa; y aún acantilados, que corresponden

a areniscas meteorizadas del Grupo de Barreiras y en general se constituyen en el límite de la planicie costera.

1.1.1 – Geología y Geomorfología Continental

1.1.1.1 – Margen Continental Brasileña

La margen continental brasileña es una margen pasiva del tipo Atlántico, que se extiende en un área total de 5.003.397 km², lo que equivale a 59% del territorio brasileño emergido. Tiene como características morfológicas principales, la presencia de costas relativamente bajas, un relieve moderado, y el hecho de ser tectónicamente estable. La margen continental brasileña posee tres regiones fisiográficas bien definidas, a saber (Coutinho, 1996):

- Plataforma interna (0 - 20m) – Presenta relieve regular con pequeño declive. La cobertura sedimentar está compuesta, predominantemente, por arenas cuarzosas. La fauna está constituida de moluscos, con o sin foraminíferos bentónicos.
- Plataforma mediana (20 - 40m) – Presenta relieve con algunas irregularidades. En la cobertura sedimentar, son predominantes las arenas y gravas de algas (*maerl*), con teor de carbonato de calcio superior a 90%.
- Plataforma externa (40m en adelante) – También de relieve irregular. En la cobertura sedimentar, predominan gravas, arenas y lodos biotriticos, siendo las *Halimedes* las más abundantes, y el teor de carbonato de calcio es superior a 75%.

1.1.1.2 – Caracterización Geológica de la Costa del Nordeste de Brasil

La costa nordeste de Brasil corresponde a la región comprendida entre el Delta del Río Parnaíba y Salvador. La plataforma continental es una región que se caracteriza por presentar una extensión reducida, en un promedio de 40 a 50 Km, variando de 8 Km., a lo largo de Salvador, hasta 75 – 80 Km, cerca de Fortaleza.

La morfología de la plataforma es generalmente monótona, siendo cortada por sistemas de canales bien desarrollados, como por ejemplo, canales de Aracaju a

Maceió (Summerhayes et al., 1975). Las formas de relieve, predominantemente de influencia tectónica y volcánica, reflejan las condiciones climáticas y geológicas del área emergida adyacente.

La plataforma interna está recubierta principalmente, por arenas. En la plataforma mediana, los lodos ocurren principalmente, en las cabeceras de los canyons del São Francisco y Japarutuba. El talud continental muestra una anchura promedio entre 85 y 105 Km, con valor máximo de 140 Km en las adyacencias del Plató de Pernambuco, con declividad de 1:130, en el área Natal-Recife.

1.1.1.3 – Caracterización Geológica de la Costa del Estado de Rio Grande do Norte

La costa del estado de Rio Grande do Norte está dividida en dos sectores distintos: el septentrional, incluido en el trecho entre el Delta del Parnaíba y el Cabo del Calcanhar; y el sector oriental, incluido en el trecho entre el Cabo del Calcanhar y Belmonte, conforme la división de la margen continental del Nordeste de Brasil, propuesta por Martins & Coutinho (1981) in Cunha (1985).

La circulación oceánica de la región esta dominada por las ramificaciones de la corriente sur ecuatorial. Las aguas de la plataforma son moderadamente salinas (36‰ a 37‰) con temperaturas superficiales, variando de 27° a 29° en el verano y de 25° a 27° en el invierno.

Entre el Delta del Parnaíba y el Cabo del Calcanhar, el relieve de la plataforma está constituido de superficies relativamente planas, alternadas con fondos ondulados, campos de “sandwaves” de características irregulares de arrecifes de algas. Ya el trecho oriental, presenta como característica principal el *canyon* del río Potengi, indicando que resulta de un patrón de drenaje complejo en situaciones de nivel del mar más bajo que el actual.

La plataforma continental del estado de Rio Grande do Norte presenta una predominancia de sedimentación carbonática sobre la terrígena, debido a la pequeña contribución continental, en una plataforma estable, poco profunda, y con aguas limpias, calientes y moderadamente salinas, favoreciendo el desarrollo de organismos productores de carbonato.

1.1.1.4 – Evolución Paleogeográfica

Por el hecho de estar inserido en un paisaje bastante variado, la evolución morfológica está relacionada con sus funciones glacio-estáticas del nivel del mar, responsable por el modelamiento de un bajo estructural tectónico (*Graben*). Estas fluctuaciones son también responsables por los lineamientos de las areniscas de playa (sumergidos y emergidos) que probablemente corresponden a paleo canales de antiguos drenajes y de las diversas generaciones de dunas que emigraron para el interior, contornando, desviando e inclusive colmatando las desembocaduras de los cursos fluviales existentes en la región.

1.2 – Encuadramiento Geológico y Geomorfológico Local

1.2.1 – Sedimentos Terciarios / Formación Barreras

En la región costera de Natal, esta secuencia, distribuida en toda la franja litoranea del Nordeste brasileño, generalmente termina abruptamente en paredes en los márgenes del estuario del Potengi y forman acantilados en las playas. Están constituidos por conglomerados de areniscas incrustadas de granos y gránulos de cuarzo, fuertemente cimentados por hidróxidos de hierro (limonitas) que convierte el conjunto en un soporte bastante duro y resistente.

Estos acantilados aparecen principalmente en la franja litoral, sea expuestos a la acción marina, sucediendo en formaciones activas o vivas (acantilados vivos), sea en posiciones más elevadas, convirtiéndose entonces en los llamados acantilados muertos, que atestiguan un anterior nivel del mar más alto que el actual.

Secundariamente, se encuentran formando arrecifes de formas irregulares cimentados por óxido de hierro.

En la región de Natal, los acantilados más notables son los de la Ponta do Morcego, Ponta de Mãe Luiza y Barreira Nova. En general, muestran cumbres aplanadas, probablemente desgastadas por la acción de las olas en un nivel del mar 7 metros por encima del actual.

1.2.2 – Unidades Cuaternarias y Recientes

1.2.2.1 – Dunas

Se trata de sedimentos arenosos muy seleccionados, de granulometría fina y mediana, de diversos colores (blanco, amarillo o rojo), que aparecen en la franja litoránea cubriendo los sedimentos terciarios del Grupo Barreiras.

Estas formaciones se distribuyen de manera destacada en la región litoránea en cuestión, disfrazando con frecuencia otras de edades o cronología anterior.

La predominancia expresiva de los depósitos eólicos es resultante de una interacción de diversos factores ambientales, que en el área se comportan de manera bastante propicia al desarrollo de grandes campos de dunas, cuya formación aún es observada en algunos locales, en la actualidad.

Entre estos factores, podemos destacar la disponibilidad de material proveniente de erosión de las playas, como en el caso de Areia Preta. Además de eso tenemos la amplitud considerable de la marea; una insolación promedio anual muy alta; y bajo gradiente de las playas, y principalmente, el sistema de vientos de fuerte intensidad y de frecuencia casi constante del cuadrante sureste.

Al norte del estuario del Potengi, principalmente en la Ponta de Santa Rita, la cobertura vegetal es escasa, con árboles de raíces expuestas, constatándose una retomada de los procesos eólicos, que lleva inclusive al desarrollo de zonas de erosión, instaladas sobre las dunas más antiguas.

1.2.2.2 – Playas

Morfológicamente, las playas poseen una inclinación de baja a mediana, se encuentran instaladas en las entradas litoráneas, de formas no estables, normalmente separadas por las formaciones rocosas de areniscas limonitizadas, similares a la de la Formação Barreiras. Las actuales formas de estos depósitos están íntimamente relacionados al proceso de regularización de la línea de costa, resultante de la estabilización que presenta el nivel del mar en la actualidad, a través de los mecanismos hidrodinámicos costeros, esto es, de la actuación de las ondas y corrientes combinadas con la resistencia litológica de los sedimentos terciarios.

En la actualidad, estas formaciones están constituidas predominantemente por las arenas medianas y también arenas finas, cuarzosas, con granos subarredondeados, pulidos y con buena esfericidad.

Arenas de granulometría más gruesa, principalmente medianas, están más presentes en las playas del sur, o sea, Mãe Luiza y Areia Preta, asociadas a las rocas de la Formação Barreiras, mientras las arenas finas y muy finas predominan en las playas del Meio y del Forte.

1.2.2.3 – Arrecifes (*beachrocks*)

Las areniscas de playa de esta región fueron descritas por primera vez por Branner (1902), que propone que los arrecifes representarían antiguas líneas de playa, consolidadas por carbonato de calcio. Los arrecifes de areniscas se encuentran distribuidos a lo largo de las playas locales, en forma de bancos alargados, paralelos a la línea litoranea.

El alto grado de cimentación hace con que estas rocas sean bastante resistentes a la erosión marina, actuando como una protección natural a las playas adyacentes.

En el área estudiada, estos cuerpos de areniscas de playa presentaron una anchura promedio aflorante aproximada a 50 metros y una espesura promedio de 4 metros. Es conocido como el “Arrecife de Natal” y se presenta rectilíneo y continuo desde la Playa de los Artistas hasta la embocadura del estuario Potengi, cuando es interrumpido por algunos metros para resurgir más al norte, en frente a la Playa de la Redinha.

Estos aspectos presentan también aberturas transversales que permiten la circulación del agua junto a la desembocadura de los estuarios. El desgaste del edificio arrecifal, tanto por efectos naturales como alteraciones antrópicas, algunas veces no fue completado, con la parte inferior del arrecife no siendo destruida, ejerciendo una papel de solera, como en el caso de la desembocadura del estuario del Potengi.

Localmente, en la Playa del Meio, además de la línea alargada de los arrecifes, es encontrado un cuerpo de areniscas más interno, constituido por arenas bien seleccionadas de coloración crema con estratificaciones plano paralelas y algunos niveles de minerales pesados.

1.2.2.4 – Terrazas y Aluviales

Se encuentran delimitando los márgenes del estuario del Potengi, principalmente, en las proximidades de su desembocadura.

La litología y granulometría de estos depósitos varían bastante, observándose arenas mal seleccionadas, gravas con cantos de cuarzo inmaduros o poco maduros, así como material microclástico.

La diferencia entre los aluviones recientes y los paleo terrazas es que los primeros están constituidos de sedimentos arenosos mal seleccionados e inconsolidados, mientras las terrazas están constituidas por material más grueso, probablemente oriundas de un transporte más competente de los ríos, ocasionando una intensa fase de erosión.

Su morfología consiste en una superficie plana, con cotas máximas entre 4 y 6 metros por encima del nivel actual del mar.

1.2.2.5 – Planicie Fluvio-marina

La zona de desembocadura de muchos ríos está influenciada por las interacciones entre las fluctuaciones de las mareas y el flujo fluvial, que controlan la presencia de una serie de depósitos característicos de estos medios, siendo los más destacados los depósitos de manglares que forman las planicies de marea. Estos depósitos son oriundos de la acción conjunta de los ríos que traen los sedimentos, así como, de las corrientes de marea, que los redistribuyen transportando de ese modo la parte más fina hasta las áreas bajas donde son definitivamente depositados.

Los manglares se limitan a la zona sometida a la inmersión periódica por las aguas con salinidad elevada, que compone el estuario de los ríos.

La vegetación típica de manglares es observada en el Río Jundiá hasta la ciudad de Macaíba, en el río Potengi hasta la localidad de Barreiros, en el Municipio de São Gonzalo do Amarante y en el río Doce hasta la carretera que une Natal a Redinha, comprobando de esta forma la influencia de las mareas hasta esas localidades.

Geomorfológicamente, los manglares muestran variaciones, pudiéndose distinguir tres zonas. La zona inferior, o de inframarea, generalmente cubierta por las

aguas con sustrato de lodos, una zona intermedia, o de intermarea, solamente bañada por la pleamar, con un sustrato que presenta un mayor porcentaje de sedimentos arenosos, y aún, en un sector más alto, de sustrato arenoso, difícilmente alcanzado por las mareas, que frecuentemente se utilizan para la instalación de salinas. En estas dos últimas, la vegetación cambia de la "*Rhizophora mangle*" para una flora más rastrera, como las gramíneas y las ciperáceas.

El efecto de las corrientes de las mareas es muy marcado, distribuyendo, según su influencia, la carga sedimentaria existente en los bancos, islas arenosas o canales de mareas de una forma semejante a los deltas de las mareas.

De este modo, se favorece el desarrollo de una vegetación exuberante de "*Rhizophora mangle*", que ejerce una función fijadora de los sedimentos finos transportados por la suspensión, que avanzan progresivamente y que colonizan gran parte del estuario. Además de la vegetación, la fauna bentónica, principalmente los moluscos y anélidos, contribuyen para la fijación de los sedimentos.

2 – CONSIDERACIONES CLIMATICAS

2.1 – Aspectos Regionales

Los procesos costeros resultan de las interacciones entre los agentes dinámicos o factores de impulsión (vientos, olas, corrientes, mareas y otros fenómenos) con la zona litoranea. De esta forma, el conocimiento de los agentes y procesos desde el punto de vista de su descripción y magnitud de variación a corto y mediano plazo es fundamental para la evaluación del comportamiento y funcionamiento del sistema litoráneo.

Así, serán presentadas informaciones básicas necesarias para la comprensión del sistema climático regional, sus variaciones e influencias en escala local, detallando los parámetros climáticos y dinámicos que influyen muy directamente en los procesos costeros.

2.2 – Clima Local

A pesar de que las características del clima en la región lo encuadren como semiárido, a lo largo de la franja litoranea se verifica una tendencia a la

caracterización de condiciones húmedas a semi-húmedas, definiendo una climatología litoránea húmeda, donde domina la actuación de la masa tropical atlántica produciendo características de clima caliente y lluvioso.

Según la clasificación climática de Koppen, el clima de la región estudiada es del tipo As, definido como clima tropical lluvioso caliente con el verano seco, conforme Vianello & Alves (1991). Según la clasificación bioclimática de Gaussen, la misma región está encuadrada en el tipo 3cTh, definido como un bioclima mediterráneo o nordestino caliente de sequía atenuada, con 3 a 4 meses secos por año e índice xerotérmico moderado, entre 40 y 100, citado en Galvão (1967) in Lima (1980), o inclusive como un clima tropical de monzón con pequeña amplitud térmica anual y corto período seco.

2.3 – Vientos

En el litoral de Rio Grande do Norte, soplan vientos predominantemente del sureste durante gran parte del año, seguidos por los vientos del este.

A través de datos recogidos por la estación meteorológica instalada en el Departamento de Oceanografía y Limnología (DOL) de la Universidad Federal de Rio Grande do Norte, en el año de 2001, fue verificado que la anemometría en la región de Natal confirmó un predominio de los vientos de ESE, E y SE y secundariamente de ENE y SSE. Entre estos, los vientos de ESE y SE son los que presentan mayores velocidades y consecuentemente superior efectividad y transporte de sedimentos.

Se verificó una relativa tendencia a la disminución de la velocidad de los vientos cuando su proveniencia se aparta del intervalo entre 80 y 120 Az. En este contexto, es posible definir este intervalo de dirección como representativo de la proveniencia de los vientos efectivos para este período.

2.4 – Temperatura del Aire

La temperatura del aire en Natal es elevada durante todo el año. El comportamiento de temperatura, relativa a los promedios mensuales, indica una pequeña variación a lo largo del año, con una amplitud de 2,6°C. La menor temperatura promedio mensual de 25,3°C, ocurrió en julio y en agosto, y la mayor,

27,9°C, en febrero. La temperatura promedio anual es de 26,6°C. En el período analizado, los promedios de las temperaturas máximas y mínimas anuales fueron respectivamente de 29,2°C y 23,5°C.

2.5 – Precipitación

El régimen pluviométrico de la región es del tipo tropical, en el cual están bien individualizadas dos estaciones distintas. Generalmente, el período lluvioso se inicia en el mes de febrero, consolidándose a partir de marzo con las lluvias, concentrándose en los 6 meses consecutivos, con máximas, dependiendo del año, pudiendo ocurrir de abril a julio. Enseguida, se inicia el período de estiaje, prolongándose hasta el inicio del siguiente año, con mínimas durante los meses de septiembre a noviembre. En el primer semestre, la tasa de precipitación acumulada supera 86% de la precipitación anual, que es del orden de 1.600 mm.

2.6– Humedad Relativa

Este parámetro presenta promedio anual en Natal de 77%, con una pequeña variación durante el año, siendo los meses más húmedos aquellos más lluviosos y los menos húmedos aquellos con pocas lluvias. Mientras eso, el declíneo en la humedad no llega a ser acentuado, ya que los vientos que soplan predominantemente del mar abastecen de humedad el aire de las regiones próximas a la costa durante la mayor parte del año

2.7– Nebulosidad e Insolación

El régimen térmico en la región es relativamente uniforme, y las temperaturas son elevadas durante todo el año. Esas características son debidas a la gran cantidad de radiación solar incidente sobre la superficie terrestre, asociada a altas de nebulosidad. Además de eso, la proximidad del mar induce a la reducción en la amplitud térmica.

2.8– Presión Atmosférica

La presión atmosférica promedio anual es de 1008,2 mbar. El menor valor promedio es obtenido en diciembre (1006,4 mbar), permaneciendo en torno de 1007 mbar hasta abril. A partir de mayo, la presión atmosférica comienza a aumentar rápidamente hasta atngir el valor promedio mensual máximo en agosto (1010,4 mbar) y luego decrece continuamente hasta diciembre.

3 – HIDROGRAFIA

El estuario del río Potengi se comporta como una verdadera ensenada en la cual, además de ocurrir la penetración de aguas oceánicas, también van a desaguar tres cursos fluviales, los ríos Potengi, Jundiaí y Doce. El carácter intermitente de estos con pequeñas descargas aún durante el período de lluvias, propicia una insignificante contribución hidrológico-fluvial en el estuario.

3.1– Río Potengi

El río Potengi, el contribuyente hídrico más importante del estuario al cual da el nombre, recorre los tres sectores físicamente diferenciados del estado de Rio Grande do Norte, especificados abajo:

- Alto Potengi: desde su nacimiento hasta las proximidades de la ciudad de Barcelona, comprende un trayecto de 65 Km aproximadamente y está caracterizado por una declinación muy acentuada, de 370 m, y bajas precipitaciones pluviométricas.
- Medio Potengi: entre la ciudad de Barcelona hasta las proximidades de la ciudad de São Gonzalo do Amarante, con una extensión de 92 Km. El desnivel total en esta sección es de 124 metros, por lo tanto muestra una declividad muy acentuada, así como un índice moderado de pluviometría;
- Bajo Potengi: con pendientes insignificantes y precipitaciones propias de una zona húmeda, comprende los restantes 19 Km del curso fluvial, que

se inicia en las proximidades de la ciudad de São Gonzalo do Amarante y termina con la barra del océano. En esta sección, se presenta el río con el lecho bien definido, con anchura variable, y la declividad insignificante. En toda la extensión, está sujeto a influencia de la marea que tiene una variación de 2,85 m, como promedio, en el puerto de la ciudad de Natal, perdiendo en ella, el carácter intermitente del río.

3.2– Río Jundiaí

El río Jundiaí nace en la Serra Chata, municipio de Sitio Novo, a una altitud de 280 metros y recorre una extensión de aproximadamente 85 Km. A 7 Km de la desembocadura, recibe el aporte del río Potengi, formando un amplio estuario. Su caudal tiene un carácter intermitente, por causa de la irregular y reducida pluviosidad de la región de su curso superior.

3.3– Río Doce

Se trata de un pequeño río formado por los aportes de la Laguna de Extremoz y corre sobre sedimentos cuaternarios de dunas y aluviones hasta desembocar en el estuario. A pesar de su carácter permanente, el río Doce presenta un caudal pequeño durante la mayor parte del año, cerca 2 m³/s.

4 – SUELOS

La caracterización de los suelos y su correlación con las litologías existentes en el área fueron obtenidas a través de mapeamiento con el apoyo de fotografías aéreas en consideración a la división del relieve y el potencial de uso y ocupación. De esa forma, fueron identificados cinco (05) aspectos de suelos predominantes.

- En los valles del bajo curso del río Potengi, predominan Suelos Aluviales Eutróficos, que son bastante cultivados, y Suelos Indiscriminados de Mangues, en las áreas influenciadas por las aguas del mar;

- Las dunas constituyen el material de origen de las Arenas Cuarzosas Marinas Distróficas y, Arenas Cuarzosa Distróficas;
- Los terrenos Latosuelos Rojo Amarillo Distrófico son derivados de los sedimentos areno-arcillosos de la Formação Barreiras, y actualmente, se presentan con una expansión de asentamientos subnormales.

5 – COBERTURA VEGETAL

El área en estudio se caracteriza por la presencia de dos importantes ecosistemas caracterizados por una vegetación terrestre, asociada a los aspectos morfológicos existentes, o sea, playas, dunas, y aún los tableros costeros, mientras los manglares ocupan toda la porción baja de las márgenes del río Potengi. Esos ecosistemas presentan una fisonomía bastante damnificada en razón de la acción y manoseo predatorio del hombre.

5.1 – Ecosistemas terrestres

La vegetación terrestre se caracteriza por presentar tres estratos, los cuales distinguen las especies herbáceas, arbustivas y arbóreas. Actualmente, la cobertura vegetal del área es una combinación de plantas cultivadas con una pequeña regeneración de la vegetación natural y es clasificada en nativa y antrópica.

5.1.1 – Vegetación Nativa

La región estuarina del río Potengi muestra, en sus porciones marginales, una cobertura vegetal asociada a los aspectos morfológicos existentes, o sea, playas, dunas y aún los tableros, mientras los manglares ocupan toda la porción interior del estuario.

Las coberturas vegetales de las playas y de las dunas son formaciones rastreras, más o menos densas, instaladas sobre un sustrato holocénico de arenas cuarzosas, marinas y eólicas constituyendo formación abierta o manojos esparcidos (SUDENE/DNPEA, 1971).

Las dunas más recientes de carácter móvil no presentan cobertura vegetal. Las de períodos anteriores se presentan parcial o totalmente cubiertas por vegetación que, puede ser herbácea, escasa y rastrera, confundándose con las formaciones de playa, o arbórea, formando matorrales. En el sota-viento de estas dunas más antiguas de la región de Natal, probablemente en función de un nivel hidrostático elevado, encontramos una cobertura vegetal que llega a formar una mata de porte bajo.

Los tableros, dispuestos en las superficies aplanadas de los sedimentos terciarios, están constituidos de dos estratos: un arbustivo arbóreo y otro herbáceo. El estrato herbáceo está compuesto casi totalmente de gramíneas dispuestas en manojo, mientras el arbustivo arbóreo presenta pequeños árboles y arbustos distribuidos esparcidamente.

5.1.2 – Vegetación Antrópica

La vegetación antrópica está representada por especies ornamentales, fructíferas y medicinales cultivadas en espacios públicos y privados.

5.2– Ecosistema de Transición

5.2.1 – Manglar

En el interior del estuario del Potengi, las márgenes son totalmente colonizadas por manglares, que son vegetales característicos de áreas lodosas sujetas a influencia de las mareas. La flora del manglar se presenta siempre en asociación, distribuyéndose de acuerdo con la naturaleza del sustrato y el alcance de las mareas, siendo cada franja o zonación caracterizada por una especie principal.

Del punto de vista florístico, como suele ocurrir con otros ecosistemas de manglar en todo el país, no hay variación de especies en el área en estudio, encontrándose las mismas que existen en otros ambientes semejantes. Entre ellas tenemos: la *Rhizophora mangle*, *Avicennia germinans*, *Laguncularia racemosa* y *Conocarpus erectus*, todas en asociación, pero sin destaque acentuado en relación al porte.

Estas especies de árboles de manglar encontradas, contribuyen efectivamente como fijadores de sedimentos, sobretodo por la arquitectura de sus raíces. Es importante registrar que en el área estudiada, la especie *Rhizophora mangle* constituye 70% de todos los árboles del manglar y que la especie *Conocarpus erectus* tiene la menor incidencia de todas las antes citadas.

Considerando el estuario como un todo, o sea, hasta el límite de la penetración de las mareas, actualmente, el manglar no viene teniendo niveles de devastación preocupantes, a pesar del intenso proceso de ocupación urbana. En general, su vegetación está manteniéndose intacta, excepto en determinados puntos, donde se observa una fuerte indicación de acción antrópica, como explotación de salinas, hoy desactivadas, que actualmente dan lugar a proyectos de acuicultura, principalmente haciendas de camarón.

La fauna relacionada con los manglares está representada principalmente por aves, peces, moluscos y crustáceos, además de anélidos y briozoarios. Entre aquellos animales existentes en el área, vale destacar los camarones, cangrejos, ostras y mariscos, que son capturados para comercialización por las poblaciones ribereñas.

6 – OCUPACIÓN URBANA

La comprensión de las repercusiones ambientales originadas por las intervenciones antrópicas pasa necesariamente por el estudio de la población de la región afectada. Es en esa perspectiva que se presenta en este apartado una breve evolución del espacio urbano de Natal, enfatizando principalmente la dinámica de la población, el nivel de vida, la organización, la estructura productiva de servicios y el uso de la ocupación de la tierra.

Se percibe que el dinamismo demográfico de la región metropolitana de Natal, expresado por tasas de promedio geométrico anuales superiores al estado, al Nordeste y obviamente al país, representa un gran desafío del punto de vista de la provisión de infraestructura y servicios urbanos. Las previsiones indican que hasta el año de 2020, la población total para la Gran Natal llegará a cerca de 1,6 millones de habitantes, casi doblando la población actual, agravando, así, los problemas de barriadas, degradación ambiental y atascos.

Tales cuestiones sólo pueden ser evitadas mediante acciones integradas del Gobierno del Estado y de los Municipios Metropolitanos, envolviendo, entre otras medidas y programas de naturaleza económica y social, el ordenamiento del crecimiento urbano.

6.1– El Puerto y la Región Metropolitana de Natal

Rio Grande do Norte vive un momento de realización de grandes inversiones e incremento de su economía, hoy fuertemente apoyada en las actividades de turismo, en las actividades relacionadas a carnicultura y a la fruticultura.

En ese contexto, el aumento del transporte de cargas y las obras de ampliación del puerto, además de significativa transformación en la estructura viaria local y en el entorno inmediato, acarrea la necesidad de algunas remociones de poblaciones ribereñas, al mismo tiempo en que interfiere en el proceso de revitalización del barrio de la Ribera, en virtud de la sobreposición del interés histórico a las actividades comerciales y portuarias.

6.2– Dinámica Poblacional del Entorno del Puerto

El puerto se localiza en la zona Este de la ciudad que abriga 17,4% de la población de Natal, y de los doce barrios que forman su conjunto. Los barrios de Ribeira y Cidade Alta presentan una población total de 8.093 habitantes, contra los 114.453 habitantes de la zona Este y los 656.037 de la población total de Natal, (IBGE – 1996).

Si analizamos la evolución de la población en los dos barrios entre los años de 96/2002, el barrio de Cidade Alta presenta una variación negativa en la población residente debido al proceso de evasión, consecuencia de la sustitución del uso residencial por el comercial, institucional y de servicios, así como por la caída de la calidad de vida en el centro de la ciudad. Ya la Ribeira presenta una estabilidad en el ámbito de variación del crecimiento poblacional, pudiendo ser atribuida a la vocación predominantemente comercial y de servicios que el barrio presenta.

Podemos observar que la población residente en esa área de la ciudad, evaluada en función del número de domicilios ocupados, demuestra que el barrio de Cidade Alta presenta un mayor número de domicilios, 1.580, mientras la Ribeira,

514, lo que demuestra claramente que ella se constituye, desde los primordios de fundación de la ciudad, un polo de comercio y servicios, mientras que el barrio de Cidade Alta, por haber sido el núcleo inicial de ocupación, se conservó en algunos trechos específicos como área residencial, en función de las condiciones topográficas y de acceso, que impidieron una transformación de uso más intensa.

En lo que se refiere a la concentración poblacional, la zona Norte separada del restante de la ciudad por el río Potengi, concentra 31,4% de la población natalense, presentando una población del orden de 206.115 habitantes, y un crecimiento en el período 96/2002 del orden del 40,3%. Ocupa un área de 5.768,66 hectáreas, con una densidad demográfica de 29,13 hab/hect, y un total de 47.956 domicilios ocupados. En ese contexto, el barrio de la Redinha y el barrio de Salinas, con 9.084 y 1.026 habitantes, respectivamente, son enfocados en este estudio en función de su localización geográfica y su posición importante en relación al puerto, al río y al corredor turístico en la franja marítima, integrada a la discusión de la conexión con la zona Norte de la ciudad.

6.3 – Transformaciones Urbanas

El trecho de Ribeira y Cidade Alta, áreas de operación urbana, sufren un proceso de ocupación diferente de los barrios localizados a la orilla del mar. En ellos, la actividad turística tiende a impulsar las transformaciones en el espacio urbano, por localizarse a las orillas del río Potengi, la transformación y consolidación del puerto de Natal tiende a alterar la configuración espacial de las áreas del entorno, con significativo impacto en las zonas de preservación histórica, mantenidas por la legislación en vigor.

A partir de las transformaciones en esa área de la ciudad y en función de las obras de ampliación del puerto y de la construcción del nuevo puente, son identificados puntos sensibles, pasibles de intervención, como las comunidades del Areado y Passo da Pátria, la Pedra do Rosario, el muelle de la Tavares de Lira y el Canto do Mangue, formando de ese modo, un conjunto urbano cuyo tratamiento pretende rehabilitar ese trecho histórico de la ciudad, a partir del estímulo a la actividad turística, el uso residencial, y su convivencia con las actividades portuarias.

Los ajustes en el sistema viario, son hoy el origen de las transformaciones urbanas del área en cuestión, en función de la optimización del tráfico que atienda tanto el desarrollo de la actividad turística en la franja marítima, así como la expansión de la actividad portuaria a orillas del río Potengi.

Capítulo III

**CONSIDERACIONES GENERALES
SOBRE LA ZONA COSTERA**

1 – ZONA COSTERA

1.1– Playas - Espacio Natural

Las playas constituyen sistemas dinámicos, en donde elementos básicos como vientos, agua y arena interactúan, resultando en procesos hidrodinámicos y deposicionales complejos (Brown & McLachlan, 1990) que comprenden una porción subaérea (supra y medio litoral) y otra subacuática que se extiende desde la zona de rompiente hasta el límite inferior de acción de las olas (Wright & Short, 1983).

La dinámica costera es la principal responsable del desarrollo de las playas arenosas y de los procesos de erosión y deposición, lo que las mantiene en constante evolución. La morfología de los perfiles de playa en una determinada región es función del nivel energético de las olas, una vez que esa energía es liberada en las zonas costeras. En ese sentido, las playas pueden ser clasificadas según dos parámetros: grado de exposición y morfodinámica

1.2– Caracterización de la Costa Brasileña

Silveira (1964), basado en criterios oceanográficos, climáticos y continentales dividió la costa brasileña en cinco sectores: norte, nordeste, este, sureste y sur; habiendo, no obstante, dado un mayor realce a las características de la costa nordeste.

El sector estudiado forma parte del Sector Nordeste y está comprendido entre la Bahía de São Marcos (MA) a la Bahía de Todos os Santos (BA)

La plataforma continental estrecha y rasa de la costa nordeste, con una anchura que varía entre 15 y 75 Km y profundidad máxima de 70 m, está casi cubierta en su totalidad por sedimentos biogénicos carbonáticos (arenas y gravas, consistiendo principalmente en algas calcáreas) y se presenta dividida en dos trechos distintos: El trecho septentrional del litoral semiárido se extiende hasta el Cabo del Calcanhar (RN), con plataforma interna bastante rasa y la presencia de sistemas estuarinos con amplias planicies fluvio-marinas y manglares, y el trecho oriental, situado entre la Punta del Calcanhar y la desembocadura del Río Guaju, caracterizado por la presencia de playas arenosas protegidas frontalmente por areniscas de playa (ensenadas) y separadas por salientes rocosos de la Formación

de Barreras. El desarrollo y presencia de extensos campos de dunas, además de sistemas estuarinos y lagunares, completa la caracterización de este sector.

1.3– Intervenciones Antrópicas

Las playas vienen sufriendo una creciente pérdida de sus características en razón de la ocupación desordenada y de las diferentes formas de efluentes, tanto de origen industrial como doméstico, lo que ha llevado a un serio comprometimiento de su condición como área balnearia, principalmente de aquéllas zonas próximas a centros urbanos.

Como medida de protección se recomienda, por lo tanto, la aplicación de estrategias de conservación de los habitats, asociada a la implantación de programas de educación ambiental. El área costera de Natal (estuarios y playas) se presenta como objetivo de estudio y control ambiental, teniendo en cuenta la elevada diversidad faunística, así como la existencia de varias especies nuevas y otras amenazadas de extinción, debido a la extracción desordenada y a las crecientes alteraciones en el ambiente.

2 – SITUACION ACTUAL DE LAS REGIONES COSTERAS

2.1– Erosión Costera

La erosión costera es un fenómeno natural en función de las condiciones ambientales o puede ser fomentado por actuaciones y ocupación. Mientras más el litoral sea ocupado, más se acentúa el problema, que crece en magnitud e importancia, debido al aumento del valor económico de las zonas costeras y de la forma que asume el desarrollo. Debido a la complejidad de las interacciones entre los diversos factores naturales y antrópicos, ese fenómeno ha tenido, en los últimos tiempos, una mayor importancia en las planificaciones de las actividades de desarrollo y principalmente de ordenación de la zona costera, ya que la propia obra puede ser afectada por estos factores o provocar la intensificación de la erosión y generar pérdidas para otros sectores de la costa adyacente.

2.1.1 – Causas Naturales

Las playas representan formas de acumulación de un litoral o de equilibrio, mientras el proceso de erosión representa una modificación de este equilibrio en sentido de pérdida de sedimento.

Los estudios mareográficos, en escala global, han mostrado que el nivel relativo del mar, actualmente, presenta una tendencia de elevación lenta, el orden de 1,2 a 1,5 mm/año. Esa elevación puede interferir en el estado de equilibrio de las playas, a través de la pérdida de sedimentos y retroceso de las mismas. El perfil de la playa emigra hacia el continente debido a la erosión del estran superior o de la post-playa, con acumulación del material en la anteplaya, de tal forma que la espesura de la lámina de agua permanece constante.

Un lento crecimiento de frecuencia y de la energía de las olas es comentada por algunos autores como los agentes que favorecen la erosión de las playas. A pesar de ser relativamente lenta, esa transgresión, provocada por la migración de cordones litorales, lagunas y playa, hacia el continente, y de la deposición de sedimentos fluviales en los estuarios y en las lagunas formadas por el relleno de valles fluviales bajos, agravan el efecto de la erosión, pudiendo crear condiciones desfavorables que amenazan la estabilidad y permiten el retroceso de las playas, muchas veces acelerado por los efectos de la intervención humana.

Otro factor que contribuye a acentuar la erosión costera es la formación de extensos campos de dunas a partir de los aportes de sedimentos de las playas por la acción constante de los vientos.

2.1.2 - Causas antrópicas

La erosión marina en la zona costera es un problema que se produce a partir de la ocupación desordenada y sin planeamiento urbano. Otros factores de orden ambiental se superponen fuertemente para agravar este problema, entre los cuales se pueden citar la desecación y enterramiento indiscriminado de los manglares y las "obras de ingeniería". Estas últimas, cuando son ejecutadas sin un criterio global, pueden agravar o provocar erosión en las áreas adyacentes. Los trabajos realizados en los ríos generalmente reducen considerablemente su papel de principal

proveedor de material detrítico a la costa. En este sentido, las represas representan el papel de trampas eficaces en la retención de los sedimentos.

2.1.3 – Fluctuaciones del nivel del mar

La reconstrucción de las fluctuaciones del nivel del mar en la costa brasileña fue realizada a partir de una serie de evidencias sedimentológicas y paleoecológicas. Para la región este de Brasil, se han identificado tres niveles de mar superiores al actual, denominados por Bittencourt et al. (1979), como transgresión antigua (>120.000 años), penúltima transgresión (=120.000 años) y última transgresión (5.000 años).

Los diversos trabajos sobre el litoral de Rio Grande do Norte evidencian la presencia de varios testigos de las fluctuaciones del nivel del mar, principalmente los niveles más elevados:

- la presencia de terrazas marinas y paleo acantilados;
- antiguas líneas de *beach rocks*;
- paleolagunas y varias generaciones de dunas.

Los testigos de niveles inferiores son más difíciles de determinar debido a su inmersión, aunque hayan sido identificadas por geofísica marina algunas evidencias, como la presencia de paleovalles fluviales en la plataforma continental e interrupciones en el aporte de material detrítico hacia la base del talud continental.

La tendencia de un mayor período observado en el nivel medio del mar indica que la costa brasileña está sometida a una tasa de elevación del orden de 4 mm/año o 40 cm/siglo (Campos, 2003). Para el estado de Rio Grande do Norte, no existen observaciones a largo plazo del nivel medio del mar para que pueda ser determinada una tendencia fiable, sin embargo si consideramos las tendencias observadas en Recife (50 cm/siglo) y Belem (40 cm/siglo), podemos interpolar valores entre 40 y 50 cm/siglo, lo que correspondería a una elevación promedio de 0,45 cm/año.

3 – ESTUARIOS

Estuarios son ambientes costeros de vida efímera en el tiempo geológico, presentes durante épocas de elevación relativa del nivel del mar. Los estuarios actúan como filtros, no permitiendo que los sedimentos fluviales lleguen a la región de la plataforma continental, reteniéndolos en su área de deposición. Los estuarios también reciben sedimentos de la región de la plataforma interna y de áreas costeras adyacentes, traídas por la deriva litoral y el flujo de marea.

La existencia de ambientes estuarinos es función del balance entre las fluctuaciones del nivel del mar y el volumen de sedimento acarreado por los ríos. La mezcla de las aguas en algunos estuarios especiales promueve procesos de floculación, permitiendo la deposición de fracciones limosas finas que constituyen el sedimento de lodos. Ese sedimento es colonizado por diversas formas animales y por plantas de porte arbóreo y/o arbustivo que forman la comunidad vegetal de los manglares.

3.1– Clasificación Geomorfológica de los Estuarios

Los estuarios pueden ser clasificados por su geomorfología como llanuras costeras y fiordos. Los primeros están ampliamente distribuidos alrededor del mundo presentando una forma irregular y son resultados de la inundación de valles fluviales durante el ascenso del mar en el Holoceno. Usualmente son rasos y se orientan perpendiculares a la línea de costa. Los fiordos son estuarios excavados durante el Pleistoceno en regiones de latitudes altas. Presentan una profundidad media en torno de centenas de metros y un fondo rocoso alto en su entrada, que actúa como obstáculo al intercambio de agua entre el estuario y el mar adyacente, favoreciendo el desarrollo de condiciones anóxicas en los niveles de agua más profundas.

3.2– Clasificación de los Estuarios en Función de la Circulación de las Aguas

La circulación de las aguas es función de la importancia relativa de cada uno de los factores dinámicos (marinos y fluviales) descritos antes. El ambiente estuarino

puede ser subdividido en tres zonas con base en la interacción entre el prisma de marea y la descarga fluvial, factores primeramente responsables de la circulación y del tipo de sedimentación: Zona Estuarina Fluvial, región donde la salinidad de las aguas es siempre menor que 1 psu, pero los efectos de la marea aún son observados; zona estuarina, región que presenta una variación de salinidad entre 1 y 35 psu y donde la turbidez máxima puede ser observada, normalmente en la región de salinidad de entre 4 y 10 psu; y la Zona Estuarina Costera, localizada en la región costera adyacente, en la cual la salinidad observada es igual a la oceánica.

Cuando el estuario es dominado por el río, o sea, la influencia fluvial es más fuerte que la influencia de marea, es clasificado como un estuario altamente estratificado o de cuña salina. Cuando la influencia de la marea es más importante que la influencia fluvial, el estuario es clasificado como bien mezclado. Cuando las influencias fluvial y de marea son comparables, el estuario es clasificado como parcialmente estratificado o parcialmente mezclado.

Debido a su localización geográfica, los estuarios normalmente son áreas ideales para el desarrollo el asentamiento de poblaciones o ciudades, y por lo tanto, han llegado a presentar una gran concentración poblacional. La actividad humana afecta el tipo natural de sedimentación, acelerando o disminuyendo la deposición sedimentaria. Como consecuencia de estas actividades, los estuarios tienden a ser rellenados más rápidamente o a presentar procesos erosivos en función del déficit de sedimentos, respectivamente.

3.3- Principales Impactos Ambientales

Los principales impactos ambientales identificados en la región costera de Rio Grande do Norte están relacionados a las actividades económicas desarrolladas en la región, como la explotación petrolífera, las instalaciones portuarias, la industria de la sal, la expansión turística, o la extracción de madera, entre otras.

Entre los principales efectos impactantes, podemos observar la destrucción de grandes áreas de manglares tanto para la expansión del parque salinero, como de las haciendas de cultivos de camarón. Esas prácticas han causado grandes desequilibrios al ecosistema estuarino, ocasionando mortandad de peces, crustáceos y moluscos, y afectando directamente tanto el equilibrio ecológico, como económico y social de las poblaciones que sobreviven de esos recursos.

4 – MANGLARES

4.1 – Los Manglares y sus Recursos: Repercusiones y Utilizaciones

Los ecosistemas de tipo manglar generalmente están asociados a las márgenes de bahías, ensenadas, barras, desembocaduras de ríos y lagunas, donde hay contacto de aguas de ríos con las del mar, o directamente expuestos a la línea de costa.

Los manglares son, generalmente, sistemas jóvenes una vez que la dinámica de las mareas en las áreas donde se localizan, produce constante modificación en la topografía de esos terrenos. Es caracterizado como un sistema ecológico costero tropical, dominado por especies vegetales típicas. Los límites verticales del manglar, en el medio litoral, son establecidos por el nivel medio de las máximas pleamares (Maciel, 1991).

La riqueza biológica de los ecosistemas costeros hace que esas áreas sean grandes “cunas” naturales, tanto para las especies características de esos ambientes, como para animales que migran hacia las áreas costeras, además de presentar una importancia socio-económica, como fuente de divisas para el país.

4.1.1 – Tendencias Socio-económicas

El manglar puede ser tratado como un recurso renovable, pero limitado, Cuando se considera la producción natural de miel, ostras, cangrejos, camarones y mariscos, además de las oportunidades recreacionales, científicas y educacionales. Por otro lado, el manglar también puede ser considerado como un recurso no renovable, cuando el espacio que ocupa es sustituido por edificios, atracaderos, residencias, puertos, marinas, aeropuertos, carreteras, salinas, acuicultura, etc.

Los puntos que se exponen a continuación, son ejemplos de lo ya ocurrido en la región de Natal.

4.1.2– La Pesca

La captura de peces y crustáceos en las áreas estuarinas y costeras se caracteriza por ser una actividad económica principal para buena parte de la población ribereña. Sin embargo, diversos factores han provocado la disminución de los rendimientos en la pesca, mereciendo destaque la contaminación provocada por el aporte de los desagües domésticos y los residuos de industrias, que llegan al sistema ecológico estuarino, principalmente los manglares. Planes de desecación inadecuados y construcciones irregulares contribuyen también a la degradación de áreas de manglares y, consecuentemente, a la disminución de recursos naturales explotables.

4.1.3 – Acuicultura

En el litoral del estado del Rio Grande do Norte, se encuentra uno de los mayores polos de producción de camarones en cautiverio de Brasil. Las haciendas se localizan en las márgenes de los estuarios y lagunas costeras, donde se cultiva principalmente la especie *Penaeus vannamei*, originaria de Asia, introducida en Brasil en la década de 80. El estado posee actualmente alrededor de 3.591 hectáreas de viveros (2002), con productividad media de 5.152 kg/hectárea/año.

4.1.4 – Salinas

Una de las principales actividades económicas de la región litoral es la extracción de la sal. El parque salinero del estado de Rio Grande do Norte, situado en el litoral septentrional, es responsable por 90% de la producción brasileña de sal marina. La sal es comercializada en varios estados brasileños y exportada principalmente para Estados Unidos, África y Europa. Actualmente, esta industria es responsable por cerca de 10 mil empleos directos y más de 5 mil empleos en las actividades de apoyo y transporte.

5 – LEGISLACION COSTERA

Las leyes aquí presentadas se refieren a las modificaciones ocurridas en el estuario del Rio Potengi decurrentes de la presencia del puerto de Natal en este ambiente, principalmente a aquellas consideradas con motivo de la ejecución de las obras de derrocamiento, guía de corrientes y dragado de la boca de la barra del estuario del Potengi.

En lo concerniente a la Legislación general sobre medio ambiente y recursos naturales, cabe resaltar los dispositivos de aplicación directa al área en foco, relacionado a las alteraciones en el área:

- Ley N° 6.9338, del 31 de agosto de 1981;
- Resolución N° 001, del 23 de enero de 1986;
- Ley N° 7.661, del 16 de mayo de 1988.

Entre los varios dispositivos legales que disponen sobre el uso del suelo y la protección a los recursos naturales cabe citar:

- Artículo 225, párrafo 4, de la Constitución Federal de 1988;
- Ley N° 4.771, del 15 de septiembre de 1965, artículo 2°;
- Ley N° 6.938, del 31 de agosto de 1981, artículo 18;
- Resolución CONAMA N° 004, del 18 de septiembre de 1985;
- Portería MM/Directoría de Puertos y Costas N° 52.

De la legislación ambiental específica del Estado de Rio Grande do Norte y del Municipio de Natal, cabe resaltar los siguientes dispositivos:

- Ley Orgánica del Municipio de Natal, del 03 de abril de 1990;
- Ley N° 4.100, del 19 de junio de 1992;
- Ley Complementar N° 007, del 05 de agosto de 1994;
- Ley N° 8.630/93, del 25 de febrero de 1993.

Capítulo IV

DINÁMICA LOCAL DE LOS SISTEMAS COSTEROS

1 – FRENTE LITORAL

1.1 – Morfología de la Plataforma Continental del Área de Estudio

La morfología de la plataforma del área de estudio, puede observarse en las cartas DHN N^{os} 802 y 810, y puede dividirse en dos grandes compartimientos con características distintas: un compartimiento externo o de mar abierto y un compartimiento interno del estuario y canales de marea.

En el compartimiento de mar abierto, en relación a los rasgos más amplios, se observa a cerca de 15 Km al nordeste de Natal, que el contorno de la isobata de 20 m describe un entrante de dirección NESW, remarcando con claridad un pequeño canal. En el compartimiento del estuario y de los canales de marea, pueden ser distinguidas zonas de mayor profundidad, situadas en general en frente de zonas de baja profundidad o bancos.

Para el interior del estuario, las zonas de baja profundidad situadas en las márgenes convexas, están en general asociadas al crecimiento de los manglares. Ya en el bajo estuario, en las proximidades del farolote Potengi y hasta la barra, los bancos y coronas de las zonas de baja profundidad están constituidos esencialmente por material arenoso, como por ejemplo, los bancos Jaguaribe y de las Velhas, acarreando una gran movilidad del material.

La línea de costa de la región ha sido modelada por la combinación del efecto del oleaje y las corrientes paralelas a la costa, además de la intensa y continua actividad eólica de la región. La respuesta a este proceso de modelado ambiental es la complejidad de aspectos morfológicos, entre los que destacan las ensenadas separadas por acantilados, con frentes de arrecifes generalmente sumergidos en las pleamares. Las playas actuales del área están constituidas por arenas medias y gruesas, con pendientes de media a baja inclinación que hacia el interior dan lugar a campos de dunas.

1.2– Clima de Oleaje

Desde el punto de vista de climatología marina, la costa brasileña puede ser considerada como una área calma o de baja energía, ya que no es afectada por ningún sistema climático capaz de generar tormentas de grandes magnitudes. No obstante todo y por no presentar un régimen energético elevado, la constancia de los vientos alisios genera una continuidad de transporte (deriva) permanente a lo largo del año que llega a movilizar un volumen neto de sedimento importante. En general, se observa una reducción de la frecuencia y energía de las olas, desde la costa de la región sur hacia la de la región nordeste.

La caracterización de las olas del litoral de Natal, se ha obtenido a partir de los registros y informes de los dos años de medidas (1998-1999) y de las alturas de las olas, realizados en la estación ondográfica de Reis Magos, por el *Instituto de Pesquisas Hidroviárias* (INPH) y por la HIDROCONSULT S.A. La eficiencia de las campañas viene determinada por la relación entre el número total de registros y el número de registros posibles, lo que indicó para el período analizado un rendimiento superior a 87% para los promedios de las alturas de las olas, y 66% para las medidas de dirección, obteniendo, de esa forma, un rendimiento satisfactorio.

1.2.1 – Olas de Período Corto

La distribución de las olas entre los tipos *sea* y *swell* define el comportamiento del frente de playa, en el cual de forma simplificada, se distinguen los dos tipos básicos de perfil, denominados de invierno y verano.

Las características de las olas para el período de los dos años analizados muestran que la altura significativa (H_s) presenta una distribución homogénea, con altura promedio de 1,14 m, moda de 1,10 m y desviación estándar de 0,21 m.

El ancho espectral (e) es utilizado como un indicador del tipo de ondulación y, a través de los cálculos realizados, se observa que las olas tipo *sea*, formadas por influencia de los campos de viento local, presentan una frecuencia relativa de 70%, y las olas tipo *swell*, formadas en regiones más apartadas de la costa, una frecuencia de 12%. El restante del porcentaje relativo (19,22%) corresponde a olas con características intermedias que no pueden diferenciarse por este método.

Considerando la distribución anual de los tipos de olas, se observa un claro predominio de las olas formadas por influencia del campo de vientos locales *sea*, siendo los *swells* prácticamente limitados al periodo de comprendido entre los meses de marzo a mayo, durante el que dominan las olas de dirección ENE.

A partir de la análisis climático anterior y como conclusión de este punto, se puede afirmar que el clima de oleaje registrado en el ondógrafo de los Reis Magos es principalmente del tipo *sea*, que puede ser bien caracterizado por su anchura espectral. El tipo predominante de las olas y la dirección de aproximación a lo largo del año muestran que su régimen en Natal está controlado por los campos de vientos regionales, coincidiendo con la dirección y patrón de variación de los vientos alisios.

1.2.2 – Olas de Período Medio

Para la composición de las distribuciones de probabilidad conjunta o diagrama de dispersión de los parámetros característicos de las olas a medio plazo, fueron utilizados los datos del Ocean Wave Statistics, corregidos a partir de los datos registrados en el ondógrafo de Natal.

La distribución de las alturas significativas de las olas presenta una serie de variaciones anuales y direccionales, que caracterizan una fluctuación total entre 20 e 250 cm. Se verifica la presencia de una alternancia en las condiciones energéticas a lo largo del año, con un periodo de menor energía, entre junio y noviembre, con alturas entre 40 y 250 cm.

Con relación a la distribución direccional, observase que las olas de mayor energía se relacionan principalmente con la dirección ESE y secundariamente con el rumbo Este. Por último, destacase que en el período de septiembre a febrero, no fueron observadas olas provenientes del ENE. El período medio también presenta variaciones anuales y direccionales, con límites anuales entre 4,8 y 10,8 segundos.

1.3 – Transporte Generado por las Olas

Las olas, al acercarse a la línea de costa, generan dos tipos de transporte de sedimentos: transversal y longitudinal. El transporte transversal es más importante cuando el ángulo de las olas en la zona de rompiente es perpendicular a la playa,

mientras que de forma progresiva pasa a ser transporte longitudinal, deriva sedimentaria, a medida que este ángulo es más oblicuo en relación a la costa.

El transporte transversal es el responsable de las fluctuaciones en la geometría (volumen) de la playa, que varía entre las etapas extremas reflexivas y disipativas, dependiendo de la altura y período de las olas y del nivel de las mareas. La mayoría de las playas de nuestro litoral corresponden a etapas morfodinámicas intermedias, caracterizadas por la presencia de barras y surcos que migran a lo largo del año en la dirección de transporte.

El transporte longitudinal de sedimentos se produce en una estrecha franja formada entre la zona de rompiente y línea de playa, y que asociado a las características de las olas en nuestra región, se produce la mayor parte del tiempo hacia el norte. Esa modalidad de transporte es la principal responsable de la erosión de las playas, debido a su gran capacidad de transporte de sedimentos ya que en definitiva, el equilibrio de una playa depende de la relación entre el aporte de sedimentos y la capacidad de transporte litoral.

1.4 – Transporte Longitudinal de Sedimentos

Los modelos numéricos utilizados para el cálculo del transporte longitudinal de sedimentos son solamente una aproximación de la realidad, que utiliza ecuaciones matemáticas para reproducir los fenómenos físicos más relevantes.

Utilizando la expresión del CERC (1984), que proporciona una estimación de la tasa potencial de transporte longitudinal de sedimentos por acción de las olas, y considerando sus características para los diversos sectores de dirección, tendríamos que el transporte relativo de sedimentos sería de, para una costa orientada nortesur, un volumen total del orden de 132.000 m³/año.

Hay que destacar en este caso, que las olas de dirección 0° y 180° no generarían transporte longitudinal de sedimentos, y con 90° todo el transporte se realizaría perpendicular a la costa, o *sea, on-off shore*. Este cálculo es válido para la mayor parte de la costa este del estado de Rio Grande do Norte. Para el caso de la Playa de Areia Preta, donde la costa presenta un ángulo del orden de 20°, y el transporte potencial anual resultante es de 750.000 m³.

1.5 – Limitaciones a la Ocupación Costera

A partir del conocimiento del balance sedimentario costero, es posible definir la etapa de una playa (erosión, estabilidad o deposición), su tendencia evolutiva y cuáles son los elementos primordiales para mantener su equilibrio, sean morfológicos o hidrodinámicos. Con estas premisas será posible planificar, dentro de un horizonte a medio / largo plazo, cual es la capacidad real de soporte del medio y el tipo de utilización ideal para cada zona.

Planificar, por ejemplo en el caso de subida del nivel del mar, significa desde inmediatamente, desaprobar y/o prohibir cualquier tipo de ocupación de los primeros 100 metros de playa, como mínimo, medidos a partir de la línea de pleamar máxima actual. Este límite no es rígido y puede ser determinado con relativa facilidad a partir de las informaciones actualmente disponibles, mas debe por lo menos ser de este orden de magnitud para playas aún sin ocupación y/o sin zoneamiento, y mayores (150 a 200 m) en las áreas donde la plataforma presenta una baja inclinación. La subida del nivel del mar también causará problemas graves para las zonas sujetas a las inundaciones periódicas, tales como los estuarios y lagunas, luego estas zonas merecen una atención especial.

Considerando el balance sedimentario costero, o mejor, el equilibrio de los intercambios de sedimentos de la zona costera, deberíamos desde ya evitar la ocupación de los promontorios costeros (salientes), ya que presentan un papel relevante para el balance sedimentario costero pues es uno de los únicos puntos donde las arenas eólicas son reincorporadas a la dinámica litoral. Su ocupación puede ejercer un efecto barrera e impedir el tránsito de la arena hacia el compartimiento de costa a sotavento.

Así, no planificar la recuperación del litoral, irá significar el surgimiento de innumerables intervenciones realizadas de forma aleatoria, sin ningún dimensionamiento técnico, llevando en la mayoría de los casos al apareamiento de fallos en las propias estructuras de protección y al agravamiento de la erosión. Esta situación se torna aún más grave en el caso de la ocupación de acantilados, debido por un lado, a la falta de operacionalidad y ausencia de espacio físico para retroceder las ocupaciones, y por otro, a la propia fragilidad de este aspecto costero.

Por último, debemos impedir cualquier ocupación que venga a interrumpir el flujo natural de sedimentos o que afecte el balance sedimentario costero, o en el

caso de realizarla considerar que sus implicaciones podrán afectar otros sectores de la costa, aguas abajo de la corriente de deriva.

2– ESTUARIO DEL RIO POTENGI

2.1– Morfología Marina Actual

La configuración morfológica del Estuario del Potengi se ha observado a través de la interpretación de diversas plantas batimétricas existentes, con mayor énfasis en las más actualizadas, correspondientes a los años 1997,1999 y 2001, y comparándolas con otras batimetrías disponibles antiguas, con fechas a partir de 1867.

2.1.1 – Formas Batimétricas y Condicionantes Morfológicos

El estudio batimétrico fue realizado los días 27 y 28 de octubre de 2000, sobre un área de 4.382 km², correspondiendo al canal de navegación y sectores posibles de navegación. Fueron realizados 19.512 registros de sondeo en una distancia de 48.822 Km a una velocidad promedio de 4,5 Km/h, en un área que alcanza toda la cuenca de evolución del puerto de Natal, localizado en la margen derecha del Rio Potengi.

Los resultados del levantamiento batimétrico muestran que la morfología del fondo del área investigada se caracteriza por un relieve en forma de canaleta con tres direcciones principales: NE-SW, en la porción de la desembocadura; NNE-SSW, en la porción central del área estudiada; y E-W en la porción más interna del área.

Las profundidades más elevadas se encuentran al lado del puerto de Natal con registros de 12,0 a 14,0 metros. El canal de acceso al puerto tiene una anchura promedio de 250 metros y profundidades que varían de 8,0 a 14,0 metros. La morfología actual del estuario Potengi muestra una amplia depresión con zonas preferenciales de mayor profundidad y otras que han evolucionado por relleno sedimentario.

Se puede observar la existencia de canales secundarios de dimensiones bastante reducidas en relación al principal, que parecen ser respuesta a la actuación de las corrientes de marea, construyendo bancos longitudinales y canales conjugados. En las zonas más próximas a la desembocadura, donde se hace más marcada la influencia marina, encontramos un valle amplio, limitado por taludes abruptos junto a las márgenes. Los canales principal y el secundario ocupan en este caso toda la sección estuarina.

Las profundidades normalmente decrecen en dirección al interior, a pesar de que las zonas más profundas estén relacionadas a las terrazas terciarias marginales. En la porción superior del estuario, en que la actuación de las corrientes de mareas ya se hace mucho menos expresiva, encontramos canales de pequeñas anchuras, bajas profundidades, con formas bien estabilizadas.

Las modificaciones artificiales introducidas en el estuario, como la construcción de diques, espigones, enterramientos y enrocamientos han generado áreas con profundidades anómalas, como algunas próximas a la playa de la Redinha, que presentan cotas de hasta 13 metros.

2.1.2 – Comparación de las Cartas Batimétricas

La comparación de los cambios topográficos del fondo estuarino fue realizada utilizándose levantamientos batimétricos del estuario Potengi – Trecho Barra – Porto de Natal, y Escala 1:5.000 (años de 1905; 1918; 1925; 1929; 1941; 1947; 1949; 1977) y levantamientos batimétricos del Canal de Acceso y Barra de Evolución del Puerto de Natal – CODERN, escala 1:2.000 (años de 1997; 1999; 2001)

El proceso de conversión de las cartas batimétricas digitalizadas en archivos XYZ fue el primer paso, seguido del modelado de los datos, generando redes de puntos suficientes para su análisis. El volumen calculado es el referido a la masa de agua contenida en el lecho del río. De acuerdo con los datos obtenidos, se observa una predominancia de erosión en la margen derecha del Potengi, mientras que en la margen izquierda predomina la erosión.

Las variaciones más significativas observadas están relacionadas con la migración del banco de las Velhas. El eje del canal, representado por la zona más profunda, presentó durante el período de estudio una tendencia de desplazamiento en el sentido SE.

Los datos de la comparación de cartas sugieren que las modificaciones observadas se deben a la remobilización del material del fondo sin la contribución de nuevas aportaciones, sean de fuentes continentales u oceánicas. Cabe destacar aún, que todas esas variaciones batimétricas observadas se dieron en un ambiente ya bastante modificado por la acción antrópica, una vez que una serie de obras, tales como la construcción de muros-guía de corriente y rompe mareas, para la mejoría de la navegabilidad en el canal de acceso, son de épocas bien anteriores a la de 1941.

Las modificaciones antrópicas continuarán siendo realizadas en el ambiente del estuario, y entre otras puede ser citado el derrumbe sumergido del arrecife de la boca de la barra, realizado en 1971. Esas modificaciones seguramente llevan a reordenaciones en el interior del estuario, que son reflejados por las variaciones batimétricas del canal.

El comportamiento general muestra que cuando se produce colmatación, éste aumenta hacia el interior del estuario, tendiendo a ser estable tras el Puerto de Natal. Este hecho refleja la pérdida de capacidad de transporte de las corrientes de mareas de desbordamiento a medida que ésta penetra en el estuario, lo que es confirmado por la distribución sedimentológica que muestra la presencia de granulometría más gruesa en la zona próxima a la desembocadura, y una tendencia gradual de disminución en dirección al interior del estuario.

2.1.3 – Interpretación de Datos Sísmicos de Alta Resolución

Los datos e información geofísica que se describen a continuación, se refieren a la adquisición, procesamiento e interpretación preliminar de datos sísmicos marinos de alta resolución, recolectados el 04 de abril de 2001 a lo largo del estuario del Río Potengi, en tres perfiles sonográficos paralelos al lecho del río y otros menos orientados perpendicularmente.

Los trabajos fueron realizados a bordo de una embarcación tipo pesquero de cerca de 8 metros de largura y con capacidad para 10 personas, utilizando un sonar con alcance máximo de 80 metros y baja frecuencia, habiendo sido realizados cerca de 30.000 metros de perfiles, recubriendo el río tanto longitudinal como transversalmente.

En los registros, pudieron ser observadas variaciones expresadas en forma de diferentes tonalidades (reflectividades). Estas diferencias son las que sugieren los posibles cambios de comportamiento textural, y granulométrico del material. Los campos que contienen una coloración más clara en general están asociados a predominio de material arenoso (mayor reflectividad), y las porciones representadas por bandas oscuras están asociadas con sedimentos lodosos (menor reflectividad).

En el área, existe un cierto zoneamiento composicional, marcado por bandas de material más arenoso (en el canal principal del río), intercalado por bandas levemente lodosas (en las márgenes y en locales de bajo flujo hídrico).

En algunos puntos fue posible identificar aspectos que destacan del contexto general, esos aspectos representan afloramientos del Grupo Barreras, que ejerce el papel de substrato sumergido a lo largo del río Potengi.

2.2– Dinámica Estuarina de Marea

La marea es un fenómeno oscilatorio, cuyo período viene impuesto por el movimiento astronómico. En la mayoría de los estuarios conocidos, las mareas son las principales fuentes de energía, responsables de la dinámica medioambiental estuarina.

La penetración de la marea en el estuario depende de numerosos factores, entre los cuales cabe citar la amplitud de la marea, el declive del lecho del estuario y del curso fluvial, la morfología del estuario y el aporte fluvial.

Conviene distinguir los dos aspectos de penetración de la marea:

La marea dinámica responsable del comportamiento hidráulico, que desde el punto de vista práctico, condiciona la navegación, y permite en algunos estuarios la subida de embarcaciones aguas arriba, hasta lugares bien tierra adentro.

La marea de salinidad puede propiciar numerosas consecuencias de carácter práctico y ecológico. La intrusión salina y las condiciones de la mezcla de agua dulce y agua salada permiten el desarrollo de especies características del medio, animales o vegetales. La mezcla de aguas va a modificar el equilibrio químico, que produce repercusiones sobre la fauna y la flora así como en la capacidad depuradora del ambiente.

Por otro lado, la salinidad va a tener repercusiones inmediatas sobre la deposición de los sedimentos y del material en suspensión. También va a definir las

posibilidades de utilización del agua para fines diversos, como los usos agrícolas, aguas industriales y potables.

El comportamiento de la marea, junto a otros parámetros medioambientales fueron, analizados en el estudio integrado del año base de 1980, en siete estaciones distribuidas a lo largo del estuario del río Potengi.

Además de todos estos datos recolectados, también utilizamos los resultados obtenidos por “Hidroconsult, S.A.” realizados para “Portobrás”.

2.2.1 – Observaciones Maregráficas

Se efectuaron a través de los registros de red de cuatro puestos maregráficos instalados a lo largo del estuario del Potengi, que inicialmente presentaban registros semanales, cambiando enseguida hacia registros diarios, en razón de una mayor precisión en la interpretación de los resultados. Estas operaciones se prolongaron durante un período de diez meses.

- Puesto maregráfico P.M. -01, localizado en el “Banco das Velhas”;
- Puesto maregráfico P.M. -02, localizado en el Muelle del Puerto de Natal;
- Puesto maregráfico P.M. -03, localizado en el puente de Igapó;
- Puesto maregráfico P.M. -04, localizado en el barrio de Guarapes;
- Puesto maregráfico P.M.-05, localizado delante del faro en la entrada del estuario del río Potengi;
- Puesto maregráfico P.M. -06, localizado en la Playa de Areia Preta.

2.3– Observaciones Limnimétricas

Con el objetivo de identificar la penetración máxima de las mareas, se efectuaron observaciones limnimétricas en puntos situados en la parte superior del estuario, tanto en su brazo derecho como en el izquierdo.

En el río Jundiá se realizaron observaciones en puntos situados en la ciudad de Macaiba.

En el río Potengi se efectuaron observaciones en dos puntos localizados en Barreiros y en la Granja “São Francisco”.

2.4– Corrientes de Marea

De acuerdo con el análisis de los datos recogidos, podemos observar que las velocidades, en condiciones de marea de sicigia, presentan valores más elevados que en la de cuadratura, tanto durante la marea baja como en la alta. Asimismo, las velocidades máximas se encuentran en la fase de marea baja (2 a 3 horas después de la pleamar) y las mínimas en torno a las estofas.

A lo largo del eje del canal, las variaciones de velocidad son más acentuadas que en los lugares próximos a las márgenes. Se verifica así una distribución vertical de velocidades más uniformes (de superficie a fondo) durante las fases de crecida de marea. Después en las condiciones de pleamar y bajamar, se produce una inversión de la dirección, y las velocidades superficiales decrecen hasta conseguir valores próximos o menores que los correspondientes a los horizontes más profundos.

En los años anómalos, de intensas precipitaciones pluviométricas, se pueden hallar velocidades de corriente elevadas, en conjunción con el régimen de inundación de los ríos Potengi y Jundiá.

2.5 – Circulación del Estuario

La penetración de las mareas en el estuario del Potengi durante la fase de crecida, se produce preferentemente por las capas inferiores, con valores de velocidad superiores a los registrados en las capas superiores. Esta tendencia se invierte durante la fase de marea decreciente. La circulación en el estuario, según el “Atlas de Corrientes de Maré do Porto de Natal” de la “D.H.N. (Marinha do Brasil, 1966)”, muestra un comportamiento bastante relacionado con la morfología, con valores más elevados de velocidad junto a las concavidades del ambiente, propiciadoras del poder erosivo de dichas corrientes.

2.6– Influencia Estuarina en la Circulación Costera

La circulación costera, con un patrón de corrientes de sentido S-N, producto de la influencia de los vientos alisios y la orientación de la costa, es durante las fases de marea creciente, difractada hacia el interior del estuario. Esta influencia se restringe a las zonas próximas a la salida del estuario.

Este efecto de los aportes estuarinos alcanza un área más amplia que la afectada en las fases de marea creciente. A pesar de esto, la influencia de la circulación estuarina en la dinámica costera se hace sentir en pequeña escala en un área relativamente restringida, siendo la influencia mayor en condiciones de marea alta. La línea de arrecifes, situada a la entrada del estuario, es también responsable de la restricción de la penetración de las corrientes costeras en el interior del mismo.

2.7– Evolución del Prisma de Marea

Para caracterizar el prisma de marea en el estuario del Potengi, se eligió una sección transversal que tiene su forma definida mediante los análisis batimétricos realizados por “Hidroconsult, S.A. (1978). En dicha sección se escogieron tres puntos representativos en los que se realizaron mediciones de la dirección y velocidad de las corrientes, temperatura y salinidad, usando la misma metodología ya empleada en mediciones similares.

Con los valores de velocidad y de dirección de las corrientes y el área de sección transversal se calcularon, respetando las correcciones necesarias, los caudales de entrada y salida de las aguas del estuario.

El caudal total de la sección estuarina fue obtenido por la suma algebraica de los caudales parciales, positivos (marea llenante) o negativos (marea vaciante), según el sentido de la corriente.

Los prismas de marea se evaluaron a partir de los datos de los caudales, que muestran volúmenes correspondientes a la fase decreciente, o sea, la marea vaciante, aproximadamente un 10% superiores a los volúmenes de la fase de crecida, o sea, la marea llenante.

2.8– Comportamiento de las Corrientes en el Estuario del Río Potengi

Fueron realizadas campañas de mediciones correntométricas en dos puntos en el estuario del río Potengi, las estaciones PM-05 y PM-01.

Los datos obtenidos en PM -01, demostraron el predominio de corrientes dirigidas hacia WSW y SW, en relación a aquéllas hacia el E y ENE. Una evaluación de estos resultados indica el predominio de corrientes de desbordamiento en relación a las de reflujos. En el punto PM -05, se ha confirmado una predominancia de corrientes de desbordamiento, con mayores velocidades, en las direcciones SW y WSW en relación a las de NNW, NW y WNW.

2.9 – Comportamiento de la Salinidad

En el estuario del Potengi, las condiciones naturales caracterizadas por las irrelevantes contribuciones fluviales, pendientes suaves y una relativa salinidad estable, favorecen durante todo el año la penetración salina hasta 20 Km río arriba en el brazo derecho del estuario – el del río Jundiá - y hasta 15 Km en el brazo izquierdo – el del río Potengi.

La variación anual de la salinidad no se ha verificado en el año base del presente estudio, que se caracterizó por una estación seca prolongada, con lluvias ocasionales. Asimismo, según los datos del proyecto “Camarão”, obtenidos en la zona inferior del estuario durante el año 1976, se advirtió una variación estacional con porcentajes mínimos de salinidad superficial durante el mes de junio, que representa la estación lluviosa, con promedios alrededor de 29.5‰. En el periodo de estiaje, en diciembre, se hallaron valores promedios de aproximadamente 34.50‰.

2.9.1 – Distribución General

A través de la interpretación de los gráficos de distribución horizontal, la salinidad viene determinada por las oscilaciones de la marea, dentro del estuario, siendo sus valores más elevados asociados a las pleamares y viceversa.

Con excepción de la Estación 01, próxima a la salida del estuario, todas las demás muestran un intervalo aproximadamente constante con valores máximos de

salinidad, aproximadamente en la pleamar (2 horas antes y 2 horas después), limitados por los dos picos más altos de la velocidad de las corrientes.

La existencia de una zona de gradiente de salinidad acentuado, se explica fundamentalmente por la pérdida de potencia de la intrusión salina (en función del aumento de la pendiente en la zona superior del estuario y del reflujo de estas aguas saladas durante la bajamar, más que por la disolución propiciada por la presencia del volumen necesario de agua dulce. Esto se ve confirmado por las marcadas diferencias entre los valores de salinidad mínimos y los volúmenes de agua referidos a las fases de pleamar y bajamar.

Los perfiles verticales de salinidad muestran la ausencia de un gradiente de salinidad marcado, lo que indica el predominio de la intrusión salina.

Próximo a la salida del estuario (Estación 01), se verifica tanto en la marea de cuadratura como en la marea de sicigia, un perfil constante de la superficie hacia el fondo, con valores superiores durante la pleamar que disminuyen progresivamente durante la bajamar.

En las otras estaciones distribuidas por toda la extensión del estuario, observamos, principalmente en la condición de cuadratura, una ligera tendencia a mostrar un pequeño gradiente salino, con valores que crecen más de medio punto en dirección al fondo. Estos pequeños gradientes salinos aparecen ocasionalmente durante la pleamar (antes y después) a lo largo del estuario, con una variación de aproximadamente 1‰.

2.10 – Temperatura

El comportamiento térmico de las aguas del estuario viene regulado por el siguiente conjunto de factores: la temperatura de las aguas fluviales, el flujo de agua salada, de las condiciones meteorológicas y de la profundidad del estuario.

En el estuario del Potengi el predominio total de la penetración salina y las condiciones meteorológicas estables parecen ser responsables de la gran homogeneidad térmica de sus aguas. En años marcados por una variación estacional, según datos del proyecto “Camarão” (1976), la temperatura del agua en superficie arrojó valores más bajos referidos al mes de junio, en la estación lluviosa, con valores promedios de alrededor de los 26'5°C y temperaturas más elevadas en diciembre, con promedios en torno a los 29°C.

2.10.1 – Distribución General

Los valores obtenidos en la distribución horizontal de la temperatura en el estuario, muestran pequeñas variaciones que reflejan una marcada estabilidad que, de modo general, evidencia un sistema circulatorio continuo a pesar de las diferencias de profundidad. En la distribución vertical de los parámetros medioambientales, se verifica que la temperatura tiende a decrecer en dirección al fondo principalmente en las estaciones más interiores, de menor profundidad.

2.11 – Transparencia

En el estuario del Potengi, la distribución de la transparencia presenta una relación directa con las oscilaciones de la marea, con valores que aumentan como consecuencia de la subida y decreciendo con la fase de reflujo de la marea. La transparencia no mostró variaciones notorias en las diferentes condiciones de la marea de sicigia y cuadratura. Las variaciones anuales no han sido objeto del presente estudio.

2.12 – Oxígeno Disuelto

La concentración de oxígeno en el agua del mar varía entre 0,0 y 12,1 mg/l, con un valor promedio entre 1,4 y 8,6 mg/l. Los mayores valores se han registrado en la superficie, donde el oxígeno disuelto tiende a equilibrarse con el oxígeno atmosférico. En investigaciones desarrolladas por el Departamento de Oceanografía y Limnología de la UFRN, en 1999, fueron observadas pequeñas variaciones entre las muestras, de un mínimo de 5,52 mg/l y un máximo de 6,48 mg/l, consideradas en la franja normal para áreas estuarinas.

2.13 – Distribución del PH

El pH del agua del mar se mantiene normalmente entre 7,5 y 8,4. Los valores más altos son hallados en la superficie, donde el CO₂ es utilizado por la actividad fotosintética. En el estuario del Río Potengi, la pequeña variación promedio

presentada entre las cinco muestras (7,9 y 8,1) realizadas sistemáticamente en el año de 2000, puede ser considerada dentro del margen normal para aguas estuarinas de alta salinidad.

2.14 – Material en Suspensión

El material en suspensión presente en los estuarios, es generalmente muy fino, inferior a 100 – 120 micras y comprende arenas muy finas, gravillas y arcillas.

En el estuario del Potengi, esta relación del comportamiento del material en suspensión con la temperatura y la salinidad se ve enmascarada a causa de la gran homogeneidad de éstos dos últimos parámetros. No obstante, esta carga en suspensión mantiene una relación muy definida con las oscilaciones de las mareas, principalmente después de la bajamar. Esta variación resulta bastante acentuada durante las estaciones de la porción media y superior del estuario, con subidas en torno al 55% y hasta más del 100%.

Al contrario de otros estuarios, la distribución de las cargas en suspensión en el interior del estuario del Potengi, no muestra una relación bien definida con la velocidad de las corrientes, que por lo general presentan una tendencia directa y, en ciertos casos, inversamente proporcional.

2.14.1 – Comportamiento General del Material en Suspensión

Según la distribución horizontal y vertical de la carga en suspensión en el estuario del Potengi, sus relaciones con otros parámetros y las variaciones entre las condiciones de marea de cuadratura y de sicigia, podremos interpretar que las oscilaciones de la marea son su principal agente. La importancia de estas oscilaciones se manifiesta de tres maneras:

- los valores más elevados de la carga en suspensión se producen en la inversión de marea, principalmente después de la bajamar,
- los menores porcentajes están asociados a condiciones de la marea estable, principalmente durante la pleamar, donde la velocidad de las corrientes es casi nula;

- la elevación del nivel de las aguas, durante la marea alta tiene como repercusión un aumento de las cargas en suspensión principalmente en las estaciones de la parte superior del estuario.

Tales características modelan un mecanismo responsable de la distribución de estas cargas en el ambiente del estuario. Por lo que respecta al valor cuantitativo de estas cargas, se considera en función de la velocidad de las corrientes.

En el estuario del Potengi se verifica una tendencia similar aunque no es una general. Por otra parte, la presencia de elevadas concentraciones asociadas a velocidades bajas de las corrientes, se explica al parecer por el papel de la ondulación.

De esta manera, queda caracterizada la causa de los mayores porcentajes de material en suspensión que se producen durante la marea alta. Por este hecho, las diferencias más acentuadas de estos valores, se producen en los lugares del estuario dominados por las amplias planicies marginales del manglar, que solamente quedan sumergidas cuando suben los niveles de la lámina del agua.

Por lo que se refiere al origen de este material, es fácilmente detectable la inexistencia de una contribución fluvial, puesto que las estaciones próximas al curso fluvial mostraron cargas más bajas que en el resto del estuario. Las grandes extensiones de plataformas marginales, colonizadas por una vegetación de manglar y de substrato fundamentalmente limoso, en perfecta sintonía con los mecanismos originados por las oscilaciones de las mareas, constituyen la fuente principal de material en suspensión del estuario.

La ausencia de fuentes externas de cargas en suspensión, sólo alimentada por elementos propios del estuario, nos lleva a un modelo de estuario caracterizado por un balance en equilibrio proporcional de sedimentación.

2.15 – Sedimentos

De acuerdo con los resultados obtenidos mediante los análisis mecánicos, por filtración o sedimentación, en las cien muestras recogidas, se describen los principales aspectos texturales.

2.15.1 – Distribución Textural

Según la clasificación del diagrama triangular de los sedimentos clásticos (Shepard, et al. 1954) fueron identificadas cuatro clases. Cascajo, Arena, Arena fangosa, y Fango arenoso.

El conjunto de 100 muestras de sedimentos reveló las siguientes proporciones:

- la fracción grava presenta valores dentro de la franja de 0,00% a 10,34% y media de 0,77%
- la fracción arena, los valores están entre 25,75% a 100,00%, con promedio de 88,17%
- la fracción limo-arcilla (lodo) varia entre 0,20% y 74,25%, con un promedio de 9,27%.

Solamente una muestra colectada a la salida del estuario, entre la línea de arrecifes y el guía corriente, fue clasificada con 100% de gravilla, un fragmento de la arenisca.

Esta distribución de los valores nos hace calificar a los sedimentos del estuario del Potengi como predominantemente arenoso, con dominio de lodo solamente en las márgenes cercanos a los manglares y zonas de baja energía, y gravas asociadas principalmente a fragmentos de conchas marinas, que también pueden estar relacionadas a la fragmentación de los arrecifes presentes en las proximidades de la embocadura de río.

2.15.2 – Parámetros Estadísticos

2.15.2.1 – Diámetro Medio

El diámetro medio refleja la media general del tamaño de los sedimentos. Esto puede utilizarse para determinar la competencia del agente transportador, de los procesos deposicionales y la influencia de las fuentes de alimento de material.

En el estuario del Potengi, la distribución del diámetro medio muestra una sedimentación fundamentalmente arenosa, aunque existan zonas de material de granulometría más fina constituidas por gravillas y arcillas.

2.16 – Distribución del Carbonato de Calcio

La distribución del CaCO_3 , en el estuario del Potengi muestra un predominio de valores menores del 5%, ocupando fundamentalmente las zonas más profundas existentes en el estuario medio. En este sector del estuario, los valores más elevados están asociados a los sedimentos más finos, situados en las zonas menos profundas junto a las márgenes, en respuesta a la acción selectiva de las corrientes de las mareas.

Por otra parte, en algunos lugares representan situaciones anómalas propiciadas por el vertido de residuos de drenaje, ricos en conchas calcáreas. En los sectores interiores del cuerpo del estuario, como en los canales, se hallan los valores más elevados de CaCO_3 , que varían entre el 5 y el 15% y mayores del 15%.

2.17 – Distribución de Materia Orgánica

Sobre las mismas muestras, los análisis de las cantidades de materia orgánica constataron una variación dentro de la franja de 4,95% a 0,00%, con valores medianos de 1,65%. El valor anómalo máximo resultó ser del 13,00%, correspondiente a sedimentos oriundos del manglar característico de ambientes con alta productividad primaria. Los valores aquí expresados caracterizan los sedimentos de origen mineral, donde hay un enriquecimiento por descomposición de materia orgánica de orígenes cercanos o de vertidos domésticos. La anomalía se da por la conexión con los sedimentos de origen organogénico.

Capítulo V

**INTERVENCIONES ANTROPICAS Y SUS
CONSECUENCIAS AMBIENTALES**

1 – ESTUARIO DEL POTENGI

Con la intención de proveer el puerto de Natal de condiciones de navegabilidad, fueron realizadas en diversas épocas, desde el inicio del siglo XX, una serie de obras fijas, dragado y desmoronamiento en este estuario. Sin embargo, se hace necesario comprender el proceso de evolución ambiental reciente como un todo, no limitándose solamente a la influencia de las intervenciones en el ámbito del estuario y sí envolviendo las áreas adyacentes.

1.1 – Antecedentes Históricos

Desde 1501, con la llegada de los portugueses en la costa de Rio Grande do Norte, el estuario Potengi ha despertado la atención de navegantes y estudiosos, siendo considerado por sus condiciones naturales, durante los siglos XVI al XIX, como potencialmente uno de los mejores puertos de Brasil. A pesar de eso, era requisito básico para mejorar la navegabilidad la realización de trabajos de dragado y la destrucción del puente sur de la “Baixinha”, lo que vino a iniciarse solamente en el inicio del siglo XX, precisamente en los años de 1901 y 1903.

Otro requisito de importancia semejante para la mejoría portuaria sería impedir la penetración, en el estuario, de gran cantidad de arenas transportadas por los vientos a partir de las dunas existentes en la margen derecha, principalmente en el trecho próximo al Fuerte de los Reis Magos, además de los sedimentos erosionados de las márgenes arenosas inconsistentes por el flujo y reflujos de las mareas.

Los estudios para construir el puerto de Natal fechan de 1875, de autoría del ingeniero británico Sir. Jonh Hawkshaw, tomando como base el Plan de L'entrée de la Rivière Rio Grande do Norte (Brasil) – Dépot dès Cartes et Plans de la Marine-França (1867), en la escala de 1.17.000 y una Carta del Almirante Británico (citaciones sin fecha y sin escala, A. Lisboa, 1922, in Cunha (1985)

El área donde actualmente se localiza el puerto de Natal era de lugares para plantaciones, donde vivían los guardias de los depósitos que permanecían con vigilantes debido a las mercancías que serían transportadas para el estado de Pernambuco. A partir de la construcción del puerto, otras intervenciones significativas ocurren en el área.

En 1938, la Compañía Nacional y Construcciones Civiles e Hidráulicos ejecutaron la construcción del nuevo muelle con 400 metros de extensión, en vigas de concreto apoyadas sobre el enrocamiento simple.

Basados en las teorías del ingeniero americano H. C. Ripley, fue elaborado un nuevo proyecto de mejoramiento del puerto de Natal, bajo la responsabilidad del ingeniero Frederico César Bulamarque, y aprobado por el Decreto Ley Nº 10.663 del 20 de octubre de 1942.

Aplicando aún la Teoría de Ripley, fue localizada una curva de 2.125 m de radio, con el objetivo de garantizar la estabilidad del canal de acceso. Aún fueron proyectados los espigones 2A, 3A e 4A y prolongados hasta la curva, los de números 5, 6, 7 y 8. Constarán aún en este trabajo, como indicaciones de mejoramiento, las siguientes obras:

1. Dragado de la Bacía de Evolução;
2. Construcción de un espigón 1A en el margen derecho con la finalidad de remover el Banco de las Velhas;
3. Derrumbe de la Pedra da Limpa, con el objetivo de permitir un mejor atracado de los navíos petroleros;
4. Derrumbe del tramo final del Picão;
5. Construcción del Molle del Picão en dirección casi normal a los arrecifes para evitar agitación en la entrada de la barra.

De 1960, fin de la obra, hasta el año de 1982, otras intervenciones antrópicas y de las configuraciones ocurrieron en el estuario, principalmente a fin de proporcionar una mejoría en el canal de acceso. Tras el análisis de las intervenciones antrópicas y de las configuraciones batimétricas del área y consecuentemente en las condiciones de navegabilidad del Puerto de Natal, fue verificado que las obras ejecutadas no produjeron los efectos necesarios, principalmente llevando en consideración las necesidades portuarias de esta nueva época y las previsiones de un creciente movimiento de carga.

Con base en estos datos, fue elaborado por el INPH, un nuevo proyecto, denominado “Proyecto de Regularización de la Embocadura del Estuario Potengi, a través de la construcción de obras fijas, dragado y desmoronamiento – Natal –

RN”, señalando inicialmente para dos alternativas para la regularización de la desembocadura:

- **Alternativa 1:** Consiste en la construcción de dos guías corrientes en las márgenes del estuario, con la finalidad de regularizar y limitar las áreas mojadas de las secciones transversales embocadura:
- **Alternativa 2:** Esta alternativa difiere de la primera con relación al trecho entre el guía corriente de la Redinha y la foz de la Gambóia Manibú, en la margen izquierda donde actualmente existen los espigones E-5 al E-9. Esos espigones fueron responsables por erosiones y colmatación, mostrando no ser una obra con eficiencia hidráulica, concluyendo, por lo tanto, que la alternativa 2 no era la mejor solución para este trecho.

Después de detallados los estudios y análisis de impactos ambientales, la Compañía Docas de Rio Grande del Norte optó por una tercera alternativa, que está a continuación:

- **Alternativa 3:** La alternativa 3 contemplaba la ejecución del desmoronamiento del batiente rocoso en la barra del estuario seguida del dragado del canal de acceso. Las etapas siguientes consistían en la construcción del guía corriente de la Redinha, en la construcción del guía corriente de la Limpa, seguida de enterramiento de esta región (Banco de las Velhas).

Este estudio, por cuestiones de dificultades operacionales, consecuentes análisis de coste / beneficio y principalmente por las alteraciones en un área próxima a la Fortaleza de los Reis Magos, o sea, englobada en el Patrimonio Histórico, nuevamente fue modificado por la Compañía Docas de Rio Grande do Norte – CODERN, siendo finalmente iniciado en 1997, constando de las siguientes obras:

- 1997 – Desmoronamiento de 15.960 m³, en la entrada de la barra (canal de acceso).
- 1988/1999 – Dragado del canal de acceso y de la cuenca de evolución del canal del puerto, con un volumen de 1.824.533,40 m³.
- 1998/1999 – Construcción del Guía Corriente, con 750,0 m de piedra, haciendo un volumen de 119.041,47 m³, hasta la isla de la Baixinha.
- 2000/2001 – Construcción de cuna de 140,0 m de longitud.

Tras las obras de dragado, desmoronamiento y construcción/ampliación del Guía Corriente de la Redinha, el canal de acceso pasó a presentar las siguientes condiciones de navegabilidad.

- Callado máximo recomendable de 10,0 m;
- Ancho de 100,0 m;
- Cuenca de Evolución: 250 x 400 m;
- Amplitud máxima de la marea de 2,80 m;
- Velocidad promedia en el refluo: sicigia 3,5 nudos / cuadratura 1,3 nudos.

Sin embargo, con la colmatación, las profundidades disminuyeron progresivamente, alcanzando en el año 2001, hasta 7,40 m en el Dársena de Evolución y en el Canal de Acceso, exigiendo un dragado de mantenimiento y visando recuperar las condiciones de navegabilidad. Además de eso, será realizado el derrumbe de dos (2) afloramientos rocosos existentes, próximos al late Clube de Natal y a la Punta del Y (espigón Deflector 1-A), totalizando un volumen de 4.769,10 m³.

1.2– Influencia de las Obras

1.2.1 – Dragado

Los dragados realizados en el estuario Potengi ocurrieron como respuesta a las necesidades de navegabilidad del canal de acceso al puerto de Natal y también a la Base Naval de Natal, perjudicados por la colmatación, con un volumen acumulado, en el período de 1902 a 2000, alrededor de 3.975.000 m³.

1.2.2 – Derrumbe

Las obras de derrumbe fueron realizadas en la isla de la Baixinha, de la Piedra de la Bicuda (denominada también de Piedra de la Limpa), con el objetivo de proporcionar mayor callado y mejores condiciones de acceso al estuario. En la Punta del Picão, también fueron realizadas obras de derrumbe y pese a eso, no surtieron ningún efecto, por el hecho de no haber atingido la cota deseada para atender las necesidades del puerto, como también no haber sido removidas las piedras detonadas.

Posteriormente, estudios geofísicos realizados en la región de la embocadura, confirmaron la existencia de un batiente rocoso, sumergido, constituido de areniscas (*beach rock*) poco consolidadas, situado en el mismo alineamiento del arrecife de Natal. Parte de esa arenisca podría ser producto de los derrumbes anteriores ocurridos en la extremidad de la Punta del Picão, Piedra de la Limpa e Isla de la Baixinha, ya que no existen registros sobre la remoción de los volúmenes derrumbados, de aproximadamente 40.000 m³.

El resultado de estos estudios, complementados con una batimetría de detalle, permitió estimar el volumen de material a ser derribado en la barra, que atendería las necesidades portuarias de esta época. El material retirado fue lanzado en el mismo local del bota fuera del material dragado, o sea, en un local al norte de la desembocadura.

La observación de los perfiles de las extremidades y del eje del canal en el área constituida por arenisca, donde se produce una disminución de profundidades cerca del batiente rocoso, confirma que este arrecife sumergido

actúa como una barrera en la retención del material estuarino y costero transportado a nivel del fondo.

1.2.3 – Obras de Defensa (Escollera)

El objetivo de las obras de defensa (escollera) era el de contener y eliminar parcialmente el Banco de las Velhas, aumentar y direccionar las corrientes del canal de acceso con la intención de mantener las profundidades compatibles con los callados del tráfico portuario, siendo para tanto construidos nueve (09) espigones, entre los años de 1927 y 1929.

Los espigones construidos en la margen izquierda provocaron erosión con la destrucción de calles, muros y viviendas, principalmente junto a la base de estas obras de defensa, cuyos trechos no habían sido atacados antes por las corrientes y ondulaciones. El dique de la Limpa obstruyó definitivamente el Canal del Esteiro, como también impidió el desplazamiento de las arenas eólicas oriundas de las dunas de la Playa del Forte.

Un análisis de la influencia de las obras en la evolución del estuario demuestra que tanto el Guía Corriente del Limpa, como el de la Redinha no alcanzaron los objetivos propuestos, o sea, no proporcionaron un aumento de profundidad en el canal de acceso. De la misma forma, la construcción de los espigones E-5 al E-9, que también tenían el objetivo de conducir las corrientes en dirección al Banco de las Velhas en la tentativa de eliminarlo, no obtuvo resultados satisfactorios y aún contribuyó a la colmatación del canal de acceso, debido al material oriundo de la erosión como a sus enraizamientos.

2 – ANÁLISIS DE LA EVOLUCIÓN DEL ESTUARIO

2.1 – Modificaciones Morfológicas

La morfología de un estuario es resultante de la configuración de procesos morfológicos e hidrodinámicos, con destaque para el transporte de sedimentos. Se añade a esto, la interferencia humana en la forma de obras portuarias, represas y urbanizaciones. La evolución de un cuerpo estuarino es observada a

través de alteraciones en las características geométricas, tanto en planta como en perfil.

En el caso del estuario Potengi, la variación en su contorno es representada en el período de 1867 hasta la actualidad, por la variación de dimensiones, desplazamientos e inclusive desaparición de bancos, canales e islas arenosas, como también por el trazado de los canales de marea, denominados de gamboas.

2.1.1 – Evolución de la Forma en Planta y Perfil

Con base en las cartas digitalizadas de referencia BO2-TH-01-1905, en la escala de 1:5000, el área de estudio fue dividida en tres partes – S1, S2 y S3, con la finalidad de facilitar la identificación de las modificaciones durante el tiempo del estuario, o sea:

S1. Trecho que va del Puente de Igapó hasta el Puerto de Natal

S2. Área que enfoca los dos grandes brazos – Gamboa Jaguaribe y Manimbu y va hasta la desembocadura.

S3. Área opuesta a S2, va desde el puerto de Natal hasta la desembocadura.

Fueron aún situados 5 perfiles distribuidos de modo que controlen la evolución del río Potengi en los aspectos de erosión, colmatación o nivel de agua:

- Perfil 1 – Corresponde al Puerto de Natal: Ocurrieron alteraciones promedio de profundidad en torno de 2 a 3 m. Vale resaltar que ésta es un área susceptible a grandes modificaciones como los dragados;
- Perfil 2 – Localizado entre la Rampa y el Inicio del dique de la Limpa: Esta área presenta una gran variación, colmatación y formación de “corona” delimitando dos canales;
- Perfil 3 – Próximo a los flotadores localización BL-9 y BL-6 antes del Dique Y: Esta región fue sujeta a grandes intervenciones humanas, siendo responsables por una gran modificación en la morfología del

río Potengi, sobretudo en esta determinada sección que es bastante susceptible a los procesos erosivos.

- Perfil 4 – Después del Dique Y (ya tendiendo para norte/sur): La morfología presenta formas regulares con variaciones de colmatación y erosión localizados y regidos, talvez, solamente por la dinámica del río. Después de 1929, el lado derecho del perfil (este del perfil) se pierde en tantas variaciones, retomando en 1999 las formas iniciales;
- Perfil 5 – Próximo a la desembocadura del río Potengi: Local de grande dinámica. Perfiles en forma de U con profundidades en torno de 6 m. Apariciones y desapariciones de pequeños bancos (borde dentado de los perfiles).

Esta evaluación tuvo el objetivo de visualizar las posibles modificaciones en planta y perfil, en un área más amplia del estuario, en el período de 1905 y 1977. Posteriormente, fue realizada una comparación batimétrica más apurada, donde fue demostrado que el estuario tuvo sus anchuras sensiblemente aumentadas entre el Puente de Igapó y la Base Naval, mientras que las profundidades disminuyeron. En el trecho de la Base Naval hasta la Barra, el contorno fue mantenido prácticamente el mismo, solamente con pequeñas alteraciones en las regiones de las Gamboas Manimbu y Jaguaribe.

Para entender la evolución en perfil, fueron trazadas cinco (05) secciones transversales a lo largo del estuario, que denotan una alternancia entre períodos de colmatación y erosión en los trechos próximos a la desembocadura. En esta comparación de perfiles, se intentó a través de una expresión cualitativa de la descripción de los perfiles, entenderse la evolución del estuario Potengi.

2.1.2 – Evolución del Banco de las Velhas

Todos los relatos históricos existentes sobre la región de Natal coinciden en la existencia de un campo de dunas en las proximidades de la desembocadura del Estuario Potengi, en cuyo arrecife, el de la entrada de la barra, había sido construida la Fortaleza de los Reis Magos.

Este Banco de las Velhas hasta el final del siglo XIX, se encontraba en un estado natural, viniendo a sufrir una disminución de volumen, posiblemente causada por la disminución de la alimentación eólica. A partir de 1927, fue iniciada la construcción del Dique de la Limpa, con el intuito de servir como una barrera física a las arenas del transporte eólico. Considerando las intervenciones humanas, un análisis evolutivo del Banco de las Velhas podrá ser dividido en 4 etapas:

1ª Etapa – Hasta el final del siglo XIX – inicio del siglo XX, no existiendo informaciones suficientemente confiables, siendo posible sólo registrar la fijación de dunas, además de un dragado, próximo a la desembocadura, pero sin registro de los volúmenes extraídos.

2ª Etapa – de 1905 a 1927, o sea, anterior al inicio de la construcción del Dique de la Limpa, revelando pequeñas alteraciones en la configuración del Banco de las Velhas, con una leve variación en el volumen, existiendo una tendencia de colmatación en el período total. Es importante resaltar un dragado realizado en este período, en la región del atracadero del muelle situado aguas arriba de aquella.

3ª Etapa – Corresponde al período de 1929 a 1947, cuando se observó una disminución del volumen más acentuado, que no puede ser asociado a repercusiones de dragado inexistentes durante este período.

4ª Etapa – Posterior a la construcción del espigón E – 1A, o sea, entre el período de 1947 a 1999, cuando la forma en planta se presenta alterada y el volumen sufrió una progresiva disminución hasta 1999.

Para una evaluación más precisa respecto a la influencia de los dragados en el comportamiento del Banco de las Velhas, se comparó también la variación de la sección transversal del canal de acceso próximo al Banco de las Velhas, siendo posible concluir que la disminución del Banco de las Velhas en los períodos de 1949 a 1977 y de 1977 a 1999, están asociados a los dragados ocurridos en los años de 1966, 1967, 1968, 1972 y 1998.

Otro aspecto a considerar en la evolución del Banco de las Velhas es el del transporte fluvial, factor indicativo de colmatación en el estuario. Sin embargo, para un período de 50 años, el número de años de inundaciones fue muy

pequeño y con eso la cantidad de material arenoso, transportado por el fondo, no puede ser considerado significativo en modificaciones morfológicas.

Considerando que el volumen de material transportado está relacionado con la precipitación a través de los derrames y que éstos dependen, además de otros factores, del área total de cuenca de drenaje del río, se puede asumir que existe una relación entre el volumen de material aportado y el área de drenaje. Luego la construcción de represas a lo largo de este río viene afectando de forma negativa el aporte fluvial de sedimentos para la deriva litoránea.

Como conclusión final, podemos considerar que las modificaciones morfológicas y volumétricas del Banco de las Velhas, posterior al año de 1957, ocasión de la construcción del espigón deflector E – 1A, puede haber sido influenciado por las siguientes causas: construcción del Dique de la Limpa; construcción del espigón E – 1A; dragados realizados; comportamiento erosivo ocurrido tanto en el interior del estuario como en la costa adyacente; interrupción de la contribución de sedimentos costeros para el interior del estuario.

2.1.3 – Evolución del Canal de Acceso del Puerto

La evolución del perfil del canal de acceso fue realizada en un área comprendida entre la Base Naval y la barra estuarina y se prefirió utilizar solamente los levantamientos de 1918, 1941 y 1977, que englobaban esta área total. Con base en tal comparación, la tendencia en el sector más externo de la barra fue de colmatación, siendo el trecho entre el Puerto de Natal y la Base Naval el que presentó colmatación más intensa. Ya en la región de la barra y en las proximidades del Banco de las Velhas fue de erosión, probablemente en respuesta a los dragados ocurridos en este período, principalmente a partir de 1955.

2.1.4 – Evolución de la Barra

- Variación en Planta

Una comparación cualitativa realizada entre los años de 1867 y 1977 revela que, en planta, se había mantenido estable, no emigrando a lo largo del tiempo, a

pesar de las diversas alteraciones ocurridas, oriundas de las intervenciones portuarias en este período. Las principales intervenciones humanas fueron: el derrumbe de sesenta (60) metros de la extremidad norte del arrecife de Natal (Punta del Picão); de cien (100) metros de la extremidad sur de la Baixinha; derrumbe de la Piedra de la Limpa (arrecife sumergido, también denominado de la Piedra de la Bicuda), además de las obras fijas realizadas cerca de la desembocadura, como el espigón E-9, después ampliado y denominado Guía Corriente de la Redinha. No obstante, la ampliación de este Guía Corriente de la Redinha, entre los años 1998 y 2000, cerró la conexión existente entre el estuario y la Playa de la Redinha, aislando completamente, en la Playa de la Redinha, un banco arenoso denominado de “Corona de los Macacos”, que fue prácticamente la única mudanza de hecho ocurrida. Vale registrar aún el derrumbe de la Piedra de la Bicuda, realizada en 1997.

Actualmente, con la ampliación del Guía Corriente de la Redinha, se puede considerar que el Potengi es un estuario de paredes fijas, teniendo de un lado obras de defensa artificiales, y del otro una formación natural rocosa, o sea, el arrecife de Natal.

- Evolución de los Perfiles

Con la intención de caracterizar las variaciones ocurridas en perfil en la desembocadura del estuario Potengi, fue realizada una comparación batimétrica de 3 (tres) secciones transversales.

Sección B1 – De la extremidad de la Isla de la Baixinha hasta la Punta del Picão;

Sección B2 – De la extremidad del Guía Corriente de la Redinha hasta la Isla de la Baixinha;

Sección B3 – De la extremidad de la punta del Picão hasta el arrecife Cabeza de Negro.

Estas secciones fueron comparadas entre 1905 y 2000, como también se evaluó la variación volumétrica de cada perfil, en el período estudiado. Sin embargo, en la comparación entre los años de 1999 y 2000, la Sección B2 fue

desconsiderada, debido a este trecho haber sido enrocado, con la ampliación del Guía Corriente de la Redinha.

La Sección B1 mostró una variación volumétrica positiva entre los años de 1905 y 1929 de 20,8%, y entre 1977 y 1999 de 29,56%, y como esta variación mide el volumen de la columna de agua, estos valores significan erosión. Solamente en el período de 1999 a 2000, la variación fue negativa, aunque pequeña, lo que representa una colmatación prácticamente insignificante. Vale relevar que este período corresponde al de la ampliación del Guía Corriente de la Redinha, o sea, de la clausura del antiguo Canal Norte (Sección B2) que conectaba el Estuario Potengi – Playa de la Redinha, lo que induce a deducir que la colmatación observada es la búsqueda de una nueva alternativa de conexión entre el estuario y la Playa de la Redinha, en sustitución a la anterior interrumpida.

Mientras eso, la Sección B2, o sea, el Canal Norte, demostró a lo largo del período estudiado, o sea, de 1905 a 1999, una variación negativa, registro de acumulación de material, confirmando el transporte de sedimentos entre el estuario Potengi y la Playa de la Redinha, cuyo desplazamiento varía de acuerdo con la marea, siendo en el sentido estuario-playa durante la marea alta, y contrario en la marea de reflujo, que inclusive tiene como registro la existencia de la Corona de los Macacos.

La Sección B3, relativa al Canal Sur y principal entrada estuarina, mostró una variación volumétrica positiva, o sea, un patrón de erosión en todo el período, principalmente entre 1977 y 2000, con porcentajes, alrededor de 34,10%.

Estos resultados, cuando analizados a la luz de la configuración batimétrica de la desembocadura, donde se destacó la presencia de una solera rocosa constituida de areniscas, vienen a confirmar la inexistencia de un transporte de sedimentos, entre estuario-mar y mar-estuario.

3 – FRENTE LITORANEA

3.1 – Evolución de la Línea de Costa (1974 – 2003)

La comparación de los mosaicos fotogramétricos de los años 1974 y 1997, muestra para el sector de la Playa del Meio, una progradación generalizada de la línea de costa con tasas de avance entre 9 y 25 metros, a pesar de que algunos locales presentan un cierto grado de estabilidad (variación nula). Considerando el perímetro de línea de costa de la Playa del Meio de 1649 m y área total de progradación de esta zona de 23.750 m², tendríamos un avance promedio de 14 metro lineales, y que dividido por el intervalo de tiempo de 23 años, muestra que la tasa promedio de avance sería del orden de 0,6 metros. A través del estudio de los perfiles topográficos realizados en la Playa del Meio, se llegó a un volumen promedio de sedimento depositado del orden de 4.000 m³.

En el sector de la Playa del Forte se observa también una progradación generalizada de la línea de costa con tasas de avance entre 17 y 38 metros lineales, y considerando el perímetro medido de 1385 m y área total de progradación de 32.647 m², tendríamos un avance promedio de 23 metros lineales, produciendo una tasa promedio anual del orden de 1 metro. Utilizando la relación entre tasa de avance y volumen tendríamos una deposición anual del orden de 5.540 m³.

Otros dos aspectos observados durante este intervalo de tiempo, son la desaparición de una canal en forma de “Y” y el aumento expresivo de las dunas. El canal probablemente fue colmatado tras la construcción del dique de contención de la margen derecha del río Potengi y que alteró el patrón de circulación local.

3.2 – Análisis de las Intervenciones Urbanas y sus Repercusiones en la Frente Litoranea

3.2.1 – Playa de Areia Preta

El área en cuestión se sitúa en el barrio de Areia Preta, de valor especial, de interés turístico, que abarca desde la franja marítima hasta la Av. Getúlio

Vargas, calle Pinto Martins y calle Guanabara, siendo luego presentada la opción final para la protección del trecho litoráneo de la región, limitando por las Puntas del Morcego, al norte y Mãe Luiza, al sur, englobando las playas de Areia Preta, Mãe Luiza y Miami.

De esta forma, la alternativa final consiste en una solución mixta comprendiendo un enterramiento hidráulico entre las puntas de Mãe Luiza y Morcego, limitando al norte con un espigón de contención de arenas semisumergido, y segmentado en tres truchos por otros dos espigones, también semisumergidos.

Los parámetros necesarios al estudio se refieren a aspectos meteorológicos e hidráulicos.

- Condiciones Físicas

La playa de Areia Preta, según el historiador Luís da Câmara Cascudo, era una playa habitada por pescadores que vivían en ranchos, luego sustituidos por casas de veraneo. En 1908, esta playa fue escogida oficialmente para la función de balneario, por ofrecer las mejores condiciones de baño y en la década de 1950, fue urbanizada, con la construcción de una carretera y otros equipos.

Actualmente, esta área se presenta casi totalmente ocupada por edificaciones muy próximas al mar y en terrenos de dunas, lo que interfirió en el balance sedimentar costero y, con eso, provocó el retroceso de la línea de costa. Este problema fue agravado con la implantación de un acceso viario en el final de la década del 50, conectando la Playa de Areia Preta al Barrio de Mãe Luiza, y posteriormente con la construcción de la Vía Costera, en el inicio de la década del 80, que aisló definitivamente la duna de la playa y exigió, como medida de contención de los procesos erosivos cada vez más acentuados, una cortina de concreto, la cual tuvo que ser ampliada y reparada a lo largo de los años siguientes.

El ataque erosivo ocurría principalmente en los períodos de conjunción de mareas de mayor amplitud con vientos de mayor intensidad, resultando en la destrucción de truchos de la cortina de concreto, de las aceras y daños inclusive en la calle existente.

- Desarrollo del Proyecto de los Espigones

Para aumentar la estabilidad del enterramiento hidráulico y evitar que parte del material sedimentar fuese transportado para las playas al norte con posibilidades, aunque muy remotas, de afectar la sedimentación del canal de acceso portuario, la alternativa final consiste en una solución mixta comprendiendo un enterramiento hidráulico entre las puntas de Mãe Luiza y Morcego, limitando al norte con el Espigón N° 1 de contención de arenas semisumergido, y segmentado en tres trechos por otros dos espigones (Números 2 y 3) también semisumergidos.

Para la construcción de los espigones fueron utilizados bloques de rocas graníticas, labradas en pedreras existentes, siendo transportados hasta la zona de intervención por vía terrestre. La ejecución será realizada de la tierra para el mar, obedeciendo los puntos de enraizamiento y los direccionamientos predeterminados.

- Desarrollo del Proyecto de Enterramiento Hidráulico

La regeneración (enterramiento hidráulico) de playas mediante el aporte macizo de arenas, constituye actualmente uno de los tipos de estructura de defensa de los terrenos costeros más utilizados en el mundo, en función de su eficiencia de disipar la energía de las olas incidentes. Existen diferentes parámetros que definen la geometría de los perfiles de regeneración y que son: ancho total de la playa seca; cota de la berma; inclinación de las porciones emergidas y sumergidas del perfil de playa.

Los resultados de las inclinaciones medianas para la zona emergida y sumergida, fueron definidos por la interpretación de los perfiles topográficos del área de Areia Preta. La distribución espacial de los valores de las inclinaciones muestra que las playas más próximas a Punta del Morcego (norte de la zona de estudio) presentan mayores inclinaciones, que disminuyen progresivamente en la dirección de la Playa de Miami, donde son encontradas las menores inclinaciones.

Otra característica geométrica observada en los perfiles de playa es la altura de la berma, que en la zona, varía de 1 a 2,5 metros. Utilizando los

resultados de los levantamientos topográficos complementares en las otras playas de Natal, se observa que el valor de la altura de la berma para ejercer una protección adecuada es del orden de 4,5 m, y que será utilizado como referencia para el diseño de los perfiles de regeneración.

El análisis de los sedimentos de la zona emergida muestra el mismo tipo de comportamiento de la inclinación, con una zonación del tamaño del grano que aumenta en la dirección norte. Para la acción de regeneración prevista, es necesario definir los valores promedios de las muestras de las zonas emergidas que, es este caso, consisten en arenas con medianas de 391 micras (1,4 Phi) y desvío patrón de 136 micras o 2,9 Phi, correspondiendo a arenas medianas mal seleccionadas.

Para la zona sumergida, las arenas varían de arenas medianas a finas, y no se observa una zonación clara como en los elementos analizados anteriormente.

Uno de los principales requisitos para el éxito de una acción de recuperación de playas erosionadas, o creación de nuevas playas, es la disponibilidad de material con especificaciones técnicas apropiadas a la geometría del área.

Las campañas de campo para recogidas de datos realizadas en 1998 detectaron, en la plataforma interna delante de Natal, una franja de casi 1.500 metros de ancho por 12 km de longitud, constituida por arenas cuarzosas de granulometría variando de gruesa a muy gruesa, a una distancia de aproximadamente 2 Km de la costa, y con profundidades variando de 12 a 15 metros. La proximidad de este yacimiento de la Playa de Areia Preta, juntamente con la especificación técnica del material detectado, es innegablemente una condición bastante favorable a su utilización para la acción de recuperación playera propuesta.

La zona seleccionada como yacimiento de préstamo presenta un área total de 1.610.000 m² (700 x 2.300 m), habiendo sido escogida como yacimiento debido a su proximidad con el área de intervención y por sus características granulométricas, pues se trata de arenas cuarzosas de gruesa a muy gruesa, luego ideal para un proyecto de regeneración debido a su mayor estabilidad.

Para el diseño de la acción de regeneración, una de las principales cuestiones a ser levantadas es la determinación del volumen de sedimentos

necesario para satisfacer las especificidades requeridas durante un cierto período. A través de cálculos realizados con base en el Manual de Regeneración de Playas, elaborado por el Centro de Estudios en Ingeniería Civil (Delft Hydraulics), se llegó a la conclusión de que los sedimentos seleccionados para la regeneración de la playa tendrán una mayor velocidad de sedimentación y por consecuencia, inclinaciones mayores que las naturales.

A partir de las discusiones anteriores y de los diversos conceptos discutidos, tendríamos que el perfil final de regeneración irá depender del tipo de material utilizado y del ancho total de la playa seca deseable.

- Metodología de Ejecución

La regeneración o alimentación artificial de playas consiste, básicamente, en la contribución, usando medios artificiales, de arena para un área litoránea que tiene un equilibrio sedimentar negativo o cuando el ancho de la playa presenta una dimensión inferior a la deseable.

Para el caso de Areia Preta la ampliación de la franja de playa será realizado, por el lanzamiento hidráulico del material, donde la zona de préstamo es submarina, siendo el material fluidificado y transportado para la playa, total o parcialmente por tubos. Una vez vertida la mezcla en la playa, la rompiente irá a redistribuir los sedimentos y modificar el perfil gradualmente hasta alcanzar un equilibrio compatible con su distribución granulométrica. La distribución de los materiales y la construcción del perfil de regeneración se realizan con la ayuda de tractores para disminuirle tiempo de la regeneración por la acción de la dinámica marina.

3.2.2 – Playa del Forte

- Campo de Dunas

En la playa del Forte predominan las dunas del tipo frontal, siendo las más expresivas, las asociadas a las zonas de deposición formada por la difracción de las olas sobre el *beach rocks*. Las dunas se extienden longitudinalmente a lo largo de 1 Km de playa con dimensión transversal variando de 30 a 150 metros y con

cotas máximas alcanzando los 7 metros de altura. Este sistema de dunas emigra para el interior soterrando parcial o totalmente la avenida de acceso al Forte dos Reis Magos. El campo de dunas seleccionado se extiende por un área de aproximadamente 60 hectáreas.

- Actividades Realizadas

Entre las acciones ejecutadas por el estudio, vale destacar la instalación de una estación meteorológica en el Departamento de Oceanografía y Limnología de la UFRN, ya que allí son recogidos todos los datos. Además de eso, fueron realizados perfiles topográficos y muestreos de sedimentos, con el objetivo de estudiar la situación actual de los depósitos costeros y su interrelación con el ambiente litoráneo, con énfasis para las dunas de las playas do Meio y Forte.

- Consideraciones sobre el Transporte Eólico

Los vientos son los grandes responsables por la dinámica costera, y su distribución en el registro geológico muestra que la formación y emigración de las dunas está presente en nuestro litoral desde el Pleistoceno hasta la actualidad. Lo que confirma su acción no solamente como generador de olas y por consecuencia de las corrientes litoraneas.

La velocidad del viento y el gradiente vertical de la velocidad del viento son importantes factores en la determinación de la cantidad de sedimento que será transportada por el viento. Además de eso, las características de los sedimentos como el tamaño y la forma de los granos, contenido de humedad y vegetación son también considerados importantes factores en la distribución de los sedimentos (Coastal Engineering Manual, 1998, in Carvalho 2001).

Algunos factores limitan el proceso de transporte de las partículas. Según Sherman (1990), las características atmosféricas que influyen directamente en el transporte de sedimentos son la densidad del fluido, velocidad y dirección del viento, temperatura, precipitación humedad de la superficie y en menor extensión, humedad relativa del aire y radiación solar.

Los procesos de deposición eólica son denominados por Hunter (1977^a) in Leys (1996) de tres formas: (i) deposición fraccional asociada a cabalgamientos

de los ripples eólicos; (ii) deposición por flujo de granos o flujo arenoso; y (III) deposición por queda libre de granos. Esa terminología es la más adoptada, pues se ha demostrado extremadamente práctica y eficiente al relacionar procesos de deposición eólica y características de la estratificación de los depósitos eólicos.

En la cuantificación del transporte eólico de sedimentos, el abordaje es hecho bajo diferentes puntos de vista, desde los meramente experimentales en túneles de viento, a los teóricos que utilizan fórmulas basadas en experiencias controladas, o los que utilizan como base los experimentos de campo, y más recientemente utilizando simulaciones numéricas de trayectoria del grano.

- Resultados

En el cálculo del volumen de sedimentos eólicos acumulados el área de estudio fue dividida en dos parcelas. La primera correspondiendo a las dunas frontales limitada por la zona de playa y la avenida de acceso al Forte, y la segunda que representa las dunas parabólicas, que se inician en la avenida y se prolongan hasta las márgenes del río Potengi.

A través del estudio de la evolución morfotemporal de la zona y considerando el volumen calculado por los perfiles topográficos, se observa, considerando la expansión durante los 23 años analizados fue de 23.000 m² que la tasa del volumen acumulado corresponde a casi 18.685 m³ de sedimentos eólicos, o sea, una tasa anual del orden de 812 m³/año.

Las trampas de integración utilizadas durante los experimentos presentan una capacidad de acumulación de casi 270 m³, lo que corresponde a un peso de sedimento entre 435 a 480 gramos, indicando una densidad del orden de 1,6 gr/cm³.

A través de los cálculos realizados, tendríamos que la tasa anual de transporte eólico varía entre 3.7 y 5.5 m³/año, que multiplicado por la extensión total produciría un volumen de 3700 y 5000 m³/año. Sustrayendo el volumen que se acumula en las dunas frontales (812 m³/año) en el valor más conservativo de transporte (3700 m³/año), tendríamos un exceso de 2888 m³/año, que sería el orden de magnitud del volumen de material que emigra anualmente sobre la calle de acceso al Forte.

A partir de las observaciones y cálculos realizados, se llegó a la conclusión de que la región comprendida entre la playa del Meio y la del Forte presenta un intenso movimiento de sedimentos en el sentido playa-continente que en función de las nuevas facilidades traducidas por una infraestructura de gran porte, en el caso del puente sobre el río Potengi, se presenta incompatible e inaceptable.

Esta zona es bastante marcada por la instalación y desarrollo de la zona portuaria en el interior del estuario del río Potengi. Para impedir el aporte de sedimentos para el canal de navegación y cuenca de evolución fueron realizados diversos tipos de intervención como la fijación de las dunas en el inicio del siglo XX.

Para mitigar el impacto del transporte eólico de sedimentos sobre la calle de acceso al Forte, se propone que, en las dunas frontales, sea retirado todo el material arriba de la cota de +3 metros, que por los cálculos volumétricos alcanzaría un orden de 89.970 m³, a través de un trazado de explotación del tipo bancada.

El material retirado puede ser utilizado como enterramiento, ya que normalmente estos sedimentos se presentan puros o dependiendo de los tipos de intervención costera en andamio en la región, que sean utilizados en enterramientos hidráulicos o lanzados directamente en la playa de los Artistas con tendencias erosivas.

3.2.3 – Playa de la Redinha

La playa de la Redinha es el más antiguo y tradicional balneario del estado de Rio Grande do Norte, y está situada en la margen izquierda del estuario del río Potengi. Su importancia cultural como playa de veraneo es reconocida por historiadores, desde el inicio del siglo XX, y fue incorporada al territorio del Municipio de Natal, a través de un dispositivo de la Ley 603 del 31 de octubre de 1938

En el final de la década del 70, con la construcción de un Conjunto Residencial denominado Redinha Nova, entre la Redinha Velha y la Punta de Santa Rita, trecho éste perteneciente al municipio de Extremoz, esta franja costera sufrió una alta expansión urbana y especulación inmobiliaria, que aprovechando las lagunas de la legislación vigente, ocupó indebidamente los

terrenos del post-playa constituidos por dunas frontales. En respuesta, a esta ocupación indebida, en la década del 90, se inició un proceso erosivo que se acentuó con el transcurso de los años, afectando un promedio de retroceso de la línea de costa del orden de 25 metros en los últimos 10 años. Específicamente a la altura del Hotel Atlántico Norte, para evitar que la erosión destruyese el trecho costero, fue realizada una protección de carácter de emergencia del tipo gabião por rompimiento, debido al impacto directo de las olas, que puede, caso no sea hecha la intervención propuesta pasar a niveles irreversibles.

Se resaltan los registros históricos de erosión de dos calles de casas de veraneo en el trecho de la Redinha Velha, en el final de la década del 50, cuyas causas, como en el caso de la erosión en la Playa de la Redinha Nova, a rigor, no habían sido investigadas hasta el momento. A título de especulación, se levantaba la posibilidad de que las mismas estén asociadas a las modificaciones continuas a que fue sometido el estuario del río Potengi, principalmente de la zona de la desembocadura donde fueron realizados derrumbes de los *beach rocks*, dragados del canal principal y más recientemente, la ampliación del guía corriente de la margen izquierda estuarina.

Sin embargo, estudios batimétricos de detalle realizados en 2001, en el trecho aproximadamente frontal al Hotel Atlántico Norte, permitió observarse por un lado la presencia de una abertura entre los arrecifes, y por otro, coincidiendo con la abertura, el paleocanal de Río Doce, que en 1965 tuvo su desembocadura desviada para el estuario Potengi. La conjunción de estas dos estructuras hace que las olas alcancen la línea de costa con alto contenido energético y por consecuencia con alto poder erosivo.

Para determinar la evolución de este aspecto con relación a las condiciones hidrodinámicas y condicionante granulométrico de los materiales, fueron seleccionados 8 perfiles en el trecho entre el guía corriente de la Redinha y la Punta de Santa Rita para levantamientos topográficos transversales a la línea de costa, donde fueron colectadas muestras superficiales de sedimentos con la finalidad de definir sus características granulométricas.

Las características sedimentológicas muestran que la post-playa es constituida exclusivamente de arena mediana y en la anteplaya se constató el predominio de arena de granulometría gruesa. En la anteplaya, los sedimentos

varían de arena desde fina a gruesa. Esa conjunción de factores muestra claramente la presencia de cuadro erosivo de grave a muy grave.

Del estudio de los perfiles playeros, se constató que el ancho promedio de la post-playa, a lo largo de la zona de influencia indirecta, varió de 7,13 m (frente al Hotel Atlántico Norte) hasta un máximo de 19,81 m (próximo a la Punta de Santa Rita).

El análisis de los sedimentos de la zona estudiada muestra una predominancia absoluta de arenas, con presencia de grava en la porción sur del área, cerca al Guía Corriente de la Redinha. El análisis conjunto de todas las informaciones muestra que la ausencia de un patrón bien definido de distribución sedimentológica está asociada a interferencia de los restantes del antiguo drenaje en la dinámica actual, o sea, el paleocanal del Río Doce.

De acuerdo con los levantamientos de campo realizados, donde fueron observados parámetros oceanográficos y meteorológicos, permitiendo reevaluar y actualizar los datos históricos de clima de ola, corrientes y vientos existentes, juntamente con las informaciones obtenidas de batimetría, sedimentología, vientos y aún un análisis de las fotografías aéreas y de los trabajos anteriores sobre la región, fue elaborado de un proyecto de protección de este trecho costero. Este proyecto elaborado por solicitud del Gobierno del Estado del Rio Grande do Norte, es constituido de unas obras do tipo rompeolas, con 200 m de largo y posicionado en la cota batimétrica de – 2 m.

Esta estructura irá a disipar, en parte o totalmente, la energía de las olas que atingen la costa, y al mismo tiempo favorecer la aparición natural de una zona de deposición, con posibles aprovechamientos futuros relacionados con el turismo. Esta obra fue iniciada, habiendo sido ejecutado hasta el momento el puente de acceso y 65 metros de rompeolas y ya viene mostrando resultados por la creación de una playa con 48 metros de anchura.

3.3 – Características Granulométricas de los Sedimentos

Los procesos costeros son responsables por la práctica evolutiva en que se encuentran las unidades fisiográficas de la zona costera, luego es previsible que su efecto sea extendido a los sedimentos de las playas, ya que las variaciones en el tiempo y espacio de las características granulométricas de los sedimentos del

perfil litoráneo es una función de las variaciones naturales de las playas y zona de *surf*, debido a modificaciones en el clima de olas y/o condiciones ambientales.

Vale resaltar que en la región, el predominio del transporte longitudinal sobre los demás hace que el material de recubrimiento de la zona de playa sea influenciado por el tipo de sedimento que entra en la célula por la deriva litoránea.

Capítulo VI

**PROPUESTA DE GESTION INTEGRADA DEL FRENTE MARITIMO
DE NATAL**

1 – PROPUESTA DE GESTION INTEGRADA DEL FRENTE MARITIMO DE NATAL

El frente Marítimo de Natal está afectado por intensas modificaciones, realizadas en el transcurso del último siglo, agravada en las últimas décadas, en función del crecimiento desordenado de la ciudad y ausencia de políticas públicas con el foco en los problemas relacionados con la gestión ambiental.

El área costera presenta una gran diversidad de usos que tiene la mayor importancia para el soporte del desarrollo del estado de Rio Grande do Norte, en especial el centro dinámico de la Región Metropolitana de Natal, con innegables reflejos en el área social. En términos de equilibrio antrópico, en la región de Natal, el mantenimiento del razonable grado de armonización de usos múltiples en la costa es esencial para el desarrollo sostenible.

Sin embargo, en consecuencia de la ausencia histórica de acciones dirigidas hacia la demanda habitacional, a lo largo de ese periodo, varios asentamientos de pobreza iniciaron la ocupación y poblamiento de algunos sectores de los frentes de playas y estuarios de forma desordenada.

Paulatinamente, las áreas ocupadas, en especial del frente de playa, han ido incorporando valores, captando el interés de las acciones gubernamentales y de iniciativas privadas dirigidas a la afirmación del turismo, como actividad estratégica para el desarrollo económico de la ciudad. Las estructuras urbanas han ido siendo implantadas, sin respetar las dinámicas naturales de los frágiles ecosistemas allí existentes, marcando el inicio de un proceso erosivo que, en los tiempos actuales, amenaza la estabilidad de algunas partes de esas estructuras.

La franja urbana, directamente relacionada con el frente estuarino, presenta un acentuado grado de degradación, debido a su mayor proximidad con los centros urbanos más antiguos, núcleo de fundación del municipio, la Fortaleza de los Reis Magos, así como la estructura portuaria de la ciudad. Pero en consecuencia de su desvalorización histórica, el margen estuarino se consolidó, sin respeto a los condicionantes que garantizan el equilibrio ecológico, con ocupaciones conflictivas y asentamientos de pobreza que se formaron, aprovechando la marginalización cultural de ese paisaje, a lo largo del proceso de expansión y consolidación de la trama más antigua de la ciudad.

Además de los inconvenientes surgidos por la ocupación desordenada de espacios extremadamente importantes para el equilibrio ecológico de la interfase entre los ambientes acuáticos y terrestres, el Frente Marítimo de Natal, con sus 21 Km de extensión, incorporó diversos problemas surgidos por la ausencia de un planeamiento de ocupación, que se traducen en los siguientes puntos:

- Lanzamiento de una gran carga de desagües domésticos en el Estuario Potengi, con volumen del orden de 20.717 m³/día, sin tratamiento previo, y de vertidos industriales, con algunos metales pesados (plomo, níquel y zinc) superando el máximo permitido;
- Presencia de asentamientos precarios (chabolas), 12 en total, con 2.480 hogares, sumando una población cercana a los 12.312 habitantes, en el área del borde fluvio-estuarino, bajo la influencia de las mareas;
- Desequilibrio acentuado de los procesos costeros, resultando en la desaparición de las playas y destrucción ocasional de infraestructuras urbanas, situadas en la orla marítima;
- Deforestación y ocupación de los manglares.

Ese panorama sugiere la necesidad de intervenciones que objetiven el establecimiento de una nueva relación entre la ciudad y su frente marítimo, justificando la formulación de un proyecto para la rehabilitación ambiental de los sectores o frentes de playas y estuarios, de modo que los reintegre al conjunto urbano, rescatando la función de protección y rehabilitación de la fachada marítima, contribuyendo a la mejoría de la calidad estética de la ciudad y potencializándola como campo para inversiones generadoras de riqueza para la economía urbana. En especial, esta transformación consistiría en el evento que podría atraer programas de reurbanización de áreas ribereñas y reconversión de los cuadros sociales desfavorables.

Se destaca también la importancia del Estuario del Potengi por su potencial escénico, turístico y principalmente pesquero/acuícola, habiendo sido escenario de la experiencia pionera de cultivo de camarones en Brasil, en el inicio de la década de los 70. Actualmente, el estado de Rio Grande do Norte es el mayor productor brasileño de camarones, con una producción, en 2002, de 17.500 toneladas, de las cuales 11.377 han sido exportadas, generando un aporte en la economía estatal en

el orden de US\$ 47,493,828.00 (Fuentes: ABCC y FIERN, 2002). Según estimación del IDEMA/UFRN, sólo la extracción de ostras en el Estuario Potengi podría beneficiar 50 familias de productores locales, generando una renta media mensual de € 128,16. Vale resaltar que el salario base actual en Brasil es € 72,00. Se añade a esto el potencial de este estuario en la extracción de otros bivalvos y crustáceos, además de peces en general, lo que aumentaría significativamente esta estimativa de aporte económico, influenciando sobremanera en la calidad de vida de la población ribereña y posibilitando revertir la actual situación socio-ambiental de esta región.

Es importante relevar que esta Tesis de Doctorado integró datos de trabajos existentes y datos históricos, además de aportar nuevos datos, pudiendo servir de base referencial para la elaboración de este plano de gestión integrada para la región costera de Natal.

Este programa de gestión integrado debe considerar también algunas directrices básicas, a ejemplo de las adoptadas por Estados Unidos de América y por la Unión Europea, adaptadas a la realidad brasileña, tales como:

- a) Una perspectiva amplia y global (temática y geográfica) que considere la interdependencia y diversidad de los sistemas naturales y las actividades humanas que tengan incidencia en las zonas costeras;
- b) Una perspectiva a largo plazo que considere el principio de la precaución y las necesidades de las generaciones actuales y futuras;
- c) Una gestión modulada en un proceso gradual que facilite la adaptación en función de los problemas surgidos y la evolución de los conocimientos;
- d) Considerar las características locales y la gran diversidad de las zonas costeras regionales, de forma que se pueda responder a las necesidades prácticas con soluciones específicas y medidas flexibles, aplicando conocimientos adquiridos en experiencias exitosas en otras regiones;
- e) Un trabajo en sintonía con los procesos naturales y que respete la capacidad de soporte de los ecosistemas;
- f) La participación de todas las partes interesadas (organizaciones gubernamentales, organizaciones no gubernamentales, entidades privadas y sociedad organizada) en el proceso de gestión, por ejemplo mediante acuerdo y según el principio de la responsabilidad compartida;

- g) El apoyo y la participación de todas las instancias administrativas competentes, a escala nacional, regional y local, entre las cuales cabrá establecer o mantener los vínculos adecuados para mejorar la coordinación de las distintas políticas existentes;
- h) Definir una manera de combinar los instrumentos destinados a facilitar la coherencia entre los objetivos de la política sectorial y entre la ordenación y la gestión costera.

En ese sentido, la Propuesta de Gestión Integrada del Frente Marítimo de Natal incorpora un conjunto de intervenciones y directrices para el tratamiento de cada problema puntual, visando orientar el ordenamiento espacial de las áreas de contacto con el frente marítimo, así como el desarrollo de políticas y programas que reviertan en la mejoría de las condiciones de vida de las poblaciones locales.

Apoyándose en la estrategia de aprovechamiento de áreas potencialmente favorables a la implantación de nuevas infraestructuras que actuarán en pro de la integración territorial, con alcance local y metropolitano, para el fortalecimiento del turismo, se inició el desarrollo de un proyecto que prevé la instalación de un nuevo puente, conectando los cuadrantes norte y este de la ciudad, previendo además la instalación de dos complejos urbanístico-turísticos situados en las áreas limítrofes de sus cabeceras.

El Proyecto del Puente Forte/Redinha, ya iniciado, apoyado en parte por los datos de esta tesis, promoverá la conexión de las dos márgenes del Potengi, conectando las estructuras viarias que facilitan el acceso de todo el frente litoráneo de la Región Metropolitana, denominada Rota do Sol.

Este episodio se presenta como un paso decisivo para levantar la dinámica urbana de la región del entorno de este nuevo equipo que influenciará enormemente la valorización de los frentes de playas y estuarinos, así como las dinámicas de transformación del uso del suelo de esos territorios.

La magnitud del impacto previsto con la implantación de estas estructuras, merece, a pesar de todo, una reflexión que incorpore, además de los aspectos que favorecen la articulación viaria entre importantes sectores de la ciudad y la dinamización del turismo, las cuestiones que envuelven incoherencias ambientales y disparidades socio-económicas, contribuyendo para la formulación de propuestas que conjuguen el tratamiento integral de los problemas existentes, lo que requiere

una amplia tarea de planificación que integre todos los aspectos alcanzados por el tema.

En ese contexto, el propósito de la Propuesta de Gestión Integrada del Frente Marítimo de Natal, lanzado en este estudio, como reflexión preliminar para el ecuacionamiento de los problemas de conectividad entre la ciudad y entorno y evidenciados por la necesidad de implantación de estructuras de contención del avance del mar sobre la ciudad, señala soluciones que interactúan sobre los principales problemas que caracterizan la disconformidad ambiental de ese territorio.

A medida en que el propósito de intervenciones programadas para la recuperación de las fachadas de Playa y Estuario sea adoptado como principal meta para condicionamiento del nuevo paisaje, los elementos propuestos, tanto los dispositivos proyectados para asegurar la estabilidad de las estructuras costeras como los atributos del diseño y valorización del paisaje, harán con que los espacios públicos pasen a ser fundamentales en la composición de ese entorno, estableciendo la conexión entre las playas y el área urbana, a través de una valorización estética y ambiental de la estructura de esos territorios.

A forma de prolegómeno, presentamos un cuadro preliminar de actuaciones que merecen ser consideradas en la propuesta de recuperación del Frente Marítimo de Natal:

- Proyecto de Tratamiento de Vertidos;
- Programa de Gestión Ambiental de la Zona Costera de Natal;
- Plan de Urbanización y Revitalización Ambiental de los Frentes Estuarino y de Playa de Natal;
- Finalización y complementación del Proyecto de Recuperación de la Playa de Areia Preta, alcanzando posteriormente, la recuperación de la Playa del Forte y la rehabilitación de las Playas de Redinha y Redinha Nova;
- Finalización del Puente Forte/Redinha, e integración de todo el Frente Marítimo de la Región Metropolitana de Natal;
- Zoneamiento Ecológico-Económico de la Región Costera de Natal;
- Proyectos de Exploración Pesquera Sostenible de Bivalvos, Peces y Camarón, tanto a través de la pesca, como de la acuicultura;

- Programa de Educación Ambiental.

Se resalta que dentro del Programa de Gestión Ambiental de la Zona Costera de Natal, estaría incluido el Proyecto de Acción Integrada de Recuperación del Estuario Potengi.

En función de las características y potencialidades de los nuevos espacios generados con la implantación de los Proyectos Estructurantes y de Recuperación Ambiental del Área Costera, se espera consolidar los polos de atracción, exequibles mediante incentivos que favorezcan la implantación de las siguientes iniciativas:

- Implantación de una estación pesquera tropical, con un puerto pesquero y un mercado referencial de especies de los mares tropicales;
- Implantación de un puerto deportivo que, además de promover la náutica potiguar, se constituirá en un elemento estratégico y agregador de la actividad turística;
- Creación del Parque del Manglar, de cara a la preservación de ese ecosistema y su aprovechamiento para el turismo ecológico;
- Creación del Parque de las Salinas, rescatando escenarios representativos de la actividad salinera, anteriormente desarrollada en el enclave estuarino y hoy desaparecida. Esta actividad constituye, hoy día, una de las más importantes actividades económicas del Estado.

De esta manera, a medida en que la administración pública ha desplegado grandes esfuerzos, para la inversión de recursos públicos y privados, en metas volcadas a dotar la región costera de una infraestructura necesaria a la consolidación del turismo, como actividad esencial para el desarrollo socio-económico del estado, se hace fundamental cuidar de los problemas que giran en torno a la adecuación ambiental de los espacios que contribuyen o conforman esta potencialidad para la ciudad.

Entre las alternativas que consideran la necesidad de articulación entre la vocación turística de la ciudad y la solución de las inadecuaciones socio-ambientales existentes en su estructura, se identifica imprescindible la recuperación del Frente

Marítimo de Natal, mediante actuaciones que promuevan tanto la valorización estética del paisaje como el reacondicionamiento de la funcionalidad social y económica.

A pesar de haber sido adoptadas algunas de estas iniciativas volcadas a esa preocupación, con significativa importancia para el desarrollo regional y en particular para el fortalecimiento de la industria del turismo, se constata que tales medidas no han guardado entre sí, ningún criterio de integración, debido a ser proyectos desconectados, en el tiempo y en el espacio.

La adopción de medidas con una visión global, integrando esas intervenciones, conducirá la explotación optimizada de la relación actuaciones / recursos naturales, generando, a medio y largo plazos, respuestas positivas en el ordenamiento urbanístico y ambiental del área y, con eso, potencializando las actividades allí desarrolladas, como el turismo y el ocio, derivadas del privilegio de la existencia de ese importante patrimonio paisajístico. El conjunto tendrá una influencia considerable para la mejora de la calidad de vida de los habitantes y visitantes de la ciudad.

Por otro lado, el éxito de una iniciativa de este tipo está directamente asociado al nivel de concienciación de la sociedad frente al problema, que en el caso del Frente Marítimo de Natal, constituye en uno de los pocos puntos con unanimidad. Tanto el poder público municipal como estatal, los poderes legislativos, la iniciativa privada como la sociedad civil en general, claman por la recuperación de éste que es su principal patrimonio ambiental.

Capítulo VII

CONSIDERACIONES FINALES

1 – CONSIDERACIONES FINALES

La ciudad de Natal fue edificada sobre una planicie arenosa, con dunas móviles y ensenadas protegidas por arrecifes que circundan la costa. El territorio donde se estableció la ciudad era habitado, hasta el siglo XVI, por los indios potiguares. Los portugueses dominaron la costa del estado durante 80 años, y en 1597, expulsaron a los franceses del área del Río Potengi, construyendo un fortín, en un lugar distinto del que hoy es aún la Fortaleza de los Reis Magos, alrededor del cual fue fundada la población que recibiría el nombre de Natal.

De 1633 a 1654, la población estuvo bajo el dominio holandés, con el nombre de “Nova Amsterdã”. Restaurado el dominio portugués, Natal continuó siendo la capital de la Capitanía, pasando a capital de la Provincia, con la independencia de Brasil, en 1822, y capital del estado con la instauración de la república en 1889.

En esta época, Natal contaba con aproximadamente 20.000 habitantes y el área de la ciudad era de 170 km², siendo construida sólo por dos pequeños núcleos y algunas aglomeraciones poblacionales.

Con la implantación del transporte por carretera y tren iniciado en 1880, y la conclusión de las obras del puerto iniciadas en 1892, para atender las necesidades de exportación de algodón, el ritmo de desarrollo de la ciudad aumentó y Natal se transformó en el centro urbano más rico del estado, caracterizándose como receptor de inmigrantes.

La localización de la Fortaleza de los Reis Magos, marco de la construcción de la ciudad, debido a su localización estratégica, indujo la ocupación a partir de un centro localizado sobre un plateau, extendiéndose más allá de las colinas, de las áreas bajas inundables de la margen derecha del río, pasando por la Ribeira, hacia el océano.

Los estudios sobre la evolución urbana de Natal comprueban un lento proceso de crecimiento de la ciudad, desde su fundación hasta el inicio del siglo XX, cuando surgió la preocupación de ordenar la ciudad, a través de los primeros planos urbanísticos.

En la década de los 40, el crecimiento de la ciudad pasó por transformaciones radicales, influenciadas por el advenimiento de la Segunda Guerra Mundial cuando, a título de apoyo brasileño a las fuerzas aliadas americanas, fueron instaladas una

base aérea naval y una base aérea (Parnamirim), de donde partían aviones para suplir a las tropas aliadas en Europa y norte de África.

De este modo, tras la Segunda Guerra Mundial, en 1950, la población superó los 100.000 habitantes, o sea, duplicó la población que existía antes de la guerra.

A partir de esa época, la ciudad que estaba restringida a la margen derecha del Estuario Potengi, y a sus alrededores, se expandió hacia el interior y el mar, surgiendo entonces el proceso de urbanización de las playas, que fue acelerado en las décadas siguientes, principalmente en la de 80, debido al incremento de la actividad turística.

Aún en la década del 70, como respuesta a la intensificación en la región nordeste de Brasil, de los flujos migratorios del interior para las capitales, se inició la ocupación de los terrenos elevados, situados en la margen izquierda del Potengi, lo que generó un significativo incremento poblacional, registrándose, en el año 2000, más de 200.000 habitantes en el área norte de la ciudad de Natal.

Así, la evolución reciente de la región costera de Natal, muestra una estrecha relación con las intervenciones ocurridas a partir del siglo XIX e inicios del siglo XX. Estas intervenciones, principalmente las de carácter portuario y urbanístico, aunque fundamentadas en estudios específicos, como los de ingeniería y de ordenamiento urbanísticos, fueron realizados sin ningún tipo de estudio de carácter ambiental, particularmente del conocimiento de la estructura y del funcionamiento de los ecosistemas costeros, ni tampoco de la evolución ambiental de la región. Se añade a eso, el aumento demográfico de los últimos años que generó un crecimiento desordenado de la ciudad, y la ausencia de políticas públicas que priorizasen la gestión ambiental.

De esta manera, la falta de una planificación adecuada, a ejemplo de otras regiones, por un lado ha intensificado el uso de áreas costeras y estuarinas de extrema fragilidad, con lo que se ha alcanzado la deteriorización del paisaje, sea por intermedio de repercusiones de orden natural, como la erosión costera, que viene agravándose en gran parte del litoral del estado, sea por la interferencia directa del hombre, destruyendo dunas, manglares, coberturas vegetales nativas, y contaminando cuerpos de agua, como ríos, lagunas y playas.

El presente estudio ha procurado, a través del conocimiento de la evolución costera reciente, proveer la información ambiental necesaria para la gestión y

planificación de esta región. A lo largo del trabajo han sido tratados los aspectos específicos de los diversos sectores costeros existentes en el área, o sea, el Estuario Potengi y las Playas de Areia, Forte, do Meio, Redinha Velha y Redinha Nova, aunque con un planteamiento integrado de los mismos, por lo que se ha creído necesario presentar las consideraciones finales también de forma sectorizada, en el mismo orden de su exposición en el cuerpo de la tesis.

1.1 – Estuario Potengi

Las condiciones actuales del Estuario Potengi muestran una insignificante contribución del drenaje continental, debido a que gran parte del agua de precipitación se infiltra en las dunas vecinas, restringiendo el desagüe superficial. Con relación a los cursos fluviales, notamos que los ríos Potengi y Jundiá presentaban un carácter intermitente con débiles caudales durante el periodo lluvioso y nulos durante la sequía. El Río Doce presenta una descarga permanente, pero con tasas muy bajas.

Como respuesta, tenemos un estuario con influencia típicamente marina en el cual la acción de las mareas penetra, con caudales que varían de 5.000 a 20.000 m³/s, contribuyendo con volúmenes de agua (prisma de marea) de 39.910.000 m³.

Por lo tanto, con esa total predominancia de las aguas oceánicas tenemos un estuario de tipo homogéneo, con salinidades mayores en dirección a la desembocadura, y prácticamente las mismas de la superficie al fondo (principalmente en la pleamar).

La circulación estuarina presenta un comportamiento regulado por la acción de las mareas, mientras el viento, factor predominante en la circulación costera, tiene un papel secundario, con actuación restringida al área próxima a la desembocadura.

Las mayores intensidades de corriente son encontradas preferencialmente en la parte inferior del estuario, junto a sus concavidades morfológicas, de mayor profundidad. Este hecho viene a confirmar el estudio de Allen (1971), en el cual la energía de las corrientes de mareas es proporcional a la profundidad.

La penetración de la cuña salina, aún con la protección natural de los arrecifes, alcanza 20 Km para el interior, y es favorecida también tanto por la ausencia de descargas fluviales como por la baja pendiente del estuario.

Teniendo en cuenta criterios geológicos, el origen del estuario es compuesto, pudiendo ser clasificado como un Estuario de Valle de Río Inundado cuya cuenca ha sufrido un movimiento de hundimiento tectónico ligado a la evolución general del margen pasivo.

El modelado reciente del cuerpo estuarino está íntimamente relacionado con los efectos neotectónicos y las fluctuaciones glacioeustáticas del nivel del mar. Una vez alcanzado el máximo transgresivo, su evolución ha dado paso a la formación de canales del tipo anastomosado debido a su colmatación progresiva, que pasan a meandriiformes

La acción de las corrientes de mareas, erosionando y depositando, en respuesta a sus patrones típicos y a la resistencia litológica de los sedimentos terciarios marginales, es el único proceso que domina actualmente la dinámica estuarina y los procesos morfológicos resultantes.

De esta manera, se ha alcanzado la situación actual con un canal principal de sección asimétrica, localizado junto a las porciones cóncavas del estuario, determinadas por el relieve de las elevaciones terciarias, de mayor resistencia litológica a la erosión.

En las márgenes convexas, se produce sedimentación y relleno por la remobilización del material erosionado y transportado por las mareas.

Ese relleno, actualmente bastante evolucionado, se produjo por la formación de bancos y barras arenosas que asociados al papel de trampa sedimentaria de los manglares, ha hecho posible el crecimiento de los márgenes hacia el centro del estuario.

Otra característica morfológica de gran importancia en el desarrollo del estuario, es el umbral existente en la desembocadura, constituido por la base del arrecife destruido, ya que presenta una doble acción sobre los mecanismos hidrodinámicos costeros y estuarinos.

El predominio de la influencia de las mareas en la morfología del área es puesto de manifiesto por la disminución de las profundidades hacia la parte interna

del estuario, hecho que viene asociado con la pérdida de intensidad de las corrientes.

La distribución textural de los sedimentos muestra una concordancia neta con la hidrodinámica existente, destacando las arenas silíceas como la fácies más generalizadas.

Las fácies de gravas encontradas solo se presentan en acumulaciones puntuales y están constituidas por fragmentos de conchas en forma de bancos, o de material cuarzoso proveniente de la erosión de los afloramientos terciarios marginales.

Los fangos o lodos, ocupan las zonas de baja profundidad de los bordes del estuario, las gamboas, que tienden a ser más extensas hacia el interior como consecuencia de la pérdida de intensidad de las corrientes de mareas.

La fracción arenosa predomina en el conjunto del estuario, formando como una tapiz, principalmente en las zonas de mayor profundidad. Las otras facies normalmente se presentan bordeando los fondos de arena y en los sitios abrigados o de baja agitación.

La homogeneidad estacional de la región en estudio, con un prolongado periodo de la estación seca, prácticamente anula el acarreamiento actual de sedimentos hacia el fondo, predominando el transporte en suspensión, a pesar de que las concentraciones son muy bajas (media de 69,55 mg/l).

La distribución de este material en el estuario, por la ausencia de variaciones termo salinas, tiene en las oscilaciones de las mareas su condicionante principal. Eso es delineado por las relaciones entre los contenidos del material en suspensión con las fases y condiciones distintas de mareas.

Contenidos más elevados ocurren en el cambio de las mareas, tras la bajamar, por la resuspensión de los sedimentos no cohesivos.

Los menores contenidos se encuentran en las diferentes mareas, cuando la agitación de las aguas es mínima, favoreciendo la deposición de los materiales.

En la condición de marea de viva, la mayor lámina de agua permite una actuación más amplia sobre las planicies marginales, aumentando así el acarreamiento del material atrapado en las raíces de los manglares y con eso, la concentración de material en suspensión en el estuario.

Tenemos así, un comportamiento cíclico, con deposición y posterior suspensión del material, con concentraciones más elevadas junto a vastas planicies de manglares.

Estudios de los componentes sedimentológicos del Estuario Potengi indican una cobertura sedimentaria relictas, predominantemente arenosa y procedente de diferentes fuentes de suministro, tanto eólica, como marina y fluvial.

El suministro fluvial significativo fue restringido a períodos anteriores, cuando los cursos fluviales debían poseer capacidad / competencia de transporte por arrastre. En el período estudiado, o sea, a partir del siglo XX, algún evento de transporte significativo está relacionado con las episódicas inundaciones fluviales producidas en los períodos lluviosos, registrados solo en años de precipitación extraordinaria cuando de acuerdo con los registros existentes las avenidas alcanzaron $1.000 \text{ m}^3/\text{s}$ en el Río Potengi. Esto representaría $18.661 \text{ m}^3/\text{s}$ en tasas de transporte potencial. Sin embargo, la construcción de represas a lo largo del río afectó de forma negativa este aporte fluvial de sedimentos, tornándolo actualmente insignificante.

Las contribuciones marinas están íntimamente relacionadas a las antiguas desembocaduras, o sea, el Canal del Esteiro, cerrado en 1929 con la construcción del Guía Corriente de la Limpa, y el Canal Norte, cerrado en 1998-1999 con el prolongamiento del Guía Corriente de la Redinha, y que en realidad conectaba el Estuario a la Playa de la Redinha.

La presencia de un batiente rocoso de arenisca en la entrada del Canal Sur – Canal e Acceso del Puerto- impide el transporte transversal de sedimentos por el fondo, o sea, tanto en el sentido mar-estuario, como estuario-mar.

Estas informaciones son deducidas y comprobadas por la comparación volumétrica entre las cartas de los años de 1905 y 2000.

De esta manera, tanto los estudios de comparación batimétrica, como también los estudios con base en sensores aéreos y orbitales, señalan que la única transferencia de material entre el estuario y el océano se da indirectamente a través de la Playa de la Redinha por transporte de material en el trecho del Canal Norte, situado entre la Isla de la Baixinha y la Piedra del Picão, que posteriormente alcanza el mar a través de una abertura en la línea de arrecifes localizada frente a la Redinha Nova.

De este modo, pese a que el Potengi sea un estuario con influencia típicamente marina, su patrón de sedimentación de fondo, más acentuadamente en los días actuales, no está relacionado con el material procedente de la plataforma continental ni tampoco por el transporte longitudinal de sedimentos.

Esta premisa de la relevancia del transporte de sedimentos marinos como responsable de la colmatación del canal de navegación del Puerto de Natal orientó de forma equivocada las obras de implantación y ampliación del Puerto de Natal a lo largo de los años.

Tal conclusión es aún reforzada por las variaciones bruscas de los contenidos de carbonato de calcio entre los sedimentos estuarinos, situados antes de la desembocadura, y los marinos situados después de la desembocadura. Estos varían de 0,5 a 3%, antes de la desembocadura del estuario, a aproximadamente un 70%, en el trecho marino inmediatamente después de la desembocadura.

De esta manera, la actual colmatación observada en el canal de acceso y en la cuenca de evolución portuaria, procede de la erosión de la margen izquierda estuarina, en la localidad de la Redinha, tal como lo indican, los estudios sedimentológicos y la modelización numérica,.

Con relación a la calidad ambiental los resultados obtenidos, se puede concluir que a pesar de algunos puntos críticos de contaminación, el estuario del Potengi presenta una gran renovación del agua, lo que evita una concentración crítica de contaminantes en su conjunto al contrario de lo que sucede en ecosistemas semejantes.

Siguiendo el concepto de desarrollo sostenible, se verifica que el Estuario del Potengi ejerce un papel fundamental de soporte de las actividades urbanas y turísticas, con un significado papel reflejado en el equilibrio socioeconómico de la región de Natal. Además de la población que tiene actividades de subsistencia directamente relacionadas al estuario, como es el caso específico de la comunidad de pescadores artesanales, el estuario tiene un importante papel en el abastecimiento de mercancías, combustibles y como vía del desagüe de la producción primaria y secundaria del estado.

1.2 – Playa de Areia Preta

El problema de erosión en la Playa de Areia Preta es, en general, así como el de la mayor parte de las playas del estado, un fenómeno de orden natural, ampliado y que viene agravándose con las intervenciones antrópicas realizadas en el sistema litoral.

Como causa natural, podemos citar el sistema climático a que está sometida la zona, que genera condiciones especiales del régimen de vientos y del clima de olas asociados, con una elevada constancia y una incidencia oblicua de componente Sudeste. Esta dirección de aproximación crea un transporte longitudinal hacia el norte, transportando los sedimentos de las playas y causando la erosión costera, que se viene registrando desde hace varias décadas. La confluencia de diversas actividades y la presión especulativa a que está sometido el litoral viene alterando de forma significativa, las fluctuaciones naturales del sistema, sea por la reducción del espacio de variación de la playa, por la ocupación de las zonas de berma, promontorios y dunas, o aún por la alteración de los procesos costeros, generando, en un espacio de tiempo relativamente corto, la erosión de las playas del frente litoral de la ciudad y municipios vecinos.

La Playa de Areia Preta, que está inserida en este contexto, se encuentra en un estado de erosión intenso con el agotamiento casi total de sus reservas de sedimentos, llevando a una situación grave de afectación de las infraestructuras y equipos litorales.

Este proceso se inició a partir de la década de 1950, cuando la playa fue urbanizada, con la construcción de una vía y otros equipos. Actualmente, esta área se presenta casi totalmente ocupada por edificaciones muy próximas al mar donde se desarrollaban los campos de dunas, lo que interfirió en el balance sedimentario costero y, con eso, provocó el retroceso de la línea de la costa. Este problema fue agravado con la implantación de un acceso viario a fines de la década del 50, conectando la Playa de Areia Preta al Barrio de Mãe Luiza, y posteriormente con la construcción de la Vía Costera, en el inicio de la década del 80, que aisló definitivamente la duna de la playa. Eso requirió, como medida de contención de los procesos erosivos cada vez más acentuados, un muro de hormigón, que tuvo que ser ampliado y reparado a lo largo de los años siguientes. El ataque erosivo ocurría

principalmente en los periodos de conjunción de mareas de mayor amplitud con vientos de mayor intensidad, resultando en la destrucción de trechos del muro, de las aceras, y daños inclusive en la vía existente. En la búsqueda de una solución para este problema fueron realizadas una serie de investigaciones, cuyos resultados de los estudios desarrollados entre los años de 1997 y 1999, contemplaron un conjunto de datos oceanográficos, meteorológicos y geológicos, imprescindibles para la definición de las medidas más adecuadas para ser adoptadas.

La caracterización preliminar de los sedimentos y perfiles de esta playa mostró que esta grave situación podía ser corregida mediante la utilización de técnicas de recuperación de playa, que, en el caso de este proyecto, consisten en la regeneración de la playa mediante el aporte artificial de arenas. Los parámetros geométricos determinados inicialmente para el proyecto, indican la posibilidad de recuperación de todo el trecho entre la Punta de Mãe Luiza y la Punta del Morcego.

Los materiales de préstamo para la regeneración, punto que normalmente más encarece este tipo de proyecto, se encuentran en volumen y características técnicas deseables y necesarias, tanto en el estuario del Río Potengi, como en la plataforma continental adyacente y aún, en menor cantidad, en puntos de las planicies y deflación, lo que muestra la viabilidad de la implantación del proyecto propuesto.

Entre las opciones analizadas, el Proyecto de Regeneración para Areia Preta permitirá la creación de un espacio de playa ganada al mar, con una anchura de entre 65 y 85 metros, en forma de arco aproximadamente paralelo a la línea de la playa actual. Los volúmenes finales de material requeridos para la implantación de este proyecto varían del orden de 240.000 a 374.000 m³ de arenas.

El análisis de las diferentes posibilidades de actuación mostró como la mejor opción una solución mixta para la protección y recuperación de este tramo costero. Dicha solución contempla: un terraplén hidráulico entre las puntas de Mãe Luiza y del Morcego, limitado al norte por un espigón de contención de arenas semisumergido y segmentado en tres trechos por otros dos espigones también semisumergidos. Este proyecto recibió el apoyo del Gobierno Federal Brasileño, habiendo sido iniciado en septiembre de 2001, encontrándose actualmente con los espigones concluidos y el aterramiento ya iniciado.

Durante la ejecución de esta obra, está siendo realizado el control ambiental de la Playa de Areia Preta y adyacentes, con el objetivo de evaluar la eficacia del proyecto, y si se están cumpliendo las exigencias de protección para las cuales fue proyectado.

Los resultados de este control, iniciado antes de la ejecución de la obra, muestran que hasta el mes de febrero de 2002, se produjo una acumulación general de sedimentos en la playa de Areia Preta del orden de 4.902 m³, como consecuencia de la difracción de las olas en las extremidades de los espigones. Con respecto a la playa dos Artistas, se observó que, hasta el momento, se ha acumulado un volumen de sedimentos del orden de 3.723 m³, confirmando la previsión de que estas obras no irían afectar el balance sedimentario de las playas localizadas al norte.

De manera general, la obra no está causando ningún impacto significativo en la zona, y tiene una excelente aceptación por parte de la población, principalmente de los barrios próximos habitados por población de baja renta, que utilizan los espigones para la diversión y para la pesca, y aún el abrigo generado por esta estructura, para atracar sus embarcaciones. Debe destacarse que la recuperación de la antigua playa, ha restablecido efectivamente el uso de este espacio por la población local.

1.3 – Playa del Forte

La región comprendida entre la playa do Meio y la del Forte presenta un intenso movimiento de sedimentos en el sentido desde la playa hacia el continente que, en función de las nuevas facilidades creadas por una infraestructura de gran porte, caso del puente sobre el Río Potengi, se considera incompatible e inaceptable. Incompatible desde el punto de vista del aterramiento constante de las vías de acceso e inaceptable a partir del momento en que se desea ofrecer una alta calidad de servicios de viabilidad, que en los dos casos debería ser traducido por la eliminación total de este impacto ambiental.

Las dunas y estuarios son considerados, a nivel ambientalista, como elementos intocables por presentar un valor ambiental inestimable desde que se hayan preservado sus funciones ecológicas, que no es el caso por ejemplo de las

dunas de las playas del Meio – Forte o del manglar instalado en las proximidades del guía corriente.

Los dos párrafos anteriores muestran uno de los varios problemas generados por el desarrollo de una ciudad litoral, que tiene por un lado la necesidad de nuevas infraestructuras y ocupación del suelo urbano, y por otro lado la necesidad y el deber de preservar los recursos y espacios naturales.

La ocupación inicial de esta área, aunque bastante antigua, pues se inició con la construcción de la Fortaleza de los Reis Magos en 1599, no ha presentado hasta el momento, un gran desarrollo debido en gran parte a la concesión de este espacio al Ejército Brasileño. A pesar de esta “preservación”, esta zona viene marcada por la instalación y desarrollo de la zona portuaria en el interior del estuario del río Potengi. Para impedir el aporte de sedimentos eólicos para el canal de navegación y cuenca de evolución fueron realizadas diversos tipos de intervenciones, como la fijación de las dunas en el inicio del siglo, y la construcción de la guía corriente de la margen derecha. La primera intervención fue responsable de la configuración actual del campo de dunas vegetadas, y la segunda alteró completamente el patrón de circulación de esta célula costera, generando una zona de deposición en la ensenada del Forte que se propagó hacia el sur, colmatando las playas con lo cual se suministra más material para el transporte eólico.

Así, se observó en los últimos años la aparición de dunas frontales en la zona de playa, que se extienden longitudinalmente a lo largo de 1 Km, presentando transversalmente dimensiones que varían entre 30 y 150 metros y cotas máximas que alcanzan los 7 metros de altura y que a su vez migran hacia el interior, enterrando parcial o totalmente la vía de acceso a la Fortaleza de los Reis Magos.

A través del estudio de la evolución morfodinámica de la zona, considerando el volumen calculado por los perfiles topográficos, se observa una tasa anual del orden de $812 \text{ m}^3/\text{ano}$. Si consideramos la expansión durante los 23 años analizados, que fue de 23.000 m^2 , le corresponde un volumen acumulado de 18.685 m^3 de sedimentos eólicos.

Según los cálculos del transporte eólico a partir del uso de trampas fijas en la zona de control, se verifica que la tasa anual varía entre 3.7 y $5.5 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{año}$, que multiplicado por la extensión total produciría un volumen de 3.700 a $5.000 \text{ m}^3/\text{año}$. Restando el volumen que se acumula en las dunas frontales ($812 \text{ m}^3/\text{año}$) en el valor

más probable de transporte ($3700 \text{ m}^3/\text{año}$), tendríamos un exceso de $2.888 \text{ m}^3/\text{año}$, que es del orden de magnitud de volumen de material que migra anualmente sobre la carretera de acceso al Forte.

Con el objetivo de disminuir el impacto del transporte eólico de sedimentos sobre las vías de acceso a la Fortaleza de los Reis Magos, se hace necesaria la adopción de medidas mitigadoras, mediante el uso de técnicas específicas adaptadas a las condiciones ambientales locales.

En la literatura internacional, existen diversas técnicas de fijación de dunas, que van desde la utilización de mantas asfálticas con elevados impactos negativos hasta la utilización de vegetación. En la mayoría de los casos, cuando la intervención ocurre en una zona turística y se necesita de las intervenciones llamadas blandas, las opciones se restringen a dos tipos principales: utilización de vegetación, de cercas o de los dos tipos combinados. Estas intervenciones todavía, exigen una cierta longitud de playa para que sean eficientes, o sea la necesidad de disponer de aproximadamente de 100 a 200 m de terreno, libre de obras, lo que no es el caso en cuestión. Luego, estas opciones pueden *a priori* ser descartadas.

La imposibilidad de fijación de las dunas hace necesario buscar otras alternativas, siendo la más viable una intervención en el suministro de sedimentos, o sea, una intervención que permita minimizar la disponibilidad de sedimentos para el transporte eólico. Como alternativa, se propone que sea extraído parte del material que compone las dunas frontales de la región y parte del material de playa que está colmatando la zona, entre la línea de costa y la línea de *beach rocks*.

Con respecto al material de las dunas frontales, se propone que sea retirado todo el material por encima de la cota de +3 metros, que por los cálculos volumétricos alcanzaría los 89.970 m^3 . Fue tomada esta cota para preservar parte de la duna como estructura de protección costera frente al ataque de las olas durante las mareas más altas, sabiéndose que este valor puede ser conservativo al considerar la presencia de los *beach rocks* que disipan la mayor parte de la energía de las olas. En toda la zona protegida por los *beach rocks*, se debe preservar esta cota y el resto del material puede ser extraído.

Como método para la retirada del material de las dunas, se sugiere que se siga un trazado de explotación de tipo bancada. Inicialmente, deben ser retiradas la cobertura vegetal y la capa de suelo, siendo preservado en un área destinada para

este fin, y sólo a partir de esta etapa, se explota el material eólico. Al alcanzar la cota de +3, el terreno debe ser preparado con la colocación de la capa del suelo anteriormente reservada, seguida de la cobertura vegetal. Como la cobertura vegetal es del tipo gramíneo, se cree que se preservará durante su manejo, en caso contrario, se sugiere que sean hechas diversas mudas para la revegetación del área. Cabe resaltar que la fijación final de la vegetación puede durar hasta tres años, período que deberá ser acompañado de abonamiento y si fuera necesario, también de irrigación.

El material retirado puede ser utilizado para regeneración de la playa, ya que normalmente estos sedimentos se presentan bastante “limpios”, o dependiendo de los tipos de intervención costera, pueden ser utilizados para otros fines en la región.

1.4 – Playas de la Redinha y Redinha Nova

El comportamiento de las playas marinas de la Redinha, y principalmente de la Redinha Nova, fue bastante influenciado por la alta expansión urbana ocurrida a partir del final de la década del 70 y de la consecuente especulación inmobiliaria, aprovechándose de los vacíos existentes en la legislación vigente, por lo que se ocuparon indebidamente los terrenos de post playa constituidos por dunas frontales. En respuesta a esta ocupación indebida, en la década del 90, se inició un proceso erosivo que se acentuó con el decorrer de los años, alcanzando un promedio de retroceso de la línea de costa del orden de 25 metros en los últimos 10 años. Específicamente, a la altura del Hotel Atlántico Norte, se realizó una protección con carácter de emergencia del tipo “Gabião”, para evitar que la erosión destruyera el trecho costero, que en la época protegía la propiedad antes citada en condiciones de marea alta. La situación actual es un desastre, con graves fallos de las estructuras del tipo “Gabião” por rotura, debido al impacto directo de las olas que puede alcanzar niveles irreversibles, en el caso de no ser hecha una intervención rápida.

Se resaltan los registros históricos de erosión de dos calles de casas de veraneo en el trecho de la Redinha Velha, en el final de la década del 50, cuyas causas, como en el caso de la erosión en la Playa de la Redinha Nova, no habían sido investigadas hasta el momento. A título de especulación, se levantaba la posibilidad de que el proceso estaba asociado a las modificaciones continuas a que

fue sometido el estuario del Río Potengi, principalmente de la zona de la desembocadura, donde fueron realizadas explosión de los *beach rocks* y el dragado del canal principal, así como más recientemente la ampliación del muro guía de corriente de la margen izquierda estuarina.

Sin embargo, estudios batimétricos de detalle, realizados en septiembre de 2001, en el trecho delante del Hotel Atlántico Norte, permitió observar la presencia por un lado, de una abertura entre los arrecifes, y por otro, coincidiendo con esa abertura, el paleocanal del Río Doce, que en 1965 tubo su desembocadura desviada hacia el Estuario Potengi. La conjunción de estas dos estructuras hace que las olas alcancen la línea de costa con alto contenido energético y, por consecuencia, con alto poder erosivo.

Esa hipótesis fue confirmada a partir de la prospección geofísica, con aplicación de técnicas del método electromagnético, que confirmó la existencia de un paleocanal en los registros del área de post playa de la Redinha Nova.

Con respecto a las playas estuarinas, las observaciones de campo denotaban la existencia de un proceso erosivo acentuado en las playas de la margen izquierda del estuario Potengi, en particular en el trecho entre el Mercado Público y el Guía Corriente de la Redinha.

Ese proceso erosivo, de acuerdo con la interpretación de los registros fotográficos de campo y de las fotografías aéreas de 1997, tuvo su inicio con la construcción del nuevo guía corriente de la Redinha, en el año de 1999, ampliando el antiguo muelle existente. Este guía corriente, concluido en el año de 2000, indujo a un aumento de las velocidades de las corrientes, tanto en la marea ascendente como descendente, provocando la erosión de la playa estuarina adyacente a la estructura construida y el transporte del material en dirección al canal estuarino / portuario.

Esa conclusión fue obtenida a través de un análisis del comportamiento hidrosedimentario, basado en datos hidrodinámicos, sedimentológicos y batimétricos, recolectados en 2001 y 2002, conclusión también confirmada por la modelización numérica.

Sin embargo, debe destacarse que una interpretación histórica de la evolución reciente del área demuestra que la línea de costa en esta área estuarina, con proceso erosivo, recuperó su diseño anterior al año 1972. En esta época, o sea a

finales de 1971, fue realizado un dragado de profundización del canal de acceso portuario, para permitir la entrada del navío-hospital U.S.Hope, porque las profundidades existentes no permitían su navegabilidad.

Por motivos de plazo, el material extraído en este dragado fue lanzado en la margen izquierda estuarina y sobre el cuerpo del antiguo guía corriente, teniendo inicio ya en el año de 1972, un desplazamiento de este material arenoso en dirección al interior del estuario. Este transporte de material provocó la colmatación de las playas estuarinas de la Redinha y la progradación de la línea de costa en el trecho entre el guía corriente y la desembocadura de la Gamboa Maninbú, inclusive con enterramiento de los pequeños espigones existentes y del embarcadero de la Redinha, que funcionaba en la época, como muelle de atraque de barcos de transporte de pasajeros, entre la Redinha y Natal.

De esa manera, con la ampliación del guía corriente, una mayor intensidad de las corrientes indujo el proceso erosivo observado y, con esto, la recuperación del diseño costero anteriormente existente.

Tal conclusión es reforzada por el resultado de la comparación de los perfiles de playa en el período comprendido entre octubre de 2001 y julio de 2002, que demuestran una paralización en los procesos de erosión y consecuente estabilización de la línea de costa en un trazado muy semejante al existente en el año de 1972.

No obstante, resaltamos la necesidad de continuar el seguimiento ambiental, a través del levantamiento mensual de perfiles de playa y del acompañamiento e interpretación fotográfica (fotos de campo y aéreas), principalmente para registrar la situación posterior a la realización de servicios de dragado y de mantenimiento del canal de acceso portuario.

Las playas de la Redinha y Redinha Nova necesitan pues seguimientos mensuales, con la intención de delimitar y solucionar los problemas ambientales derivados de la intervención antrópica.

Las propuestas de intervención señaladas en esta tesis, algunas de las cuales puestas en práctica, se nortearon en principios sinérgicos, o sea, utilizar o convertir el material de dragado del puerto, material de excavación de emprendimientos turísticos de áreas costeras, y materiales provenientes de aterramiento de playas y vías (caso de la Playa del

Forte), en material para engorde de playas erosionadas, por ejemplo, lo que significa una gran economía en la financiación de este tipo de obras.

De esta manera, las obras de intervención costera propuestas dejan de ser un elemento de distorsión del equilibrio para convertirse en factores de estabilidad, recuperación y mejoría de la costa, demostrando que este diálogo no solo es posible, sino que también resulta imprescindible para alcanzar el desarrollo sostenible del litoral.

En este sentido, la Propuesta de Gestión Integrada de la Frente Marítima de Natal contemplada en esta tesis, contribuirá significativamente al desarrollo sostenible y a la mejora de la calidad de vida de la población local y del turismo generado.

BIBLIOGRAFÍA

BIBLIOGRAFÍA

- ALLEN, G.P., 1971.- *Relation between grain size parameter distribution and current patterns in the Gironde Estuary (France)*. Journal of Sedimentary Petrology, Tulsa, Okla – USA, 41 (1): 74-88p.
- AMARAL, A.C.Z.; PARDO, E.V.; MORGADO, E.H.; REIS, M.O.; SALVADOR, L.B.; LIMA, L.H., 1994.- *Sobre A Macroinfauna Bêntica Entremarés De Praias Da Ilha De São Sebastião*. Anais III Simpósio de Ecossistemas da Costa Brasileira - Subsídios a um Gerenciamento Ambiental. Publ. ACIESP, S. Paulo 3, (87): 330-337p.
- ANDRADE, R.S., 1968.- *Geologia e aspectos sedimentológicos da região costeira ao sul de Natal-RN* - Relatório de Graduação da Escola de Geologia da UFPE, Recife, 26p.
- ARAI, M.; UESUGUI, N.; ROSSETTI, D.F.; GÓES, A.M., 1988.- *Considerações sobre a idade do Grupo Barreiras no Nordeste do estado do Pará*. Anais XXXV Cong. Bras. Geol., 2: 738-745p.
- BARRETTO, H.T.; MILLMAN, J.D., 1969.- *Esboço fisiográfico da margem continental brasileira*. In: *Margem continental brasileira*, L.C. Toffoli. (Ed.). Coletânea de Trabalhos, PETROBRÁS, Rio de Janeiro, Vol.I, : 11-30p.
- BAGNOLD, R.A., 1941.- *The physics of blown sand and desert dunes*. Chapman & Hall, London, 265p.
- BERTHOIS, L., 1965.- *Techniques d'Etudes estuariennes, Centre Documentatio Universitaire*, Paris.
- BISSET, R., 1983.- *Métodos para avaliação de impacto ambiental: uma amostra seletiva com estudo de caso* (versão em português do original) "Methods for EIA: A selective survey with case studies", preparado para Curso Avaliação de Impacto Ambiental. Rio de Janeiro-RJ, 108p.
- BIGARELLA, J.J.; ANDRADE, G.O., 1964.- *Considerações sobre a Estratigrafia dos Sedimentos Cenozóicos em Pernambuco (Grupo Barreiras)*. Arq. Inst. Ciên. da Terra. Universidade Federal de Pernambuco. Recife, 2:2-14p.
- BIJKER, E.W., 1968.- *Litoral drift as function of wave and current*. Proc.11th. Conf. on Coastal Eng., ASCE, 415-435p.
- BITTENCOURT, A.C.S.P.; MARTIN, L.; VILAS-BOAS, G.S.; FLEXOR, J. M., 1979.- *Quaternary marine formations of the State of Bahia, Brazil*. Proceedings, 1978 Int. Symp. on Coastal Evolution in the Quaternary, São Paulo, 242-253p.

- BODGE, K.R.; KRAUS, N.C., 1991.- *Critical examination of logshore transport rate magnitude. Proc.Coastal Sediments*, 139-155p.
- BOROWKA, R.K., 1980.- *Present days process and dune morphology on the Leba Barrier, Polish coast of Baltic. Geografiska Annl.*, Vol. 62^a, 75-82p.
- BRANNER, J.C., 1902.- *Geology of northeast Brazil. Bulletin of the Geological Society of America*, 13: 41-98p.
- BREWER, R., 1994.- *The Science of Ecology*. 2^a ed. Saunders College Publishing, 773, 1-17p.
- BROWN, A.C.; MCLACHLAN, A., 1990.- *Ecology of sandy shores*. New York: Elsevier Science Publishers B.V., 327p.
- BRUUN, P., 1954.- *Coast erosion and the development of beach profiles*. Tech. Mem. N° 44. Beach erosion Board, U.S. Army Corps of Engs., 108p.
- _____, 1962.- *Sea level rise as a cause of shore erosion*. Proc. ASCE. Waterw.harbors Div., 88: 117-130p.
- CALLIARI, L.J., 1980.- *Aspectos sedimentológicos e ambientais na região estuarial da Lagoa dos Patos*. Tese de Mestrado. Instituto de Geociências da UFRGS - Porto Alegre.
- _____, 1969.- *Contribuição ao estudo do Grupo Barreiras no Rio Grande do Norte*. Arquivos do Instituto de Antropologia da UFRN, Natal, s/n 14p.
- CALDWELL, J.M., 1956.- *Wave action and sand moviment near Anaheim Bay, California*. Tech.Mem.68,Beach Erosion Board, US Army Corps of Engs, 21p.
- CAMPOS E SILVA, A., 1966.- *Considerações sobre o Quaternário do Rio Grande do Norte*. Arquivos do Instituto de Antropologia da UFRN – Natal, 12: 275-301p.
- CAMPOS E SILVA, A.; MABESOONE, J.M.; BEURLEN, K., 1971.- *Estratigrafia do Grupo Barreiras nos estados do Rio Grande do Norte, Paraíba e Pernambuco*. Rev. Ass. Geol. Pern., 2: 1-13p.
- CARANNANTE, G.; ESTEBAN, H.; MILLIMAN, J. D.; SIMONE, L., 1988.- *Carbonate lithofacies as paleolatititude indicators problems and limitations Sedimentary, Geology*, 60:333-346p.
- CARVALHO, A. M., 2001.- *Processos, agentes e condicionantes da dinâmica costeira – importância da atividade eólica na elaboração e manutenção do modelado costeiro entre Cumbuco e Matões Ceará*. Tese de Doutorado. Salvador, 268p.

- CERC - Coastal Engineering Reserch Center Cerc., 1984.- *Shore protection manual*. Department of Army of USA, Vicksburg, Mississippi, Vol. 1, second printing.
- CIMA., 1991.- *Subsídios técnicos para elaboração do relatório nacional do Brasil para a Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento*. Brasília, Comissão Interministerial para a preparação da preparação a Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, 172p.
- CLARK, J.R., 1977.- *Coastal Ecosystem Manngement*. Wiley Interscience Publication.
- CLIVAR/BRASIL, 1998.- *Um Programa Nacional do Clima*. [s.l:s.n]. Versão preliminar, 78p.
- CORBISIER, T. N; SALIM, J., 1972.- *Aspectos estruturais da faixa sedimentar costeira da Região de Natal, Rio Grande do Norte*. Estudos Sedimentológicos, Natal, 2 (1/2): 133-143p.
- COSTA, W.D., 1971.- *Estudos Hidrogeológicos de Natal, RN* - Cia. de Águas e Esgotos do Rio Grande do Norte.
- COELHO, P.A.; RAMOS-PORTO, M., 1980.- *Bentos litorâneo do nordeste oriental do Brasil*. I. Povoamentos de substratos móveis. Bolm. Inst. ocenogr., São Paulo, 29: 129-131p.
- COUTINHO, P. N., 1969.- *Sédimentation dans l'estuaire de Potengi – Natal (Nordeste du Brésil)*. Trabalhos Oceanográficos da UFPE, 9/11: 27-39p.
- _____, 1996.- *Levantamento do estado da arte da pesquisa dos recursos vivos marinhos do Brasil – Oceanografia Geológica*. Programa Revizee-SECIRM, 80p.
- CUNHA, E.M.S.; COUTINHO, P.N., 1978.- *Condições de sedimentação nas Baías de Tubarão e Sarnambi - MA*. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 30 Anais. Recife: Sociedade Brasileira de Geologia, 2: 867-879p.
- CUNHA, E.M.S., 1979.- *Avaliação preliminar das condições geológico-ambientais da faixa litorânea Natal-Ponta Negra - Rio Grande do Norte*. Diário de Natal, (08.11.79), 2: 13-14p.
- _____, 1981.- *Avaliação Preliminar das Condições Geológico-Ambientais da Faixa Litorânea Natal-Ponta Negra (RN)*. Anais do 3º Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia, Vol.1, 363-375p.
- _____, 1981.- *Projeto de recuperação da Praia de Areia Preta – Natal*. Natal-RN, 66p.
- CUNHA, E.M.S. et al., 1985.- *A Experiência Atual do Gerenciamento Costeiro no Estado do Rio Grande do Norte*. Anais do 3º Congresso Brasileiro de Gerenciamento Costeiro, 55-70p.
- CUNHA, E.M.S.; SILVEIRA, J.M.; NOGUEIRA, A.M.B.; VILAÇA, J.G., 1990.- *Análise Ambiental do Setor Costeiro Barra de Manxaranguape -Touros - RN*. Anais do Congresso Brasileiro de Geologia, Natal, Vol.2, 770-783p.

- DAVIS JR, R.A., 1979.- *Coastal Sedimentary Envirownents*. Springer Verlag. New York, 421p.
- DEAN, R.G.; BEREK, E.P.; GABLE, C.G.; SEYMOR, R.J., 1982.- *Longshore transport determined by an efficient tramp*. Proc. 18th Conf. on Coastal Eng., ASCE, 954-967p.
- DEAN, R.G.; BEREK, E.P.; BODGE, K.R.; GABLE, C.G., 1987.- *NSTS measurements of total longshore transport*. Proc.Coastal Sediments 87, New Orleans, L.A., 652-667p.
- DOLAN, R.; FENESTER, M.S.; HOLME, S.J., 1991.- Temporal analysis of shoreline recession.
- DIEGUES, A.C.S., 1987.- *Conservação e desenvolvimento sustentado de ecossistemas litorâneos no Brasil*. In: Simpósio sobre Ecossistemas da Costa Sul e Sudeste Brasileira, V.3.
- DOMINGUEZ, J.M.L.; BITTENCOURT, A.C.S.P.; MARTIN, L., 1992.- *Controls on Quaternary coastal evolution of the east-northeastern coast of Brazil: roles of sea-level history, trade winds and climate*. Sedimentary Geology, 80: 217-232p.
- NOTE SÁ, et al., 2000.- *Estudo de Impacto Ambiental e respectivo Relatório de Impacto Ambiental do Projeto de Regeneração da Praia de Areia Preta*. Natal: Prefeitura Municipal, V.I, V.II.
- DOUAREC, P., 1978.- *L'intrusion salme dans l'estuaire intente de la Loire. Étude du front de salinite et de ses variationo saisonnieres*. Thèse de 39 Cycle, Universite de Nantes.
- DUANE, D.B., 1974.- *Significance of Skewness in recent sediments Western Panlico Sound North Caroline*. Journal of Sedimentary Petrology, Tulsa, Okla. USA, 34: 864-874p.
- FOLK, R.L.; WARD, W.C., 1957.- *Brazos River bar a study in the significance of grain size parameters* Journal of Sedimentary Petrology, Tulsa, Okla, USA, 23: 3-26p.
- FORTES, F.P., 1987.- *Mapa geológico da Bacia Potiguar: A origem da Bacia Mesozóica do Apodi como decorrência do ciclo tecto-orogenético Brasileiro*. PETROBRAS/ DEBAR/ DINTER. Relatório Interno, Natal.
- FRANKLIN-JR., W., 2000.- *Macrofauna bentônica da região entre-marés de bancos arenolamosos em um estuário tropical: rio Mamanguape, Paraíba, Brasil*. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Ciências Biológicas – Zoologia, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 84 p.
- _____, 1974.- *Study of fine material in suspension in the Estuaire of the Loire and its dynainic grading*. Estuarine and Coastal Manne Satence. Dorset, 2: 261-272p.

FRANÇA, A.M.C.; COUTINHO, P.N.; SUMMERHAYES, C.P., 1976.- *Sedimentos superficiais da margem continental nordeste brasileira*. Rev. Bras.Geociências, 6: 71-88p.

FUNCEME - Fundação Cearense de Meteorologia 2002.- Governo do Estado do Ceará. *Mapa de observações meteorológicas*. Relatório interno. Fortaleza-CE.

FUNDAÇÃO IBGE, 1996.- *Sinopse. Censo demográfico*.

_____, 2000- *Sinopse. Censo demográfico*.

FUNDAÇÃO IDEC, 1985.- *Diagnóstico preliminar das condições ambientais da região da Grande Natal*. Natal-RN, Cap. 5: 95-105p.

FUNDAÇÃO IDEC/SEPLAN, 1989.- *Perfil ambiental das dunas no Município de Natal-RN e de outras áreas de relevante interesse especial*. Natal-RN.

_____, 1992.- *Grupo demográfico, projeção da população total, urbana e rural*. Natal-RN.

GALLENE, A., 1974.- *Les Accurnulationa Turbides de l'estuaire de la Loire. Etudo de la Creme de Vase*. These de 39 Cycle, Universite de Nantes.

GALVIN, C.J.; SCHWEPPE, C.R., 1979.- *The SPM energy flux method for predicting longshore transport rate*. CERC. US Army Waterways Experiment Station, Vicksburg. Technical Memo, 4-80p.

GOLDSMITH, V., 1978.- *Coastal dunes*. In: Davis, R. A. (Editor). *Coastal sedimentary environments*. New York: Springer -Verlag, 420p. 171-235p.

GOMES, J.C.R.; GATTO, C.M.P.P.; SOUZA, G.M.C.; LUZ, D.S.; PIRES, J.L.; TEIXEIRA, W.; FRANÇA, F.A.B.; CABRAL, E.M.A.; MENOR, E.A.; MONTEIRO, N.; BARROS, M.J.G.; RIBEIRO, E.G.; LIMA, E.A.; FONSECA, R.A., 1981.- *Geologia*. In: MME/Secretaria Geral. Projeto RadamBrasil, Folhas SB-24/25 – Jaguaribe e Natal. 27-300p.

HANSEN, D.V.; RATTRAY, Jr.M., 1966.- *New dimension in estuary classification*. *Limnology an Oceanography*, Milwaukee, 11: 319 p.

HIDROCONSULT - CONSULTORIA, ESTUDOS E PROJETOS S.A., 1991.- *Estudo do Comportamento hidráulico do estúdio e litoral adjacente à foz do Rio Potengi, Natal - Estado do Rio Grande do Norte*. Relatórios Finais, Vols. I e II.

HOEFEL, F.G., 1998.- *Morfodinâmica de praias arenosas oceânicas: uma revisão bibliográfica*. Editora da Univali. Itajaí, 92p.

HOMSI, A., 1978.- *Wave climate in some zones off the brazilian coast*. *Coastal Engineering*. 114-133p.

- INMANN, D.L.; BAGNOLD, R.A., 1963.- *Littoral processes*. In: The sea. Ed. M.N. Hill, vol.3, : 529-553p, Interscience, New York.
- INMAN, D.L.; ZAMPOL, J.A.; WHITE, T.E.; HANES, D.M.; WALDORF, B.W.; KASTENS, K.A., 1980.- *Field measurements of sand motion in the surf zone*. Proc. 17th Conf. Coastal Eng., ASCE. 1215-1234p.
- INPH–Instituto Nacional de Pesquisas Hidroviarias, 1998.- *Estudo do transpasse de sedimentos em torno do porto de Natal*. Relatório. 50p.
- _____, 1999.- *Levantamento topohidrografico da bacia de evolucao e canal de aceso ao terminal petroleiro e ao porto de Natal*. Relatório 01/94, 20p.
- INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLOGICAS DO ESTADO DE SAO PAULO S.A., 1977.- *Sedimentação atual na foz do Rio Potengi, RN, em área de interesse ao porto*. Relatório Final. Vols. I e II.
- UICN - União Internacional para a Conservação da Natureza. 1983. Relatório Parcial. 110p
- JENKINS, O.P., 1913.- *Geology of the region about Natal, Rio Grande do Norte*. Proc. Amer. Philos. Soc.. 52: 431-466p.
- JIMENEZ, J.A., 1996.- *Evolución costera en el delta del Ebro. Un proceso a diferentes escalas de tiempo y espacio*. Tesis Doctoral. UPC.
- KEGEI, W., 1957.- *Contribuição ao estudo da Bacia Costeira do Rio Grande do Norte*. Col. Mossoroense. 167: 55-104p.
- KEMPF, M. et al., 1970.- *Characterization of surface sediments on northern and brazilian shelf*. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 26. Anais, Belém, Sociedade Brasileira de Geologia, 2: 261-265p.
- KOMAR, P.D.; INMAN, D.L., 1970.- *Longshore sand transport on beaches*. J. Geoph.Res. 75(30): 5914-5927p.
- KOMAR, P.D., 1988.- *Environmental controls on litoral sand transport*. Proc. 21th Conf. Coastal Eng., ASCE. 1238-1252p.
- KRUMBEIN, W.C.; SLOSS, L.L., 1969.- *Estratigrafia y Sedimentacion*. México, Uteha, 778p.
- LEATHERMAN, S.P., 1978.- *A new eolian trap design*. *Sedimentology*. 25: 303-306.
- LEDRU, M.P., 1993.- *Late Quaternary environment and climatic changes in Central Brazil*. *ORSTROM. Quaternary Research*. Bondy. 39: 90-98p.

- LEYS, J.F.; MCTAINSH, G.H., 1996.- *Sediment flux and particle grain-size characteristics of Wind-eroded sediments in southern Australia*. Earth Surface Proces. Landform. 21: 661-671p.
- LIMA, S.F., 2000.- *Programa de análise granulométrica ANASED – Manual do Usuário, LGMA-UFC*. Fortaleza-CE, Vol 1, 20p.
- LIMA, M.S., 1980.- *Aspectos geomorfológicos do médio Rio Potengi - RN*. Tese de Mestrado. Centro de Tecnologia da Universidade Federal de Pernambuco, Recife.
- LIMA-VERDE, J.S., 1969.- *Primeira contribuição ao inventário dos equinodermos do nordeste brasileiro*. Arq. Ciên. Mar, 9 (1): 9-13p.
- LIRA, L. et al., 1978.- *Material em suspensão, temperatura e salinidade no estuário do Rio Maniucaba - Pe*. Caderno Omega da UFPE, Recife, 2 (1): 97-116p.
- _____, 1979.- *Aspectos da dinâmica do estuário do Rio Formoso, Pe*. Caderno Omega da UFPE, Recife, 3 (1/2): 133-56p.
- LO PRESTI, A.C., 1994.- *Modelado del transporte longitudinal de sedimentos*. Tesis Doctoral. Universidade Politecnica da Catalunya. 353p.
- MABESOONE, J.M.; TINOCO, I.M., 1967.- *Shelf off Alagoas and Sergipe (Northeastern Brazil)*. Trab. Oceanogr., UFPE. 7(8):151-186p.
- MABESOONE, J.M.; COUTINHO, P.N., 1970.- *Littoral and shallow marine geology of northern and north-eastern Brazil*. Trab. Oceanogr., Univ. Fed. Pernambuco. (1 2):1-214p.
- MABESOONE, J.M et al., 1972.- *Estratigrafia e origem do Grupo Barreiras em Pernambuco, Paraíba e Rio Grande do Norte*, Revista Brasileira de Geociências, São Paulo, 2 (3): 173-188p.
- MABESSONE, J.M., 1987.- *Revisão Geológica da Faixa Sedimentar Costeira de Pernambuco, Paraíba e Rio Grande do Norte, e do seu Embasamento*. UFPE, FINEP/PADCT, Relatório Interno. 66p.
- MACIEL, N.C., 1991.- *Alguns aspectos da ecologia do manguezal*. In: CPRH, Alternativas de uso e proteção dos manguezais do Nordeste. Recife, Companhia Pernambucana de Controle da Poluição Ambiental e de Administração do Recursos Hídricos. Série Publicações Técnicas, N° 003, 9-37p.
- MCLAREN, P., 1981.- *An interpretation of trends in grain size measures*. J.Sed.Petrol. 51:611-624p.
- MCLAREN, P.; BOWLES, D., 1985.- *The effect of sediment transport on grain-size distributions*. J.Sed.Petrol. 55:457-470p.

- MAGALHÃES, S.H.O., 2000.- *Caracterização Morfodinâmica e evolução a médio e curto prazo das praias do Município de Caucaia e São Gonçalo do Amarente-CE*. Dissertação de Mestrado, Univ. Fed. de Pernambuco, Recife-PE, 124p.
- MAIA, L.P.; MORAIS, J.O.; COUTINHO, P.N., 1996.- *Coastal and marine geology in the east littoral of Ceara state, northeast Brasil*. 14th Int. Cong. Sedimen., Recife.
- MAIA, L.P.; SABADIA, J.A.; FREIRE, J.S.S.; SERRA, J., 1997.- *Caracterização geoquímica e diagenética da cimentação carbonática dos beachrocks e eolianitos da região costeira do Ceará*. Bol. XVII Simpósio de Geologia do Nordeste. 177-181p.
- MAIA, L.P.; JIMENEZ, J.A.; SERRA, J.; MORAIS, J.O., 1998.- *The Fortaleza (NE Brazil) waterfront. Port versus coastal management*. Journal of Coastal Research.
- MAIA, L.P., 1998.- *Procesos costeiros y balance sedimentario a lo largo de Fortaleza (NE – BRASIL)*: Implicaciones para una gestión adecuada de la zona litoral. Tese de Doutorado. Universidade de Barcelola, Barcelona-ES. 269p.
- MARINHA DO BRASIL., 1966.- *Cartas de correntes de maré*. Porto de Natal. Diretoria de Hidrografia e Navegação. Rio de Janeiro, 10p.
- MARTINS, L.R.; URIEN, C.M.; BUTLER, L., 1976.- *Províncias fisiográficas e sedimentos da margem continental atlântica da América do Sul*. Anais XXVI Congresso Brasileiro de Geologia. Belém. (2):105-114p.
- MARTIN, L.; FLEXOR, J.M.; VILAS BOAS, G.S.; BITTENCOURT, A.C.S.P.; GUIMARÃES, M.M.M., 1979.- *Courbe de variation du niveau relatif de la mer au cours des 7000 derniers annees sur un secteur homogene du littoral bresilien (nord de Salvador)*. Atas do Inter. Simp. Costal Evolution Quater. São Paulo. 264-274p.
- MARTIN, L.; BITTENCOURT, A.C.S.P.; VILAS BOAS, G.S., 1982.- *Primeira ocorrência de corais pleitocenicos da costa brasileira: Dtação do máximo da penultima transgressao*. Ciencias da Terra, 3:16-17p.
- MELO, U. et al., 1974.- *Metodologia para o estudo do material em suspensão na água do mar*. Centro de Pesquisas e Desenvolvimento (PETROBRAS S.A.) Rio de Janeiro, 40p.
- MORAIS, W.O., 1977.- *Processos de Sedimentação na Baía de São Marcos, Estado do Maranhão, Brasil*. Arquivos de Ciências do Mar da UFCe, Fortaleza, 17(2): 153-164p.
- MOURA, A.C., 1973.- *A Dinâmica estuarina e sua influência nos processos sedimentológicos*. Memórias do Instituto de Investigação Científica de Moçambique, 9 (8): 53-86p.

- MILLMAN, J.D., 1975.- *Upper continental margin sedimentation off Brazil- Part 6. A synthesis*. Contr. Sedimentol., Stuttgart, 4:15 1-175p.
- NOGUEIRA, A.M.B., 1981.- *O Cenozóico continental da Região de Natal*. Tese de Mestrado. Centro de Tecnologia da UFPE, Recife.
- NICKLING, W.G., 1983.- *Grain-size characteristics of sediment transport during dust storms*. J. Sediment. Petrol., 53 : 1011-1024p.
- O'BRIEN, M.P.; RINDLAUB B.D., 1936.- *The transport of sand by wind*. Civil Eng., 6: 325-337p.
- ODUM, E.P., 1986.- *Ecologia*. Rio de Janeiro: Guanabara, 434 p.
- OLIVEIRA, M.I.M., 1978.- *Os Recifes de Natal*. In: Congresso Brasileiro de Geologia. 30 Anais. Recife, 2: 838-847p.
- _____, 1978.- *Amenagements des estuaires et preservation du milieu naturel*. Colloque C.N.R.S. Franco Japonais, Villes et Ports. Développement Fortuaire - Environnement Littoral. 20 p.
- _____, 1979.- *Consequences des aménagements sur le milieu estuarien*. Reunion Annuale - U.O.F. Nantes, 14 p.
- OTTMANN, F., 1968.- *L' etude des problemes estuariens*. Révue le Géographie Phisique et Géologie Dynamique (2), Vol X, fase 4, 329-353p.
- PYE, K., 1983.- *Coastal dunes*. Prog. Phy. Geogr., 7:531-557.
- PETTIJOHN, F.J., 1957.- *Sedimentary Rocks*, 2 ed. New York, Harper and Brothers, 718 p.
- PINHEIRO, R.D., 2000.- *Estudos das Características Geológicas e Geombientais da Região da Lagoa de Uruaú – Beberibe – CE*. Monografia, Univ. Fed. do Ceará, Fortaleza – CE, 106p.
- PRITCHARD, D., 1955.- *Estuarine circulation patterns*. Proc. Am. Soc. Civil Eng. 81: 1-11p.
- PROBERT, P.K., 1984.- *Disturbance, sediment stability, and trophic structure of soft-bottom communities*. J. Mar. Res., 42: 893-921p.
- PROJETO CAMARÃO., 2000.- *Dados fisico-químicos do Rio Potengi. (Fichas Analíticas)*. Relatório Interno.
- PROJETO REMAC, 1975.- *Reconhecimento global da margem continental brasileira*. Petrobras-DNPM, Rio de Janeiro.
- RODRIGUES, Â.C.B., 1999.- *Caracterização sedimentológica e processos costeiros da região de Caucaia, costa oeste do Estado do Ceará*. Dissertação de Mestrado. UFPE. 111p.

- SALIM, J.; COUTINHO, P.N., 1974.- *Aspectos sedimentológicos do estuário do Rio Potengi, Natal, Rio Grande do Norte*. Estudos Sedimentológicos, Natal, 3/4: 141-153p.
- SARRE, R.D., 1988.- *Evaluation of eolian sand transport equation using intertidal zone measurements, Saunton Sands, England*. Sedimentology, 35 (4): 671-821p.
- SEYMOUR, R.J.; DOMURA, G.W.; PIRIR, D.M., 1981.- *Sediment trapping experiments at Santa Cruz-CA*. Proc.17th Conf. on Coastal Eng., ASCE, 1416-1435p.
- SAVAGE, R.P., 1959.- *Laboratory study of the effect of groin in the rate of littoral transport*. Tech. Mem. Nº114. Beach erosion Board, U.S. Army Corps of Engs., 55p.
- SHERMAN, R., 1990.- *An eolian sediment transport theory and measurement*. Ed. Coastal dunes, form and process, 17-33p.
- SCHUBEL, J.R. 1971.- *Estuarine circulation and sedimentation*. Sizer Course Lecture Notes Am. Geol. Inst., Washington.
- SECRETARIA DE PLANEJAMENTO DO ESTADO DO RIO GRANDE DO NORTE, 1989.- *Macrozoneamento Costeiro do Setor II da Costa do Rio Grande do Norte*. 227p.
- SHEPARD, F.P., 1954.- *Nomenclature based on sand-silt - clay ratios*. Journal of Sedimentary Petrology, Tulsa, Okla. 24 (3): 151-158p.
- SHORE PROTECTION MANUAL., 1994.- *US Army Engineer Waterways Experiment Station, U.S. Government Printing Office, Washington, DC*. 4th ed., vol. 2.
- SILVEIRA, J.D., 1964.- *Morfologia do litoral*. In: Azevedo, A. (ed.). Brasil: a terra e o homem. Cia Ed. Nacional, São Paulo, 253-305p.
- SONDOTECNICA ENGENHARIA DE SOLOS S.A., 1964.- *Estudo global das bacias dos rios Ceará-Mirim e Potengi*. Relatório Preliminar (Inédito), Rio de Janeiro.
- SUDENE, 1971.- *Reconhecimento Exploratório dos Solos do Estado do Rio Grande do Norte*.
- SUGUIO, K., 1973.- *Introdução a Sedimentologia*. São Paulo, Editora. Edgard Blucher, 317p.
- SUGUIO, K.; MARTIN, L.; BITTENCOURT, A.C.S.P.; DOMINGUEZ, J.M.L; FLEXOR, J.M.; AZEVEDO, A.E.G., 1985.- *Flutuações Do Nível Relativo Do Mar Durante o Quaternário Superior ao longo do litoral brasileiro e suas implicações na sedimentação costeira*. Revista de Geociências, 15: 273-286p.

SUMMERHAYES, C.P.; COUTINHO, P.N.; FRANÇA, A.M.C.; ELLIS, J.P, 1975.- *Upper continental margin sedimentation off Brazil*. Part III. Salvador to Fortaleza, Northeastern Brazil. *Contr. Sedimentology*, Stuttgart, 4:44-78p.

TABOSA, W.F., 2000.- *Dinâmica costeira da região de São Bento do Norte e Caiçara do Norte-RN*. Departamento de Geologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Relatório de Graduação, 76p.

TRINDADE, A., 1982.- *Plantas fixadoras de dunas - via costeira - Natal (RN)*. Natal: UFRN, V.2 (UFRN, Coleção Textos Acadêmicos, 277).

_____, 1991.- *Estudo florístico e fitossociológico do estrato arbustivo arbóreo de um trecho de floresta arenícola costeira do Parque Estadual das Dunas - Natal (RN)*. Recife: UFRPE. 177p. Tese de Mestrado.

VAN DUSEN, B.W., 1993.- *Beachcombers. Guide to the north Atlantic seashore*. Lincoln, MA.: Massachusetts Audubon Society, 10 p.

VARELA FREIRE, A.A., 1990.- *Levantamento preliminar da fauna das dunas costeiras do Natal (RN)*. Grupo Aquarius de Pesquisa, 36p.

VELLUM, P.F.; HOAGLIN, D.C., 1981.- *Applications, Basics, and Computing of Exploratory Data Analysis*. Duxbury Press, 354p.

VIANELLO, R.L.; ALVES, A.R., 1991.- *Meteorologia básica e aplicada*. Viçosa: UFV, 449p.

VILAÇA, J.G., 1986.- *Geologia ambiental costeira da região de Extremoz*. Relatório de Graduação. UFRN. Dep. Geologia. Natal.

VILLWOCK, J.A., 1987.- *Os paleoambientes da Província Costeira do Rio Grande do Sul e a possível ocorrência de antigos manguezais na costa sul do Brasil*. Anais I Simpósio sobre Ecossistemas da Costa Sul e Sudeste Brasileira - Síntese dos Conhecimentos, Publ. ACIESP, São Paulo, 1(54): 132-137p.

_____, 1994.- *A Costa Brasileira: Geologia e Evolução*. Anais III Simpósio de Ecossistemas da Costa Brasileira - Subsídios a um Gerenciamento Ambiental, Publ. ACIESP, São Paulo, 3(87): 1-15p.

VITAL, H.; OLIVEIRA, A.M.; TABOSA, W.F., 2001.- *Caracterização de padrões de formas de fundo da Foz do Rio São Francisco*. (in press).

WATTS, G.M., 1953.- *Development and field tests of a sampler for suspended sediment in wave action*. Tech. Mem. Nº34. Beach erosion Board, U.S. Army Corps of Engs., 41p.

WRIGHT, L.D.; SHORT, A.D., 1983.- *Morphodynamics of beach and surf zone in Australia*. In: C.R.C. Handbook of coastal processes and erosion. P.D. Komar (ed.), C.R.C. Press., London, 35-64p.

ZENKOVITCH, V.P., 1967.- *Proceeses of Coastal Developement*. New York: Oliver and Boyd, 438p.