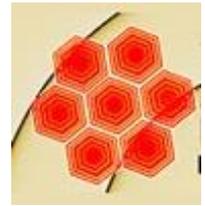




**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PIAUÍ
CENTRO DE CIÊNCIAS HUMANAS E LETRAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
GEOGRAFIA – PPGGEO
MESTRADO EM GEOGRAFIA**



JÉSSICA CRISTINA OLIVEIRA FROTA

**POTENCIAL DE EXPANSÃO URBANA NA PLANÍCIE
COSTEIRA DO ESTADO DO PIAUÍ**

Teresina, PI
Fevereiro - 2017

JÉSSICA CRISTINA OLIVEIRA FROTA

**POTENCIAL DE EXPANSÃO URBANA NA PLANÍCIE
COSTEIRA DO ESTADO DO PIAUÍ**

Versão final da Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Geografia - PPGGEO, da Universidade Federal do Piauí como requisito para a aquisição do título de Mestre em Geografia.

Área de Concentração: Estudos Regionais e
Geoambientais.

Orientador: Prof. Dr. Gustavo Souza Valladares

Coorientador: Prof. Dr. Jorge Eduardo de Abreu Paula

Teresina, PI
Fevereiro – 2017

FICHA CATALOGRÁFICA
Universidade Federal do Piauí
Biblioteca Setorial do Centro de Ciências Humanas e Letras
Serviço de Processamento Técnico

F941pFrota, Jéssica Cristina Oliveira.

Potencial de expansão urbana na planíciecosteira do estado do Piauí / Jéssica Cristina Oliveira Frota. – 2017.
148f. : il.

Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal do Piauí, 2017.

Orientação: Prof. Dr. Gustavo Souza Valladares.

Coorientação: Prof. Dr. Jorge Eduardo de Abreu Paula

1. Sistema de Informações Geográficas (SIG). 2.

Modelagem. 3. Riscos. 4. Potencial. I. Título.

CDD 918.122

POTENCIAL DE EXPANSÃO URBANA NA PLANÍCIE COSTEIRA
DO ESTADO DO PIAUÍ

Banca Examinadora de defesa de Mestrado em Geografia

Versão final da Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia - PPGGEO, da Universidade Federal do Piauí como requisito para aquisição do título de Mestre em Geografia.

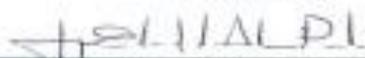
Orientador: Prof. Dr. Gustavo Souza Valladares.

Coorientador: Prof. Dr. Jorge Eduardo de Abreu Paula

Aprovado em: 20 / 02 / 2017



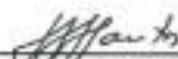
Prof. Dr. Gustavo Souza Valladares
Universidade Federal do Piauí
(Orientador)



Prof. Dr. Jorge Eduardo de Abreu Paula
Universidade Estadual do Piauí - UESPI
(Coorientador)



Prof.ª Dra. Cláudia Maria Sabóia de Aquino
Universidade Federal do Piauí
(Membro Interno)



Prof. Dr. Leonardo José Cordeiro dos Santos
Universidade Federal do Paraná
(Membro Externo)

Teresina/PI
Fevereiro - 2017

Á Deus e Nossa Senhora (Mãe Rainha), por sempre me concederem sabedoria nas escolhas dos melhores caminhos, coragem para acreditar, força para não desistir e proteção para me amparar.

Aos meus pais, Jacinto José Ferreira Frota e Maria Jose de Oliveira Frota pelo incentivo e apoio em todas minhas decisões e escolhas.

Às minhas irmãs Jômazyra Cristina Oliveira Frota e Jôcassya Christina Oliveira Frota, por acreditarem e junto comigo compartilharem de tamanha felicidade em ver cada uma de nós alcançando seus objetivos.

Ao meu príncipe e irmão Hallejandro Kauã de Oliveira Frota, amor da minha vida pelo simples fato de existir entre nós.

A vitória de toda essa conquista dedico com todo meu amor, unicamente a vocês! Parabéns!

AGRADECIMENTOS

Neste momento de alegria, no qual celebramos o final de uma longa etapa, aproveito para prestar uma justa e sincera homenagem a vocês, que me apontaram o caminho.

Durante esse dois anos só tenho a agradecer a todos que passaram pelo meu caminho e que com certeza deixaram um pouco de si. Os momentos de alegria serviram para me permitir acreditar cada vez mais na beleza da vida, e os de sofrimento, serviram para um crescimento pessoal único. É muito difícil transformar sentimentos em palavras, mas serei eternamente grata a vocês, pessoas que foram imprescindíveis para a realização e conclusão deste trabalho.

Agradeço primeiramente a Deus, por se fazer presente em todos os momentos firmes ou incerto de minha vida, pois, mais importante que o lugar que ocupas em mim, é a intensidade de tua presença em tudo que faço.

Agradeço infinitamente à minha família, em especial aos meus pais, Jacinto José Ferreira Frota e Maria José de Oliveira Frota (Minha base). Agradeço simplesmente por terem me feito existir, por tanto amor, por tudo o que sou, por cada oração, por terem me proporcionado educação e amor pelos estudos, e, apesar das inúmeras dificuldades, por sempre me estimularem a continuar, por me ensinarem a viver com dignidade e a nunca desistir dos nossos sonhos e objetivos.

As minhas irmãs Jômazya Cristina Oliveira Frota e Jôcassya Christina Oliveira Frota que sempre me incentivaram, dando força e acreditando sempre em mim. Ao meu irmãozinho Hallejandro Kauã, razão do meu viver, pelas incansáveis noites que estive ao meu lado acompanhando e dizendo querer estudar junto comigo. Apesar da pouca idade, sempre se admirando e se perguntando o porquê de sua irmã sempre ter que virar noites em frente ao computador. Agradeço, por ter aparecido em nossas vidas por um presente de Deus, trazendo mais luz, amor e carinho a toda a família Frota.

Agradeço ao meu orientador, Professor Doutor Gustavo Souza Valladares por ter se feito mais que um mestre em minha jornada acadêmico-científica, pois tudo que sou e que sei devo uma enorme parte aos ensinamentos dele. Agradeço por tamanha confiança depositada em mim e por sempre acreditar no meu potencial. Sem dúvida cada um dos seus conselhos, puxões de orelha e incentivos foi que me fizeram acreditar que Todos nós somos capaz, basta não desistir, persistir e acreditar sempre em si.

Aos meus amigos de jornada “Mestrados Cinco Estrelas” Mônica Saraiva, Ângela Vieira, Adalgiso Barbosa (*In Memoriam*), Carlos Henrique, Luís Fabiano, Luzia, Tarcys Klébio, Graciely Portela e Aline Camilo por cada momento compartilhado em sala de aula e

fora da sala, pelo conhecimento adquirido junto e pela total parceria firmada entre cada um de nós.

Aos meus amigos de Laboratório, Mirya Grazielle, Amanda Dias, Johnston Vieira, Wandemara Oliveira, Professora Dra. Mara Lúcia, Leya Cabral, obrigada pela ajuda e o companheirismo de cada um de vocês, pelos sofrimentos e aperreios passados juntos na entrega de um artigo ou relatório para seus respectivos orientadores.

Aos meus eternos amigos, Gabriel Rodrigues, que apesar da distância, jamais deixou de se fazer presente em minha vida, amo infinitamente e torço cada dia pela sua vitória; Denise Brito, João Victor Amorim, Andrea Maciel, Diana Melo, Roneide Sousa, Francílio Amorim, Carol Mateus, Lucas Almeida, Samuel Lima, Rosa Neto, que mais do que amigos souberam transformar essa amizade acadêmica em laços de família. Obrigada por acompanharem a origem e evolução desse trabalho, e que contribuíram de forma direta e indireta para elaboração do mesmo.

Ao meu amor Airton Andrade, por mais que tenha participado do finalzinho desta minha caminhada, sempre me apoiou nos estudos e esteve sempre ao meu lado me incentivando e torcendo muito por mim. Te amo!

À Universidade Federal do Piauí, por me dar os aparatos necessários para concluir essa fase, em especial ao Laboratório de Geomática do CCHL, onde passei boa parte de minha vida acadêmica como bolsista PIBIC e toda minha jornada como bolsista de mestrado.

Aos professores do programa, Carlos Sait; Façanha; Iracilde Lima e Bartira Viana que tanto me ensinaram nesta fase acadêmica. À professora Cláudia Maria Sabóia de Aquino, a quem tenho tamanha admiração, pelo incansável esforço em transmitir todo seu conhecimento adquirido e por sempre nos mostrar a importância da seguinte frase “Seus sonhos são possíveis, basta somente não abandoná-los”.

À Professora Doutora. Giovanna Mira de Espindola, pelos ensinamentos sobre geoprocessamento e Sensoriamento Remoto e em especial aos ensinamentos com o programa QGis, TerraViwe e Spring.

Agradeço ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo financiamento do projeto no qual parte de minha dissertação faz parte. Agradeço também à Fundação de Amparo à Pesquisa do Piauí (FAPEPI) e CAPES pelo fomento às pesquisas através do financiamento de bolsas.

Da mesma forma e intensidade, agradeço a todos os familiares, amigos e amigas que, mesmo alguns distantes, foram capazes de enviar mensagens positivas e esperançosas no apoio à concretização desse trabalho. Por fim, a todos vocês, o meu muito obrigada!!!

RESUMO

O estado do Piauí apresenta uma linha de costa de apenas 66 km. Apesar de ser considerada relativamente pequena em termos de extensão, a região costeira piauiense destaca-se como um ambiente que apresenta uma grande diversidade natural de ecossistemas, que diferenciam-se uns dos outros por apresentar características únicas e particulares. A paisagem natural piauiense, assim como diversas outras, durante décadas vem sofrendo transformações através da ocupação desordenada e da intensa atividade humana que a afetam diretamente. Estas alterações na estrutura da paisagem vêm causando efeitos muitas vezes irreversíveis à dinâmica do ambiente, o que demanda a elaboração de planos de manejo e uso adequados, a fim de que se busque a exploração dos recursos de forma sustentável. Diante desse cenário, o objetivo geral desta pesquisa é avaliar a vocação natural das terras da planície costeira do Estado do Piauí para urbanização, como subsídio para elaboração de políticas públicas que visem o planejamento e ordenamento da ocupação humana. Para tanto, buscou-se em um primeiro momento avaliar a dinâmica das dunas na planície costeira do Estado, destacando o avanço das mesmas sobre os equipamentos urbanos. Em um segundo momento foram mapeadas áreas de risco à inundação da planície costeira em estudo, sendo adotado um algoritmo classificador, baseado em um método multicritério ordinal aditivo também definido como média ponderada. Para a obtenção do mesmo foram consideradas as relações e integração de fatores do meio físico como: declividade, altimetria, geologia, geomorfologia e fatores do meio antrópico como o uso e cobertura da terra. Em um terceiro momento foram também mapeadas as áreas de risco   erosão da planície costeira do Estado do Piauí, utilizando ainda de um método de multicritério, onde foram consideradas as relações e integrações entre as variáveis: declividade, geomorfologia e geologia. Por fim, através do cruzamento entre os mapas de risco de inundação, risco de erosão, avanço das dunas e de análises da geologia e geomorfologia da área, foi proposto um mapa que apresenta o potencial das áreas da planície costeira do Piauí para a urbanização, frente às diversas pressões antrópicas sofridas e aqui analisadas. O procedimento metodológico para geração dos mapas envolveu o uso de métodos de fotointerpretação, visitas ao campo e análise espacial, sendo os mapas manipulados algebricamente nos softwares *ArcGis* e *QGis* em uma escala de 1.100.000. Como resultado para o avanço das dunas, nos intervalos observados (1994-2015) constatou-se que as mesmas sofrem um avanço aproximado de 18m ao ano no sentido litoral-continente. No mapeamento do risco de inundação foram obtidas seis classes, assim identificadas: risco muito baixo; baixo; moderado; alto; muito alto e altíssimo. No mapeamento do risco de erosão também foram identificadas seis classes: muito baixo; baixo; moderado; muito alto; alto e fora de análise. Na geração do mapa de potencial de expansão urbana da planície costeira do estado do Piauí, foram identificadas e classificadas cinco classes, com grau de vocação variando de (< 0,40 a > 1) sendo elas: potencial de expansão bom; regular; marginal; não recomendado e especial. Dessa forma, a partir da análise do mapa gerado, constatou-se que a planície costeira do estado do Piauí, apresenta uma grande quantidade de terra para expansão urbana e que, portanto, possui elevado potencial para crescimento urbano, principalmente no que corresponde às áreas de tabuleiros costeiros, pois correspondem às classes que compreendem a maior área de estudo, ou seja, de um total de 875,08 km² correspondente às áreas da planície costeira do estado 332, 60km² da área (38%) diz respeito à classe que apresenta maior vocação para edificações. Contudo, pode-se afirmar que o uso de técnicas de geoprocessamento combinado a produtos de sensoriamento remoto nos permitiu encontrar soluções práticas que venham a conciliar as questões ambientais com o bem estar e o desenvolvimento social. Além disso, essas ferramentas tornam-se cada vez mais imprescindíveis para análise geográfica, seja ela para fins de inventário, monitoramento ou prognósticos a partir da evolução da paisagem.

Palavras – Chave: SIG; Modelagem; Riscos; Potencial.

ABSTRACT

The state of Piauí has a coastline of only 66 km. Despite being relatively small in terms of extent, a Piauí coastal region stands out as an environment that presents a great natural diversity of ecosystems, which differ from each other by presenting unique and particular characteristics. The Piauí an natural landscape, as well as other things, during the past decades transformations through the disorderly occupation and intense human activity that affect it directly. These changes in landscape structure and the development of a human resources management system, which require the development of appropriate management and use plans. Given this scenario, the general objective of the research is to evaluate the natural vocation of coastal planning lands in the State of Piauí for urbanization, as a subsidy for the elaboration of public policies that aim at the planning and planning of human occupation. Therefore, we first sought to assess the dynamics of dunes in the coastal plain of the State, highlighting the same conditions in urban facilities. In a second moment were mapped flood risk areas of the coastal plain under study, being an algorithm classifier algorithm, based on an additive ordinal multi-criterion method also defined as weighted average. In order to obtain the same, they were considered as relations and integration of physical factors such as slope, altimetry, geology, geomorphology and factors of the anthropic environment such as land use and land cover. In a positive moment, they were also mapped as risk areas for erosion of the coastal plain of the State of Piauí, using a multicriteria method, where they were considered as relations and integrations between variables: slope, geomorphology and geology. Finally, through the crossing of flood risk maps, risk of erosion, dune advance and analysis of geology and geomorphology of the area, was proposed for the map that presents the potential of the areas of the coastal plain of Piauí for urbanization, In view of the various anthropic pressures suffered and analyzed here. The methodological procedure for the generation of maps involved the use of photointerpretation methods, field visits and spatial analysis, and the maps were manipulated algebraically in the ArcGis and QGis softwares on a scale of 1,100,000. As a result of the advance of the dunes, in the observed intervals (1994-2015) it was found that the same suffering an approximate advance of 18 million a year in the coastal-continent direction. In the mapping of the flood risk six classes were identified, thus identified: very low risk; Low; Moderate; High; Very tall and very tall. In the mapping of erosion risk, six classes were also identified: very low; Low; Moderate; Very high; Stop and stop for analysis. In the generation of the urban expansion potential map of the coastal plain of the state of Piauí, five classes were identified and classified, with degrees of vocation ranging from (<0.40 to > 1), being: pumping potential; regular; marginal; Not recommended and special. Thus, from the analysis of the map generated, it was found that a coastal plain of the state of Piauí, presents a large amount of land for urban development and that, hence, coastal boards, which correspond to classes that make up a larger Area of study, ie a total of 875.08 km² corresponding to the coastal plain areas of state 332, 60km² of the area (38%) refers to the class that presents a higher vocation for buildings. However, it can be stated that the use of geoprocessing techniques combined with remote sensing products allowed us to find solutions that seek to reconcile environmental issues with well-being and social development. In addition, the tools become increasingly essential for geographic analysis, for inventory, monitoring or prognostics from the evolution of the landscape.

Key - words: GIS; Modeling; Scratches; Potential.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	11
LISTA DE TABELAS.....	13
LISTA DE QUADROS.....	15
LISTA DE GRÁFICOS.....	16
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS.....	17
INTRODUÇÃO	18
2 REFERÊNCIAL TEÓRICO.....	22
2.1 Zona Costeira: Definição e dinâmica.....	22
2.2 A pressão que os ambientes litorâneos vêm sofrendo pela ação antrópica..	26
2.3 Limitações da zona costeira: Principais problemas ambientais.....	30
2.3.1 Erosão marinha.....	30
2.3.2 Riscos de inundação em zonas costeiras.....	34
2.3.3 Dinâmica das Dunas.....	35
2.4 Sensoriamento remoto e SIG no mapeamento de ambientes costeiros.....	39
2.5 Potencial de Expansão Urbana nas terras da Planície costeira.....	41
3 MATERIAIS E MÉTODOS.....	44
3.1 Localização da área de estudo.....	44
3.2 Condicionantes físicos da área de estudo.....	44
3.2.1 Geologia.....	46
3.2.2 Geomorfologia.....	49
3.2.3 Pedologia.....	52
3.2.4 Clima.....	56
3.2.5 Vegetação.....	60
3.2.6 Hidrografia.....	62
3.3 Aspectos socioeconômicos.....	65
3.4 Procedimentos metodológicos.....	69
Levantamento de dados.....	70
Observação em campo.....	70
Elaboração de mapas temáticos.....	70
3.4.1 Mapeamento da Dinâmica das dunas.....	70
3.4.2 Mapeamento de Risco de Inundação.....	74
3.4.3 Mapeamento do Risco de Erosão.....	81
3.4.4 Mapeamento do Potencial de Expansão Urbana nas terras da Planície	84

costeira do Estado do Piauí.....	
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	89
4.1 Análise Multitemporal dos campos de dunas móveis da Planície Costeira do Estado do Piauí.....	89
4.2 Análise do Risco de Inundação na Planície Costeira do Estado do Piauí.....	104
4.3 Análise do Risco de Erosão na Planície Costeira do Estado do Piauí.....	109
4.4 Análise do Potencial de Expansão Urbana na planície costeira do estado do Piauí.....	117
5 CONCLUSÃO.....	131
CONTRIBUIÇÕES A CERCA DOS TRABALHOS REALIZADOS.....	133
REFERÊNCIAS.....	134

LISTA DE FIGURAS

Figura -1 Compartimentação do Litoral Brasileiro de acordo com Silveira (1964)	25
Figura 2- Barramento para conter o avanço do mar na praia de Macapá, localizada no município de Luís Correia-PI.	33
Figura 3 – Perda das vias de acesso à praia da Pedra do Sal, localizada no município de Parnaíba-PI	33
Figura 4 – Localização da área de estudo: Planície Costeira do Estado do Piauí	45
Figura 5 – Esboço das Unidades Geológicas da Planície Costeira do Estado do Piauí	48
Figura 6 – Esboço das Unidades Geomorfológicas da Planície Costeira do estado do Piauí	52
Figura 7– Espacialização dos pontos de coleta dos solos na Planície Costeira do Estado do Piauí	55
Figura 8 – Comportamento da temperatura e da chuva ao longo do ano de 2015 - Ilha Grande	57
Figura 9 – Comportamento da temperatura e da chuva ao longo do ano de 2015 – Parnaíba	58
Figura 10 – Comportamento da temperatura e da chuva ao longo do ano de 2015 – Luís Correia	59
Figura 11 – Comportamento da temperatura e da chuva ao longo do ano de 2015 - Cajueiro da Praia.	60
Figura 12 – Rede de Drenagem da Planície Costeira do estado do estado do Piauí	64
Figura 13 - Pirâmide etária do município de Ilha Grande-PI	65
Figura 14 - Pirâmide etária do município de Parnaíba-PI	66
Figura 15 - Pirâmide etária do município de Luís Correia-PI	67
Figura 16 - Pirâmide etária do município de Cajueiro da Praia-PI	68
Figura 17 - Fluxograma demonstrando as etapas de realização da pesquisa	69
Figura 18 – Mapa de localização da área de estudo: Espacialização das áreas de dunas móveis	71
Figura 19 – Demarcação da linha de praia através do monitoramento por GPS com a utilização de um veículo	75
Figura 20 – Fluxograma simplificado das operações realizadas no SIG a partir de métodos de multicritério para geração do mapa de risco de inundação	81
Figura 21 – Fluxograma do processamento utilizado para geração do mapa de Potencial de Expansão Urbana na Planície Costeira do Estado do Piauí	87
Figura 22 – Espacialização da dinâmica temporal dos campos de dunas móveis das áreas da secção I (Ilha Grande) e da secção II (Parnaíba)	92
Figura 23 – Espacialização da dinâmica temporal dos campos de dunas móveis das áreas da secção III (Luís Correia) e da secção IV (Luís Correia)	93
Figura 24 – Dunas avançando a pista de acesso à comunidade do morro da Mariana e morro dos Tatus no município de Ilha Grande-PI.	97

Figura 25a – Área próximo a Lagoa do Portinho	98
Figura 25b – Área próximo a Lagoa do Portinho	98
Figura 26a – A: Lagoa do Portinho no ano de 2014	98
Figura 26b – A: Lagoa do Portinho no ano de 2016	98
Figura 27 – Área com risco de inundação próximo à praia de Atalaia na cidade de Luís Correia-PI	106
Figura 28 – Área com risco de inundação próximo à praia de Atalaia na cidade de Luís Correia-PI	107
Figura 29 – Mapeamento das áreas de risco de inundação da Planície Costeira do estado do Piauí	108
Figura 30 - Mapeamento das classes de risco de erosão existentes na Planície Costeira do Estado do Piauí.	110
Figura 31 – Demonstração das áreas que correspondem à classe de risco de erosão muito baixo, representada por áreas mais elevadas.	111
Figura 32 - Representação das unidades geomorfológicas que estão associadas à classe de risco de erosão baixa na planície costeira do estado do Piauí	113
Figura 33 – Áreas referentes aos tanques de carcinicultura presentes na região leste da planície costeira do estado do Piauí.	114
Figura 34 – Imagem referente às áreas de apicuns próximo ao município de Cajueiro da Praia-Piauí.	116
Figura 35 - Imagem representativa das áreas de planície eólica no litoral do estado do Piauí	116
Figura 36 - Mapeamento do Potencial de Expansão Urbana da Planície Costeira do Estado do Piauí	119
Figura 37– Imagem representativa do Grupo Barreiras na Planície costeira do estado do Piauí	120
Figura 38 – Presença de Nebkas na unidade planície e terraço fluvial presente no município de Ilha Grande do Piauí.	125
Figura 39 – Áreas de inundação na cidade de Luís Correia-PI	125
Figura 40 – Construção de residências na cidade de Parnaíba-PI, nas proximidades do rio Igarapu.	127
Figura 41 – Avanço das dunas sobre a cidade de Ilha Grande do Piauí e comunidades próximas.	127

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Área, População e densidade demográfica por municípios da área de estudo.	68
Tabela 2 - Especificação dos produtos-imagens utilizados na análise multitemporal.	72
Tabela 3 - Pesos atribuídos a cada variável utilizada no mapeamento de risco de inundação.	77
Tabela 4 - Notas atribuídas a cada classe das unidades geomorfológicas.	78
Tabela 5 - Notas atribuídas a cada classe de Altimetria.	78
Tabela 6 - Notas atribuídas a cada classe de Declividade.	78
Tabela 7 - Notas atribuídas a cada classe das Unidades Geológicas.	79
Tabela 8 - Notas atribuídas a cada classe das unidades de Uso e Cobertura das terras.	79
Tabela 9 - Pesos atribuídos às variáveis utilizadas no mapeamento do risco de erosão.	82
Tabela 10 - Notas atribuídas às Classes de Declividade.	82
Tabela 11 - Notas atribuídas a cada classe das unidades geomorfológicas.	83
Tabela 12 - Notas atribuídas a cada classe das unidades geológicas.	83
Tabela 13 - Pesos atribuídos às variáveis utilizadas no mapeamento do potencial de expansão urbana da planície costeira do estado do Piauí.	85
Tabela 14 - Notas atribuídas a cada classe das unidades geológica.	86
Tabela 15 - Notas atribuídas a cada classe das unidades geomorfológicas.	86
Tabela 16 - Notas atribuídas a cada classe das unidades de risco de erosão.	87
Tabela 17 - Notas atribuídas a cada classe das unidades de risco de inundação.	87
Tabela 18 - Área dos campos de dunas móveis nos diferentes anos de levantamento em km ² .	89
Tabela 19- Relação de perda e ganho dos campos de dunas móveis da secção I e II da Planície Costeira do Estado do Piauí.	94
Tabela 20- Relação de perda e ganho dos campos de dunas móveis da secção III e IV da Planície Costeira do Estado do Piauí.	95
Tabela 21 - Classes de Risco de Inundação na planície costeira do estado do Piauí.	105
Tabela 22 - Classes de Risco de Erosão na planície costeira do estado do Piauí.	109
Tabela 23 - Área das classes de potencial de expansão urbana na planície costeira do estado do Piauí em quilômetros e porcentagem.	120
Tabela 24 - Relação da área do potencial de expansão urbana com as unidades geomorfológicas presentes na planície costeira do estado do Piauí.	122
Tabela 25 - Relação da área do potencial de expansão urbana com as unidades geológicas presentes na planície costeira do estado do Piauí.	123

Tabela 26 - relação da área do potencial de expansão urbana com o risco de inundação na planície costeira do estado do Piauí. 124

Tabela 27 – relação da área do potencial de expansão urbana com o risco de erosão na planície costeira do estado do Piauí. 124

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Causas antrópicas da erosão costeira no Brasil.	28
Quadro 4 – Quadro representativo das Unidades Vegetacionais da Planície Costeira do estado do Piauí.	62

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Variação da área de cada secção de dunas presentes na planície costeira durante os intervalos de 1994 a 2015.	90
Gráfico 2 – Representação dos valores observados em determinados pontos das dunas no litoral do Piauí (Ponto A, B, C e D).	100
Gráfico 3 – Representação dos valores observados em determinados pontos das dunas no litoral do Piauí (Ponto E, F, G e H).	101
Gráfico 4 – Representação dos valores observados em determinados pontos das dunas no litoral do Piauí (Ponto I, J, K e L).	102
Gráfico 5 – Média de avanço entre os doze pontos destacados nas dunas na planície costeira do estado do Piauí.	103
Gráfico 6 - Representação das classes de risco de erosão em porcentagem na planície costeira do estado do Piauí.	112

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

APA- Área de Proteção Ambiental

CEPRO - Fundação Centro de Pesquisas Econômicas e Sociais do Piauí

CPRM - Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais

DSG- Diretoria de Serviço Geográfico do Exército

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

INMET- Instituto Nacional de Meteorologia

MDE –Modelo Digital de Elevação

ONU – Organização das Nações Unidas

PNGC – Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro

PLANAP - Plano de ação para o desenvolvimento integrado da bacia do Parnaíba

SIG - Sistemas de Informação Geográfica

SUDENE – Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste

SRTM - *Shuttle Radar Topography Mission*

TGS - Teoria Geral dos Sistemas

TOPODATA – Banco de dados Geomométricos do Brasil

UTM - *Universal Transversa de Mercator*

USGS - Serviço Geológico dos Estados Unidos

ZCIT - Zona de Convergência Intertropical

CAPÍTULO I

INTRODUÇÃO

O homem, ao longo de sua evolução histórica e de seu processo de desenvolvimento, manteve, e ainda mantém relações significativas com a natureza. A falta de consciência ambiental associada ao crescimento populacional acelerado tem trazido diversos problemas socioambientais, causando sérias consequências à natureza. A sociedade movida pelo desejo de apropriar e consumir reduz os recursos naturais levando degradação a áreas naturais e extinção a algumas espécies vegetais e animais (ANDRADE, 2008).

Os ambientes litorâneos, na contemporaneidade, passaram a ser recursos econômicos explorados, para vários usos que vão desde o extrativismo até o consumo da paisagem pelo turismo.

No entanto, independente da interferência da sociedade, conforme ressalta Andrade (2008) é importante considerar a dinâmica natural desses ecossistemas impulsionada pelas ações dos agentes de transporte, erosão e deposição, que modelam o relevo, construindo ou destruindo determinada paisagem.

Os ambientes costeiros constituem hoje reconhecidamente áreas de expressiva fragilidade ambiental, onde os componentes que integram e ordenam o funcionamento e a estabilidade dos sistemas, respondem a uma dinâmica bastante complexa, resultado da interação dos agentes continentais e litorâneos (OLIVEIRA, 2009).

Estes ambientes abrigam um conjunto complexo de ecossistemas de alta relevância ambiental e acabam desempenhando funções extremamente importantes, seja de cunho ecológico, social ou econômico. Contudo, esse ambiente frágil apresenta elevadas taxas de crescimento urbano e concentração demográfica, o que a torna um dos ambientes mais vulneráveis, física e socialmente, como afirmam Lins-de-Barros e Muehe (2010) e Marandola Jr. et al., (2013).

As pressões antrópicas na zona costeira vêm desencadeando, ao longo do tempo, um processo acelerado de urbanização não planejada e intensa degradação dos recursos naturais, os quais são uma ameaça à sustentabilidade econômica e à qualidade ambiental e de vida das populações humanas (SOUZA, 2003, 2004; LINS-DE-BARROS E MUEHE, 2010).

As formas de uso e ocupação estabelecidas nas zonas costeiras pela ação humana, não obedecem às limitações impostas pela dinâmica natural, posto que, grandes ocupações residenciais de diversas tipologias, construção de áreas de lazer, instalações comerciais,

estruturação de rodovias pavimentadas e vias de acesso secundárias, além da retirada de sedimentos para a construção civil, estarem se instalando nessas áreas de maneira desordenada e conseqüentemente acarretando sérios prejuízos a esses ambientes.

Na Planície Costeira do Estado do Piauí conforme ressalta Cavalcanti e Camargo (2002), a cidade de Luís Correia, apresenta-se como o segundo segmento da zona costeira que recebe a maior carga de impactos ambientais advindos das atividades antrópicas, em função do crescente incremento de construção de segundas residências, comércio e infra-estrutura para recreação e lazer. As dunas presentes no litoral piauiense, de acordo com Cavalcanti (2000), principalmente as dunas estabilizadas também acabam sofrendo diversos impactos ambientais através da retirada de sedimentos arenosos, para utilização, na construção civil para fins de lazer da população flutuante.

A crescente pressão do uso e ocupação sobre as zonas costeiras no mundo todo e seus efeitos sobre o equilíbrio dos ecossistemas, tem sido um assunto bastante abordado na literatura científica. As regiões costeiras constantemente são afetadas por diversas ações irregulares da população que acabam afetando a dinâmica desses ambientes e fragilizando-os. Além desses fatores antrópicos, diversos fatores naturais também vem provocando mudanças na dinâmica costeira, tais como a variação do nível do mar, altura das ondas, correntes marinhas, direção e intensidade dos ventos, dentre outros (SOUZA, 2007).

Isso favorece o desencadeamento de situações conflitantes que podem se revelar em quadros catastróficos, tendo o homem como agente deflagrador e vítima dos fenômenos sejam eles vinculados a riscos de deslizamentos, riscos de inundação, risco de erosão ou processos correlatos. Dessa forma, esses fatores naturais associados à ação humana aceleram a tendência de aumento expressivo das situações de vulnerabilidade (social e ambiental) nas zonas costeiras (HOGAN et al., 2001; CARMO e SILVA, 2009; MELLO et al., 2010; MELLO et al., 2012; IWAMA et al. 2014).

Esta pesquisa, vinculada ao Programa de Pós Graduação em Geografia da Universidade Federal do Piauí (UFPI), tem como título “**Potencial de expansão urbana na planície costeira do estado do Piauí**” e como objeto de estudo toda a área relativa à Planície Costeira do Estado. A mesma apresenta uma faixa de aproximadamente 66 Km no sentido (Leste-Oeste) sendo nela incluída os municípios Cajueiro da Praia, Luís Correia, Parnaíba e Ilha Grande de Santa Isabel, que irão constituir o foco desta pesquisa.

Na delimitação da área, levou-se em consideração os limites continentais das folhas topográficas SUDENE/DSG (1972) folha Parnaíba (SA 24 Y-A-IV) e folha Bitupitá (SA 24 Y-A-V), abrangendo somente o estado do Piauí. Ambas em uma escala de 1:100.000.

Como objetivo geral da pesquisa buscou-se avaliar a vocação natural das terras da planície costeira do estado do Piauí para urbanização, como subsídio para elaboração de políticas públicas que visem o planejamento e ordenamento da ocupação humana, assim identificando as áreas da planície costeira que apresentam vocação para urbanização e as que não apresentam.

A opção por esta temática justifica-se pela importância que esses ambientes representam, pelas potencialidades naturais, sobretudo paisagística, que estas carregam consigo e que hoje devido ao processo ocupacional de forma acelerada e desordenada esses ambientes, por serem áreas bastante vulneráveis correm um risco elevado de erosão. Além disso, a área em estudo, também apresenta intensa especulação imobiliária, em face da grande valorização do espaço, a grande incidência de segundas residências e a construção de redes hoteleiras, algumas pelo capital estrangeiro, fazendo do ambiente vulnerável um espaço bastante competitivo.

Dessa forma, esta pesquisa contribuirá para o conhecimento da dinâmica costeira do estado do Piauí, haja vista que a área, com suas belezas e diversidades de paisagens, vem tornando-se alvo da exploração desordenada e muitas vezes predatória de recursos naturais e ainda por ter se tornado local de lazer, de turismo ou de moradias da população urbana.

Assim a partir do problema apresentado, foram levantadas as seguintes questões técnico-científicas:

- As áreas da planície costeira do Estado do Piauí vêm sendo urbanizadas de maneira adequada, uma vez que esta apresenta áreas com grau de vulnerabilidade ambiental elevado quando comparado com outros ecossistemas?
- De que forma a ocupação urbana vem interferindo na dinâmica da zona costeira?
- O litoral do Piauí ainda tem terras para a expansão urbana? Que terras são mais indicadas para este tipo de ocupação?

Dessa forma, buscou-se como objetivos específicos:

- Compreender a área de estudo de maneira integrada, fazendo uma caracterização da mesma através de seus aspectos físicos (geologia, geomorfologia, pedologia, clima, vegetação e ação humana);
- Analisar a dinâmica morfológica dos extensos campos de dunas móveis da planície costeira do estado do Piauí, através de um mapeamento da evolução temporal desses campos nas décadas de 1994, 1998, 2002, 2006, 2010 e 2015;

- Produzir, por meio do uso de técnicas de geoprocessamento e métodos de multicritérios, mapas de risco de erosão e risco de inundação, numa escala de 1:100.000;
- Elaborar um mapa de potencial para expansão urbana da planície costeira do Piauí no sentido de identificar áreas com potencial para receber novos loteamentos, buscando reduzir os danos ambientais e antrópicos que ocorrem em ocupações realizadas em locais inadequados.
- Sugerir medidas que possam contribuir para um planejamento urbano adequado e sua execução, procurando minimizar e controlar os impactos ambientais atuantes na área.

Esta pesquisa está estruturada em seis capítulos, onde no primeiro, que diz respeito a introdução, apresenta-se o objetivo e a justificativa da escolha da pesquisa.

No segundo capítulo, analisou-se a zona costeira, sua importância, valorização e transformação em mercadoria. Analisou-se as principais limitações da zona costeira, em especial a questão da erosão marinha e o avanço das dunas (dinâmica). Além das pressões exercidas pela ação antrópica de forma inadequada sem que haja um planejamento.

O terceiro capítulo trás a caracterização da área de estudo, ressaltando tanto seus aspectos físicos como os aspectos socioeconômico, a fim de conhecer melhor, o espaço ao qual se foi estudado.

O quarto capítulo enfoca, especialmente, as áreas da planície costeira do estado do Piauí que apresentam risco de inundação em diferentes graus, variando de nulo a permanentemente inundáveis.

O quinto capítulo discute as áreas da planície costeira do Piauí mais vulneráveis a erosão e a menos vulnerável.

O sexto capítulo, como produto final da pesquisa, trás um mapeamento do potencial de expansão urbana da planície costeira do estado do Piauí, destacando as áreas que apresentam vocação para edificação e as áreas que não apresentam.

E por ultimo, as considerações finais e conclusões.

CAPÍTULO II

2 REFERÊNCIAL TEÓRICO

2.1 Zona Costeira: Definição e Dinâmica

As zonas costeiras constituem ecossistemas únicos e irreconstituíveis à escala humana, resultantes de uma longa evolução, de muitos milhões de anos, sendo suas características impostas pela atuação de diversos processos da geodinâmica interna e externa ao longo do tempo geológico (DIAS, 2005).

Hoje, diversos são os critérios utilizados para a definição da zona costeira, porém na literatura, ainda não há um consenso para aquisição de um conceito pronto e acabado para a mesma. No entanto, de maneira bem simples, conforme destaca Gruber et al.,(2003) a zona costeira pode ser entendida como um espaço formalmente definido como resultante da interação do continente, com a atmosfera e o meio marinho sendo, portanto, uma das áreas de maior interação de energia e matéria.

O conceito de zona costeira surgiu pela primeira vez, em um texto redigido pela ONU (Organização das Nações Unidas) apresentado na Conferência de Estocolmo¹ em 1972, na Recomendação 92º, do Plano de Ação pelo Meio Ambiente. Esta, por caracterizar a zona costeira como um ambiente raro e frágil, definiu as zonas costeiras como um “Bem Nacional com uma enorme fragilidade, porém, de alto valor”.

Entende-se também por zona costeira como

Área de interação do ar, da terra e do mar, incluindo seus recursos marinhos e terrestres, renováveis ou não, podendo conter a faixa marítima, o solo e o subsolo marinho, setores de abrasão e sedimentação, planícies de restinga e sistemas lagunares, planícies e terras baixas sublitorâneas, sob influência das marés e as bacias hidrográficas do interior dos continentes (XAVIER, 1994).

Segundo Rodrigues e Windevoxhel (1998, p.2) em uma das conceituações mais aceitas, a zona costeira é “o espaço delimitado pela interface entre o oceano e a terra, ou seja, a faixa terrestre que recebe influência marítima e a faixa marítima que recebe influência terrestre” ou segundo Clark (1996) e Gesamp (1997) citado por Gruber et al.,(2003) como sendo a unidade territorial que vai desde o limite da Zona Econômica Exclusiva (ZEE) até o limite afetado pelo clima marítimo.

¹ Conferencia realizada em 1972 com o objetivo de conscientizar a sociedade a melhorar a relação com o meio ambiente e assim atender as necessidades da população presente sem comprometer as gerações futuras.

As zonas costeiras por constituírem ambientes de formação geológica recente com grande variabilidade natural, apresentam ecossistemas em geral fisicamente inconsolidados e muito imaturos, o que termina lhes conferindo inúmeras características de vulnerabilidade e fragilidade que, aliadas a um consumo de recursos sempre crescente e com impactos previstos de mudanças climáticas, tendem a uma situação de desequilíbrio bastante elevado (CARVALHO e FONTES, 2007).

Esses ambientes, de acordo com Polette (1997), apresentam um espaço de alto valor natural ao combinar potencialidades turísticas, habitacionais e de ocupação humana, contrastando com a baixa potencialidade agrícola que a mesma apresenta. São áreas que apresentam um conjunto complexo de alta relevância ambiental e que, portanto, merecem uma atenção especial de todos de maneira geral, e o do poder público em especial, o que justifica sua inserção como patrimônio nacional no art. 225 da Constituição Federal.

Tendo em vista que esses ambientes são dotados de importância, viu-se a necessidade de gerenciar de forma integrada, descentralizada e participativa, as atividades socioeconômicas estabelecidas na zona costeira, garantindo assim, a utilização sustentável destas, por meio de medidas de controle, proteção, preservação e recuperação dos recursos naturais e dos ecossistemas já em estado de degradação.

Para tanto, em 1988 através da Lei Nº 7.661, foi instituído no Brasil o Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro (PNGC) visando especificamente “orientar a utilização racional dos recursos na zona costeira de forma a contribuir para elevar a qualidade de vida da sua população, e a proteção de seu patrimônio natural, histórico, étnico e cultural”.

Em 1997 foi elaborado o II PNGC, sob essa orientação, esta nova versão do PNGC buscou e vem buscando estabelecer as bases para a continuidade das ações, de forma a consolidar os avanços obtidos, e possibilitar o seu aprimoramento, mantendo a flexibilidade necessária para o atendimento da ampla diversidade de situações que se apresentam ao longo da extensa zona costeira brasileira.

No caso da planície costeira do Piauí, foco principal desta dissertação, há também a APA (Área de Proteção Ambiental) do Delta do Parnaíba, criada pelo Decreto Federal de 28 de agosto de 1996, envolvendo as áreas dos estados do Maranhão, Piauí e Ceará, que também visa à proteção das zonas costeiras em especial a área que abriga os deltas. Este plano segundo Sousa (2015) foi criado no sentido de garantir a proteção dos deltas do rio Parnaíba, Timonha e Ubatuba que compõem a zona costeira, tendo em vista que estes apresentam elevada importância na dinâmica costeira.

As zonas costeiras vêm evoluindo desde a formação dos primeiros oceanos da terra. As linhas de costa inicialmente conservadas são exemplos raros, pois grande parte delas já foram destruídas pelos processos erosivos e muitas vezes recobertas por novos sedimentos, trazendo alterações na linha de costa. Assim, a compreensão da evolução das zonas costeiras depende diretamente do entendimento da atuação dos processos relacionado às feições atuais, de modo que seja possível avaliar se os processos predominantes geram aporte ou perda de material (BIRD, 2008 citado por PAULA, 2013).

A zona costeira brasileira apresenta uma extensão de cerca de 8.500 km. Este extenso litoral foi resultado da desagregação de placas continentais e sua movimentação que teve início ainda no Pré-Cambriano e ainda hoje ocorre, com a separação do continente americano do continente africano (SALGADO-LABOURIAU, 1994).

O litoral brasileiro em termos estruturais apresenta uma compartimentação bastante abrangente e apesar de não haver um consenso na literatura, com relação as suas extensões, a divisão de Silveira (1964) citado por Tessler e Goya (2005) possui os limites mais aceitos entre os pesquisadores. Nesta classificação, a zona costeira brasileira foi dividida em cinco unidades, de acordo com critérios geológicos, climáticos e oceanográficos, que correspondem às grandes compartimentações morfoestruturais: Litoral Amazônico, Litoral Nordeste de Barreiras, Litoral Oriental, Litoral Sudeste ou de Escarpas Cristalinas e Litoral Meridional ou Subtropical. (Figura 1)

Figura - 1 Compartimentação do Litoral Brasileiro de acordo com Silveira (1964)



Fonte: Tessler e Goya (2005), adaptado de Silveira (1964).

Segundo Tessler e Goya (2005) o Litoral Nordestino ou das Barreiras (compartimentação em que esta inserida a área de estudo da pesquisa) abrange o trecho entre a foz do Rio Parnaíba (entre MA e PI) a Salvador (BA), sendo marcado por duas importantes direções de linha de costa. Nesse compartimento, destacam-se de forma predominantes os depósitos sedimentares do Grupo Barreiras, à frente dos quais se desenvolveram numerosos campos de dunas, alimentados pelos sedimentos oriundos da plataforma continental interna. Feições morfológicas destacadas são representadas pelo enorme campo de dunas dos Lençóis Maranhenses, na extremidade oeste do Macrocompartimento, e pelo delta do Parnaíba (SOUSA, 2015).

Muehe (2001) buscando uma versão mais adaptada da compartimentação do litoral brasileiro retoma a classificação de Silveira (1964) e efetua suas modificações de acordo com as informações adquiridas de forma mais avançada. Assim, numa subdivisão mais abrangente, Muehe (2001), distingue como macrocompartimentos do litoral nordestino: a costa semiárida norte; a costa semiárida sul; a costa dos tabuleiros norte; a costa dos tabuleiros centro e a costa dos tabuleiros sul.

A costa que a área de estudo da presente pesquisa está inserida é a dos Tabuleiros Norte a qual é caracterizada por um litoral cuja orientação, segundo ressaltava Muehe (2001) inicialmente N-NO (norte- noroeste) a S-SE (sul-sudeste) muda, após um curto trecho de direção norte-sul, na altura do cabo Branco, gradualmente para uma direção N-NE (norte-nordeste) e S-SO (sul-sudoeste).

2.2 A pressão que os ambientes litorâneos vêm sofrendo pela ação antrópica

A zona costeira em si, apresenta uma enorme fragilidade em função de sua suscetibilidade, por se configurar como um ambiente transicional, ou seja, essa unidade geográfica é bastante vulnerável a fenômenos naturais ligados à dinâmica costeira, denotados de processos de erosão e deposição, inundações costeiras, incidência de ventos, maré, ondas, dentre outros processos (MAZZER; DILLENBURG; SOUZA, 2008). No entanto, o desenvolvimento e a execução de atividades humanas acabam por impor pressões sobre essas áreas naturais, representando uma grande perda da qualidade ambiental.

Desde longas datas os seres humanos movidos pela beleza atrativa das regiões costeiras, passaram a constituir nesses ambientes as primeiras aglomerações humanas, que mais tarde vieram a evoluir formando grandes metrópoles (OLIVEIRA, 2009). Historicamente, essas primeiras formas de ocupação, conforme constatou Nascimento (2007) não provocaram grandes alterações ao meio ambiente, devido ao limitado poder de transformação das comunidades litorâneas. No entanto, no decorrer dos anos essa situação veio se modificando e esses processos vêm sendo ainda mais favorecidos por essas áreas apresentarem importante valor econômico.

Segundo Moraes (2007) os terrenos próximo ao mar, expressam um alto poder de especulação, pois do ponto de vista natural, essas áreas destacam-se contendo uma grande relevância ecológica, o que os qualifica como grandes fontes de recurso, bem como, áreas que apresentam um fator estratégico de localização, favorecendo as relações entre povos de diferentes continentes.

Apesar da grande riqueza e da variedade de processos existentes no ambiente costeiro e da sua conseqüente importância para o homem, a sobrevivência desses sistemas depende que haja um equilíbrio natural entre os processos continentais e oceânicos, que se encontram cada vez mais comprometidos pela pressão originada pela população costeira, e pela população das zonas continentais adjacentes.

Diante dessas novas formas e intenções de uso e ocupação, as zonas costeiras passaram a ser expostas a grandes fragilidades e os impactos resultantes principalmente da

urbanização nessas áreas vêm sendo amplamente discutidos na literatura por diferentes autores como Bird (1984), Moraes (2007), Araújo et al. (2007), Gomes (2007), Vasconcelos e Coriolano (2008), Corrêa e Fontenelle (2010) Silva e Lima (2013), Mello et al.,(2013) dentre outros, que visam ações para remediar e até prevenir os efeitos desses impactos gerados na zona costeira.

Os impactos ambientais induzidos pela pressão humana são extremamente significativos nas áreas costeiras, e acabam trazendo sérios problemas, sendo muitas vezes superior a capacidade de assimilação dos sistemas naturais. Pelo fato de um significativo contingente populacional habitar estas áreas, ocorre intensas pressões, com a capacidade de suporte de seus recursos sendo excedida (CAVALCANTI, 2000).

Em 1990 cerca de 1,96 bilhões de pessoas viviam a menos de 100 km da linha de costa. Em 1995 esse número já teria ascendido para 2,14 bilhões de pessoas, ou seja, 20% da população que ocupava a zona costeira em 1995 ascendeu para 39% no ano de 1995 (NICHOLLS e SMALL, 2003). Hoje, sabe-se que essa tendência de crescimento vem se confirmando, conforme mostra os estudos de Burk et al., (2001), Agardy & Alder (2005) citado por Belchior (2008) e Tessler (2007), segundo esses autores, estudos quantitativos demonstram que existe uma diminuição mundial da taxa de crescimento da população no interior dos continentes, quando comparada a da população costeira.

O Brasil possui uma zona costeira com uma extensão de cerca de 8.500 km, com a maioria das suas áreas metropolitanas inseridas nessa faixa. Assim, em decorrência das estruturas coloniais herdadas é na área costeira brasileira que se encontra a maior concentração de áreas urbanas, que congregam uma ampla gama de atividades com distintas esferas de (re) produção (LIMONAD, 2007).

Segundo Muehe (2001) cerca de 70% da população total brasileira (180 milhões de habitantes) vive ao longo da zona costeira. Este crescimento populacional foi seguido do processo de urbanização nos espaços costeiros que se deu de forma desordenada (MUEHE, 2001). Tessler (2007) alega que, em função das potencialidades sociais, econômicas e ambientais que essa área apresenta o crescimento da ocupação humana brasileira na planície costeira já supera 1/4 da população.

As pressões sócio-econômicas na zona costeira vêm desencadeando, ao longo do tempo, um processo acelerado de urbanização não planejada e intensa degradação dos recursos naturais, os quais são uma ameaça à sustentabilidade econômica e à qualidade ambiental e de vida das populações humanas (Souza, 2003; 2004).

No Brasil as principais causas antrópicas de erosão na zona costeira segundo Souza et al., (2005) e Souza (2009) estão relacionadas principalmente a implantação de estruturas ao longo da linha de costa e ao desenvolvimento de edificações de maneira desordenada e em áreas inadequadas (Quadro 1).

Quadro 1 - Causas antrópicas da erosão costeira no Brasil

Causas antrópica da erosão na zona costeira do Brasil.	
1	Urbanização da orla, com destruição de dunas e / ou impermeabilização de terraços marinhos holocênicos e eventual ocupação da pós-praia.
2	Implantação de estruturas rígidas ou flexíveis, paralelas ou transversais à linha de costa: espigões, molhes de pedra, enrocamentos, píers, quebra-mares, muros, etc., para "proteção costeira" ou contenção/mitigação de processos erosivos costeiros ou outros fins; canais de drenagem artificiais.
3	Armadilhas de sedimentos associadas à implantação de estruturas artificiais, devido à interrupção de células de deriva litorânea e formação de pequenas células.
4	Retirada de areia de praia por: mineração e/ou limpeza pública, resultando em déficit sedimentar na praia e/ou praias vizinhas.
5	Mineração de areias fluviais e desassoreamento de desembocaduras; dragagens em canais de maré e na plataforma continental: diminuição/perda das fontes de sedimentos para as praias.
6	Conversão de terrenos naturais da planície costeira em áreas urbanas (manguezais, planícies fluviais/ e lagunares, pântanos e áreas inundadas) provocando impermeabilização dos terrenos e mudanças no padrão de drenagem costeira (perda de fontes de sedimentos).
7	Balanco sedimentar atual negativo de corrente de intervenções antrópicas.

Fonte: adaptado de Souza et al., 2005; Souza, 2009.

Na região costeira nordestina, onde a ocupação é secular, a degradação desses ambientes intensifica-se. O desenvolvimento de atividades produtivas como a cana-de-açúcar, a carcinicultura, a pecuária, o turismo e as cidades, ocupando extensas faixas de terra sobre tabuleiros costeiros, dunas, mangues e restingas contribui ainda mais para a degradação ambiental desses ambientes (OLIVEIRA, 2011).

O crescimento das atividades de turismo vem contribuindo a certo tempo na conversão das zonas costeiras em objetos de consumo. Com destaque para as zonas litorâneas de países de clima ameno, tropicais e equatoriais, como é o caso do Brasil. No entanto, o mesmo também pode ser verificado em outros países e principalmente na planície costeira do estado do Piauí, onde também é observada forte ocupação costeira por parte de condomínios, resorts e principalmente aglomerados urbanos que se espalham por diversas áreas que apresentam fragilidade elevadas.

O que resulta numa expansão geográfica indiscriminada das atividades de turismo que, somada à multiplicação exponencial de condomínios de segunda residência em áreas litorâneas, coloca em risco a diversidade de um dos mais ricos conjuntos de ecossistemas

costeiros tropicais do mundo, resultando assim, em ocupação pulverizada e segmentada, usualmente caracterizada como urbanização extensiva e ou dispersa (MONTE-MOR, 1994; LIMONAD, 1996 e COSTA et al., 2006).

Somado a isso, nas zonas costeiras, principalmente nas áreas próxima a linha de costa, verifica-se a multiplicação irregular de edificações residenciais e de serviços sem infraestruturas de saneamento, que além de avançar sobre ambientes como: mangues, restingas e lagoas, aí lançam esgoto, queimam a mata para limpar as áreas para construir e implantar jardins e edifícios, o que acarreta uma crescente degradação ambiental com a redução das praias, assoreamento dos rios, contaminação dos lençóis freáticos e redução dos recursos naturais.

Segundo Corrêa e Fontenelle (2010) a forma de agir do homem e os consequentes retrocessos na conservação ambiental, vem despertando a necessidade da incorporação de novas concepções ao planejamento e gestão desse espaço costeiro pautados em instrumentos legais existentes.

Nas últimas décadas, tem-se observado uma intensa modificação na zona costeira piauiense, devido às transformações que atingem a sociedade. Diversos são os trabalhos que apontam a intensa atuação humana de forma negativa nas zonas costeiras em geral como Andrade (1994); Abreu (2000); Pereira (2004); Andrade (2008); Mazzer et al., (2008); Costa e Cavalcanti (2008); Meireles (2011); Paula (2013); Fernandes e Amaral (2013); Sousa (2015); dentre outros.

Abreu (2000) em seu trabalho “Proposta de Ordenamento Socioambiental do Litoral de Cajueiro da Praia - PI” ressalta que, as pressões humanas sobre os ecossistemas litorâneos vêm atingindo níveis alarmantes, com reflexos negativos sobre a capacidade de recuperação dos recursos naturais, implicando, muitas vezes, perdas irreparáveis. O conjunto de atividades humanas introduzidas na região litorânea constitui um dos principais agentes de transformação da paisagem e da cultura local afirma o autor.

Pereira (2004) em seu estudo sobre a vulnerabilidade ambiental do litoral português realça que a efetiva ação antrópica tem agravado o fenômeno de erosão do litoral português nos últimos tempos. Isso devido à inusitada construção de barragens, que acabam diminuindo o fluxo de sedimentos, impedindo assim, a sua chegada à foz e posterior redistribuição pelas correntes longitudinais (deriva litoral). O autor ainda ressalta que a ocupação desregrada da faixa litoral, através da construção de habitações e infra-estruturas, impermeabilizou vários tipos de áreas arenosas que conduziram à perturbação do normal funcionamento auto-

regulador dos sistemas biofísicos litorais de Portugal, tendo por vezes conduzido ao seu desaparecimento.

Andrade (2008) ressalta que em Aquiraz, a degradação dos ambientes costeiros se explica principalmente pela ocupação, que privilegiou projetos voltados ao desenvolvimento turístico, sem avaliações profundas dos impactos ambientais, socioeconômicos e culturais, ou seja, os especuladores imobiliários, segundo o autor, dotaram a área com estrutura que priorizava a atividade turística, possibilitando a proliferação de construções voltadas ao uso do veraneio, bem como infra-estruturas para o atendimento da crescente demanda turística.

2.3 Limitações da zona costeira: Principais problemas ambientais

Em face de sua elevada fragilidade e sensibilidade ecológica, a zona costeira apresenta diversas limitações do ponto de vista ambiental. Estas, relacionadas tanto a ação natural como a ação antrópica.

Dentre alguns desses referidos problemas ambientais três deles ganham maior destaque considerando o objetivo da pesquisa: a erosão marinha; a dinâmica das dunas e o risco de inundação da zona costeira.

2.3.1 Erosão marinha

A erosão costeira é um processo que ocorre de maneira natural e está diretamente associada a diversos fatores de escala espacial e temporal, estando intimamente relacionada também às variações do nível relativo dos mares; aos fenômenos meteorológicos e à climatologia, bem como aos paleoclimas à hidrodinâmica atual e principalmente às alterações modeladoras de caráter antropogênico (SUGUIO, 2001).

A erosão marinha é um tipo de erosão costeira. Esta também destaca-se como um fenômeno natural de proporções globais que afeta grande parte dos litorais do globo. Esse processo vem se agravando com o aumento do nível dos mares provocado pelo aquecimento do planeta e o conseqüente degelo das regiões polares (MUEHE, 2006; MMA, 2008). Diversos fatores podem acelerar e multiplicar os efeitos destes impactos, especialmente quando interferem no fluxo de sedimentos e no equilíbrio dinâmico da linha de costa e seus processos (VALLE, 1989; CAMPOS, 2003).

Este fenômeno, de forma gradativa, vem ao longo dos anos causando a destruição de diversas praias da zona costeira. Segundo Magalhães (1973) a erosão marinha, também chamada abrasão, é a ação destrutiva das águas do mar sobre o litoral e ocasionam efeitos que remetem a vulnerabilidade costeira.

Castro (2007) define erosão marinha como sendo o resultado do movimento das águas oceânicas que atuam sobre as bordas continentais, modelando o relevo de forma destrutiva. Esse movimento das águas pode, também, modelar o relevo de forma construtiva, resultando em acumulação marinha e, conseqüentemente, dando origem a praias, restingas, recifes e tómbulos.

A erosão marinha apesar de natural, também é um problema que está associado à ocupação desordenada e a falta de um planejamento urbano. No entanto, a urbanização em si não provoca erosão, entretanto, a construção de edificações dentro da faixa de resposta dinâmica da praia às tempestades tende à retomada pelo mar da área construída. Isto enfoca a necessidade de implantação de normas que prevejam a manutenção de uma faixa de não edificação junto à orla, adotando, como precaução, uma largura que considere um cenário de elevação do nível do mar e a tendência de retrogradação quando identificada previamente (MUEHE, 2006).

Morais (1996) em uma discussão bem detalhada sobre a definição e caracterização do processo de erosão, ressalta que a erosão costeira tem início quando o material erodido é levado da linha de costa em maior proporção do que é depositado. Sendo a razão remoção/deposição o fator de maior relevância para a identificação de ocorrência de erosão costeira em uma determinada área.

Outros fatores também de ordem ambiental atuam fortemente para agravar este problema, dentre os quais, a exploração indiscriminada de areia de dunas, pós-praia e antepraia, para a construção civil e aterros, agrava seriamente o déficit de sedimentos nas praias e acelera o processo de estreitamento das mesmas. Grandes concentrações de construções, tais como áreas portuárias, edifícios, estradas, diques, entre outros, no domínio do litoral, sobre dunas e o pós-praia, além de agredir a paisagem, contribuem também para aumentar o déficit de sedimentos e, conseqüentemente, a erosão das praias (MAIA e MORAIS, 1996; MAIA, 1998a).

Esses processos contribuem enormemente para a alteração na dinâmica costeira e a ocorrência de processos erosivos, modificando, de acordo com Vasconcelos (2010) os padrões de transporte de sedimentos e de material biológico carregados pelas correntes costeiras e de deriva, e causando desequilíbrios sedimentares.

A preocupação crescente com esses impactos ambientais de ordem natural e antrópica intensificou os estudos nas regiões costeiras do Brasil e do mundo, onde diversos trabalhos como o de Santos et al. (1990); Pinheiro (2000); Araújo (2008); Neves e Muehe

(2008); Vasconcelos (2010); Barros et al., (2010); Bastos et al., (2011); Paula (2013); Sousa (2015) denotam esta preocupação com a erosão marinha.

Vasconcelos (2010) ao estudar o avanço da erosão marinha na praia de Icarai no município de Caucaia-CE ressalta que a erosão marinha é um fenômeno natural que, sem a intervenção do homem, atua no litoral cearense modelando sua forma sem grandes problemas. Porém, o que se vê na praia de Icarai, é um alto poder destrutivo do mar, acelerado pela construção de obras de engenharia nas adjacências do município de Caucaia. Segundo o autor a erosão marinha já destruiu algumas das praias mais conhecidas do município. Essas praias são um forte atrativo econômico para o desenvolvimento do turismo na região e situam-se entre os portos do Mucuripe e do Pecém.

Pinheiro (2000) em uma discussão bem detalhada sobre a erosão costeira ressalta que qualquer interferência como a realização de obras de engenharia ou construções desordenadas nas áreas de constante influência das marés, ocupação e degradação de depósitos eólicos costeiros, construções de barragens que bloqueiam o aporte de sedimentos dos rios para o litoral, exploração de recursos minerais costeiros, obras de engenharia costeira mal projetadas, causam uma infinidade de interferências nos sistemas costeiros e acabam gerando impactos negativos, em função da grande complexidade que envolve a dinâmica da zona costeira.

Da mesma forma na planície costeira do estado do Piauí não é diferente, a erosão marinha também acaba afetando algumas praias com maior intensidade, isso devido à falta de sedimentos como é o caso da praia de Macapá. Conforme mostram as (figuras 2 e 3) barreiras de proteção de maneira artesanal são feitas por “barraqueiros” no intuito de conter o avanço do mar e conseqüentemente a erosão marinha, que conforme mostra as imagens já trouxeram bastante prejuízos.

Paula (2013) ao estudar a dinâmica morfológica da planície costeira do estado do Piauí destaca que diversas atividades em execução como a atividade portuária, a urbanização e a execução de atividades relacionadas ao lazer, têm competido com as suscetibilidades naturais da área no tocante à erosão costeira. A planície costeira do Piauí apresenta elevado indicativo quanto aos processos de migração de sedimentos e a processos de erosão e remodelagem costeira.

A ação antrópica através da retirada de materiais sedimentares para construção civil ainda segundo Paula (2013) acabam comprometendo a zona costeira e trazendo sérios prejuízos a mesma, com destaque principalmente na praia da Pedra do Sal, localizada no município de Ilha Grande-PI com prejuízo sobre as estruturas costeiras; reabilitação de praias e interferências significativas na alimentação sedimentar da localidade de Coqueiro (Luís

Correia-PI) bem como processos de requalificação de trechos do litoral como ocorre na Praia de Atalaia.

Figura 2 – Barramento para conter o avanço do mar na praia de Macapá, localizada no município de Luís Correia-PI.



Fonte: Frota, 2017.

Figura 3 – Perda das vias de acesso à praia da Pedra do Sal, localizada no município de Parnaíba-PI.



Fonte: Frota, 2017.

2.3.2 Riscos de inundação em zonas costeiras

O conceito de risco é utilizado nas mais diversas áreas do conhecimento, o que permite a existência de uma grande variedade de riscos. Segundo relatório da International Strategy for Disaster Reduction (ISDR, 2007 citado por Hora e Gomes, 2009), o risco pode ser definido como a probabilidade de consequências prejudiciais, ou perdas previstas como (mortes, ferimentos, propriedade, meios de subsistência, interrupção de atividade econômica ou destruição ambiental) resultando das interações entre perigos naturais ou sociais e circunstâncias vulneráveis.

Aneas de Castro (2000) ao fazer uma relação entre o conceito de risco, perigo e desastre destaca que, o risco é a probabilidade de realização de um perigo, ao passo que o desastre é o conjunto de danos produtos de perigo derivado de um risco. O perigo é, portanto, classificado como um fenômeno tanto em ação como em potencial.

O risco pode ser definido pelas perdas que podem ocorrer (de vidas, ferimentos em pessoas, propriedades, rupturas das atividades econômicas ou danos ambientais), resultantes da interação de perigos naturais que podem ter sido induzidos ou não pelo homem, da vulnerabilidade e do dano potencial (AMARAL e RAMOS, 2011).

De acordo com ISDR (2007), as inundações destacam-se como um risco e representam um dos fenômenos naturais mais ocorrentes no mundo, afetando numerosas populações em todos os continentes. As inundações causam impactos desastrosos nas áreas afetadas, podendo provocar perdas humanas e materiais.

As inundações têm causado também grandes desastres à população brasileira principalmente em razão da ocupação desordenada no leito maior dos rios e a impermeabilização do solo das bacias urbanas. Dessa forma, é possível afirmar que a falta de uma política de monitoramento e controle das inundações tem aumentado os prejuízos e perdas nas cidades, ocasionados pela falta de planejamento do espaço ocupado, falta de conhecimento do risco das áreas passíveis a inundação e interesse na solução desse problema (HORA E GOMES, 2009).

Observa-se que os danos causados pelas inundações tendem sempre a aumentar quando há o incremento dos eventos climáticos extremos, às constantes alterações do uso do solo, com o aumento da ocupação dos leitos de cheia com áreas urbanas e à destruição de áreas florestais, ou seja, as alterações das condições de drenagem natural como: a modificação da topografia e da cobertura vegetal, a impermeabilização sistemática de extensas áreas,

desvio incorreto e/ou canalização de linhas de água, conjugadas com a precipitação intensa, potenciam situações de inundação que é indispensável minimizar (TOMINAGA et al., 2009).

As alterações das condições de drenagem natural como: modificação da topografia e da cobertura vegetal, impermeabilização sistemática de extensas áreas, incorreto desvio e/ou canalização de linhas de água e obstrução do leito maior, conjugadas com precipitação intensa, acabam potencializando situações de inundação que é indispensável minimizar. Contudo, sabe-se que os instrumentos de planeamento territorial devem equacionar o ordenamento destas áreas de risco, tendo em conta a sua especificidade.

De acordo com Pereira e Ventura (2004) as inundações são provocadas por fatores naturais e ampliadas por fatores antrópicos. Nos primeiros se sobressai a precipitação (responsável primordial pelo desencadeamento da situação), regime de escoamento torrencial, configuração morfológica da bacia, natureza geológica dos solos e características da cobertura vegetal. Já nos segundos destacam-se a pressão urbana e a inerente impermeabilização de vastas superfícies como as obstruções à livre circulação da água, a artificialização de linhas de água e a diminuição das áreas de risco.

Segundo Tucci (2005), a gestão e o combate ao risco à inundação acontecem através da utilização de medidas de controle da inundação que visam tornar mínimo o risco das populações que estão expostas, diminuindo assim, os prejuízos causados. Essas medidas segundo o mesmo podem ser tanto do tipo estrutural como não estrutural, as medidas estruturais fundamentam-se em obras de engenharia que são implementadas para reduzir o risco de enchentes.

Diversos trabalhos vêm sendo desenvolvido destacando-se a realidade dos risco de inundação oferecido por áreas suscetíveis. Estudos como de Rocha (1998); Pereira e Ventura (2004); Naime et al., (2005); Hora e Gomes (2009); Lins-de-Barro e Muehe (2011); Cunha e Taveira-Pinto (2011); Andres et al., (2015), dentre outros procuram demonstrar a realidade de municípios ou de zonas costeiras avaliando sua vulnerabilidade e riscos ambientais, ai incluídos o risco de inundação.

2.3.3 Dinâmica das dunas

As zonas costeiras são áreas constituídas por uma grande diversidade de ecossistemas, proporcionados pela interface entre os meios aquáticos e terrestres, apresentando assim, um conjunto ímpar de relações entre os seres vivos que neles habitam e os elementos físicos que

os compõem. Neste contexto, nas zonas costeiras estão inseridos diversos ecossistemas que variam em sua formação e litologia (BAPTISTA, 2004; 2010).

A planície costeira brasileira abrange diversos desses ecossistemas que são de suma importância para o equilíbrio da vida no meio ambiente. Estes ecossistemas por sua vez, estão representados por um conjunto de unidades morfológicas que estão diretamente relacionadas com os componentes meteorológicos locais e regionais e caracterizam-se pelas constantes mudanças no tempo e no espaço, o que implica diretamente numa grande diversidade de feições geológicas, geomorfológicas e uma abundância de paisagens naturais (FERNANDES e AMARAL, 2013). Dentre estes ecossistemas encontram-se os campos de dunas móveis, os quais podem ser verificados nas mais diversas formas, extensões e caracterizações espaciais.

Segundo Cavalcanti (2004) as dunas móveis são elevações arenosas que não apresentam cobertura vegetal, sendo instáveis e migratórias. Estas dunas de formação mais recente avançam sobre outras unidades, que por não possuírem um revestimento vegetal suficientemente conservado não conseguem impedir o avanço das areias. Em sua fase inicial, as dunas móveis são originadas da deposição eólica dos sedimentos arenosos levados até a praia inicialmente pela ação continental e em seguida pela ação marinha, que aliada à intensidade e predomínio dos ventos alísios corresponde ao principal fator de sua formação e mobilização.

Assim, os campos de dunas destacam-se como elevações arenosas que se formam em locais onde o mar traz mais areia para a praia do que consegue levar de volta e em sua formação apresentam algumas características que favorecem o acúmulo de areia como: ventos constantes que sopram em uma direção predominante, baixa pluviosidade e uma área bastante extensa onde a areia possa se acumular (GUERRA, 1980).

Estes campos, ao se formarem, ganham contornos distintos, os quais se definem através de diferenciações estreitamente relacionadas à direção do vento dominante, à conformação da superfície percorrida pelos sedimentos desde sua disponibilização, à ação dos ventos na faixa de praia e à localização dessas dunas dentro do segmento costeiro (PINHEIRO, 2009).

Dessa forma, os campos de dunas móveis, sucintamente, podem ser entendidos como acumulações de sedimentos movidos pela força e competência do vento. Elas atuam como uma barreira natural para ondas altas e ventos fortes, além de ter papel fundamental no constante fornecimento de sedimentos para a praia.

Segundo Paula (2013) as dunas móveis partem geralmente da linha de praia, onde a ação dos ventos é mais intensa. Esses depósitos são originados por processos eólicos de

tração, saltação e suspensão subaérea. São formados por areias esbranquiçadas, bem selecionadas, de granulação fina a média, quartzosas, com grãos de quartzo foscos e arredondados.

Pinheiro, 2009; Moura-Fé, 2008 citado por Pinheiro et al., 2013) destacam que:

As dunas móveis são formadas a partir da acumulação de sedimentos, sobremaneira grãos de areia, os quais são removidos da face de praia e depositados costa adentro por conta da ação dos agentes eólicos (ventos predominantes). Além disso, vale informar que as dunas móveis caracterizam-se pela ausência de vegetação ou pela fixação de um revestimento pioneiro o qual detém ou atenua os efeitos da dinâmica eólica, responsável pela migração.

De acordo com a Fundação Centro de Pesquisas Econômicas e Sociais do Piauí (FUNDAÇÃO CEPRO, 1990; 1996b) as dunas móveis desempenham um papel importante na recarga dos aquíferos subterrâneos, graças à sua grande permeabilidade, que permite a pronta infiltração da chuva. Essas dunas, quando deslocadas pelo vento em direção às praias, fornecem areias para as correntes de deriva litorânea, contribuindo para o equilíbrio dinâmico das praias e planícies litorâneas, evitando assim, o incremento de fenômenos erosivos.

Ainda segundo a Fundação Cepro (1996b), a degradação das dunas móveis, pela ocupação humana e exploração desordenada, além de prejuízos à recarga e contaminação dos aquíferos, contribui e agrava o problema da erosão marinha.

De acordo com Machado et al., (2010) por apresentar uma importante beleza cênica, os campos de dunas móveis, destacam-se como palco para o desenvolvimento de diversas atividades humanas, principalmente a atividade turística. No entanto a pressão sobre o meio ambiente e, principalmente, a ocupação de áreas costeiras de forma indevida ou irregular, vem despertando a ação de mecanismos legais, a fim de proteger e organizar a ocupação da zona costeira dentre elas as áreas de dunas que cobrem grandes porções da costa brasileira.

As dunas, em seu processo de migração ao longo da costa, controlam e regulam o balanço sedimentar de todo o ambiente costeiro, porém, quando o homem interfere nestes processos, modificando a trajetória, a energia envolvida e o volume de areia em transporte, inicia-se uma nova dinâmica, que passa a ser regida pelo predomínio de fenômenos erosivos.

Assim, a erosão instala-se de forma definitiva quando grandes volumes de areia, que antes transitavam pela planície costeira, são desviados ou fixados pela expansão urbana e loteamentos mal planejados, suprimidos pela alocação inadequada de exploração mineral,

bloqueados por vias de acesso e complexos hoteleiro e, desta forma, impedidos de chegarem até a faixa de praia.

Dessa forma, vale ressaltar a importância da preservação das áreas de dunas móveis como forma de equilíbrio da natureza (área de recarga de aquífero, dinâmica sedimentar da zona costeira, além de seus aspectos estéticos que atraem o segmento turístico). Por essa razão se faz necessário uma política de uso adequado para essas áreas a fim de preservá-la com uso sustentável com base em leis e diretrizes sólidas e coerentes (PINHEIRO et al., 2013).

Diversos trabalhos vêm ganhando destaque com a ajuda do geoprocessamento e sensoriamento remoto em busca de avaliar a evolução morfodinâmica dos campos de dunas móveis presentes nas zonas costeiras considerando os efeitos dessa atividade migratória sobre o meio ambiente como é o caso de Meireles (2011) Fernandes e Amaral (2013); Mallavasi et al., (2013); Mitsova et al., (2005); Ramalho et al., (2013); Silva et al., (2015), dentre outros.

As dunas presentes no litoral brasileiro frequentemente se movem causando diversos transtornos à população, o que demonstra uma enorme limitação à zona costeira. Segundo Oliveira (2004), os fatores condicionantes do processo de vulnerabilidade dunar podem ser associados tanto a fatores de caráter antrópico quanto relacionados à dinâmica costeira atuante no local, sendo exemplos: a presença e o estado de danificação da vegetação, a velocidade e direção dos ventos, a variação sazonal das chuvas, o trânsito de pessoas e veículos, edificações sobre a linha de costa e na zona de acumulação praial, entre outros.

Mallavasi et al., (2013) procurando quantificar as mudanças da paisagem durante os últimos 50 anos, em um setor da costa italiana e analisar a sua configuração espacial em relação aos tipos de cobertura antrópicas para investigar os processos, subjacente a estas alterações, nas datas de 1954, 1986 e 2006, observaram que as alterações costeiras durante os 50 anos são notáveis. Houve uma redução substancial de extensão dos campos de dunas e uma alteração no seu padrão espacial. Houve também um aumento significativo de contatos, ou seja, um avanço das dunas móveis sobre as áreas urbanizadas e infra-estruturas, ocasionando danos e/ou prejuízos.

Mitsova et al., (2005) ao aplicar técnicas de geoprocessamento no cume do Jockey, localizado em Carolina do Norte, o maior campo de dunas ativa na costa leste dos Estados Unidos, com o objetivo de quantificar a sua deflação, migração horizontal rápida e sua evolução para o período de 1974 a 2004, observaram que o pico principal dunar, assim como dois dos picos menores localizados dentro do complexo de dunas revelaram um rápido crescimento do complexo de dunas seguida por uma velocidade mais lenta de deflação que continua até hoje. Os autores ressaltam que o aumento no número de visitantes no parque teve

pouco efeito sobre a taxa de deflação dunar, e que a migração de dunas horizontal de 3-6 m/ano em direção ao sul levou a areia dos limites do parque e ameaçou várias casas. Como resultado, a secção duna sul foi removida e a areia foi colocado no extremo norte do parque para servir como uma fonte potencial.

Dessa forma, nota-se que compreender as causas dos movimentos de migração dos campos de dunas atuais pode sugerir novas perspectivas sobre a gestão da duna como uma atração turística e, como um local de recreação, preservando seu caráter geomorfológico e comportamento dinâmico único.

Na Planície Costeira do estado do Piauí, também pode ser observado essa forte dinâmica dos campos de dunas móveis, ocasionadas principalmente pela ação dos ventos. As dunas migram em sentido transversal e vem afetando diretamente a população soterrando casas e vias de acesso como ruas e avenidas.

2.4 Sensoriamento remoto e SIG no mapeamento de ambientes costeiros

A partir das constantes preocupações e necessidades da sociedade em compreender o meio em que vive em especial o físico e representá-lo por meio de simbologias, surge a ciência cartográfica, que segundo Souza et al., (2004) está diretamente ligadas às técnicas de representação da realidade espacial. Esta se constitui numa importante ferramenta para as ciências da terra, ou seja, as Geociências, pois compreende a representação do espaço, das diversas variáveis que compõem a superfície terrestre, enfocando múltiplos aspectos tal qual a necessidade do pesquisador (SILVIA e RODRIGUES, 2009).

Com a constante evolução dos computadores digitais a partir das décadas de sessenta, século XX e conseqüentemente a crescente demanda pelo armazenamento, análise, manipulação e visualização de dados referentes à paisagem natural, os Sistemas de Informação Geográfica (SIGs) passam a ganhar bastante destaque, por apresentarem meios tecnológicos eficazes no entendimento da paisagem (BURROUGH, 1986; CÂMARA E MEDEIROS, 1996).

Estes destacam-se como softwares que detém a ferramenta fundamental para o tratamento da informação espacial com o intuito de geração de cartografia digital e com isso possibilitar a tomada de decisão e planejamento no uso de recursos naturais ou antrópicos.

Segundo Xavier-da-Silva (1982) os sistemas geográficos de informação podem ser considerados modelos digitais do ambiente, tendo o termo "ambiente" uma conotação adequadamente abrangente, considerando os fatores físicos, bióticos e sócio-econômicos que

configuram a realidade ambiental dos territórios sob estudo. Com esta concepção torna-se clara a potencialidade dos *SGIs* para a análise de fenômenos que tenham expressão territorial.

Os modelos de dados principais de um SIG segundo Novo (1998); Moreira (2005) e Jensen (2009) são o vetorial e matricial (*raster*) a partir dos quais se pode fazer análises e obter-se métricas sobre o uso e cobertura das terras, as quais permitem a produção de mapas, dados e inteligência a respeito dos alvos de estudo. A partir de dados de sensoriamento remoto, obtidos de satélites e sensores ópticos, por radar, de base orbital, suborbital ou aérea, é possível gerar grande quantidade de informação e processando-as de maneira bastante eficiente através de procedimentos incorporados em softwares de tratamento de imagens.

Nesse sentido, pode-se inferir que as técnicas de análise espacial, introduzidas com o surgimento do geoprocessamento, foram desenvolvidas no sentido de facilitar a tarefa de integração e espacialização dos dados especialmente quando eles têm diferentes origens, tipos e formatos. Essas técnicas, além de reduzir a subjetividade nos procedimentos de análise e aperfeiçoar a integração das informações do meio natural, possibilitam a realização de uma análise qualitativa e quantitativa da paisagem a partir de modelos distribuídos (XAVIER DA SILVA, 2001).

Conforme destaca Doné (1981):

[...] através de cartas são mostrados claramente os objetos e fenômenos estudados e suas correlações, auxiliando na ordenação do espaço, no grupamento dos diversos fatos geomorfológicos e na caracterização regional sendo, portanto, indispensáveis para o conhecimento científico e para as atividades práticas durante diversas etapas de pesquisa, exploração e modificação da superfície da terra pela sociedade [...].

Com o uso do geoprocessamento, tornaram-se disponíveis para as análises ambientais procedimentos que permitem a investigação detalhada de relacionamentos entre entidades pertencentes a um ambiente.

O uso de sensoriamento remoto também tem se destacado bastante no auxílio nos estudos ambientais, tendo em vista que este pode ser entendido como o conjunto de atividades que tratam da obtenção de informação relativa aos recursos naturais da Terra ou seu meio ambiente, por meio de sensores instalados a bordo de plataformas em altitude (tais como balões, foguetes, aviões e satélites), os quais coletam a radiação eletromagnética emitida ou refletida por um alvo, convertendo-a em um sinal que é posteriormente processado em terra, com fins de geração de imagens (SLATER, 1980). Assim sendo, não somente as imagens de satélite, mas também as originadas em plataformas aerotransportadas (aerofotogrametria analógica e digital) constituem a matéria de trabalho do sensoriamento remoto.

Dessa forma, o uso do sensoriamento remoto e do geoprocessamento tem sido empregado há algumas décadas nos estudos de impactos ambientais e dinâmica da paisagem em ambientes costeiros com destaque para os trabalhos de Fernandes e Amaral, 2013; Valladares et al., 2002; Andrade e Domingues, 2002; Marinho e Freire, 2013; Lopes et al., 2011; Araujo e kux (2005); Araujo e Freire, 2007; Farias e Maia, 2010; Mota et al., 2012, mota et al., 2013; Sousa, 2015; Santos et al., 2015; Aquino et al., 2016, que visam demonstrar a enorme variedade de ambientes existentes nesse ecossistema, sua fragilidade e a necessidade de pesquisas que venham a dar suporte à ocupação da terra de maneira adequada.

A pesquisa em questão utiliza-se de técnicas de geoprocessamento aliadas ao sensoriamento remoto como forma de interpretar a paisagem da Planície Costeira do estado do Piauí e desenvolver mapeamentos que auxiliem seu planejamento ambiental e territorial.

2.5 Potencial de Expansão Urbana nas terras da Planície costeira

O processo de urbanização, conhecido por Oliveira e Moraes (2014) como o processo responsável pela transformação de uma área rural em urbana e, caracterizado pelo aumento do contingente populacional e pelas mudanças na sua estrutura, tem possibilitado ao homem a constante criação de novos ambientes que resultam de interações cada vez mais complexas entre os diversos grupos sociais e a natureza.

O crescimento urbano acelerado tem sido desorganizado na grande maioria das cidades brasileiras, principalmente quando se fala em zona costeira. A ocupação urbana desordenada e irregular vem ocasionando sérios problemas conforme ressaltava Nascimento et al., (2009) como a ocupação de áreas de proteção ambiental, a ocupação de áreas sujeitas a inundações, ocupação de áreas com declividades acentuadas e de áreas com alta suscetibilidade aos processos erosivos. Como consequências, surgem cidades caóticas, com problemas de diversas naturezas, associados à inadequada ocupação do meio físico ou da desordenada organização espacial das atividades urbanas, que vem se acentuando nos últimos anos.

A relação espacial tão profunda entre a zona costeira e as atividades humanas nos remetem a um pensamento cada vez mais voltado para a total compreensão das potencialidades e fragilidades deste meio, além da ação e do papel de todos os atores sociais envolvidos nos processos espaciais e de gerenciamento deste espaço de trocas e conflitos sócio-ambientais.

Para tanto, a minimização dos problemas urbanos, decorrentes da desorganização em que se dá o crescimento das cidades, está associada à necessidade de um planejamento adequado da ocupação do solo. O estudo das características ambientais, físicas, sociais e econômicas do território urbano gera conhecimento necessário à tomada de decisão, na orientação da expansão física das cidades, visando garantir uma ocupação racional dos espaços, a prevenção de impactos ambientais e a prevenção de conflitos (NASCIMENTO et al., 2009).

Dessa forma, diante de tamanha pressão humana vivenciada principalmente em áreas costeiras, vê-se a necessidade de conhecimento e compreensão das potencialidades e limitações desses ambientes frágeis, diante da expansão urbana e a necessidade de verificar e entender se as terras da zona costeira apresentam vocação para edificação ou não.

Tendo em vista que diversos métodos que auxiliem na identificação de áreas com propensão à edificação podem auxiliar ao governo não só na determinação de áreas usadas de maneira imprópria como também no mapeamento de edificações irregulares diversas pesquisas foram desenvolvidas visando uma melhor ocupação do uso do solo para essas áreas, como os estudos feitos por Araújo e Kux (2005); Araujo et al., (2007); Marques et al., (2011); Nascimento et al., (2009), dentre outros.

Os sistemas de informação geográfica (SIG) vêm sendo utilizado no planejamento urbano como importante ferramenta na gestão do espaço, devido ao grande poder de automatização e análise de dados espaciais. Esses sistemas permitem realizar análise multicritério que, segundo Jannuzi et al., (2009) é uma técnica quali-quantitativa, situada no meio do *continuum* que separa as abordagens puramente exploratórias e pouco estruturadas de tomada de decisão e os modelos quantitativos rigidamente estruturados, voltados para a otimização de funções-objetivo, sujeitas a um conjunto de restrições.

Alves e Barroso (2001) ao gerar o mapa de potencial de uso e a ocupação do Distrito de Inoã-Maricá e da Região Oceânica de Niterói identificaram quatro classes de potencial de urbanização sendo elas classificadas em: áreas urbanizáveis, áreas com restrições à urbanização, áreas não urbanizáveis e áreas de preservação, sendo as áreas de preservação consideradas as áreas inaptas a urbanização por estarem associadas ao mangues, pântanos e brejos. As áreas urbanizáveis com restrições foram consideradas as áreas de aluvião, devido ao elevado nível do lençol freático e as áreas urbanizáveis foram consideradas as áreas que apresentaram declividade menor ou igual a 30%.

Nascimento et al., (2009) na avaliação das áreas favoráveis à ocupação urbana de João Pessoa-PB, utilizando-se de técnicas de geoprocessamento e análise de multicritério como a

lógica booleana, obteve como resultado final das operações realizadas, que da área total de 208,25 km² do município de João Pessoa, 83,09 km² (39,90%) foram considerados ruins para ocupação urbana, o que demonstra uma enorme parcela das terras impróprias para urbanização. Estas, por sua vez, apresentaram pelo menos dois critérios não satisfatórios, pois, são áreas que estão localizadas próximas às calhas de drenagem e são áreas com alta suscetibilidade à erosão e possibilidades de inundação.

No entanto, cerca de 125,16 km² (60,10%) dessas áreas de João Pessoa foram classificadas como áreas que podem ser utilizadas para tal ocupação. Nota-se, no entanto, no município que muitas delas acabam sendo utilizada de maneira de inadequada, indo contra as leis de capacidade ambiental.

Costa et al., (2011) utilizando-se de análise multicritério na investigação de áreas favoráveis para edificações com fundações rasas e profundas no município de Campos dos Goytacazes-RJ observou que as áreas de depósitos terciários do Grupo Barreiras, são as áreas mais favoráveis a edificação, tendo em vistas que são áreas onde os problemas de inundação não tem lugar. São depósitos de sedimentos que possuem boa capacidade de suporte sendo, portanto, áreas totalmente favoráveis à urbanização.

Essas pesquisas auxiliam de maneira satisfatória no uso de um planejamento ambiental, fornecendo informações necessárias sobre as potencialidades, vulnerabilidades, restrições e riscos de ocupação e intervenções possíveis na paisagem costeira bem como, auxiliam na identificação de áreas que devem ser indicadas para proteção e conservação.

CAPÍTULO III

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Localização da área de estudo

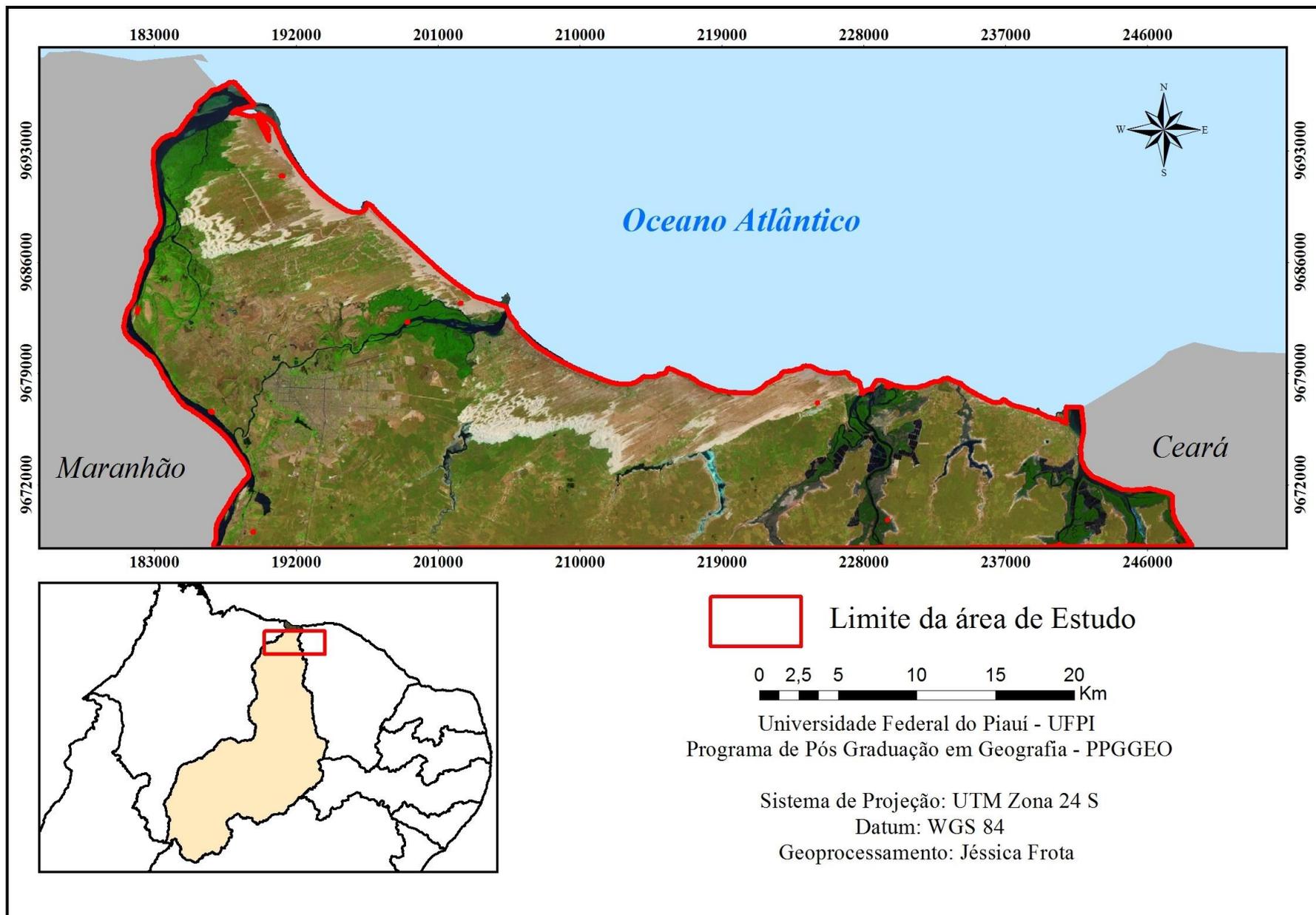
A planície costeira do estado do Piauí encontra-se localizada na porção norte do litoral piauiense e no nordeste setentrional do Brasil, apresentando uma linha de costa de 66 km (sentido Leste-Oeste), que vai desde a baía das canárias, no delta do Parnaíba, até o limite com o Ceará, na foz dos rios Ubatuba e Timonha (BAPTISTA, 1981; FUNDAÇÃO CEPRO, 1996).

O recorte espacial da área de estudo abrange o município de Ilha Grande e parcialmente os municípios costeiros de Cajueiro da Praia, Luís Correia e Parnaíba e ainda integra parte da área de Proteção Ambiental do Delta do Parnaíba (APA) (Figura 4). A área é limitada pelas coordenadas UTM 9668000/ 182000 W e 9668000/250000 e corresponde aos limites continentais das folhas topográficas SUDENE/DSG (1972) (SA 24 Y-A-IV) folha Parnaíba e (SA 24 Y-A-V) folha Bitupitá, ambas na escala 1:100.000.

3.2 Condicionantes físicos da área de estudo

A caracterização dos atributos geoambientais que compõem a paisagem é de extrema importância na compreensão da mesma, pois o conhecimento da situação real da paisagem só é possível, quando se tem o conhecimento de todos os elementos que a constituem. Dessa forma, sabendo que a planície costeira do estado do Piauí apresenta ambientes distintos, que diferenciam-se especificamente de acordo com as condições físicas dispostas ao longo da costa, procurou-se redigir uma caracterização desses aspectos físicos que envolvem a área de estudo, considerando a litologia da área, o relevo, os tipos de solo, a vegetação, o clima e a ocupação humana evidente na área.

Figura 4 – Localização da área de estudo: Planície Costeira do Estado do Piauí



Fonte: Imagem *Landsat 8*/ Elaborado por Frota, 2017.

3.2.1 Geologia

A geologia é a ciência que estuda a terra em todos os seus aspectos, e é através dessa ciência que descobrimos as informações mais remotas sobre a formação, evolução e estabilidade terrestre, isto é, a constituição e estrutura do globo terrestre, as diferentes forças que agem sobre as rochas, modificando assim as formas de relevo, a composição química original dos diversos elementos e a ocorrência e evolução da vida, através das diferentes etapas das histórias físicas da terra (SANTOS, 2004). Esta representa, ao mesmo tempo, um fator condicionante e limitante de muitos dos processos costeiros.

A estrutura geológica na qual está assentada a Planície Costeira do Estado do Piauí é a bacia do Maranhão-Piauí. Essa bacia apresenta 600.000 km² e esta inserida na Província Sedimentar do Meio-Norte. A bacia conta com um substrato representado por maciços arqueanos, crátons sisbrasilianos e cinturões orogênicos brasilianos sobre este substrato, implantaram-se estruturas derivadas de grabens no Mesoproterozóico, Neoproterozóico e no Fanerozóico (SILVA et al. 2003).

De acordo com dados da CPRM (2004) seguindo o recorte espacial proposto para pesquisa, a planície costeira do estado do Piauí é dividida em quatro unidades litoestratigráficas, sendo elas: Depósitos litorâneos; Paleodunas; Depósitos de pântanos e mangues e grupo Barreiras. Estes são compostos principalmente por:

- **Depósitos litorâneos:** compostos de areias finas e grossas e por dunas móveis. Estes localizam-se mais próximo a linha de costa.
- **Paleodunas:** compostos por areias bem selecionadas, quartzosas ou quartzo-feldspáticos;
- **Depósitos de pântanos e mangues:** compostos por areia, silte, argila e material orgânico.
- **Grupo Barreiras:** composto principalmente por arenitos e conglomerados, com intercalações de siltitos e argilitos, sendo esta a unidade que apresenta maior representatividade dentro da planície costeira.

Cavalcanti (2000) ressalta que os aspectos geológicos da planície costeira do estado do Piauí estão relacionados às coberturas da era Cenozóica e abrangem dois períodos distintos, sendo eles o Terciário e o Quaternário. Segundo o mesmo, o período Terciário está representado pelo grupo Barreiras, composto por rochas não consolidadas ou que foram depositadas em discordância, sobre rochas de idade mais antiga.

O grupo Barreiras ocorre em praticamente toda a zona costeira do Piauí, formando os tabuleiros, é composto principalmente por conglomerados, arenitos grosseiros e finos com intercalações locais de siltitos e argilitos. Apresenta coloração variando de cinza claros, vermelho-alaranjada, e amarelo-avermelhada. Sua estratificação é indistinta e em geral com suave inclinação para o mar (PAULA, 2013).

O período Quaternário, que comporta os sedimentos mais recentes, está representado por sedimentos de dunas e aluviões. Constitui-se de areias quartzosas, de coloração predominantemente clara e granulação fina a média, sobrepostos aos sedimentos da Formação Barreiras (CAVALCANTI, 2000).

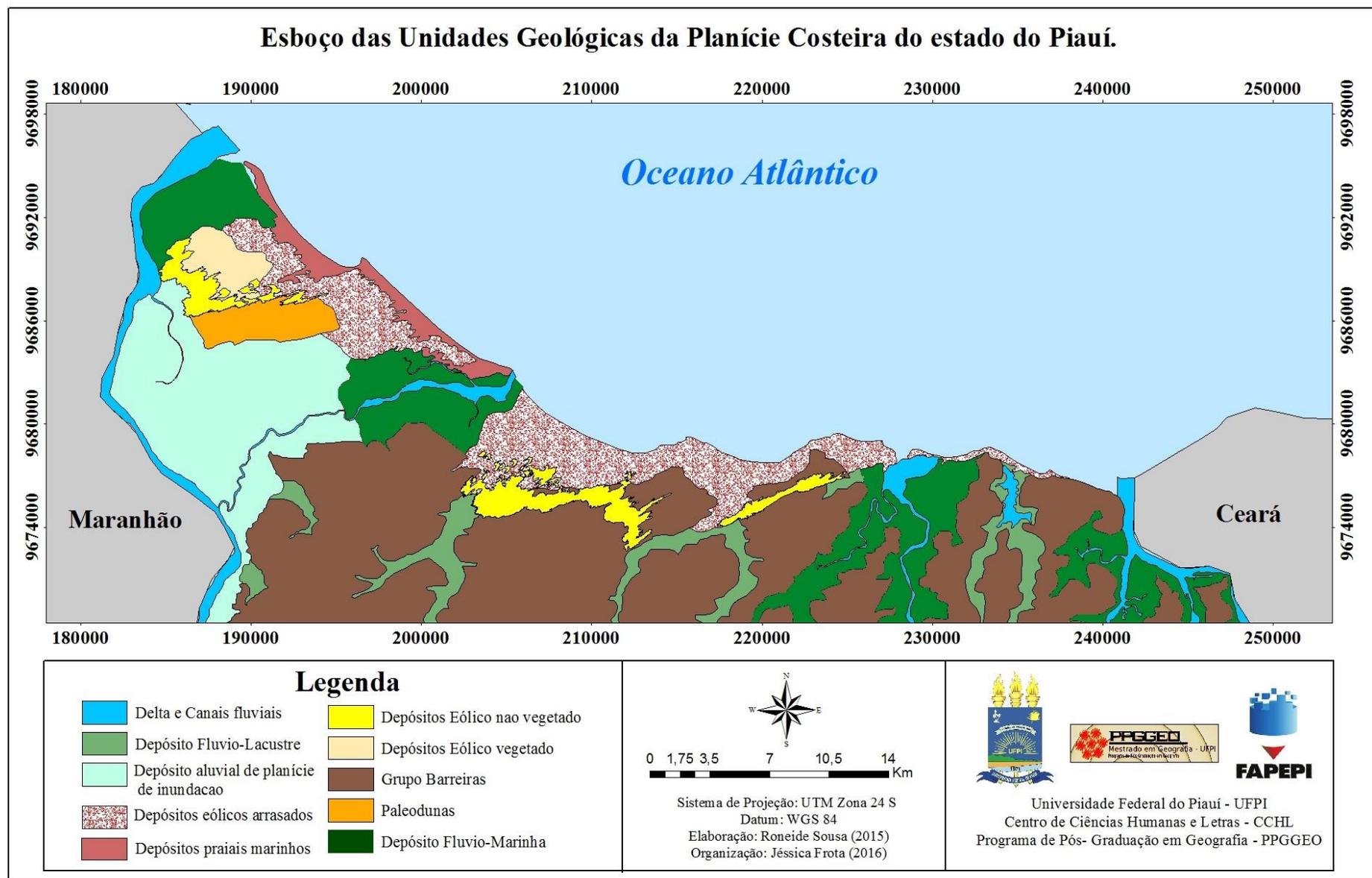
No trecho de ocorrência de sedimentos do período do Quaternário, de acordo com Santos Filho et al. (2010) podem ser observadas particularidades predominantes como uma área praiana com algumas formações rochosas (*beach rocks*) na localidade denominada Pedra do Sal, município de Parnaíba (PI); presença de recifes de arenito na localidade Carnaubinha, município de Luiz Correia (PI) e a formação de dunas pleistocênicas, ao longo de várias praias do município de Luiz Correia (PI).

Segundo o mapeamento geológico mais recente realizado por Sousa (2015) em uma escala de 1:100.000 com maior detalhe, a área de estudo apresenta nove unidades geológicas, sendo elas: Depósitos eólicos não vegetados; Depósito aluvial de planície de inundação; Depósito fluvio-marinho; Grupo Barreiras; Depósitos eólicos vegetados; Depósitos fluvio-lacustre; Paleodunas e Depósitos praias marinhos e eólicos (Figura 5).

Observando o mapa, pode-se perceber que parte significativa do litoral é coberto por sedimentos do grupo Barreiras, nos limites entre as áreas litorâneas de Luiz Correia e Cajueiro da Praia, na foz do rio Camurupim, denominada por Baptista (1981) como Ponta do Anel e popularmente conhecida como Praia do Macapá. Esta unidade corresponde a cerca de 367,83 km² da área de estudo representando portanto 40,62% da área.

Os depósitos fluvio-marinho, os depósitos aluvial de planície de inundação e os depósitos eólicos arrasados são também bastante representativos na área de estudo correspondendo a respectivamente (15, 43%; 13, 01% e 11, 06%) da área de acordo com Sousa (2015). Nota-se que os depósitos eólico arrasados representam a superfície de deflação da planície costeira, sendo estes seguido dos depósitos praias marinhos. Vale ressaltar também que esta unidade por possuir campos naturais é bastante utilizada para criação da pecuária extensiva e está predominantemente sobre neossolos quartzarênicos.

Figura 5 – Esboço das Unidades Geológicas da Planície Costeira do estado do Piauí



Fonte: Adaptado de Sousa, 2015.

Os depósitos eólicos não vegetados abrangem 32,48 km² da área de estudo e representam cerca de 3,58% da área (SOUSA, 2015). Estes sofrem bastante influencia dos ventos que sopram de nordeste e sudoeste, variando bastante de acordo com o período do ano, conforme ressalta Pinheiro et al. (2013). Já os depósitos fluvio-lacustre, os depósitos eólicos vegetados, os depósitos praias marinhos e as paleodunas juntos correspondem a cerca de 10,57% da área, estando os depósitos eólicos vegetado, os depósitos praias marinhos e as paleodunas localizados na porção oeste da planície costeira do estado do Piauí.

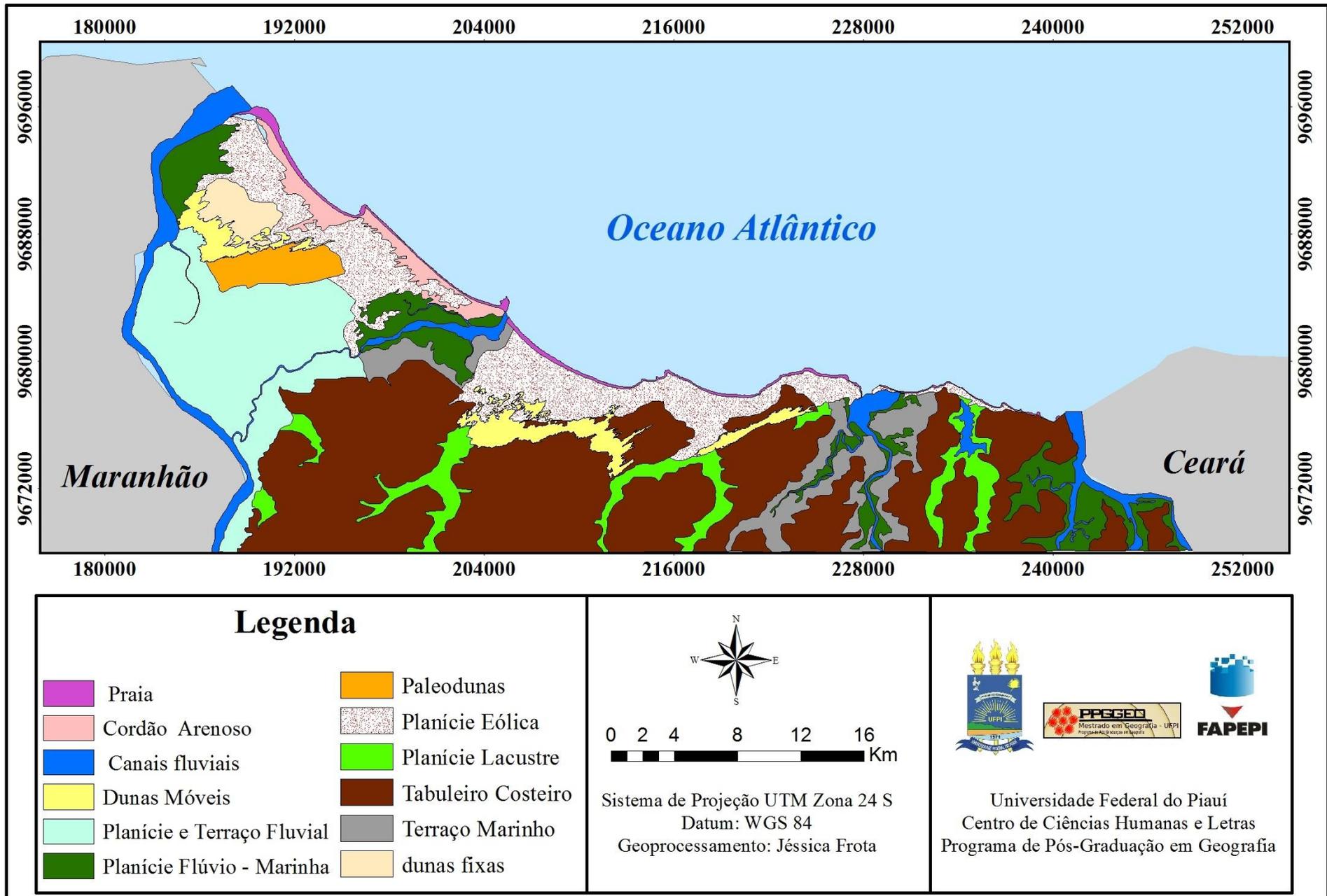
Segundo Sousa (2015) a unidade de depósitos praias marinho é a unidade que por localizar-se mais próximo da linha de costa, recebe forte influencia das marés através do transporte e deposição de sedimentos, sendo classificados como ambiente instável, pois os processos morfogenéticos são intensos.

3.2.2 Geomorfologia

O estudo geomorfológico reveste-se de grande importância em estudos ambientais, tendo em vista que esta procura mostrar a distribuição espacial dos conjuntos de forma que compõem cada compartimento estrutural, suas origens e características evolutivas (LIMA, 1987).

Segundo dados do RADAMBRASIL (1981) as unidades geomorfológicas que compõem a planície costeira do estado do Piauí compreende os: 1 - relevos de agradação e os 2- relevos de degradação. Os relevos de agradação são aqueles em que predominam os processos deposicionais, tanto do tipo continental como é o exemplo da planície fluvial e do tipo litorâneo como é o caso da planície costeira, da planície fluvio-marinha, das planícies colúvio-alúvio-marinhas e as planícies flúvio-lagunares. Já os relevos de degradação, destacam-se por haver um predomínio dos processos erosivos como é o caso dos tabuleiros.

Sousa (2015) em um trabalho mais detalhado sobre o mapeamento das unidades geomorfológicas da planície costeira do estado do Piauí na escala de 1: 100.000 identificou 10 (dez) unidades geomorfológicas para a área de estudo sendo elas: Cordão arenoso, planície eólica, dunas móveis, dunas estabilizadas, paleodunas, planície flúvio-marinha, terraço-marinho, planície e terraço- fluvial, planície lacustre e tabuleiro costeiro (Figura 6)



Analisando o mapeamento geomorfológico feito por Sousa (2015) e levando em consideração o mapeamento de vulnerabilidade ambiental² feito pela mesma para a planície costeira do estado do Piauí, vale ressaltar que, as áreas correspondentes aos terraços marinho, a planície flúvio-marinha, as dunas móveis e frontais, o cordão arenoso e partes da planície eólica apresentaram elevado grau de vulnerabilidade variando de (2,6 - 3,0) por estarem muito próximo da linha de costa acabam por sofrer uma maior intensidade dos processos costeiros. Já a planície lacustre, a planície e terraço- fluvial, as dunas estabilizadas e parte do terraço marinho e da planície eólica apresentam grau moderadamente vulnerável, variando de 2, 1 a 2,6 estando ai incluído as áreas próximas à lagoa do portinho e sobradinho.

A unidade de tabuleiros costeiros por representar a maior parte da área de estudo apresentou grau de vulnerabilidade variando de estável a medianamente estável (1,3 – 2,1) estando a superfície que corresponde à área urbana de Parnaíba inserida no grau de vulnerabilidade medianamente estável.

Vale ressaltar que Szczygielski et., al (2015) em seus estudos sobre o Delta do Parnaíba, procuraram analisar a tardia evolução Holocênica do mesmo, ressaltaram que dois tipos de costas dominam a região do Delta do Parnaíba, sendo elas divididas em parte oriental e parte ocidental. Segundo os autores, a parte oriental do delta consiste em uma forma ativa de migração dos campos de dunas costeiras, que abrange as florestas de mangue e apresentam praias de até 200 m de largura e barreiras progradantes caracterizando assim a geomorfologia costeira desta geofácia. Já a parte Oeste da foz do rio, ainda segundo o autor é dominada pela planície de maré e as planícies de deflação encontram-se preservadas entre as ilhas e planícies deltaicas. Além disso, os campos de dunas e praias são mais estreitos que os do lado leste e a vegetação encontra-se “virgem” representando enormes lodaçais (Mangue).

2

Mapeamento realizado por Sousa (2015) na planície costeira do estado do Piauí, com a finalidade de analisar os efeitos da susceptibilidade do ambiente às pressões antrópicas, identificando as áreas que necessitam de atenção especial, visto sua fragilidade natural.

3.2.3 Pedologia

De acordo com o mapeamento exploratório de reconhecimento de solos do estado do Piauí realizado por Jacomine (1986) as associações de solos predominantes na planície costeira do estado do Piauí são: Neossolos Quartzarênicos; Gleissolos Sálícos; Planossolos Nátrico; Latossolos e Argissolos.

Conforme descrito no mapeamento exploratório, os Neossolos Quartzarênicos são solos arenosos essencialmente quartzosos, profundos, excessivamente drenados, ácidos a fortemente ácidos e de muito baixa fertilidade natural. Esses solos compreendem tanto as dunas fixas como as dunas móveis. São solos originados de dunas antigas já fixadas pela vegetação. São solos desprovidos de minerais primários facilmente decomponíveis e de muito baixa fertilidade natural.

Esses solos são derivados de arenitos de diversas formações geológicas (Cabeças, Sambaíba, Pimenteiras, Itapecurú, Pedra de Fogo) e de sedimentos do Grupo Barreiras, no entanto, são solos que apresentam um baixo aproveitamento tanto para agricultura como para a pecuária, por serem fortemente ácidos e extremamente arenosos (JACOMINE, 1986).

Outra classe de solos encontrada na planície costeira do estado do Piauí, segundo Jacomine (1986) são os Gleissolos Sálícos, são solos halomórficos, poucos diferenciados, que apresentam acumulação de sais solúveis, tendo um horizonte A pouco espesso e apresentam normalmente crostas superficiais de sais cristalinos no período seco. São solos originados de sedimentos aluviais recentes, em relevo plano de várzeas, o que os assemelha aos solos aluviais. Ainda segundo o mesmo autor, esses solos distribuem-se nas várzeas próximo as desembocaduras dos rios litorâneos e atualmente são bastante aproveitados para fins agrícolas em virtude de sua alta salinidade.

Os Planossolos Nátricos são solos rasos a moderadamente profundos, distribuídos em relevos planos da planície fluviais. São solos que apresentam baixa permeabilidade e são fortemente susceptíveis a erosão (FUNDAÇÃO CEPRO, 1996). De acordo com Jacomine (1986) são solos halomórficos com horizonte B solonétzico ou nátrico, o qual constitui uma modalidade especial de horizonte B textural. Apresentam uma sequência de horizontes subsuperficiais com aspectos associados à umidade em excesso ou drenagem imperfeita, tais como mosqueados ou cores de redução. Apresentam saturação com sódio trocável igual ou maior que 15% no horizonte Bt (textural) e/ou C, horizonte B com estrutura colunar ou prismática e transição do horizonte A para o horizonte Bt quase sempre abrupta.

Os Latossolos Amarelo característicos da área de estudo, são solos de textura arenosa e média, bastante profundos, fortemente e bem drenados, apresentam estrutura em grãos simples, maciça e em blocos subangulares e fertilidade natural baixa. Os Argissolos, que são os antigos Podzólicos Vermelho, são solos bastante profundos, que apresentam horizonte B textural em função da elevada concentração de argila não apresentando hidromorfismo. Na área de tabuleiros de Formação Barreiras, pode-se observar que esses solos apresentam cores mais acinzentadas (JACOMINE, 1986; RADAMBRASIL, 1981).

Outra classe de solo presente na área de estudo descrito por Jacomine (1986) e RADAMBRASIL (1981) são os solos indiscriminados de mangue. Estes são tidos como solos constituídos por sedimentos não consolidados, de origem fluvio-marinha, formado por um material muito fino misturado a materiais orgânicos provenientes principalmente da deposição de detritos do mangue e da atividade biológica provocada. Esses solos distribuem-se ao longo da faixa costeira em trechos de baixada litorânea, nas proximidades das desembocaduras dos rios, margens de lagoas e partes baixas da orla marítima, sob influência das marés, onde a diminuição da correnteza d'água favorece a deposição de sedimentos de material fino com detritos orgânicos. Esses detritos orgânicos são provenientes de decomposição das plantas dos mangues e da intensa atividade biológica produzida pelos caranguejos, que são abundantes nesses terrenos lamacentos.

Vale ressaltar que durante os campos realizados, para obtenção dos dados para esta pesquisa foram descritos e coletados alguns perfis, por meio de trincheiras e tradagens com extensões e profundidades suficientes para classificação dos solos. Através dessa descrição foram ponderadas as características morfológicas importantes para a caracterização e classificação do solo, levando como base o SIBCs (Sistema Brasileiro de Classificação de Solos) realizado pela Embrapa (2013). Observou-se as amostras nas cores úmidas e seca dos horizontes superficiais, assim como as cores úmidas dos horizontes subsuperficiais, conforme a carta de cores de Munsell (2009).

Assim, através da classificação expedita realizada em campo, foi possível identificar algumas classes de solo, em especial na região do Delta do Parnaíba, onde foi melhor detalhada a classificação feita por Lima et al (2016). Cabral e Valladares (2015) em um estudo espacializado dos solos presentes na planície costeira do estado do Piauí também descreveram para a área de estudo sete perfis de solo.

Dessa forma, Levando em consideração a classificação de solos realizada por Cabral e Valladares (2015) e Lima et al., (2016) foram encontradas as seguintes classes de solo na planície costeira do estado do Piauí (Argissolo Amarelo, Neossolo Quartzarênico, Cambissolo

Flúvico e Neossolo Flúvico, Planossolo, Espodossolo Humilúvico e Vertissolos. Também foi possível destacar e classificar alguns solos representativos nas áreas de mangue como Gleissolo Sálico, Gleissolo Flúvico e Plintossolo (Figura 7).

Segundo Lima et al., (2016) e Cabral e Valladares (2015) os perfis P.08, P.18 e P.19 estão representados por um Gleissolo Sálico. Segundo os autores esses solos não apresentam potencialidade agrícola devido a presença do lençol freático elevado e o risco de inundação frequente, possuindo, portanto, limitações fortes ao uso de máquinas agrícolas. O perfil P.17 corresponde a um Argissolo Amarelo Distrocoeso típico. Esse tipo de solo encontra-se localizado em áreas de tabuleiros costeiros, ou seja, em áreas de relevo plano a suave ondulado. São solos que podem ser utilizados para o manejo de diversas culturas, no entanto, eles apresentam textura média, o que denota maior susceptibilidade a erosão.

Os perfis P.04 e P.09, P.15 e P.16 foram classificados como Neossolo Quartzarênico. Estes solos possuem uma baixa fertilidade natural e uma baixa retenção e disponibilidade de água. São solos arenosos e possuem uma elevada permeabilidade, possuem baixa produtividade agrícola podendo resultar em baixas produtividades.

Os perfis P.10 e P. 11 foram classificados como Espodossolo Humilúvico, que são originários de sedimentos arenosos e argilosos em profundidade.

O perfil P.01, P.02 e P.14 foi classificado como Neossolo Flúvico, esses solos apresentam um bom sistema de drenagem e um bom potencial agrícola. Já o perfil P.13 foi classificado como um Cambissolo Flúvico Sódico Vertissólico salino, segundo Cabral e Valladares (2015), esse tipo de solo possui um bom potencial agrícola para culturas adaptadas às condições de drenagem impedida como é o caso da rizicultura irrigada. Esses solos possuem ainda um caráter vértico apresentando fendilhamento quando seco e superfícies de fricção e compressão.

Os Gleissolos Flúvico (P.05) são solos de material originário muito argiloso e muito mal drenados, esses solos foram coletado as margens de um igarapé no Delta do Parnaíba. Já o Gleissolo Fluvissólico (P.06) coletado nas Ilhas da Batata no Delta do Parnaíba, são solos muito mal drenados muito próximos a vegetação de aninga.



Fonte: Adaptado de Lima et al.(2016) e Cabral e Valladares (2015).

Dessa forma, observando a espacialização desses solos coletados e levando em consideração o mapeamento de unidades de paisagem realizado por Sousa (2015) para a planície costeira do estado do Piauí, pode-se inferir que os solos representativos desse ambiente costeiro estão inseridos principalmente dentro das unidades de paisagem: Planície e Terraço Fluvial; Planície Flúvio- Marinha; Terraço Marinho; Paleodunas; Áreas de Tabuleiro e Planície Eólica.

3.2.4 Clima

A zona costeira é influenciada por diversos agentes oceânicos, atmosféricos e continentais, motivo pelo qual ela é particularmente sensível a mudanças climáticas (MUHE e NEVES, 2008). Em relação aos parâmetros climáticos, a exemplo da porção setentrional do Nordeste brasileiro, o litoral do Piauí é submetido aos efeitos de sistemas geradores das condições de tempo, especialmente no que se refere ao regime das chuvas, onde o principal sistema responsável pela quadra chuvosa é a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT). Sua influência se traduz em chuvas intensas e relativamente regulares, principalmente nos meses de março-abril, onde se verificam os índices mais elevados de chuva (OLIVEIRA, 1999).

As linhas de instabilidade (LI) também são exemplos de sistemas atmosféricos que atuam no litoral do Piauí, estas, são bandas de nuvens causadoras de chuva. Segundo Ferreira e Melo (2005) sua formação se dá basicamente pelo fato de que com a grande quantidade de radiação solar incidente sobre a região tropical ocorre o desenvolvimento das nuvens cumulus, que atingem um número maior à tarde e início da noite, quando a convecção é máxima, com consequentes chuvas.

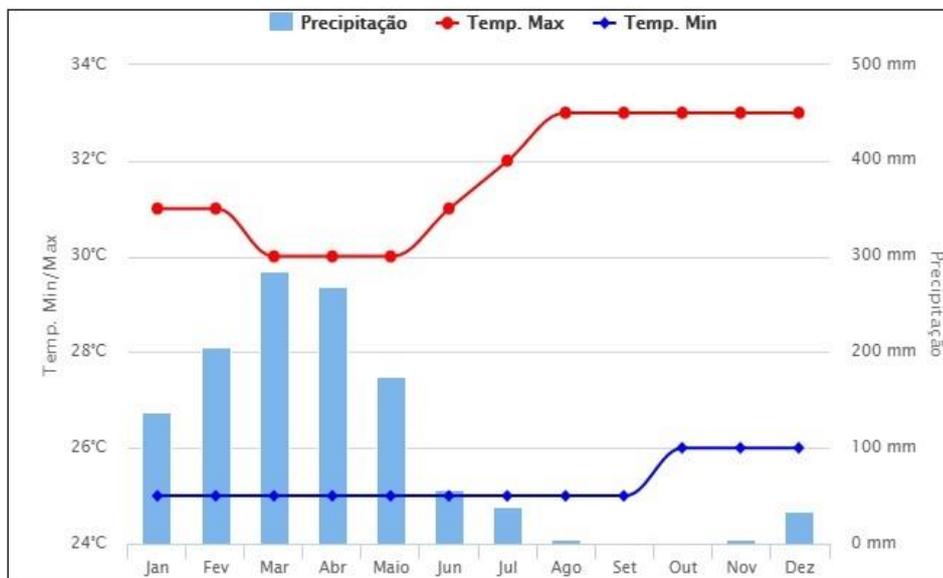
Outro sistema atmosférico atuante na região do litoral do Piauí são os CCMs (Complexos Convectivos de Mesoescala) estes segundo Ferreira e Melo (2005) são aglomerados de nuvens que se formam devido às condições locais favoráveis como temperatura, pressão, relevo, dentre outros, e provocam chuvas fortes e de curta duração, normalmente acompanhadas de fortes rajadas de vento.

De acordo com Cavalcanti (1996) a planície costeira do estado do Piauí possui índices elevados de precipitação pluviométrica, tratando-se, portanto de uma área privilegiada, porém ao longo do ano a ocorrência das chuvas se dá de forma bastante irregular, sendo divididas ao ano em dois períodos distintos: o período chuvoso, que se inicia em dezembro e se prolonga até abril ou maio, com precipitações de grande intensidade, com máxima de 298.4 mm no mês

de março e o período seco, que corresponde aos meses de junho até novembro, quando as precipitações são esparsas alcançando a mínima de 1.1 mm no mês de setembro.

Analisando as condições climáticas da área de estudo, através dos dados obtidos no site aberto denominado de *clima tempo*, pode-se observar o comportamento da temperatura e precipitação nos municípios que compõem a área em estudo (Figuras 8, 9, 10 e 11). As médias climatológicas mostram os valores calculados a partir de uma série de dados de 30 anos observados sendo possível identificar as épocas mais chuvosas/secas e quentes/frias da área de estudo.

Figura 8 – Comportamento da temperatura e da chuva - Ilha Grande

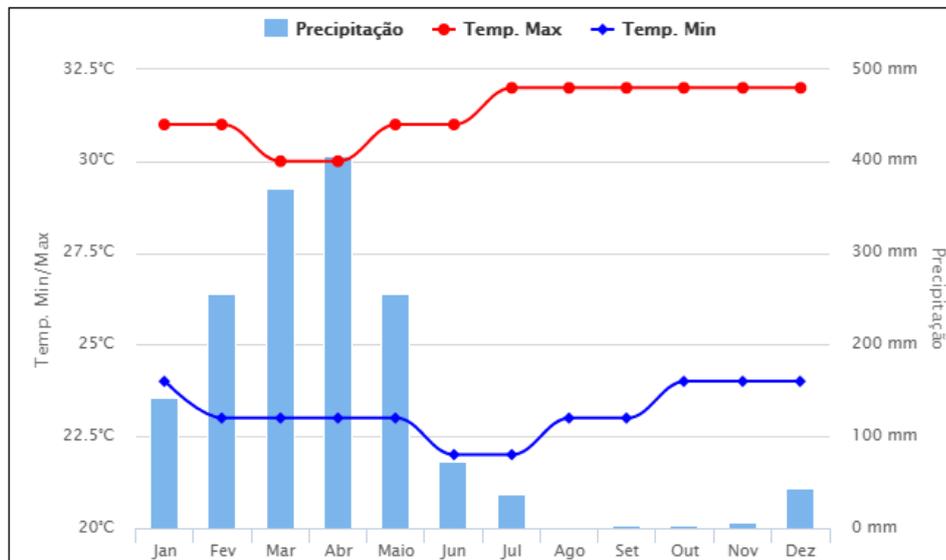


Fonte: INMET/CFS/Interpolação

Através dos dados apresentados para o município de Ilha Grande, observa-se que o período chuvoso do município se estende de janeiro a junho, com temperaturas máximas de 33° C durante os meses de setembro a dezembro e mínimas de 25°C, de janeiro a setembro.

Segundo Aguiar (2004) as condições climáticas do município de Ilha Grande (com altitude da sede a 10 m acima do nível do mar) apresentam um clima quente tropical. A precipitação pluviométrica média anual seguindo uma série de 30 anos é definida no Regime Equatorial Marítimo, com isoietas anuais entre 800 a 1.600 mm, cerca de 5 a 6 meses como os mais chuvosos e período restante do ano de estação seca. O trimestre mais úmido é o formado pelos meses de fevereiro, março e abril, sendo o mês de março o que mais se destaca apresentando um volume de precipitação máxima de 284 mm.

Figura 9 – Comportamento da temperatura e da chuva - Parnaíba

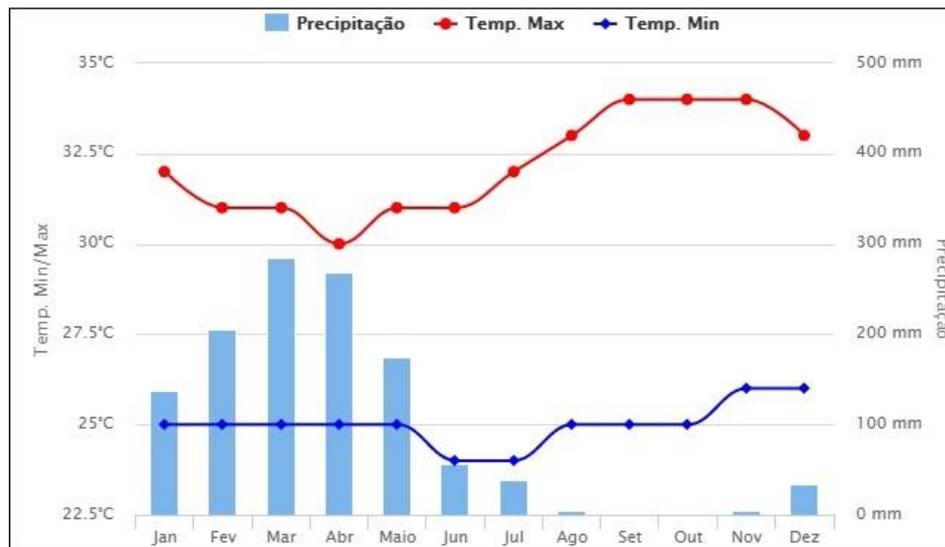


Fonte: INMET/CFS/Interpolação

Através da (figura 9) pode-se perceber que o município de Parnaíba apresenta índices pluviométricos mais elevados no mês de abril, ocorrendo o período mais chuvoso durante os meses de dezembro a junho. Observa-se também que o município apresenta uma temperatura máxima de 32° C principalmente nos meses mais seco (junho-dezembro) e temperatura mínima de 24°C no trimestre mais chuvoso (fevereiro- março-abril).

De acordo com Aguiar (2004) o município de Parnaíba (com altitude da sede a 5 m acima do nível do mar), apresenta clima quente tropical com precipitação pluviométrica média anual com registro de 1.200 mm, na sede do município e cerca de 5 a 6 meses chuvosos e o período restante do ano de estação seca. O trimestre mais úmido é o verificado nos meses de fevereiro, março e abril.

Figura 10 – Comportamento da temperatura e da chuva– Luís Correia

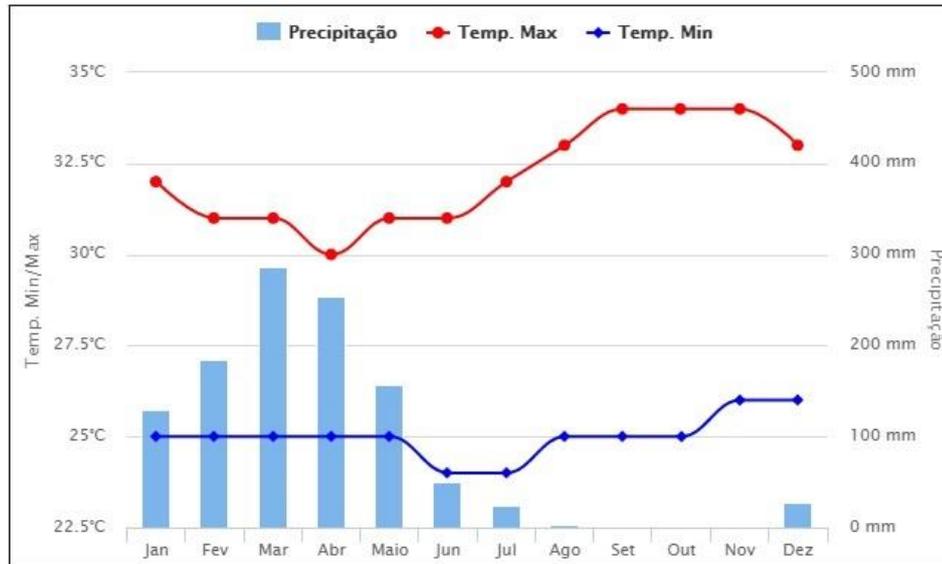


Fonte: INMET/CFS/Interpolação

Para o município de Luís Correia (figura 10) observa-se que a temperatura mínima apresenta uma estabilidade que vai de janeiro a maio representando 25° C, atingindo os 24°C nos meses de junho e julho. Já a temperatura máxima encontrada é de 34°C principalmente durante os meses de setembro a novembro. Observa-se também que os períodos de janeiro a junho compreendem os meses mais chuvosos da região, sendo março e abril o mais representativo entre eles.

As condições climáticas do município de Luís Correia (com altitude da sede a 10 m acima do nível do mar) apresentam temperaturas mínimas de 25°C e máximas de 32°C, com clima quente tropical. A precipitação pluviométrica média anual (com registro de 1.200 mm, na sede do município) é definida no Regime Equatorial Marítimo, com isoietas anuais entre 800 a 1.600 mm, cerca de 5 a 6 meses como os mais chuvosos e período restante do ano de estação seca. O trimestre mais úmido é verificado nos meses de fevereiro, março e abril (AGUIAR, 2004).

Figura 11 – Comportamento da temperatura e da chuva - Cajueiro da Praia.



Fonte: INMET/CFS/Interpolação

Observando os dados da (figura 11) nota-se que o município de Cajueiro da Praia apresenta anualmente uma temperatura máxima de 34° C nos meses de setembro-outubro-novembro e uma temperatura mínima de 24° C nos meses mais chuvosos que vão de fevereiro a abril.

Segundo Aguiar (2004) as condições climáticas do município de Cajueiro da Praia (com altitude da sede a 10m acima do mar) apresentam temperaturas mínimas de 25°C e máximas de 35°C com clima quente tropical. A precipitação pluviométrica média anual apresenta isoietas anuais entre 800 a 1.600mm, cerca de 5 a 6 meses como os mais chuvosos e o período restante do ano apresentando estação seca. O trimestre mais úmido é o constatado durante os meses de fevereiro, março e abril.

3.2.5 Vegetação

A vegetação das planícies costeiras do Brasil é bastante heterogênea, tanto em seu aspecto florístico como em seu aspecto estrutural, caracterizando assim, formações diversas. As unidades de vegetação identificadas na planície costeira do estado do Piauí apresentam diferenciações ao longo da mesma, decorrentes tanto da variação na composição edáfica como na profundidade do lençol freático (SILVA & BRITZ, 2005; SILVA, 2015).

Segundo dados do RADAMBRASIL (1981) a área de estudo apresenta três grandes unidades fitoecológicas sendo elas: o complexo vegetal litorâneo; a mata ciliar e lacustre e a mata de tabuleiro. Esses tipos de vegetação apresentam espécies de estrato herbáceo, com

porte arbóreo-arbustivo e herbáceo-arbustivo. Apresentam vegetação de mangue bastante espacializada, vegetação ciliar fortemente alteradas, constituídas principalmente por carnaúbas e a mata de tabuleiro, bastante descaracterizada devido a ação do homem.

Soares Filho (2010) em uma análise da fisionomia das restingas presentes no delta do Parnaíba destaca que as unidades de restinga presentes nessa área, dividem-se em três formações básicas sendo elas: i) formação campestre; ii) formação arbustiva e iii) formação arbórea. A Formação campestre segundo o autor ocupa toda a extensão litorânea, desde áreas com baixa antropização até áreas sujeitas a forte impacto antrópico, como em áreas adjacentes às praias mais frequentadas como Atalaia, Coqueiro e Barra Grande. Nestes ambientes predominam espécies herbáceas típicas como *Blutaparon portulacoides* (A.St.-Hil.) Mears, (espécie vegetal muito comum em solos arenosos, como as restingas); *Ipomoea asarifolia* (Desr.) Roem, (planta herbácea de característica trepadeira e rasteira, de flores róseas de formato infundibuliforme e folhas glabras), dentre outros.

As Formações arbustivas, ainda segundo Silva Filho (2010) caracterizam-se por apresentar duas feições, associadas aos fatores edáficos, podendo ser constituídas por: fruticetos em áreas inundáveis e fruticetos em áreas não inundáveis, ambos abertos. A espécie facilitadora, observada em campo, mais frequente nesta feição é o cajueiro (*Anacardium occidentale* L.). Isso pode ser comprovado em campo principalmente em áreas próxima ao município de Ilha Grande.

As formações florestais das restingas piauienses segundo o autor são caracterizadas por apresentarem dossel variando entre 4 a 6 m de altura possuindo certa homogeneidade e por serem caducifólias, no período de estiagem. As plantas mais frequentes desta formação foram *Caesalpinia pyramidalis* var., popularmente conhecida como Catingueira; *Anacardium occidentale* L. (Cajueiro); *Mimosa invisa* Mart. ex Colla; *Piptadenia moniliformis* Benth, conhecida como Cantanduba e *Jatropha mollissima* Baill, popularmente conhecida como Pinhão- Bravo.

Levando em consideração também o mapeamento de uso e cobertura das terras realizado por Sousa (2015) para a área de estudo, a planície costeira do estado do Piauí esta representada por quatro unidades Vegetacionais melhor detalhadas no (Quadro 2).

Quadro 2 – Quadro representativo das Unidades Vegetacionais da Planície Costeira do estado do Piauí

UNIDADES VEGETACIONAIS	CARACTERÍSTICAS
Vegetação de mangue	Corresponde a área próxima ao litoral com predomínio de manguezais. Essas áreas apresentam vegetação arbórea composta por espécies que são típicas desse local.
Vegetação de várzea associada a carnaúbas	Compreende aos tipos de vegetação próximo às margens dos rios, muitas vezes associados a carnaubais.
Vegetação arbustiva densa	Representam as áreas em que permanece a vegetação nativa do local, ou seja, são áreas em que não houve modificação antrópica.
Vegetação de caatinga aberta	Esta classe corresponde às áreas em que se encontra uma composição mista de vários tipos de vegetação em pequenas áreas, como cajueiro em vários estádios de desenvolvimento, culturas anuais e perenes, vegetação nativa, vegetação ciliar, agricultura de subsistência e coco.

Fonte: Adaptado de Sousa (2015).

Em campo pode observar-se que as espécies vegetais de maior ocorrência na vegetação de mangue são o mangue vermelho, o mangue negro e o mangue branco, destacando-se também outras espécies edáficas como o Jiquiriti (*Abrus precatorius*), onde segundo Guzzi (2012) é bastante utilizado no artesanato. Observou-se que a vegetação de várzea apresenta-se aparentemente conservada próximo ao leito do rio Parnaíba e que parte da vegetação de mangue vem sendo substituída pela vegetação de aninga evitando assim a erosão das margens.

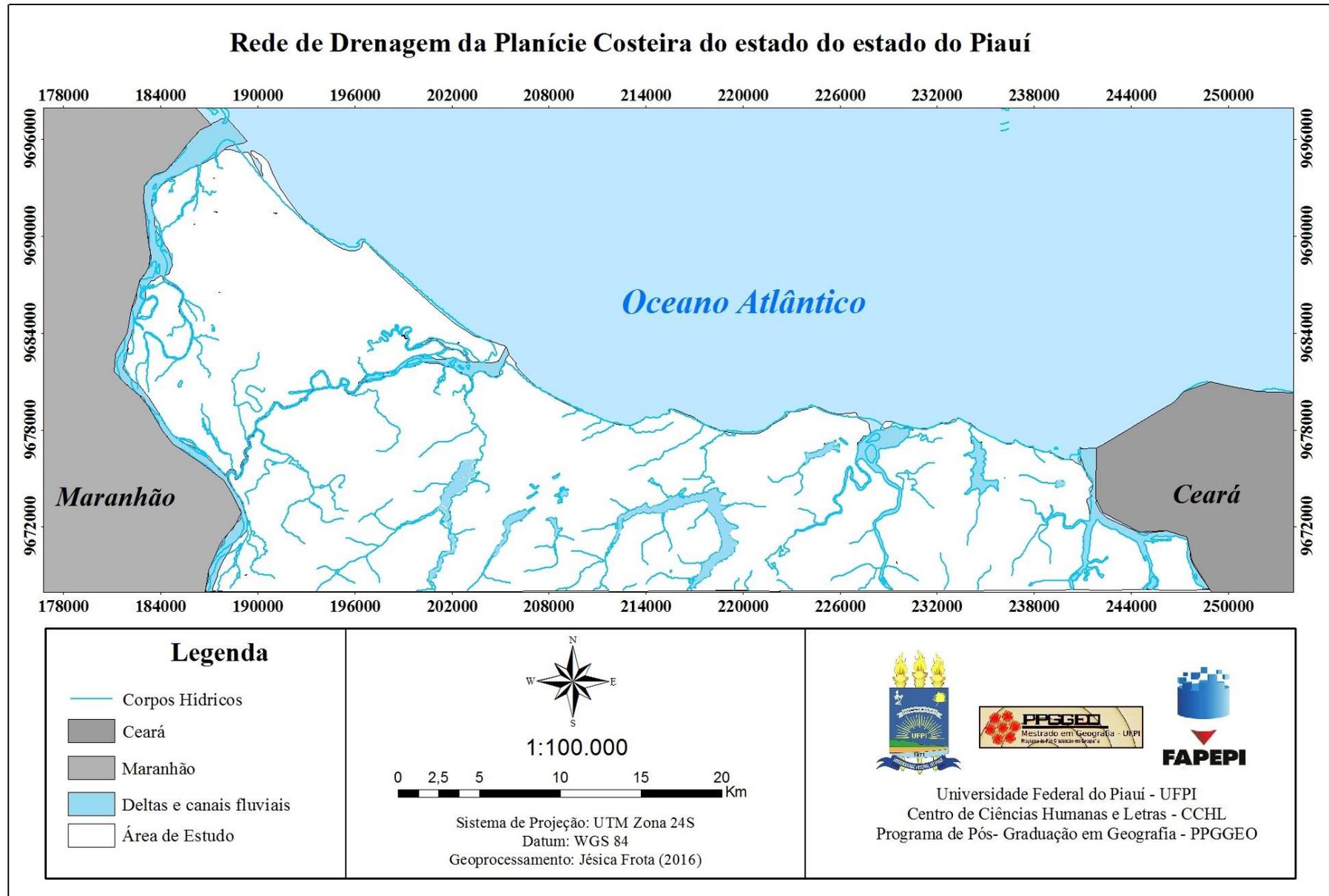
3.2.6 Hidrografia

A composição hidrográfica da planície costeira do estado do Piauí esta representada conforme destaca Sousa (2015) principalmente pelo rio Parnaíba, que distribui-se em diversos canais constituídos por rios, riachos, igarapés, áreas inundáveis, lagos e lagoas. Além deste, a área de estudo apresenta como principais cursos fluviais os rios: Igarçu, Cardoso, Camurupim, Carpina e Portinho. No entanto, vale ressaltar que, o rio Portinho desde o ano de 2015 por diversas razões ainda não descobertas, encontra-se com uma vazão muito baixa.

A planície costeira ainda apresenta diversas lagoas que contribuem para o abastecimento da população existente como a lagoa do portinho, a lagoa do sobradinho e a lagoa da Santana. Além desta, a área de estudo possui uma rede de drenagem local composta por pequenos riachos intermitentes e perenes, assim como um número considerável de

nascentes, que facilitam a cultura de lavouras temporárias e intermitentes sem a utilização de técnicas mais elaboradas como a de irrigação (Figura 12).

Vale ressaltar que apesar de 40% do território da planície costeira estar coberto pelo Grupo Barreiras e este conseqüentemente ser uma formação geológica que possui baixa permeabilidade e transmite água lentamente, não tendo muita expressividade como aquífero em determinadas áreas, sua exploração é bastante desenvolvida (CPRM, 2004).



3.3 Aspectos socioeconômicos

De acordo com dados do Plano de Ação para o Desenvolvimento Integrado da Bacia do Parnaíba (PLANAP), os municípios da área em estudo fazem parte do território da Planície Litorânea, estando inseridos no Aglomerado AG 1 determinado pelo PLANAP.

Segundo dados do IBGE (2010) o município de Ilha Grande possui uma estimativa populacional para o ano de 2016 de 9.242 habitantes e uma densidade demográfica de 66,36 hab/km², onde cerca de 17,5 % da sua população encontra-se na zona rural.

Conforme retrata a (figura 13), segundo o censo do IBGE (2010) a grande maioria da população que reside no município de Ilha Grande são jovens entre 10 a 14 anos de idade.

Figura 13 - Pirâmide etária do município de Ilha Grande-PI



Fonte: IBGE (2010).

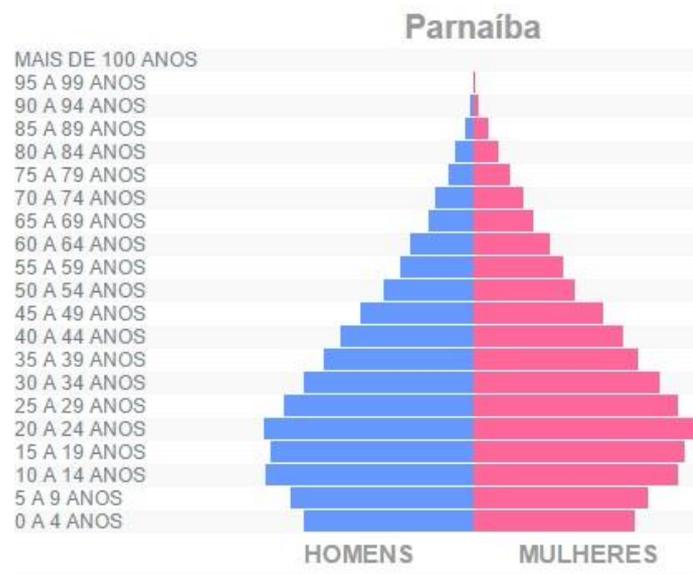
O município de Ilha Grande-PI, de acordo com levantamento realizado pelo Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD) em parceria com o Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA) e a Fundação João Pinheiro (FJP) em 2010, apresentou um Índice de Desenvolvimento Humano (IDHM) de 0.563 em 2010, o que situa esse município na faixa de desenvolvimento humano muito baixo.

Vale ressaltar que as principais atividades produtivas do município estão voltadas para a agricultura permanente incluindo o cultivo de (banana, castanha de caju, coco-da-baía e manga) e agriculturas temporárias (arroz, cana-de-açúcar, feijão, mandioca e milho) (IBGE, 2010).

O município de Parnaíba apresenta uma população estimada para o ano de 2016 de 150.201 habitantes, com densidade demográfica de 334,51 hab/km², onde apenas cerca de 5% de sua população encontra-se na zona rural, o que mostra que 95% da população do município, residem na zona urbana (IBGE, 2010).

O censo realizado pelo IBGE (2010) mostra que a maioria da população residente neste município são jovens entre 20 a 24 anos de idade (Figura 14) e o índice de desenvolvimento humano desse município corresponde a 0,658, o que segundo o índice geral do PNUD o classifica como um município de IDHM bastante baixo.

Figura 14 - Pirâmide etária do município de Parnaíba-PI



Fonte: IBGE (2010).

As atividades produtivas praticadas no município baseiam-se na produção de banana, castanha-de-caju, coco-da-baía, goiaba e manga (agriculturas permanente) e arroz, feijão, mandioca, melancia e milho (agriculturas temporárias).

Já o município de Luís Correia, possui uma população estimada para 2016 segundo IBGE (2010) de cerca de 29.683 habitantes e população demográfica de 26,52 hab/km², onde 57,54% das pessoas residem na zona rural. A população que habita o município é predominantemente composta de jovens, havendo uma concentração da população entre a faixa etária de 10 a 14 anos (Figura 15).

Figura 15 - Pirâmide etária do município de Luís Correia-PI

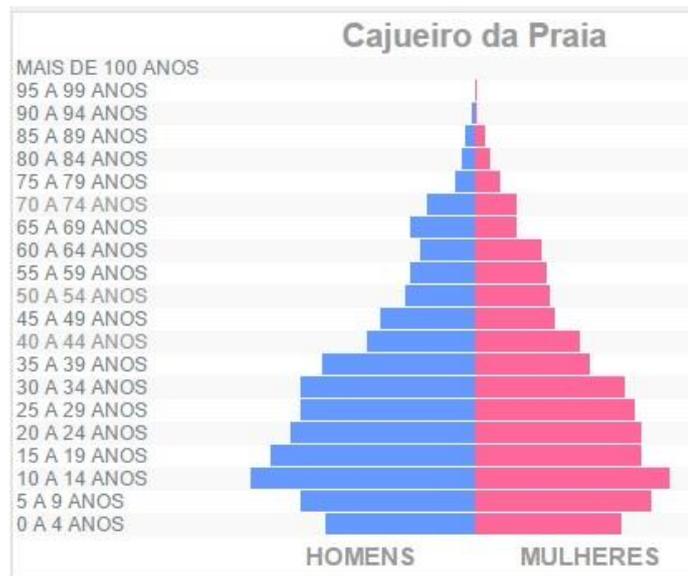


Fonte: IBGE (2010)

O município de Luís Correia-PI, de acordo com levantamento realizado pelo Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD) em 2010, apresentou um Índice de Desenvolvimento Humano (IDHM) de 0,541 0 em 2010, o que situa esse município na faixa de Desenvolvimento Humano Baixo (IDHM entre 0,500 e 0,599). As principais atividades produtivas do município estão voltadas para a agricultura permanente (castanha de caju e coco-da-baía) e agriculturas sazonais (arroz, batata-doce, feijão, mandioca e milho).

Por último, o município de Cajueiro da praia, possui uma população estimada de 7.4583 habitantes e densidade demográfica de 26,36 (hab/km²), onde, cerca de 62% da população reside na zona rural, sendo a maioria de sua população jovens entre 10 a 14 anos de idade (Figura 16).

Figura 16 - Pirâmide etária do município de Cajueiro da Praia-PI



Fonte: IBGE (2010).

O município também está classificado de acordo com dados do PNUD (2010) com baixo índice de desenvolvimento humano apresentando um índice de 0.546. A agricultura praticada no município é baseada na produção de castanha-de-caju e coco-da-baía (agriculturas permanente) e feijão, mandioca e milho (agriculturas temporárias).

A tabela 1 a seguir mostra de forma mais ilustrativa as características quantitativas dos municípios de maneira geral relativas a estimativa da população urbana e rural para o ano de 2016, a densidade demográfica e a área de cada município.

Tabela 1 - Área, População e densidade demográfica por municípios da área de estudo.

Variáveis	Ilha Grande	Parnaíba	Luís Correia	Cajueiro da Praia
População (hab) <i>(Estimativa 2016)</i>	9.211	149, 803	29.683	7.451
População Urbana (%)	84	94	44	62
População Rural (%)	16	6	56	38
Densidade Demográfica (hab/km²)	66,36	334,51	26,52	26,36
Área (km²)	122,5	432,5	1.077,00	283,0

Fonte: Censo IBGE (2010)

Observando os dados da (Tabela 1) pode-se perceber que somente os municípios de Parnaíba e Ilha Grande possuem maior população urbana efetiva, configurando uma conurbação entre os dois municípios. Já o município de Luís Correia há predomínio da população rural. Vale ressaltar que, em Luís Correia apesar do número de habitantes da população urbana em geral ser bastante expressivo quando relacionado com outros municípios da área de estudo, nesse município há um predomínio maior de residências de veraneio (segunda residência) o que demonstra um elevado índice de população urbana “fictícia”.

3.4 Procedimentos metodológicos

Metodologicamente esta pesquisa foi dividida em três grandes grupos de atividades sendo eles: Levantamento de dados; observação em campo e coleta de dados; e elaboração de mapas temáticos conforme demonstrado na Figura 17.

Figura 17 - Fluxograma demonstrando as etapas de realização da pesquisa



Fonte: Elaborado por Frota, 2017.

Levantamento de dados

Para a pesquisa foi realizado levantamento de dados bibliográficos sobre o assunto em livros, artigos científicos, periódicos, jornais, dissertações, teses e outros permitindo o embasamento teórico sobre a pesquisa. Também foram consultados através da internet órgãos oficiais, como EMBRAPA, CPRM, IBGE, PNUD e dados do INMET.

Observação em campo

A pesquisa em campo foi realizada diretamente nos municípios que compõem a área de estudo (Ilha Grande, Parnaíba, Luís Correia e Cajueiro da Praia) tanto na zona urbana como na zona rural. Nesta etapa foi observado o comportamento da paisagem destacando seus aspectos físicos (geologia, geomorfologia, pedologia, altimetria, declividade e vegetação) e antrópico (uso e cobertura das terras) a fim de contribuir para objetivo principal da pesquisa que é o mapeamento do potencial de expansão urbana.

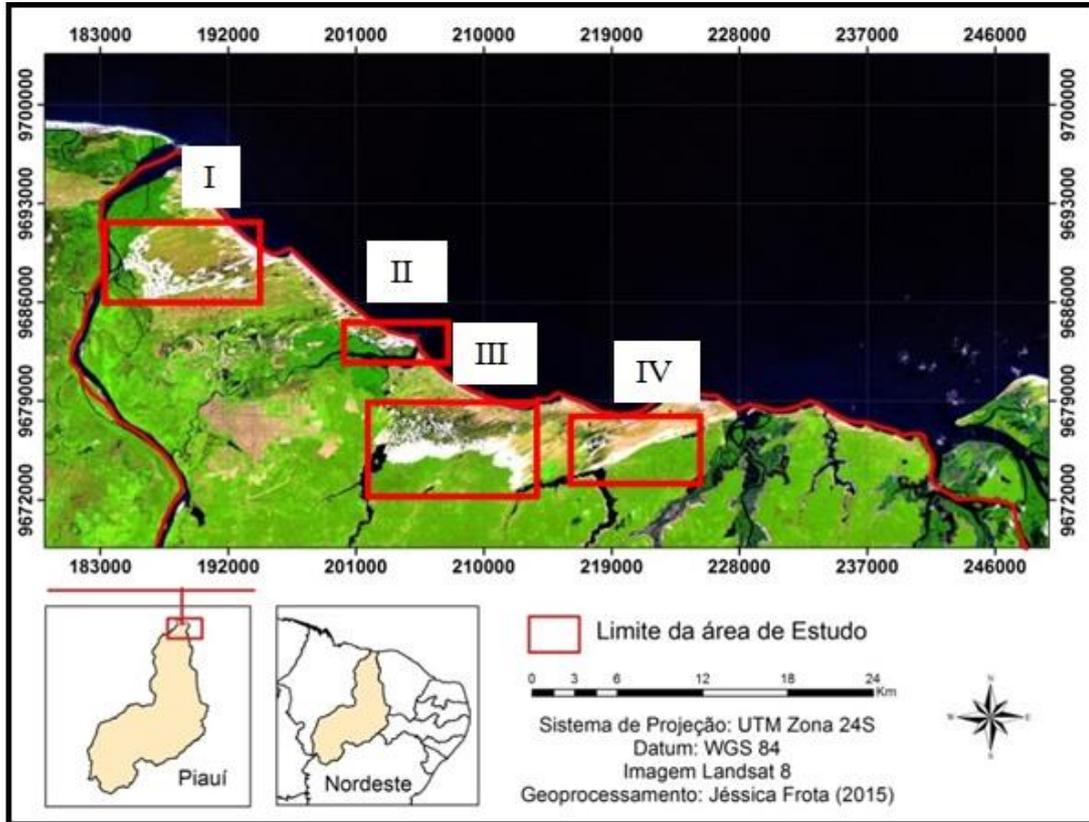
Elaboração de mapas temáticos

Sabendo-se que a organização edição e sistematização dos dados constitui-se em uma etapa de grande importância, o terceiro grupo de atividades, foi composto pelo mapeamento digital de mapas temáticos como (Dinâmica das dunas, Risco de Inundação e erosão e Potencial de expansão Urbana), utilizando-se de dados cartográficos digitais pré-existentes devidamente adaptados de acordo com a metodologia utilizada na pesquisa.

3.4.1 Mapeamento da Dinâmica das Dunas

Para a pesquisa quatro áreas foram selecionadas (I, II, III e IV) e recortadas dentro da área geral (Figura 18). Essas quatro áreas foram elencadas em função da presença de grandes campos de dunas móveis na área. Sendo cada uma nomeada de acordo com os municípios de ocorrência.

Figura 18 – Mapa de localização da área de estudo: Espacialização das áreas de dunas móveis



Fonte: Elaborado por Frota, 2017.

Dos procedimentos técnicos e metodológicos aplicados no mapeamento optou-se pela adaptação da metodologia utilizada por Fernandes e Amaral (2013) onde, buscou-se a análise espaço-temporal através da interpretação de produtos cartográficos de diferentes períodos, em uma faixa de tempo de 21 anos, considerando os anos de: 1994, 1998, 2002, 2006, 2010 e 2015. Com base nos objetivos pretendidos, optou-se pela utilização das imagens orbitais geradas pelo sistema *Landsat* orbita ponto (219/62). Foram utilizadas imagens óticas do sistema *Landsat* 8 OLI, com resolução espacial reamostrada para 15 metros para o ano de 2015, *Landsat* 7 ETM +, para 2002 e *landsat* 5 TM para os anos de 1994, 1998, 2006 e 2010 com seleção de cenas obedecendo aos critérios de: menor porcentagem de cobertura de nuvens e melhor visualização de todos os campos de dunas móveis presentes na área de estudo. (Tabela 2)

Tabela 2- Especificação dos produtos-imagens utilizados na análise multitemporal

<i>Satélite/Sensor</i>	<i>Data de aquisição</i>	<i>Órbita/Ponto</i>	<i>Diferença (anos)</i>	<i>Diferença (acumulada)</i>
<i>Landsat 5/TM</i>	06/09/1994	219/62	0	0
<i>Landsat 5/TM</i>	04/06/1998	219/62	4	4
<i>Landsat 7/ ETM +</i>	19/06/2002	219/62	4	8
<i>Landsat 5/TM</i>	10/06/2006	219/62	4	12
<i>Landsat 5/TM</i>	05/06/2010	219/62	4	16
<i>Landsat 8/ OLI</i>	22/06/2015	219/62	5	21

Fonte: Elaborado por Frota, 2017.

As imagens óticas do sistema *Landsat* foram obtidas gratuitamente nos sites Earth Explorer e no portal eletrônico do Instituto de Pesquisas Espaciais (INPE). Após adquiridas, as imagens já georreferenciadas, foram reprojctadas para o hemisfério norte, fuso 24, utilizando o Datum WGS 84. Em seguida as imagens foram organizadas em tripletes formando composições. Isso significa inserir a cor em imagens que anteriormente eram percebidas apenas em tons de cinza, além de agregar informações das bandas específicas do espectro eletromagnético, a composição de bandas permitiu diferenciar claramente a área dos campos de dunas.

Para as imagens do Landsat 5 foram utilizadas as composição RGB das bandas 5 4 3 (*Landsat 5*) e 6 5 4 (*Landsat 8*) para as imagens do *Landsat 7/ETM +*, foi utilizada a banda multiespectral também com composição de bandas 5 4 3. Utilizando-se de técnicas de PDI (Processamento digital) a partir do método de classificação não-supervisionada, de imagens orbitais, foram criados mapas das superfícies não vegetadas destes campos de dunas, que mostraram sua evolução temporal entre 1994 e 2015, para isso, utilizou-se o software de geoprocessamento *ArcMap*. Foram também criados mapas das alterações geométricas multitemporais dos campos de dunas móveis no mesmo período a fim de demonstrar a perda e/ou ganho de sedimentos nesse espaço de tempo.

Para a classificação não-supervisionada, que corresponde a utilização de algoritmos para reconhecer as classes presentes na imagem, foi empregada a ferramenta *Spatial Analyst Tools*. Aplicou-se a função *Multivariate - Iso Cluster Unsupervised Classification*, onde, foram selecionadas 10 classes para a classificação inicial, de modo a diferenciar mais detalhadamente os elementos da imagem. Após o procedimento, a imagem foi transformada

em vetor, para que as informações das dunas fossem extraídas com melhor detalhe. Vale ressaltar que, o mesmo processo foi efetuado para as diferentes datas.

Em seguida foi aplicado a função *dissolve*, para diminuição do número de classes. Assim, para a área de estudo foram separadas duas classes: Dunas e não dunas e em seguida foram submetidas ao processo de alteração geométrica.

Para verificação de perda e ganho da área dos bancos de dunas presentes em diferentes intervalos de tempo em cada uma das secções, foram utilizados métodos equacionais que fundamentam-se numa diferença matemática (Eq.1) em que o cálculo do aumento consiste na relação aritmética simples de variação da área (ΔA), onde quando ΔA é positivo tem-se que a região sofreu um ganho de sedimentos maior que a perda e quando negativo, a situação se inverte indicando que a área obteve uma perda maior dos sedimentos e portanto, uma consequente diminuição em sua área de aprisionamento dos mesmos (SILVA, AMARO e MATOS, 2015).

(1)

$$\Delta A = A_f - A_i$$

Onde, ΔA corresponde a diferença de áreas; A_f equivale à área na data final do levantamento e A_i corresponde à área na data inicial do levantamento.

Para a verificação da alteração geométrica foi utilizado a ferramenta *Difference Symmetrical*, onde todas as camadas representativas dos campos de dunas de 1994, 1998, 2002, 2006, 2010 e 2015 foram sobrepostas em intervalos de ordem crescente, uma camada mais antiga sobre outra mais recente, de acordo com o ano de aquisição, visando a verificação da alteração sofrida por cada uma dessas dunas em diferentes datas.

Os produtos desta técnica resultaram em mapas com valores positivos para regiões que obtiveram ganho de cobertura sedimentar de acordo com a variação do tempo e valores negativos para áreas que sofreram perda da cobertura sedimentar.

Em seguida, através da interpretação das imagens e levando em consideração o expressivo avanço das mesmas durante os intervalos de 1994 a 2015, foram selecionados 12 pontos entre as quatro secções de dunas, a fim de mensurar o avanço dos sedimentos de uma década para outra em busca de melhores detalhes para entender o real deslocamento das dunas. Para isso, foi utilizado a régua presente no software *ArcMap*, posteriormente foram escolhidos três pontos de cada secção, onde os dados do avanço em cada década foram tabulados em

planilha eletrônica. Foram executadas análises de regressão linear simples, utilizando como variável dependente o deslocamento linear (x) das dunas em metros e como variável independente o tempo (y) em anos.

3.4.2 Mapeamento de Risco de Inundação

Dos procedimentos técnicos e metodológicos aplicados na pesquisa foram utilizadas técnicas de geoprocessamento, sensoriamento remoto (através da interpretação de imagens de satélite) e dados do sistema de posicionamento global (GPS) levantados na área.

Para a obtenção do mapa de risco de inundação, que é um dos objetivos desta pesquisa, foram consideradas as relações e interações de fatores do meio físico como: declividade, altimetria, geologia, geomorfologia e fatores do meio antrópico como o uso e cobertura da terra.

Para elaboração dos mapas básicos: Declividade e Altimetria levou-se em consideração o MDE (Modelo Digital de Elevação) da área de estudo adquirido a partir do processamento e da análise de dados da *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM). Estas, por sua vez, foram obtidas no site do Banco de dados geomorfológicos do Brasil-Topodata/INPE as quais estão disponíveis gratuitamente para *download*. Foram obtidos os dados refinados da resolução espacial original (~90m) no formato GRID para (~30)m.

No caso da área em estudo, a imagem SRTM requerida foi a de índice 02S42_ZN referente ao MDE da planície costeira do estado do Piauí. Através do MDE foi possível gerar os mapas de declividade e altimetria, que serviram como instrumento de análise das áreas que apresentam risco.

Para a geração do mapa temático de declividade utilizou-se as ferramentas *ArcToolbox* > *Spatial Analyst tools* > *Surface* > *Slope* do *software*. O mapa foi gerado em porcentagem (PERCENT) estabelecendo-se cinco classes, estas variando de plano a ondulado com os intervalos (0 – 3; 3 – 5; 5 – 10; 10 – 20; > 20) seguindo a classificação de Ramalho Filho e Beek (1995), porém adaptada de acordo com os declives apresentados na área de estudo.

Em seguida, o MDE foi reclassificado gerando cinco classes de altimetria, estas por sua vez, variando de 0 a 70 metros. .

Para os parâmetros: geologia, geomorfologia e uso e cobertura das terras, foram utilizados os mapas produzidos por Sousa (2015) em formato *shapfile*, tendo em vista que os mesmos estão relacionados à mesma área de estudo e foram produzidos na mesma escala de

análise da pesquisa 1: 100.000. Vale ressaltar que na utilização do parâmetro geomorfologia foi realizado uma atualização e refinamento do mapeamento de Sousa (2015).

Como forma de melhor detalhar o mapeamento geomorfológico realizado pela autora foram estabelecidos pontos de controle (marcação de ponto) para realização do mapeamento de praias. O levantamento da linha de praia no litoral do Piauí consistiu em medir a posição do perfil longitudinal da linha d'água, tomando-o como perfil representativo da posição da linha de praia a qual corresponde à linha de espraçamento da onda ou linha de *swash* conforme denomina Toldo e Almeida (2003).

Dessa forma, foram percorridos os 66 km da costa piauiense para realização da marcação de pontos com o auxílio do aparelho de Sistema de Posicionamento Global (GPS) e um veículo que se deslocou ao longo da linha de deixa (limite da linha d'água na última maré ocorrida) associada ao espraçamento da onda (Figura 19).

Figura 19 – Demarcação da linha de praia através do monitoramento por GPS com a utilização de um veículo



Fonte: Frota, 2017.

Uma vez marcados, esse pontos foram georreferenciados e transferidos para o SIG (Sistema de Informações Geográficas) onde foram retrabalhados para geração do vetor que deu origem a delimitação das praias da planície costeira do estado do Piauí. Como auxílio utilizou-se de imagens de alta resolução espacial (imagens *rapideye*) para verificar o limite da

linha de espraiamento da onda até o início da praia em contato direto com o mar, obtendo assim a delimitação das praias da zona costeira piauiense.

Para o processamento da avaliação ambiental com base em uma integração (Modelagem e Geoprocessamento) dessas variáveis foi adotado um algoritmo classificador, baseado em um método multicritério ordinal aditivo, também definido por Xavier da Silva (2001) como média ponderada. O algoritmo é representado abaixo pela seguinte equação (Eq.2).

(2)

$$A_{ij} = \sum_{K=1}^n (Pk.Nk)$$

Onde,

K=1;

A_{ij} = qualquer célula da matriz;

n = número de parâmetros envolvidos;

P= peso atribuído ao parâmetro ou variável de 0 a 1;

N= nota atribuída ao fator ou parâmetro espacial de interesse.

O suporte à decisão por Multicritério é amplamente utilizado na análise de estudos de risco, sendo abordado por diversos autores, onde a integração com o SIG é fundamental para a obtenção de rápidos resultados e possibilidade de repetição de operações com diversos mapas de interesse (Jankowski, 1995; Malczewski, 1999; Valladares e Faria, 2004). Segundo Xavier da Silva (2001) esse método de análise multicriterial é baseado em um processo de ponderação aditiva, no qual os diversos atributos relevantes são representados através de sua importância relativa.

O princípio metodológico foi baseado no conceito de ecodinâmica de Tricart (1977) que define uma relação entre os processos de morfogênese e pedogênese, onde ao predominar a morfogênese prevalecem os processos erosivos modificadores das formas de relevo, e ao predominar a pedogênese prevalecem os processos formadores de solos. Neste método conforme ressalta Silva (2015) além de estabelecer uma relação entre os processos de morfogênese e pedogênese, utiliza-se ainda as informações obtidas a partir das imagens de satélites para estudos integrados.

A partir do processo aditivo por Multicritério, o qual funciona como um método de ponderação de camadas ou planos de informação foi adotado pesos para cada variável envolvida no processo, conforme o grau de significância com relação à situação analisada conforme mostra a tabela 3.

Levando em consideração a análise multicriterial da média ponderada é importante compreender que o somatório dos pesos aplicados aos parâmetros não deverá exceder a 1 de acordo com sua intensidade de participação. Assim, definiu-se que a ponderação dos pesos seguiria uma variação de 0 a 1, onde zero representa o menor risco e 1 o maior risco.

Tabela 3 - Pesos atribuídos a cada variável utilizada no mapeamento de risco de inundação

VARIÁVEL	PESO/RISCO DE INUNDAÇÃO (0 a 1)
<i>Geomorfologia</i>	0,25
<i>Altimetria</i>	0,20
<i>Declividade</i>	0,20
<i>Geologia</i>	0,15
<i>Uso e cobertura</i>	0,20
SOMATÓRIO	1

Fonte: Elaborado por Frota, 2017.

Em seguida foram estabelecidas notas para as classes de cada variável selecionada, levando em consideração as unidades de maneira individual. As notas também variaram de 0 a 1, no entanto, as áreas fora de análise receberam uma nota superior a 1,0 para ficar fora de análise (Tabela 4, 5, 6, 7 e 8).

Vale ressaltar que os pesos e as notas inseridas nessa pesquisa foram atribuídos com base na experiência e por consenso de equipe multidisciplinar especializada em meio físico e na interpretação de mapas de riscos ambientais, também foram adaptados empiricamente à realidade e a escala de análise da área de estudo, observando a maior influência das variáveis na área. Partindo dessa premissa, optou-se por dar pesos maiores para a geomorfologia, tendo em vista que esta apresenta uma influência maior na área de estudo quando se fala em risco de inundação.

Tabela 4 – Notas atribuídas a cada classe das unidades geomorfológicas

UNIDADES GEOMORFOLÓGICAS	NOTAS/INUNDAÇÃO (0 a 1)	NOTAS X PESOS (0 a 1)
<i>Praias</i>	1,0	0,25
<i>Cordão arenoso</i>	0,5	0,125
<i>Planície eólica</i>	0,4	0,1
<i>Dunas móveis</i>	0	0
<i>Dunas estabilizadas</i>	0	0
<i>Paleodunas</i>	0	0
<i>Planície Fluvio-Marinha</i>	1,0	0,175
<i>Terraço Marinho</i>	1,0	0,1
<i>Planície e terraço fluvial</i>	0,7	0,25
<i>Planície Lacustre</i>	1,0	0,25
<i>Tabuleiro costeiro</i>	0	0
<i>Canais fluviais</i>	Fora de análise	Fora de análise

Fonte: Elaborado por Frota, 2017.

Tabela 5 - Notas atribuídas a cada classe de Altimetria

ALTIMETRIA (m)	NOTAS/ INUNDAÇÃO (0 a 1)	NOTAS X PESOS (0 a 1)
<i>0-15</i>	1,0	0,2
<i>15-30</i>	0,5	0,1
<i>30-50</i>	0,2	0,04
<i>50-90</i>	0,1	0,02

Fonte: Elaborado por Frota, 2017.

Tabela 6 – Notas atribuídas a cada classe de Declividade.

DECLIVIDADE (%)	NOTA/INUNDAÇÃO (0 a 1)	NOTAS X PESOS (0 a 1)
<i>0-1</i>	1,0	0,2
<i>1-3</i>	0,9	0,18
<i>3-5</i>	0,8	0,16
<i>5-10</i>	0,5	0,1
<i>10-20</i>	0,2	0,04
<i>>20</i>	0	0

Fonte: Elaborado por Frota, 2017.

Tabela 7 – Notas atribuídas a cada classe das Unidades Geológicas

GEOLOGIA	NOTA/INUNDAÇÃO (0 a 1)	NOTAS X PESOS (0 a 1)
<i>Depósito eólico não vegetado</i>	0	Fora de Análise
<i>Depósito aluvial de planície de inundação</i>	1,0	0,15
<i>Depósito fluvio-marinho</i>	1,0	0,15
<i>Grupo Barreiras</i>	0	Fora de Análise
<i>Depósito eólico vegetado</i>	0	Fora de Análise
<i>Depósito fluvio-lacustre</i>	1,0	0,15
<i>Depósitos praias</i>	0,5	0,075
<i>Paleodunas</i>	0	Fora de Análise
<i>Depósitos eólicos arrasados</i>	0,5	0,075
<i>Canais fluviais</i>	Fora de Análise	Fora de Análise

Fonte: Elaborado por Frota, 2017.

As unidades identificadas como fora de análise como: os depósitos não vegetados, o Grupo Barreiras, o depósito eólico vegetado e as paleodunas receberam essa classificação por serem áreas que não apresentam risco de inundação do ponto de vista geológico, isto porque são áreas que apresentam altitudes mais elevadas, solos mais profundos e boa drenagem, ou seja, essas unidades apresentam uma boa estruturação, resistindo melhor aos impactos da chuva, favorecendo a infiltração da água e reduzindo a erosão por escoamento.

Tabela 8 – Notas atribuídas a cada classe das unidades de Uso e Cobertura das terras

USO E COBERTURA DA TERRA	NOTA/INUNDAÇÃO (0 a 1)	NOTAS X PESOS (0 a 1)
<i>Área urbana</i>	0,9	0,18
<i>Corpo d'água</i>	Fora de Análise	Fora de Análise
<i>Cordão arenoso</i>	0,5	0,1
<i>Dunas móveis</i>	0	0
<i>Vegetação de Mangue</i>	1,0	0,2
<i>Pasto limpo</i>	0,5	0,1
<i>Pasto sujo</i>	0,3	0,06
<i>Solo exposto</i>	0,7	0,14
<i>Vegetação de várzea associada à carnaúba</i>	0,9	0,18
<i>Vegetação arbustiva densa</i>	0,2	0,04
<i>Vegetação de caatinga aberta</i>	0,1	0,02
<i>Área úmida</i>	Fora de Análise	Fora de Análise

Fonte: Elaborado por Frota, 2017.

A importância de cada evento analisado foi considerada em função do somatório dos produtos dos pesos relativos das variáveis escolhidas, multiplicado pelas notas das classes em cada unidade das células. Dessa forma, uma vez estabelecido pesos e notas, utilizando-se do algoritmo descrito na (Eq.1) foi feita a multiplicação (*nota x peso*) entre cada unidade e cada parâmetro utilizado.

A manipulação dos dados em SIG foi feita em formato matricial, no qual os elementos foram representados por *pixel*, unidade a partir da qual serão efetuados os cruzamentos. Para isso, os dados adquiridos (geologia, geomorfologia, declividade, uso e cobertura e altimetria) foram convertidos em *raster* e todas as variáveis analisadas tiveram o mesmo tamanho de *pixel*, tamanho estes compatíveis aos objetivos do estudo para que seja feito o cruzamento, conforme (SOARES FILHO, 2000).

Para o mapeamento realizado na pesquisa foram convertidos os arquivos vetoriais para matriciais, utilizando-se uma dimensão de célula de 30 x 30 m.

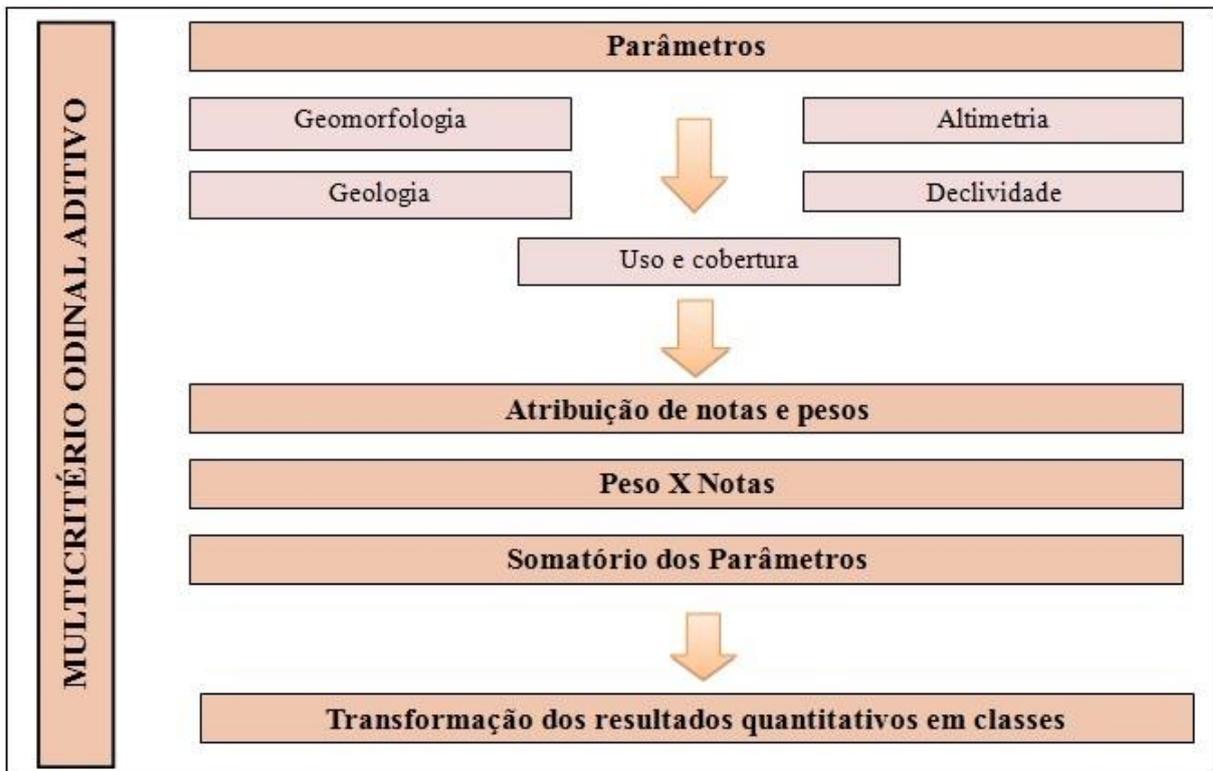
Em seguida aplicando a função *Raster calculator* do software *ArcGis* obteve-se a soma entre os parâmetros:

$$\text{SOMA} = \text{Geomorfologia} + \text{Altimetria} + \text{Declividade} + \text{Geologia} + \text{Uso e Cobertura das terras}$$

Na sequência, os resultados quantitativos foram transformados em classes qualitativas, como, por exemplo, Muito baixo, Baixo, Moderado, Alto, Muito Alto e Altíssimo, tendo como resultado o mapa de risco de inundação da planície costeira do estado do Piauí. Métodos semelhantes também foram empregados nos trabalhos sobre inferência espacial de riscos ambientais a exemplo de Sousa (2015) Crepani et al., (1996), Valladares et al., (2002), Valladares & Faria (2004); Garcia et al., (2006); Meirelles et al.. (2007), Faria et al., (2012) dentre outros.

O fluxograma a seguir (figura 20) apresenta de forma simplificada as operações realizadas no SIG, a partir do qual se seguiu o método aditivo ao Multicritério, com a representação esquemática de alguns planos de informação em camadas para análise no SIG.

Figura 20 – Fluxograma simplificado das operações realizadas no SIG a partir de métodos de multicritério para geração do mapa de risco de inundação



Fonte: Elaborado por Frota, 2017

3.4.3 Mapeamento de Risco à Erosão

Para a obtenção do mapa de risco de erosão, foram adotados os mesmos procedimentos e a mesma metodologia utilizada no mapeamento do risco de inundação, baseado em um método multicritério. No entanto, para elaboração do mesmo foi considerado somente as relações e interação de fatores do meio físico como: declividade, geomorfologia e geologia.

Os pesos e as notas inseridas nessa pesquisa também foram atribuídos com base na experiência e também foram adaptados empiricamente à realidade e a escala de análise da área de estudo, observando a maior influência das variáveis na área, visando uma avaliação de vulnerabilidade a erosão do solo na planície costeira do estado do Piauí.

Conforme demonstra a (tabela 9), foram estabelecidos os maiores pesos para a declividade e a geomorfologia, tendo em vista que estas variáveis atuam de maneira mais intensa na área de estudo, sendo, portanto, os principais fatores que influenciam nos processos erosivos.

Tabela 9 – Pesos atribuídos às variáveis utilizadas no mapeamento do risco de erosão

VARIÁVEL	PESO/ RISCO DE EROSÃO (0 a 1)
<i>Declividade</i>	0,4
<i>Geomorfologia</i>	0,4
<i>Geologia</i>	0,2
SOMA	1

Fonte: Elaborado por Frota, 2017.

Em seguida foram estabelecidas notas para as classes/unidades de cada variável selecionada, levando em consideração as unidades de maneira individual (Tabela 10, 11 e 12). Na atribuição das notas das classes foram utilizados critérios semelhantes aos dos pesos. Assim, as classes de declividade com percentuais mais elevados receberam as maiores notas.

Para a geomorfologia, atribuiu-se notas mais baixas para as áreas de fundo de vale, pois essas em geral são áreas de acumulação de sedimentos. Foram atribuídas notas mais elevadas para as unidades que apresentam uma vulnerabilidade grande a erosão devido a falta de vegetação controlando o carreamento dos sedimentos como é o caso das dunas móveis e da planície eólica e as maiores notas foram atribuídas às áreas que sofrem uma tensão maior devido a ação direta do mar (Erosão marinha) como as praias e o cordão arenoso.

Tabela 10 – Notas atribuídas às classes de Declividade

DECLIVIDADE (%)	NOTA/EROSÃO (0 a 1)	NOTA X PESO (0 a 1)
<i>0-1</i>	0	0
<i>1-3</i>	0,1	0,04
<i>3-5</i>	0,2	0,08
<i>5-10</i>	0,4	0,16
<i>10-20</i>	0,7	0,28
<i>> 20</i>	1	0,4

Fonte: Elaborado por Frota, 2017.

A declividade esta relacionada à inclinação do relevo em relação ao horizonte, esta variável é uma característica fundamental a ser avaliada para a análise da capacidade de uso do solo em relação às variadas formas de ocupação, tendo em vista que esta condiciona de forma direta o escoamento superficial de uma área, que poderá influenciar no desenvolvimento ou não de feições erosivas.

Tabela 11 – Notas atribuídas a cada classe das unidades geomorfológicas

GEOMORFOLOGIA	NOTAS/EROSÃO (0 a 1)	NOTAS X PESO (0 a 1)
<i>Praias</i>	1,0	0,4
<i>Cordão arenoso</i>	1,0	0,4
<i>Planície eólica</i>	0,8	0,32
<i>Dunas móveis</i>	1,0	0,4
<i>Dunas estabilizadas</i>	0,6	0,24
<i>Paleodunas</i>	0,6	0,24
<i>Planície Fluvio-Marinha</i>	0	0
<i>Terraço Marinho</i>	0,2	0,08
<i>Planície e terraço fluvial</i>	0,6	0,24
<i>Planície Lacustre</i>	0	0
<i>Tabuleiro costeiro</i>	0,2	0,08
<i>Canais fluviais</i>	Fora de análise	Fora de análise

Fonte: Elaborado por Frota, 2017.

Tabela 12 – Notas atribuídas a cada classe das unidades geológicas

GEOLOGIA	NOTAS/EROSÃO (0 a 1)	NOTAS X PESO (0 a 1)
<i>Deposito eólico não vegetado</i>	1,0	0,2
<i>Deposito aluvial de planície de inundação</i>	0,7	0,14
<i>Depósito fluvio-marinho</i>	0,8	0,16
<i>Grupo Barreiras</i>	0,35	0,07
<i>Depósito eólico vegetado</i>	0,7	0,14
<i>Depósito fluvio-lacustre</i>	0,8	0,16
<i>Depósitos praias</i>	1,0	0,2
<i>Paleodunas</i>	0,7	0,14
<i>Depósitos eólicos arrasados</i>	0,7	0,14
<i>Canais fluviais</i>	Fora de Análise	Fora de Análise

Fonte: Elaborado por Frota, 2017.

3.4.4 Mapeamento do Potencial de Expansão Urbana nas terras da Planície costeira do Estado do Piauí.

Para o mapeamento das áreas com vocação para urbanização da planície costeira do Piauí, objetivo central desta pesquisa, foi adotado como método de análise multicriterial a média ponderada e a lógica booleana.

A escolha da avaliação multicritério para esse tipo de análise ambiental se deu por esta consistir em um conjunto de técnicas para auxiliar um agente decisor a tomar decisões acerca de um problema complexo, avaliando e escolhendo alternativas para solucioná-lo segundo diferentes critérios e pontos de vista.

No caso do estudo proposto, por este método possuir um elevado poder de decisão nas avaliações ambientais para áreas potenciais à urbanização, necessários à obtenção de conclusões úteis para o apoio à decisão quanto ao controle ambiental de determinada área, buscou-se utilizar-se desse método analisando as áreas com maior potencial para edificação em ambientes costeiros, mas especificamente no litoral do Piauí.

Metodologias similares utilizando modelagem de dados espaciais para construções urbanas também foram utilizadas por diversos autores, como Crespo et al., (2010); Moreira (2002), Silva (2005), Costa e Alves (2006); Samizava et al (2006); Paula et al. (2007); Araujo e Kux (2008); Nascimento et al., (2009); Costa et al., (2011); Marques et al., (2011); dentre outros.

Objetivando a geração de um cenário com a indicação de vocação, restrições ou inadequações para a ocupação urbana na planície costeira do estado do Piauí, a metodologia proposta para o estudo foi subdividida nas seguintes etapas:

- (a) definição dos fatores/variável;
- (b) padronização dos critérios (peso e notas) para o intervalo numérico de 0 a 1; e
- (c) cruzamento dos fatores

Para obtenção do produto final (Mapa de potencial de urbanização) inicialmente foi definido como fatores/variável a geologia, a geomorfologia, o risco de inundação, o risco de erosão, onde foram atribuídos pesos para cada variável inserida no processo de modelagem (Tabela 13).

Vale ressaltar que, a variável avanço das dunas somente foi cruzada no final da avaliação entre as quatro variáveis, utilizando como método a lógica booleana, considerada como uma solução tampão, pois esta não foi considerada como um critério de peso no processo de expansão urbana e sim como uma área de “atenção” devido ao seu avanço e, portanto, não entrou no somatório dos pesos.

Tabela 13 – Pesos atribuídos às variáveis utilizadas no mapeamento do potencial de expansão urbana da planície costeira do estado do Piauí

VARIÁVEL	PESO/ POTENCIAL DE EXPANSÃO URBANA (PEU)
<i>Geologia</i>	0,30
<i>Geomorfologia</i>	0,25
<i>Risco de Inundação</i>	0,25
<i>Risco de Erosão</i>	0,20
SOMA	1

Fonte: Elaborado por Frota, 2017.

Sabendo que o reconhecimento das condições do substrato é de fundamental importância para a realização de um projeto de edificações, pois esta variável consiste de informações importantes na caracterização das potencialidades e restrições naturais da área de estudo às solicitações decorrentes da ocupação pelo homem, decidiu-se por destacar a geologia como a variável que apresenta maior influência na decisão de áreas propícias a edificações e que, portanto, merecia ter o maior peso (30%), pois as características relacionadas às unidades geológicas estão diretamente ligadas à capacidade de suporte para a maioria das obras de engenharia, o que demonstra seu elevado poder de participação na identificação das áreas que apresentam potencial ou não para urbanização.

Com relação à geomorfologia o peso foi atribuído em função desta variável representar o retrato da paisagem, mostrando a realidade morfológica, ou seja, o aspecto do relevo que é um indicador espacial para alocações urbanas. Essa variável recebeu 25% do peso atribuído para indicador de potencial de expansão urbana. Os riscos de inundação e de erosão são fatores que demonstram as diversas restrições existentes dentro das zonas costeiras. Esse fator auxiliou na identificação das áreas propensas a inundação, ou seja, as áreas que apresentam baixo e elevado risco de inundação e as áreas mais vulneráveis e menos vulneráveis a erosão, destacando assim uma significativa influência na decisão de áreas com vocação para edificação.

Assim, a partir do levantamento e da análise dos fatores foram atribuídos também notas para cada variável, o que auxiliou no processo de avaliação das áreas que apresentaram melhor vocação para urbanização. Essas notas foram reescaladas em intervalos de 0 a 1, onde cada unidade das variáveis foi ponderada de acordo com sua importância na favorabilidade à ocupação urbana. Para isso, as unidades/classes presentes em cada fator/variável foram comparadas criteriosamente e julgados segundo a importância relativa entre eles diante da ocupação urbana, onde receberam notas variadas (Tabela 14, 15, 16 e 17).

Tabela 14 – Notas atribuídas a cada classe das unidades geológica

GEOLOGIA (unidades)	NOTAS/PEU (0 a 1)	NOTA X PESO (0 a 1)
<i>Deposito eólico não vegetado</i>	Fora de Análise	Fora de Análise
<i>Deposito aluvial de planície de inundação</i>	0,3	0,09
<i>Depósito fluvio-marinho</i>	Fora de Análise	Fora de Análise
<i>Grupo Barreiras</i>	1	0,3
<i>Depósito eólico vegetado</i>	0,5	0,15
<i>Depósito fluvio-lacustre</i>	Fora de Análise	Fora de Análise
<i>Depósitos praias</i>	0,1	0,03
<i>Paleodunas</i>	0,5	0,15
<i>Depósitos eólicos arrasados</i>	0,5	0,15
<i>Canais fluviais</i>	Fora de Análise	Fora de Análise

Fonte: Elaborado por Frota, 2017.

Partindo dessa proposição vale ressaltar que, as unidades: Depósitos praias e depósito aluvial de planície de inundação, por apresentarem um grau de vulnerabilidade muito alto e alto conforme destaca Sousa (2015) em seu trabalho, receberam as menores notas, indicando um baixo potencial a expansão.

Tabela 15 – Notas atribuídas a cada classe das unidades geomorfológicas

GEOMORFOLOGIA (Unidades)	NOTAS/PEU (0 a 1)	NOTA X PESO (0 a 1)
<i>Praias</i>	Fora de Análise	Fora de Análise
<i>Cordão arenoso</i>	0,1	0,025
<i>Planície eólica</i>	0,5	0,125
<i>Dunas móveis</i>	Fora de Análise	Fora de Análise
<i>Dunas estabilizadas</i>	0,3	0,075
<i>Paleodunas</i>	0,5	0,125
<i>Planície Fluvio-Marinha</i>	Fora de Análise	Fora de Análise
<i>Terraço Marinho</i>	Fora de Análise	Fora de Análise
<i>Planície e terraço fluvial</i>	0,3	0,075
<i>Planície Lacustre</i>	Fora de Análise	Fora de Análise
<i>Tabuleiro costeiro</i>	1	0,25
<i>Canais fluviais</i>	Fora de análise	Fora de Análise

Fonte: Elaborado por Frota, 2017.

Tabela 16 – Notas atribuídas a cada classe das unidades de risco de erosão

RISCO DE EROSÃO (%)	NOTA/PEU (0 a 1)	NOTA X PESO (0 a 1)
<i>Muito Baixo</i>	1	0,2
<i>Baixo</i>	1	0,2
<i>Moderado</i>	0,7	0,14
<i>Alto</i>	0,3	0,06
<i>Muito Alto</i>	Fora de Análise	Fora de Análise

Fonte: Elaborado por Frota, 2017.

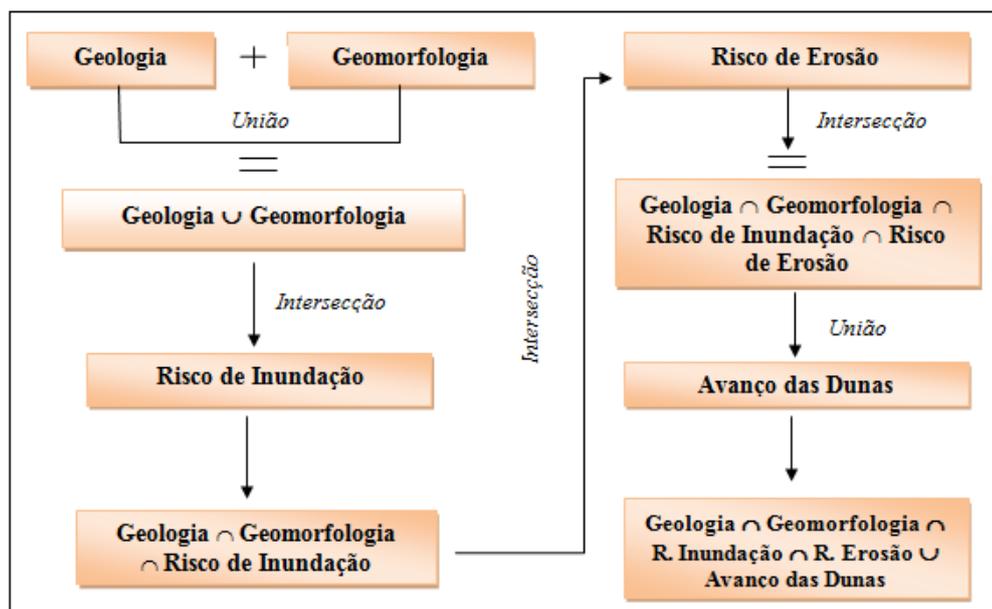
Tabela 17 – Notas atribuídas a cada classe das unidades de risco de inundação

RISCO DE INUNDAÇÃO (%)	NOTA/PEU (0 a 1)	NOTA X PESO (0 a 1)
<i>Muito Baixo</i>	1	0,25
<i>Baixo</i>	1	0,25
<i>Moderado</i>	0,5	0,125
<i>Alto</i>	Fora de Análise	Fora de Análise
<i>Altíssimo</i>	Fora de Análise	Fora de Análise

Fonte: Elaborado por Frota, 2017.

Após estabelecidos pesos e notas para cada uma das variáveis, para o processamento da avaliação do potencial de expansão urbana, os fatores foram combinados (cruzados), conforme mostra o fluxograma na (figura 21).

Figura 21 – Fluxograma do processamento utilizado para geração do mapa de potencial de expansão urbana na planície costeira do estado do Piauí



Fonte: Elaborado por Frota, 2017.

Inicialmente foi realizada uma união entre duas variáveis (**geologia x geomorfologia**) como forma de unir/agrupar os diversos elementos que englobam essas duas variáveis em um único *shapefile*. Posteriormente um *intersect*, ou seja, uma intersecção desse resultado com mais duas outras variáveis, no caso o **risco de Inundação e o risco de erosão**).

Como resultado, através da sobreposição dos elementos presentes em cada uma dessas variáveis, obteve-se um modelo preditivo dessas quatro situações para área de estudo. Em seguida esse modelo foi cruzado através da lógica booleana com o *shapefile* do **avanço das dunas**.

Assim, levando em consideração a migração dos sedimentos e direção dos ventos, essa variável auxiliou demonstrando as áreas que podem vir a sofrer com o avanço das dunas. Para isso utilizando-se do *shapefile* do avanço das dunas para o ano de 2015, foi realizado um buffer de 500m, o que nos mostrou uma predição de um avanço em aproximadamente 30 anos, levando em consideração a média de avanço anual de 18 metros.

Através desse modelo preditivo que contemplou a sobreposição das quatro variáveis, foi realizado um somatório de todas as notas e pesos cruzadas nas diferentes variáveis que fazem parte da análise do potencial de expansão da Planície Costeira do Estado do Piauí, unindo assim os valores de diferentes colunas da tabela de atributos em uma única coluna.

Com isso, foi gerado o mapa de potencial à ocupação obtendo como resultado o mapa com as áreas favoráveis à ocupação da planície costeira estado do Piauí e as áreas não favoráveis. Em seguida esses dados foram retrabalhados em SIG para se fazer a análise de cada classe encontrada.

Esse mapeamento por sua vez, além de nos auxiliar demonstrando as áreas propícias para urbanização, poderá servir como análise de uma maneira bem mais detalhada, para identificação de áreas com adequabilidade de urbanização. Além disso, este poderá auxiliar em um melhor ordenamento territorial da zona costeira que já sofre com a atividade natural.

CAPÍTULO IV

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Análise Multitemporal dos campos de dunas móveis da Planície Costeira do Estado do Piauí

A composição colorida efetuada nas imagens de satélite adquirida para a análise permitiu a delimitação dos principais campos de dunas móveis do litoral piauiense, permitindo que as alterações temporais nos campos de dunas fossem percebidas facilmente. Com base na análise dos dados obtidos, (tabela 18) no conhecimento prévio da área e nos trabalhos de campo apresentados na metodologia, nas datas em que os mesmos foram realizados, pode-se perceber a presença de uma dinâmica muito intensa dos campos de dunas móveis presentes na planície costeira piauiense, tendo como causas principais, a forte influência das ondas e das marés, a ação eólica (devido à ação dos ventos que sopram de nordeste e sudoeste no norte do estado) e a questão da ação antrópica.

Tabela 18- Área dos campos de dunas móveis nos diferentes anos de levantamento em km²

Campos de dunas móveis da Planície Costeira do Estado do Piauí					
<i>Ano/Período</i>	<i>Ilha Grande (I)</i> <i>(km²)</i>	<i>Parnaíba (II)</i> <i>(km²)</i>	<i>Luis Correia</i> <i>(III) (km²)</i>	<i>Luis Correia (IV)</i> <i>(km²)</i>	<i>Total</i> <i>(km²)</i>
1994	6,13	0,50	11,50	2,56	20,69
1998	5,32	0,58	10,92	1,80	18,62
2002	5,90	0,45	12,95	2,63	21,93
2006	6,67	0,50	12,98	3,14	23,29
2010	5,85	0,33	12,73	2,66	24,03
2015	7,72	0,37	15,84	3,97	27,90

Fonte: Elaborado por Frota, 2017.

Com base na (tabela 18) pode-se analisar em intervalos de 4 anos as principais mudanças ocorridas na área de aprisionamento de sedimentos, com relação ao aumento e diminuição de tamanho da área de um determinado ano para o outro, em cada secção estabelecida (I, II, III e IV). Pode-se perceber que os campos de dunas móveis da área de estudo para o ano de 2015 apresentaram uma extensão de 27,90 km², apresentando um aumento de 35% em relação ao ano de 1994.

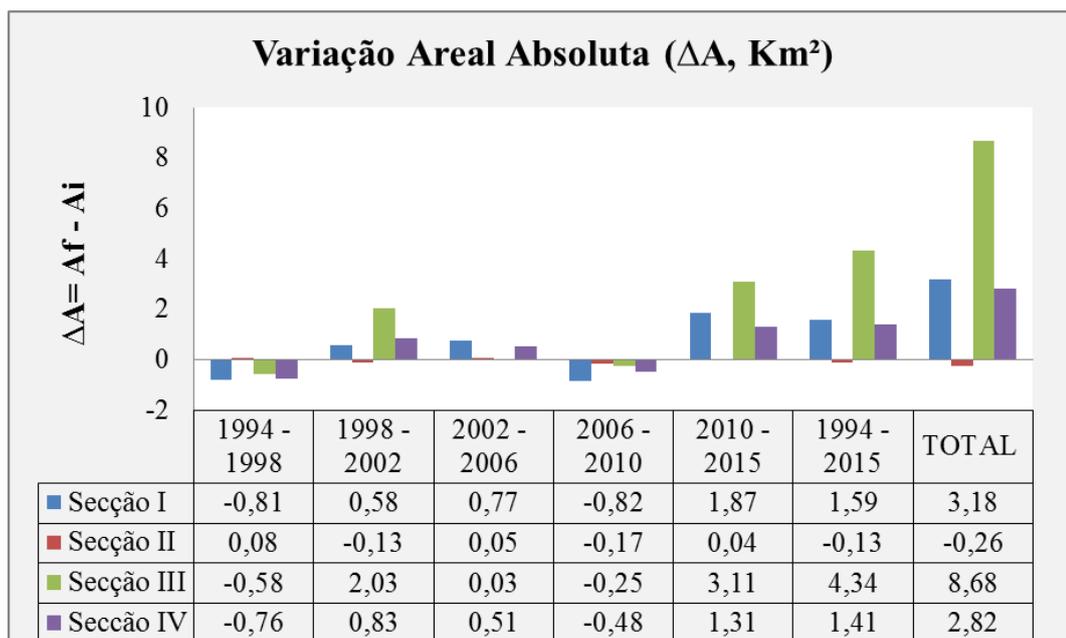
Dos 27,90 km² 7,72 km² (27,67%) correspondem à secção de dunas de Ilha Grande (secção I), 0,37 km² (1,33%) corresponde à secção II das dunas de Parnaíba, 15,84 km²

(56,77%) à secção III das dunas de Luís Correia (mais próximas da Lagoa do Portinho) e 3,97 km² (14,23%) à secção IV das dunas móveis também localizadas em Luís Correia.

Conforme pode ser visto no gráfico 1 para toda a área da planície costeira do estado do Piauí houve uma perda maior da área de aprisionamento dos sedimentos areais nas secções I, III e IV no intervalo de 1994-1998, na secção II nos intervalos de (1998-2002; 2006-2010 e 1994-2015) e nas secções I, II, III e IV no intervalo de (2006 - 2010), pode-se perceber que os resultados de variação de área deram todos negativos, mostrando que nesses intervalos a perda de sedimentos foi maior que o ganho de sedimentos, fato que pode ser comprovado nos dados apresentados nas (tabelas 19 e 20) que, através da ferramenta de análise *Symmetrical Difference* localizada no *Software ArcMap* para avaliação de cada bancos de dunas presentes na planície costeira nos mostram em km² e porcentagem a quantidade de sedimentos perdidos e sedimentos ganhos em cada intervalo estabelecido.

Através da análise da diferença simétrica, nesses intervalos observou-se uma enorme modificação na área de aprisionamento dos sedimentos, com uma perda maior de sedimentos arenosos, ou seja, a superfície não vegetada da duna móvel teve seu arranjo espacial alterado, mostrando que determinado banco de duna possuía uma cobertura uniforme, geometricamente contínua, que sofreu intensa redução com a atuação de diferentes fatores, sendo o principal deles o vento.

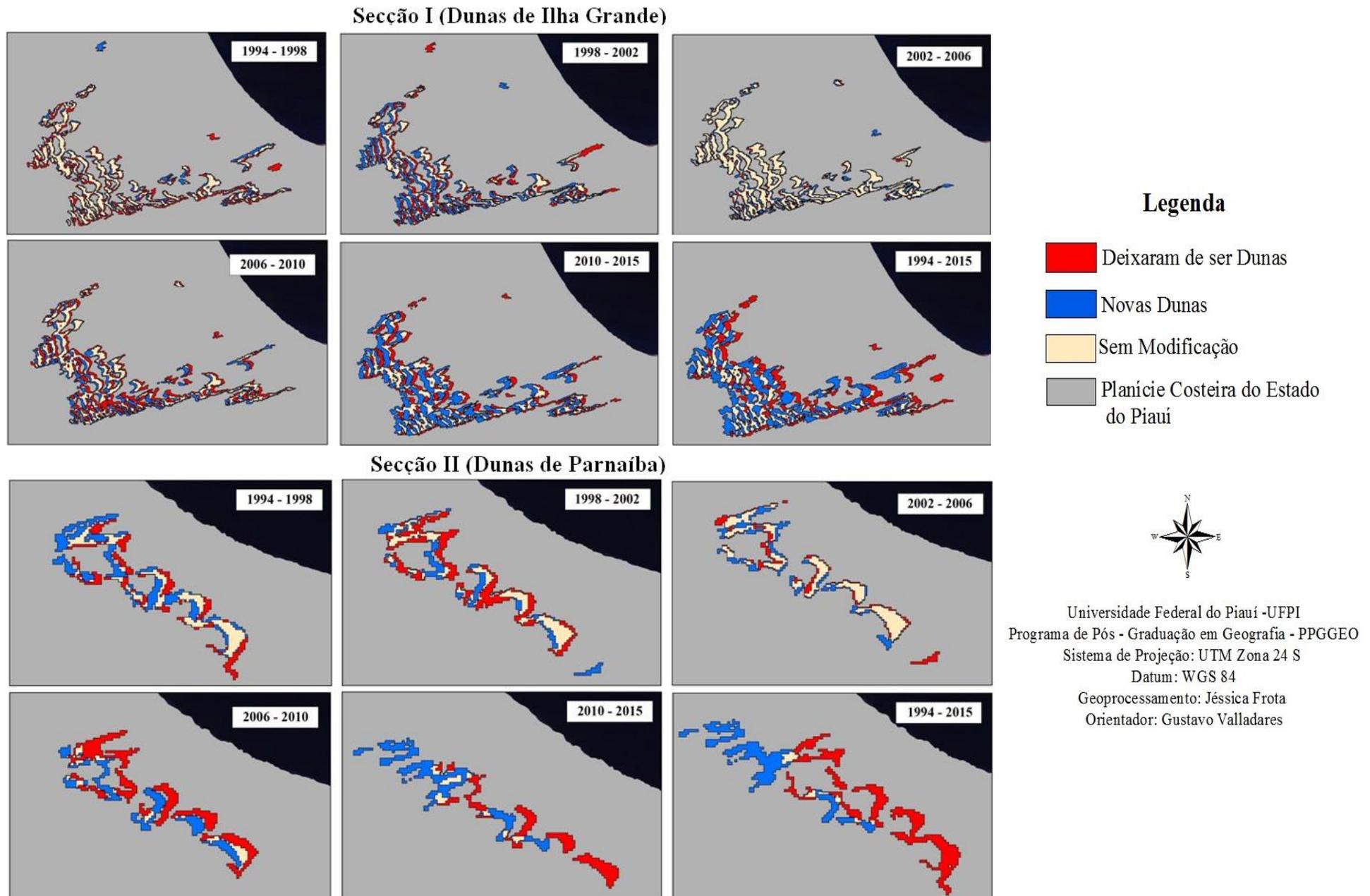
Gráfico 1 – Variação da área de cada secção de dunas presentes na planície costeira durante os intervalos de 1994 a 2015

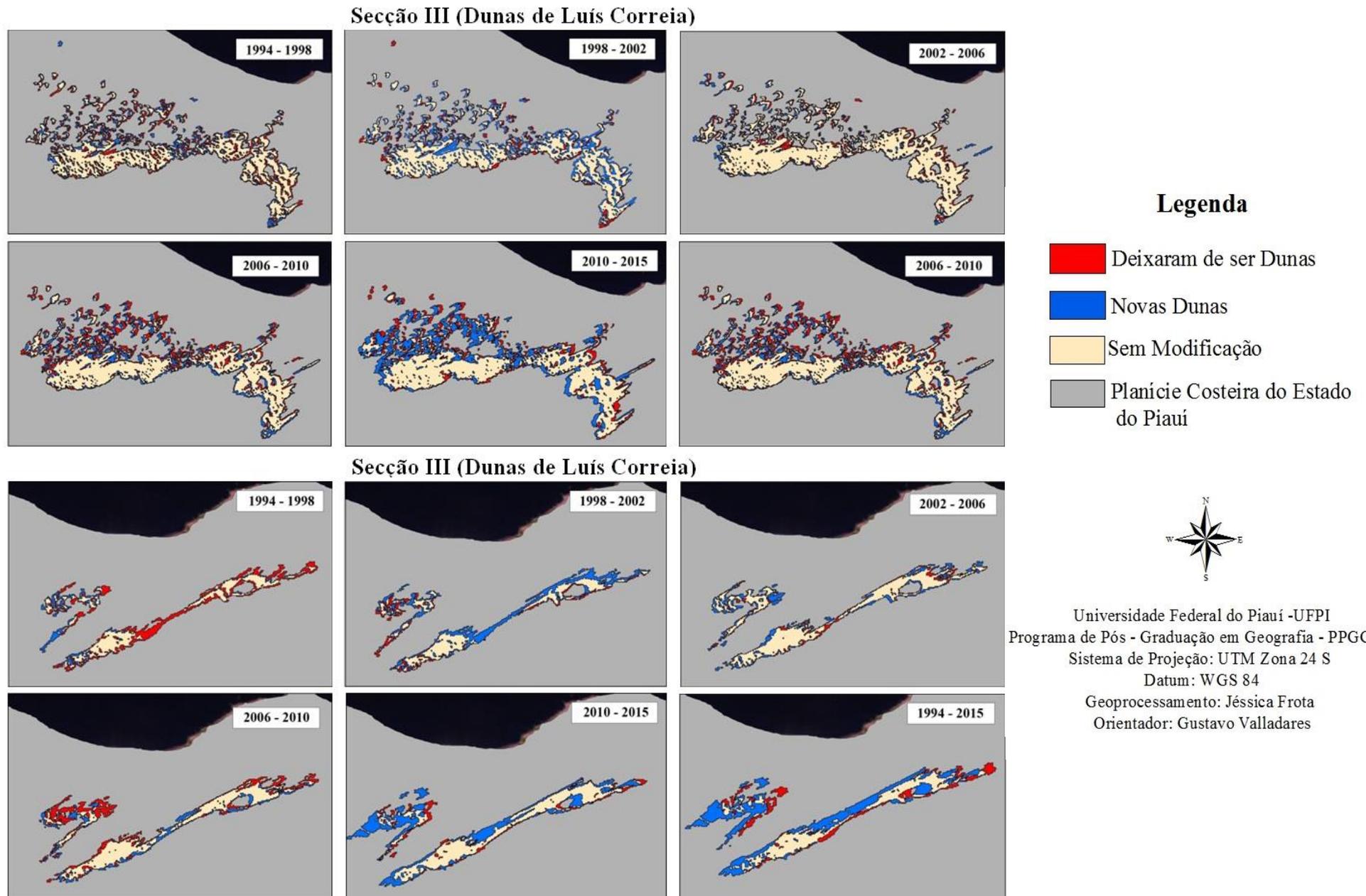


Fonte: Elaborado por Frota, 2017.

Como resultado geral, observando a quantidade de perda e ganho dos sedimentos na área de aprisionamento de cada secção, pode-se observar, conforme ilustra as (figuras 22 e 23) que as áreas representadas em vermelho correspondem às áreas que deixaram de ser dunas, os polígonos em azul, representam as áreas de novas dunas, ou seja, áreas que antes não eram dunas e com a dinâmica passaram a ser dunas (ganho) e os polígonos em tons de bege indicam as áreas que não obtiveram modificações.

Resultados semelhantes também foram encontrados nos trabalhos de Silva (2012), Fernandes e Amaral (2013) no Rio Grande do Norte; Meireles (2011) em Jericoacoara-CE e Middlebrook; Ewing e Bridges (2015).





Fonte: Elaborado por Frota, 2017.

Vale ressaltar que as unidades de paisagem presentes na área de estudo correspondem a depósitos paralelos a linha de costa que começam a se esboçar a partir da preamar e do pós-praia, com cotas variando de 5 a 40 metros, superpondo nas cotas mais elevadas o Grupo Barreiras (SOUSA, 2015). Essas dunas apresentam uma morfologia transversal e sofrem influencia dos ventos de nordeste e sudoeste.

De acordo com Sousa (2015) na planície costeira do Estado do Piauí os principais tipos de dunas encontrados são as do tipo barcanas, com lagoas em áreas interdunares. Estas dunas forma-se sobre a superfície plana e revegetada do pós-praia e vêm migrando pela ação dos ventos unidirecionais para o interior do continente.

Com base nos dados das (tabelas 19 e 20) que quantificam a perda e o ganho dos sedimentos durante cada intervalo de tempo, observou-se que, na análise da evolução/migração entre os anos de 1994 e 2015 a área da superfície não vegetada, nos campo de duna de Ilha Grande (Secção I) apresentou uma perda maior de sedimentos durante os intervalos de 2006-2010 com (3,08km²) perdidos e durante o intervalo de 1994-2015 com uma perda total de 3,35km². Vale inferir que nesta secção apesar da existência desses intervalos apresentando uma maior perda com relação ao ganho de sedimentos, houve certo equilíbrio de perda e ganho de sedimentos durante o intervalo de 21 anos, toda essa secção apresentou uma perda de 14,74km² e um ganho de 17,88 km² de sedimentos.

Tabela 19 – Relação de perda e ganho dos campos de dunas móveis da secção I e II da planície costeira do estado do Piauí

<i>Período</i>	Dunas de Ilha Grande			Dunas de Parnaíba		
	Secção I			Secção II		
	Perda (km²/%)	Ganho (km²/%)	Áreas Estáveis (km²/%)	Perda (km²/%)	Ganho (km²/%)	Áreas Estáveis (km²/%)
1994-1998	2,31	1,50	3,82	0,24	0,33	0,26
1998-2002	2,40	2,96	2,92	0,33	0,20	0,25
2002-2006	0,97	1,74	4,93	0,13	0,18	0,32
2006-2010	3,08	2,26	3,59	0,41	0,24	0,09
2010-2015	2,63	4,50	2,89	0,26	0,30	0,07
1994-2015	3,35	4,93	2,78	0,46	0,33	0,04

Fonte: Elaborado por Frota, 2017.

A secção II referentes às dunas de Parnaíba por estarem mais localizadas próximo a linha de costa e sofrerem uma ação ainda maior dos ventos e da dinâmica da costa realizada através das ondas e marés, apresentou uma perda maior que o ganho de sedimento também nos intervalos de 2006-2010 e no intervalo de 1994-2015, onde houve um ganho de 0,33km² e uma perda de 0,46km². De maneira geral, diferente da secção I que durante o intervalo dos 21 anos apresentou um ganho de sedimentos maior, essa secção apresentou uma perda de sedimentos superior ao ganho, com cerca de 1,83 km².

Já as dunas de Luís Correia (Secção III), mostraram uma maior recepção de sedimentos arenosos (25,53 km²) e uma perda menor (16,84 km²). Esses sedimentos perdidos dispersam-se sobre o continente formando as bacias de deflação na mobilidade do campo de dunas, que avança para o interior em forma de lençóis de areia.

Nas dunas de Luís correia (secção IV), no intervalo de 1994-1998 observou-se uma perda maior da área de sedimentos arenosos, ou seja, a superfície não vegetada da duna móvel teve o seu arranjo espacial alterado, sofrendo intensa redução de cerca de 1,20km² e um ganho de 2,21 km² de sedimentos durante o intervalo de 2010-2015, porém, de maneira geral essa secção das dunas apesar de sofrerem uma ação intensa dos ventos alísios de nordeste apresentaram um ganho de sedimentos maior que a perda com 7,22 km² de ganho e 4,40km² de perda.

Tabela 20 – Relação de perda e ganho dos campos de dunas móveis da secção III e IV da planície costeira do estado do Piauí

<i>Período</i>	Dunas de Luís Correia			Dunas de Luís Correia		
	Secção III			Secção IV		
	Perda (km²)	Ganho (km²)	Áreas Estáveis (km²)	Perda (km²)	Ganho (km²)	Áreas Estáveis (km²)
1994-1998	3,18	2,60	8,42	1,20	0,45	1,36
1998-2002	2,04	4,07	8,88	0,42	1,26	1,33
2002-2006	2,20	2,23	10,75	0,37	0,86	2,26
2006-2010	3,56	3,31	9,42	1,15	0,66	1,99
2010-2015	2,68	5,80	10,05	0,46	1,78	2,20
1994-2015	3,18	7,52	8,32	0,80	2,21	1,76

Fontes: Elaborado por Frota, 2017.

Ao analisar as imagens de satélite através de técnicas de PDI para encontrar os resultados obtidos notou-se que os estágios estabelecidos nas imagens coincidem respectivamente com períodos de menor incidência de chuvas, tendo em vista que as imagens escolhidas foram todas do mês de junho e setembro, o que nos permite inferir que os períodos menos chuvosos favorecem o influxo de areia eólica e o consequente aumento do campo de dunas móveis.

Dessa forma, pode-se observar que durante os intervalos estudados a dinâmica dos campos de dunas da planície costeira do estado do Piauí é bastante intensa e bastante considerável, estando relacionadas principalmente às relações climáticas e fortes influência dos ventos, pois conforme destaca Pinheiro; Moura Fé e Freitas (2013) o vento, dentre os elementos climáticos atuantes na faixa litorânea, assume um papel relevante na morfogênese dos campos de dunas. Assim, as médias de velocidade do vento tendem a ser superior nos meses mais secos e acabam contribuindo bastante para o arraste de partículas, principalmente quando o solo contém uma maior quantidade de partículas finas, como é o caso das dunas móveis da planície costeira do estado.

Vale ressaltar que ao observar a dinâmica eólica desses sedimentos através da interpretação visual em campo e através de imagens de satélite e do Google Earth o depósito sedimentar (pacote dunar) situado na porção oeste da área de estudo (Secção I) por influência dos ventos e por avançar no sentido transversal, sentido do leito fluvial (rio Parnaíba) dentre as outras secções é o único que consegue retornar à faixa costeira. Ele atinge a área estuarina, através da migração do rio Parnaíba e a partir daí parte dos sedimentos volta ao oceano através da descarga fluvial fazendo a retroalimentação da costa, conforme destaca os estudos de Paula (2013).

Nas outras secções pode-se perceber que esses depósitos não retornam efetivamente para a linha de costa e acabam dispersando-se no continente, em função da baixa competência dos cursos fluviais presentes. O que nos faz pensar que este fato pode estar contribuindo com os fenômenos de erosão marinha observados no litoral do Piauí e até do Ceará, tendo em vista que a direção do movimento dos sedimentos eólicos nessas regiões se dá de Nordeste para Sudoeste e que o que vem se observando hoje no litoral Piauiense é um “desaparecimento das praias” ou “estreitamento das praias” devido à falta de retorno dos sedimentos que adentram o continente.

De maneira geral foi constatado que as quatro secções dos campos de dunas da planície costeira do estado experimentaram uma perda de aproximadamente 36,61 km² da área. As áreas de ganho dos campos de dunas totalizaram 52,22 km², sendo a presença das

dunas que não sofreram modificação pouco evidente, devido á forte dinâmica ocorrida na planície costeira, no entanto, essa classe de dunas sem modificações, pode ser observada com maior evidencia principalmente nas secções I, III e IV.

Pode-se inferir que a área de estudo apresenta uma grande dinâmica de campos de dunas móveis, com um significativo aumento da área de aprisionamento de sedimentos de uma década para outra, com complexas alterações no contorno das dunas, o que pode ser visto principalmente nas secções I e III por apresentarem uma maior extensão.

Nessas duas secções foi possível visitar dois pontos específicos que nos mostraram uma intensa dinâmica, especificadamente nos locais: Comunidade Morro da Mariana e a área próxima à Lagoa do Portinho. Os moradores da comunidade do morro da Mariana e também do morro dos Tatus sofrem diretamente a ação da dinâmica das dunas ocasionada pelos ventos, e conseqüentemente sofrem com a aproximação das dunas às residências, que ameaçam invadir a comunidade, isso consequência em parte, segundo ressalta Soares et al. (2013) do grande desmatamento feito pelos moradores, para a produção de carvão vegetal e lenha e pela exploração da pecuária extensiva, atividades estas que são fontes de renda da população (Figura 24).

Figura 24 – Dunas avançando a pista de acesso à comunidade do morro da Mariana e morro dos Tatus no município de Ilha Grande-PI.



Fonte: Fotos Jornal de Ilha Grande, 2015.

Os impactos neste contexto ambiental vêm ocasionando prejuízos também na atividade turística desenvolvida no Porto dos Tatus e para os moradores, já que parte das dunas está se deslocando para o principal braço do rio Parnaíba.

De acordo com as (figuras 25 a e b e figuras 26 a e b) os bancos de dunas próximos a lagoa do Portinho chegaram a encobrir as pistas de acesso, ao local que até o ano de 2014 era visto como um ponto turístico, ou seja, uma área de lazer de Luís Correia, e que no ano de 2015 e até o ano atual vem passando por diversas dificuldades de vazão de água, encontrando-se totalmente seca.



Figura 25 – Área próximo a Lagoa do Portinho: A - Pista de acesso à lagoa do Portinho, sentido Parnaíba - Luís Correia durante do ano de 2014; B - Dunas encobrendo pista de acesso à Lagoa do Portinho, sentido Parnaíba – Luís Correia durante o ano de 2016. Fonte: Sousa, 2015; Frota, 2017.

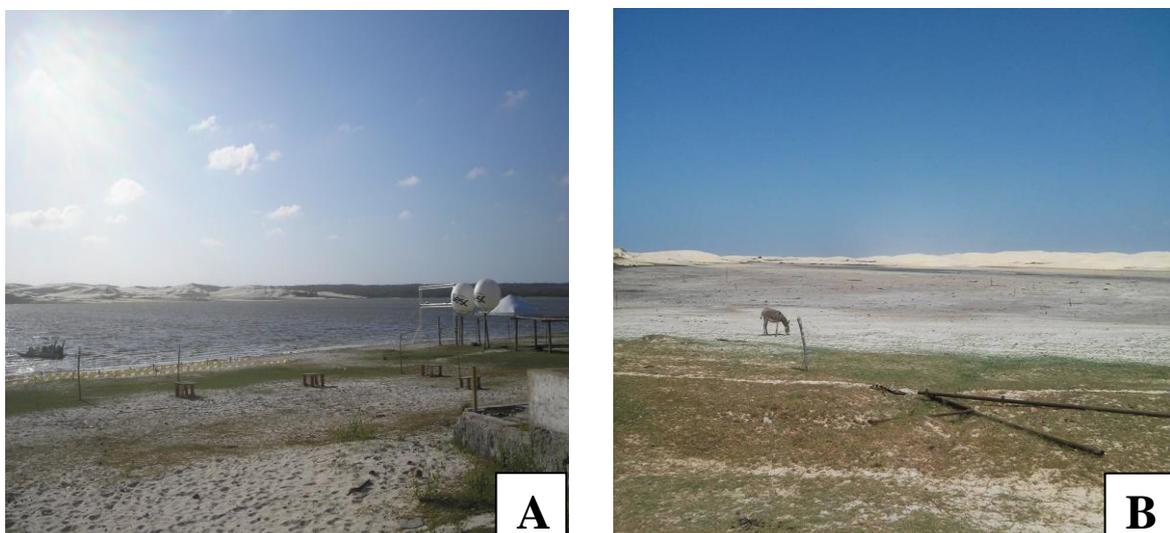


Figura 26 – A: Lagoa do Portinho no ano de 2014. Fonte: Sousa, 2014; B - Lagoa do Portinho no ano de 2016. Fonte: Frota, 2017.

Pesquisadores ainda vêm discutindo essa situação procurando entender o real motivo da falta de água, no entanto, não se descarta a hipótese do avanço das dunas, ocasionada pela ação dos ventos também ser um fator que pode ter contribuído para escassez da mesma.

A forte dinâmica das dunas na planície costeira do estado do Piauí, apesar de 90% de sua ação ser condicionada por agentes naturais, como no caso, o vento, vem gerando efeitos bastante negativos em alguns pontos da planície costeira, principalmente na comunidade do Morro da Mariana, onde várias residências foram soterradas, como também ruas e vias de acesso.

Diversos são os agentes causadores dessa dinâmica, Oliveira (2005) destaca que os principais condicionantes do processo de vulnerabilidade das dunas estão associados a fatores de caráter antrópico e os relacionados à dinâmica costeira atuante no local (natural). No litoral piauiense, pode-se observar que a maior parte dessa dinâmica se dá através de processos naturais como: a forte velocidade e variação dos ventos e os baixos índices pluviométricos.

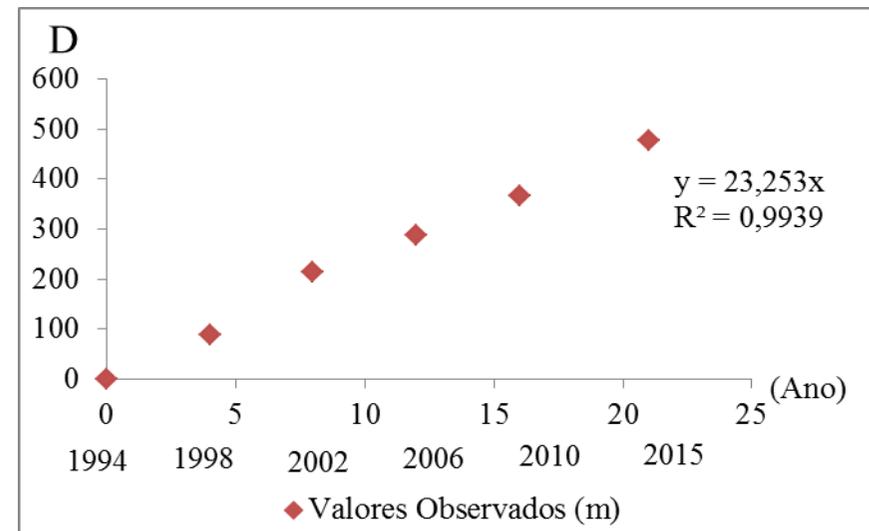
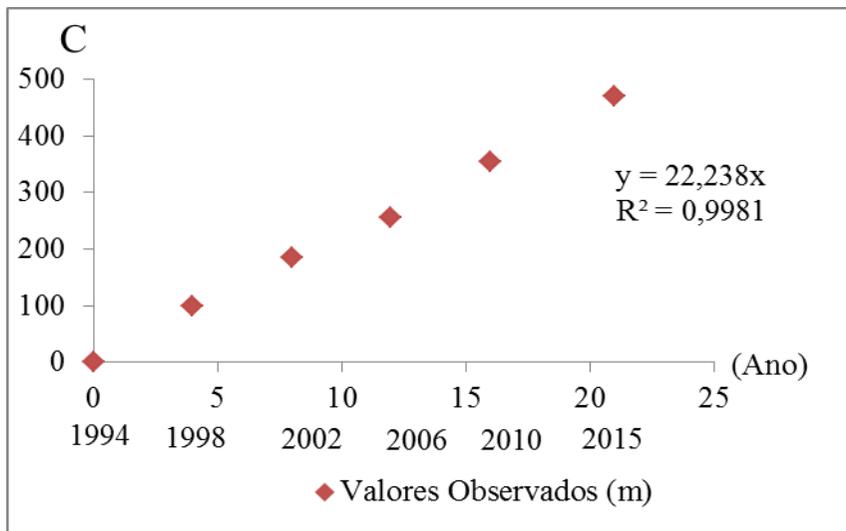
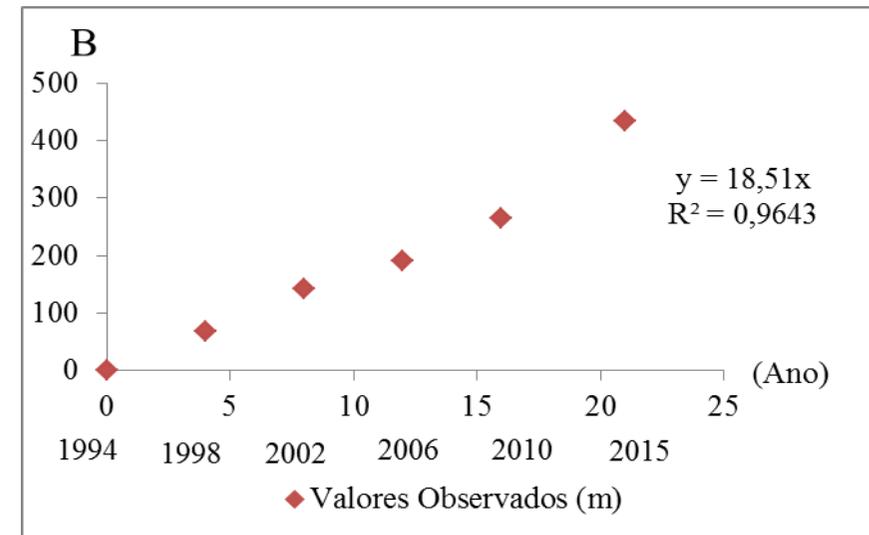
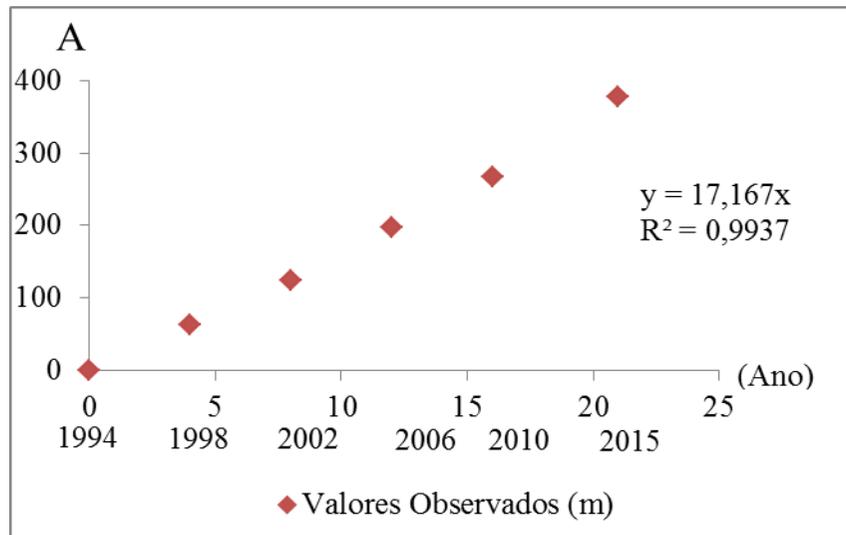
No entanto, vale ressaltar que na área também há modificação da dinâmica das dunas e barramento dessa dinâmica influenciada pela ação antrópica, como a presença de grandes empreendimentos, como resorts e parques eólicos; trânsito de pessoas e veículos dentre outros. As dunas, em seu processo de migração ao longo da costa, regulam e controlam o balanço sedimentar de todo o ambiente costeiro (BAPTISTA, 2010), porém, quando o homem interfere nestes processos, modificando a trajetória, a energia envolvida e o volume de areia em transporte, inicia-se uma nova dinâmica, que passa a ser regida pelo predomínio de fenômenos erosivos.

Observando a forte dinâmica das dunas na planície costeira do estado do Piauí através da interpretação das imagens de satélite e levando em consideração o expressivo avanço das mesmas durante os intervalos de 1994 a 2015, com base nos dados dos (gráficos 2, 3 e 4), utilizando-se de equação regressiva³ observou-se que o avanço das dunas na Planície Costeira do Estado do Piauí se dá de maneira linear.

3

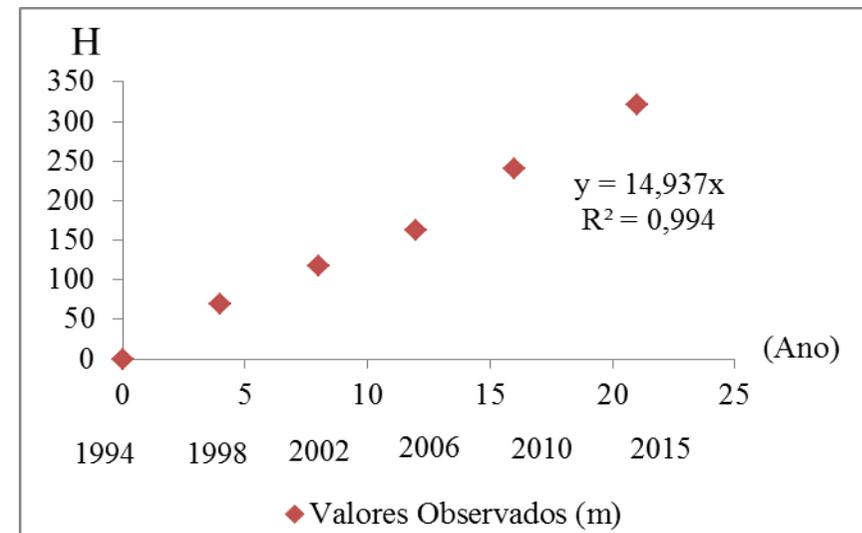
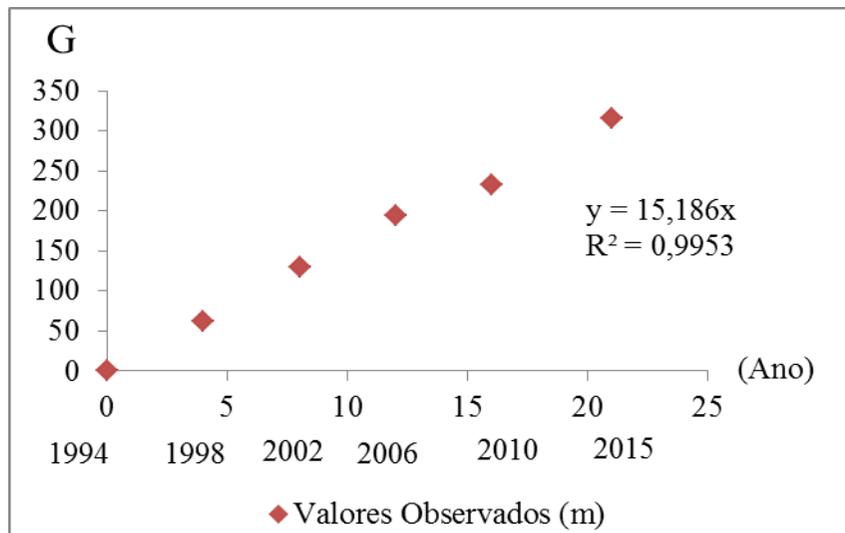
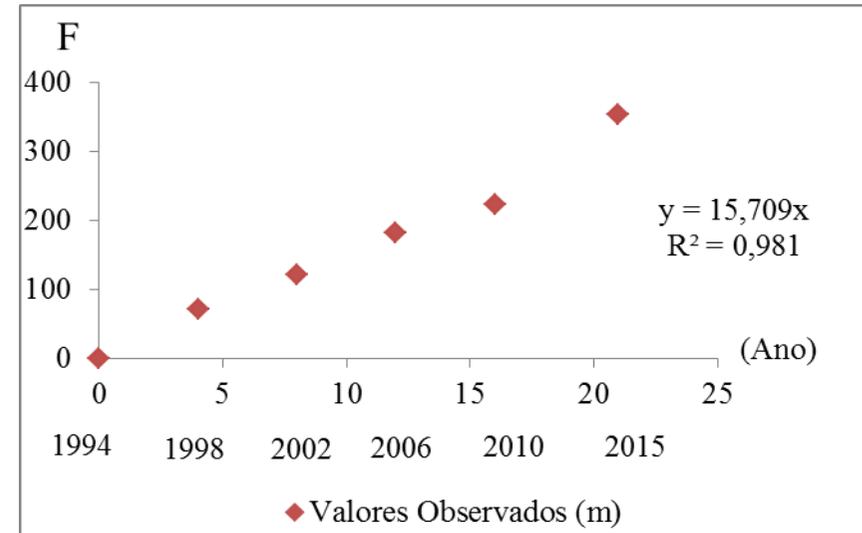
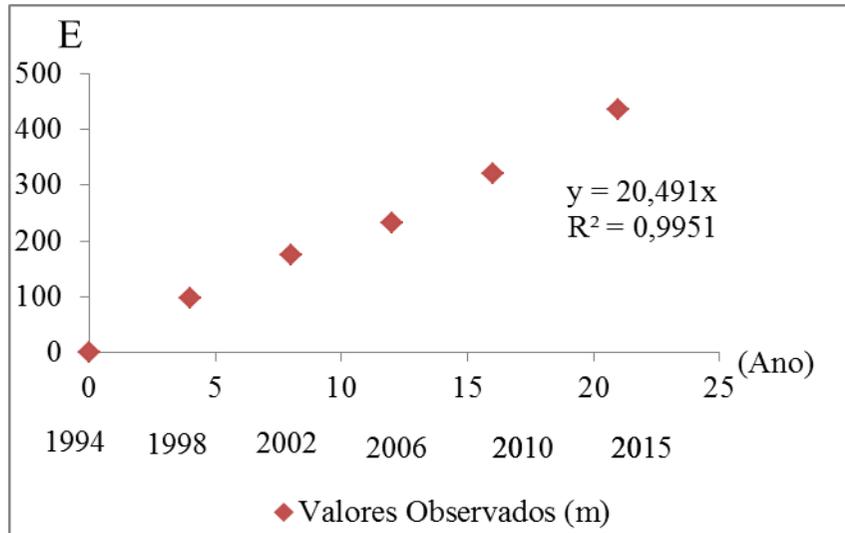
A regressão linear consiste na realização de uma análise estatística com o objetivo de verificar a existência de uma relação funcional entre uma variável dependente com uma ou mais variáveis independente. Em outras palavras consiste na obtenção de uma equação que tenta explicar a variação da variável dependente pela variação dos níveis da variável independente.

Gráfico 2 – Representação dos valores observados em determinados pontos das dunas no litoral do Piauí (Ponto A, B, C e D)



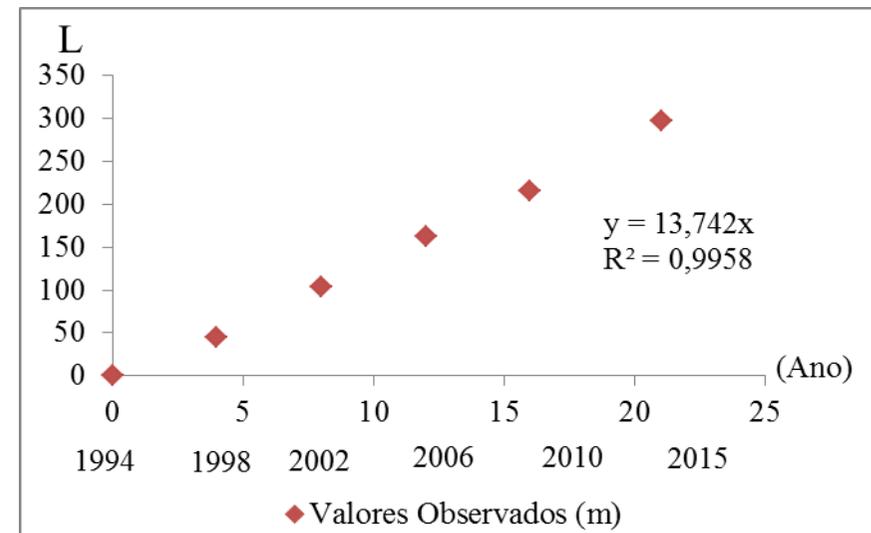
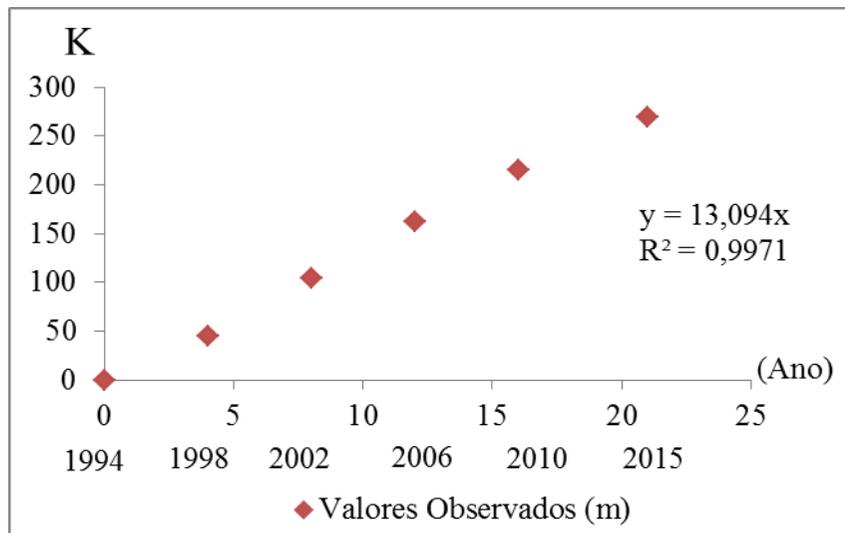
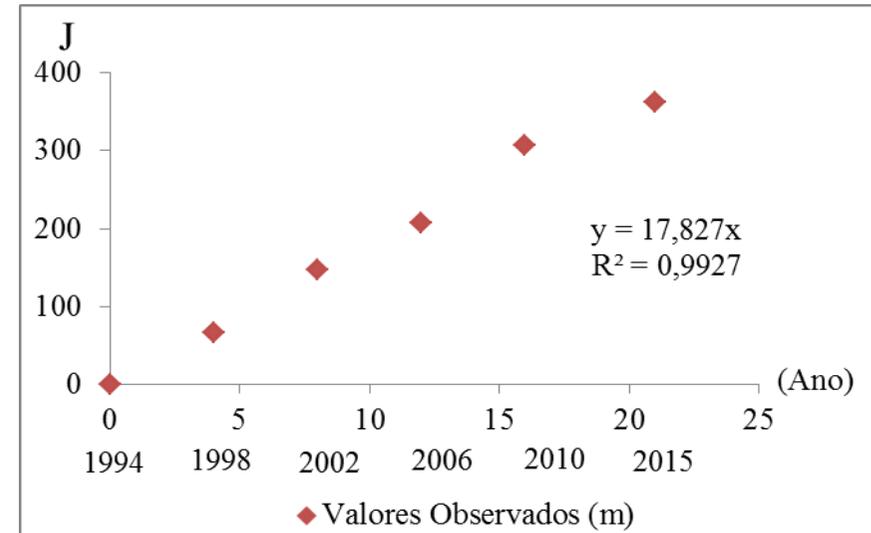
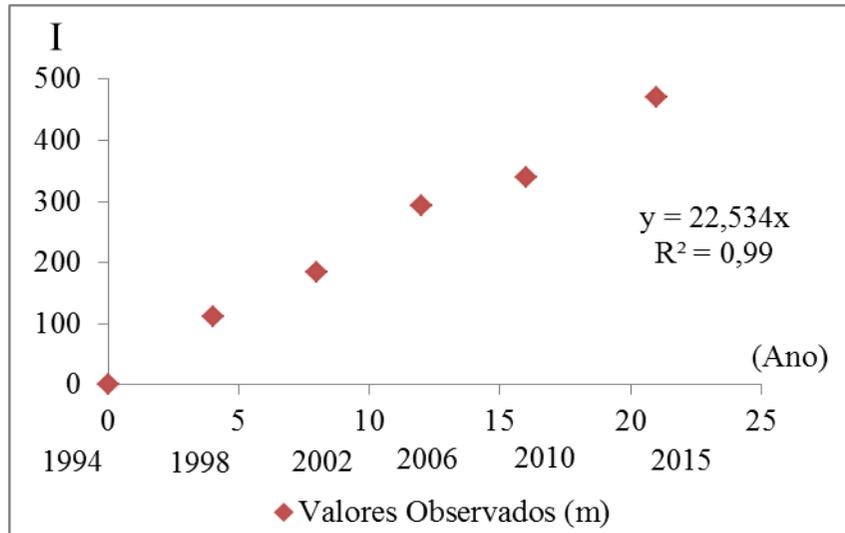
Fonte: Elaborado por Frota, 2017.

Gráfico 3 - Representação dos valores observados em determinados pontos das dunas no litoral do Piauí (Ponto E, F, G e H)



Fonte: Elaborado por Frota, 2017.

Gráfico 4 - Representação dos valores observados em determinados pontos das dunas no litoral do Piauí (Ponto I, J, K e L)

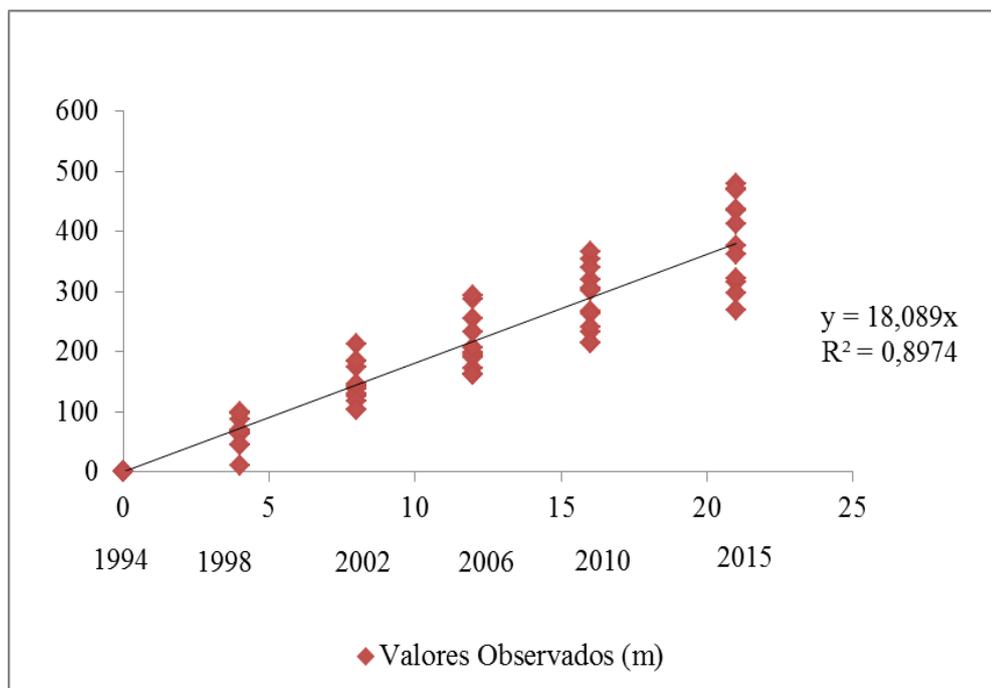


Fonte: Elaborado por Frota, 2017.

Assim, com base nas análises de regressão, observou-se que durante o ano, em diferentes pontos, as dunas avançam cerca de 13 a 23 m e isso vem sendo ocasionado principalmente pela ação dos ventos.

De maneira geral, fazendo uma média de avanço entre esses pontos, pode-se observar (Gráfico 5) que no intervalo de um ano, as dunas da planície costeira do estado do Piauí avançam cerca de (18,09 m), permitindo inferir que é um avanço bastante significativo e que portanto, necessita-se de um “alerta” especial em algumas áreas da planície costeira, tendo em vista que o avanço das dunas vem comprometendo muitas moradias da planície costeira do Piauí.

Gráfico 5 – Média de avanço entre os doze pontos destacados nas dunas na planície costeira do estado do Piauí.



Fonte: Elaborado por Frota, 2017.

Nota-se que a área de dunas móveis da área de estudo aumentou cerca de 35% o equivalente a aproximadamente 721 hectares. Resultados semelhantes foram encontrados em estudos dos bancos de dunas móveis do litoral do Rio Grande do Norte, onde Silva et al., (2015) destacaram que as dunas presentes neste litoral no ano de 1989 para 2013 avançaram cerca de 6, 2 km², o que corresponde a 620 hectares.

Silva (2015) em estudos de migração das dunas do Perú em Cabo frio – Rio de Janeiro notou que apesar do deslocamento da duna frontal da duna ter sido irregular ao longo do

tempo e do espaço o deslocamento médio anual das dunas nos anos de 1965 a 2001 foi de 3,8 metros ao ano e ressalta que até o ano de 1988 o campo de Dunas do Perú apresentou um deslocamento associado a processos naturais. Porém, a partir desta data, a movimentação dos sedimentos passou a sofrer também influência antrópica.

Mallavasi et al., (2013) procurando quantificar as mudanças da paisagem durante os últimos 50 anos, em um setor da costa italiana e analisar a sua configuração espacial em relação aos tipos de cobertura antrópicas para investigar os processos, subjacente a estas alterações, nas datas de 1954, 1986 e 2006, observaram que as alterações costeiras durante os 50 anos são notáveis. Houve uma redução substancial de extensão dos campos de dunas e uma alteração no seu padrão espacial. Houve também um aumento significativo de contatos, ou seja, um avanço das dunas móveis sobre as áreas urbanizadas e infra-estruturas, ocasionando danos e/ou prejuízos.

4.2 Análise do Risco de Inundação na planície costeira do estado do Piauí

A integração das informações realizadas a partir de cálculos algébricos entre diversos mapas temáticos possibilitou estabelecer os parâmetros para a criação do mapa de risco de inundação da planície costeira do estado do Piauí, avaliando a ponderação dos valores que tentassem indicar de forma mais fiel possível, os graus de risco dos ambientes analisados, considerando suas influências antrópicas.

Dessa forma, conforme pode-se observar na (Tabela 21) para a planície costeira do estado do Piauí foram identificadas cinco classes de risco de inundação, estas variando em: Muito Baixo ($< 0,4$); Baixo ($0,4 - 0,6$); Moderado ($0,6 - 0,8$); Alto ($0,8 - 0,9$) Muito Alto ($0,9 - 1$) e Altíssimo (> 1).

Observa-se que 30,84% da área foi classificada com risco de inundação muito baixo, e a classe de maior expressão geográfica ocupa 270,65 km² da área, sendo esta associada principalmente as áreas de tabuleiro costeiro, pertencentes ao Grupo Barreiras, onde segundo Paula (2010) os solos presentes nessa unidade geomorfológica têm como classes dominantes os neossolos quartzarênicos, argissolo vermelho-amarelo distrófico e os argissolos acinzentados distróficos, recobertos por vegetação do tipo “mata de tabuleiro” e associações do Cerrado, Cerradão e Caatinga em algumas áreas, o que demonstra boa permeabilidade e boa drenagem dos solos.

Tabela 21 – Classes de Risco de Inundação na planície costeira do estado do Piauí.

CLASSES DE RISCO DE INUNDAÇÃO	ÁREA		GRAU
	km ²	(%)	
<i>Muito Baixo</i>	270,65	30,84	< 0,4
<i>Baixo</i>	146,02	16,64	0,4 – 0,6
<i>Moderado</i>	170,47	19,42	0,6 – 0,8
<i>Alto</i>	115,40	13,15	0,8 – 0,9
<i>Muito Alto</i>	76,46	8,71	0,9 – 1
<i>Altíssimo</i>	98,65	11,24	>1
TOTAL	877,65	100	

Fonte: Elaborado por Frota, 2017.

A classe de risco baixo ocupa 16,64% (146,02 km²) da área de estudo e localiza-se principalmente nas áreas que correspondem às unidades de paleodunas, dunas estabilizadas e uma pequena parte das áreas de tabuleiros que por localizarem-se em altitudes mais elevadas e no entanto, por serem áreas de contato das unidades: Planície e terraço fluvial e Planície lacustre apresentam uma classe de baixo risco de inundação e não um risco de inundação muito baixo.

As unidades geomorfológicas que se localizam mais próximas da linha de costa, como o cordão arenoso e as planícies eólicas, por se situarem em áreas mais rebaixadas e sofrerem ação direta do oceano, enquadram-se em uma classe já de maior risco sendo classificada de acordo com dados dessa pesquisa como áreas de risco de inundação moderado. Esta classe corresponde a 19,42% (170,47 km²) da área de estudo e são áreas onde há a predominância de Neossolos Quartzrênicos. Segundo Sousa (2015) esta classe apresenta elevado grau de vulnerabilidade ambiental, variando de 2,6 a 3,0 graus.

Já as unidades Planície Flúvio-Marinha, Planície Lacustre e aos Terraços fluviais correspondem às áreas de risco de inundação alto e muito alto. Isso devido principalmente ao fato de situarem-se em áreas correspondentes às planícies de inundação, portanto, muito próximas à rios e lagos, como é o caso da cidade de Luís Correia e Parnaíba, onde, a urbanização desenvolveu-se e vem se desenvolvendo em áreas muito vulneráveis, muito próximas a linha de costa. Segundo Sousa (2015) as áreas próximo à cidade de Luís Correia apresentam grau de vulnerabilidade muito alto e a cidade de Parnaíba apresenta um grau de vulnerabilidade ambiental variando de medianamente estável a moderadamente vulnerável

variando de (1,7 a 2,6). Essas classes, por sua vez, representam cerca de 13,15% e 8,71% da área que corresponde a 115,40 km² e 76,46 km², ou seja, uma porção significativa da planície costeira com riscos de inundação.

A população chega a construir casas em áreas de elevado risco, sofrendo a ação de cheias de rios e a ação da erosão marinha, onde o mar avança destruindo casas que estão muito próximas à linha de costa e que desobedecem aos limites estipulados para impedimento desses transtornos. As imagens a seguir (figura 27 e 28) demonstram a questão dos riscos de inundação na cidade de Luís Correia-PI.

Vale ressaltar que durante a análise de multicritério realizada por meio do software ArcGis a área que corresponde à unidade planície flúvio-marinha localizada próximo ao rio Parnaíba, grande parte de sua extensão foi submetida a uma correção de pixel por esta estar subdividida em duas classes (Risco alto e risco muito alto). Isso devido principalmente a copas das árvores que se localizam no entorno desta unidade. No entanto, sabe-se que estas áreas apresentam um risco muito alto de inundação.

As áreas classificadas com risco altíssimo representam cerca de 11,24% da área de estudo e estão representadas principalmente pelos deltas e canais fluviais presentes na região, que em sua maioria encontram-se permanentemente inundados, com exceções de alguns canais e/meandros abandonados

Figura 27 – Área com risco de inundação próximo à praia de Atalaia na cidade de Luís Correia-PI.



Fonte: Frota, 2017

Figura 28 – Área com risco de inundação próximo à praia de Atalaia na cidade de Luís Correia-PI

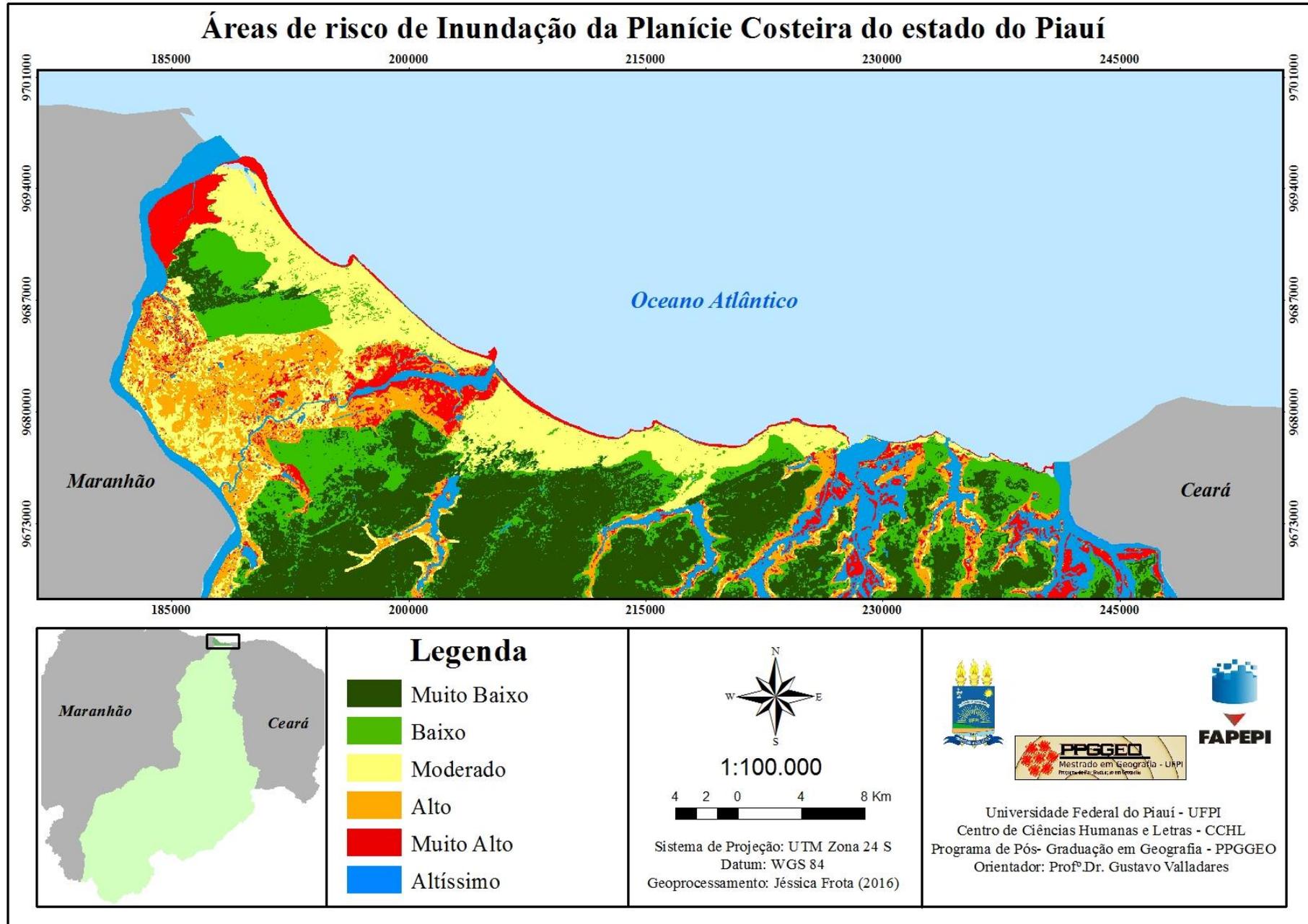


Fonte: Frota, 2017.

Assim, a partir das análises feitas por meio dos dados geográficos no presente estudo, pode-se observar que, a distribuição espacial das ocorrências georreferenciadas de inundações segue uma lógica que respeita as características topográficas dos locais onde os registros foram amostrados. Isto significa que a espacialização das áreas inundáveis tem relação diretamente proporcional à distância em relação aos canais fluviais, bem como à altitude, à declividade e às feições geomorfológicas da área.

Contudo, nota-se que as áreas que apresentam altitudes mais elevadas (tabuleiros e campos de dunas móveis) apresentam risco nulo de inundação e já as áreas próximas a canais fluviais representam as áreas de maior risco de inundação.

Dessa forma, o mapa de risco de inundação produzido permitiu a compreensão das diferentes classes de risco de cada unidade mapeada, podendo ser utilizado como instrumento de gestão costeira para o desenvolvimento local e regional. O mapeamento também permitiu avaliar as potencialidades da planície costeira do Piauí de forma integrada, compatibilizando suas características naturais às restrições que a mesma apresenta, para edificações em áreas alagadiças e áreas não alagadiças (Figura 29).



4.3 Análise do Risco de Erosão na Planície Costeira do Estado do Piauí

Através da análise feita por métodos algébricos aplicados na planície costeira do estado do Piauí e os estudos de campo, pode-se perceber que na área de estudo, a complexidade de processos e mecanismos que favorecem a dinâmica morfogenética por parte do vento e da água são bastante evidentes.

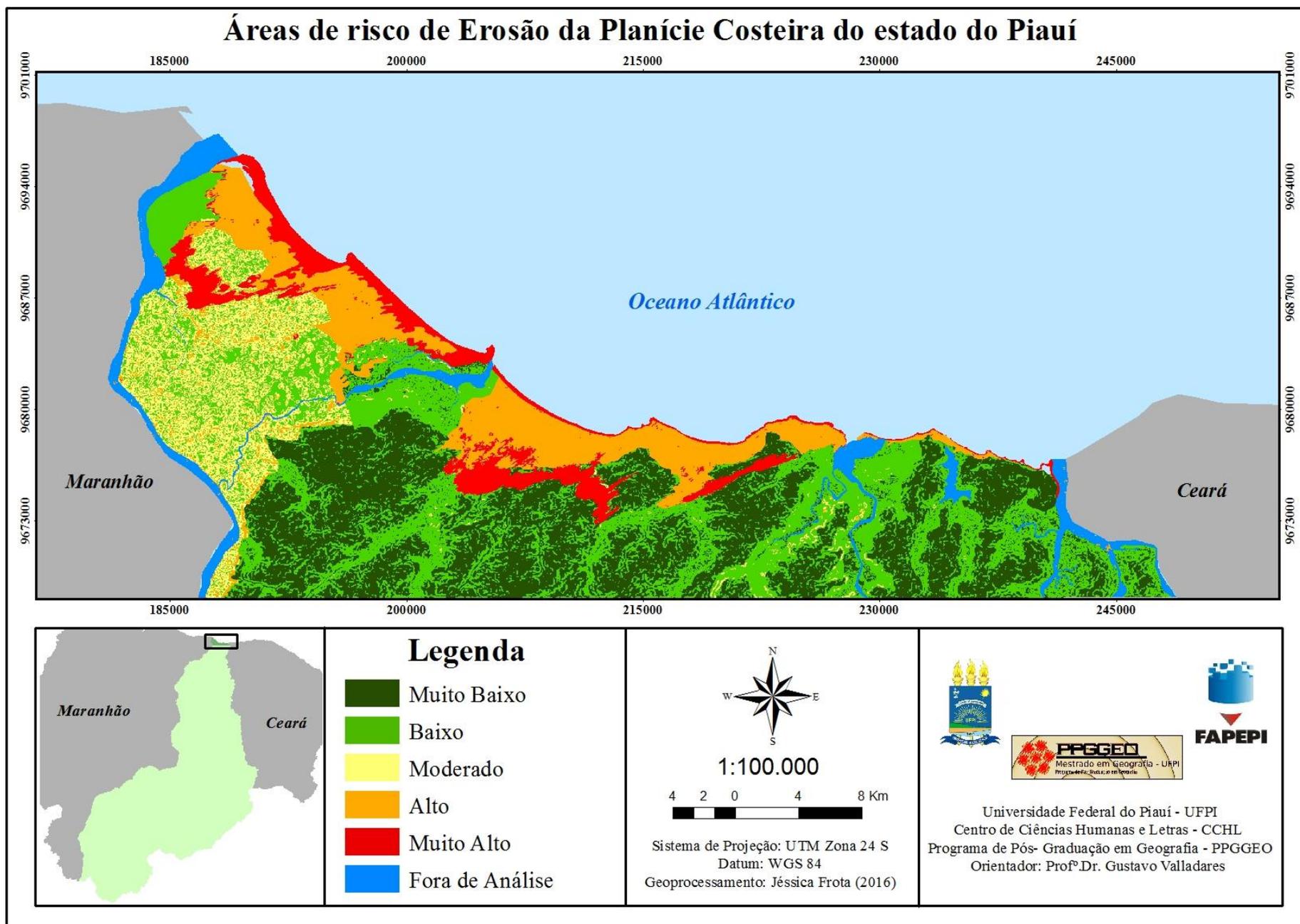
Os resultados obtidos na avaliação de áreas de riscos de erosão do solo podem ser observados e analisados através da (tabela 26 e da figura 30) onde, para a planície costeira do estado do Piauí foram identificadas seis classes de risco de erosão, estas variando em graus de: Muito Baixo (< 0,2); Baixo (0,2 – 0,4); Moderado (0,4 – 0,45); Alto (0,45 – 0,59) Muito Alto (0,59 – 1) e Fora de análise (>1).

Tabela 22 – Classes de Risco de Erosão na planície costeira do estado do Piauí

CLASSES DE RISCO DE EROSÃO	ÁREA		GRAU
	km ²	(%)	
<i>Muito Baixo</i>	266,00	25,75	< 0,2
<i>Baixo</i>	290,23	37,07	0,2 – 0,4
<i>Moderado</i>	87,10	9,93	0,4 – 0,45
<i>Alto</i>	119,73	13,64	0,45 – 0,59
<i>Muito Alto</i>	51,70	5,89	0,59 – 1
<i>Fora de Análise</i>	62,80	7,16	>1
TOTAL	877,56	100	

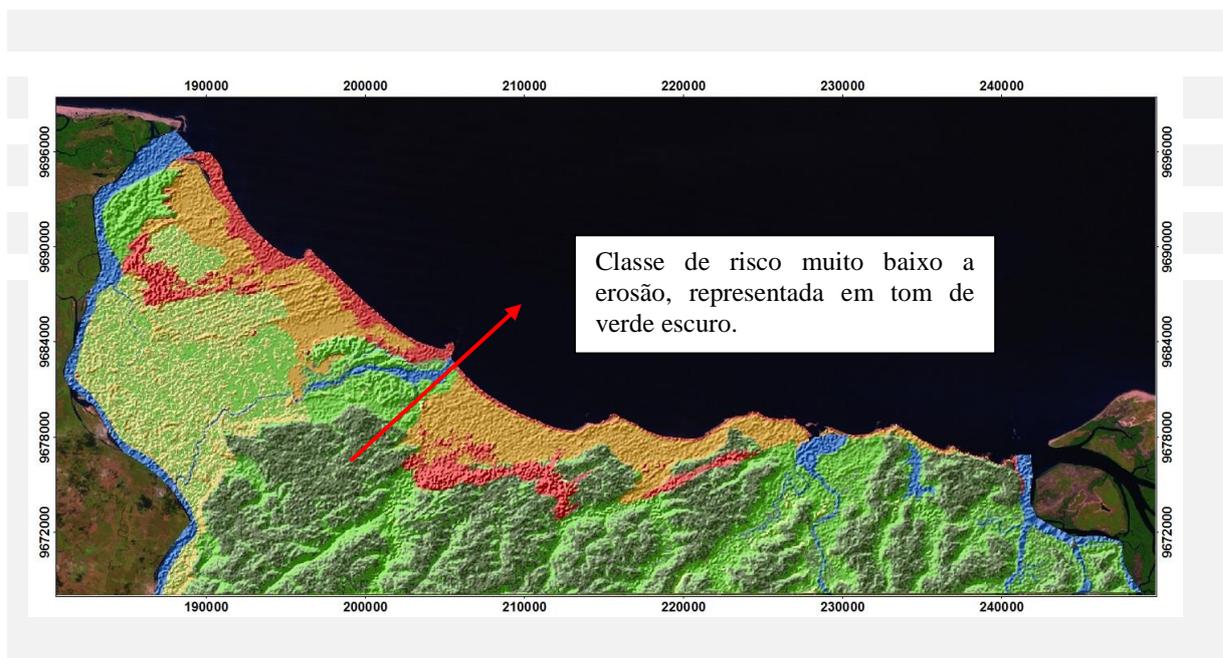
Fonte: Elaborado por Frota, 2017.

Atualmente, diversos estudos em regiões costeiras vêm discutindo a preocupação de risco de erosão em ambientes que apresentam uma forte dinâmica. No entanto, assim como os resultados obtidos nessa pesquisa, resultados semelhantes também foram encontrados nos trabalhos de Piérre (2008) que avaliou os riscos de erosão das diversas praias de Tibau do Sul no Rio grande do Norte; Lins-de-Barros (2006) que procurou identificar as áreas críticas à erosão costeira nas praias de Maricá – RJ quanto ao risco e vulnerabilidade à erosão costeira e avaliar os danos, adaptações, prejuízos e a percepção da população em relação a esse problema; Gomes et al. (2004) que procurou avaliar os riscos de erosão na costa noroeste de Portugal; dentre vários outros trabalhos.



Com base no mapeamento realizado (Figura 31) pode-se observar que a área classificada com risco muito baixo à erosão ocupa cerca de 25,75% da área de estudo o que corresponde a 266,00 km² de área. Essa classe de risco muito baixo ocorre nas áreas mais planas da paisagem, condição que favorece a infiltração da água e minimizam o escoamento superficial e, portanto, os processos erosivos. Essa classe, segundo o estudo geomorfológico realizado por Sousa (2015) se distribui sobre toda a área do Grupo Barreiras e por ser áreas mais elevadas (com altitudes variando entre 30 a 50 metros) e onde a presença da vegetação é bastante pertinente, são, portanto, classificadas como áreas que apresentam uma baixa susceptibilidade a erosão (Figura 31).

Figura 31 – Demonstração das áreas que correspondem à classe de risco de erosão muito baixo, representada por áreas mais elevadas.



Elaborado por Frota, 2017.

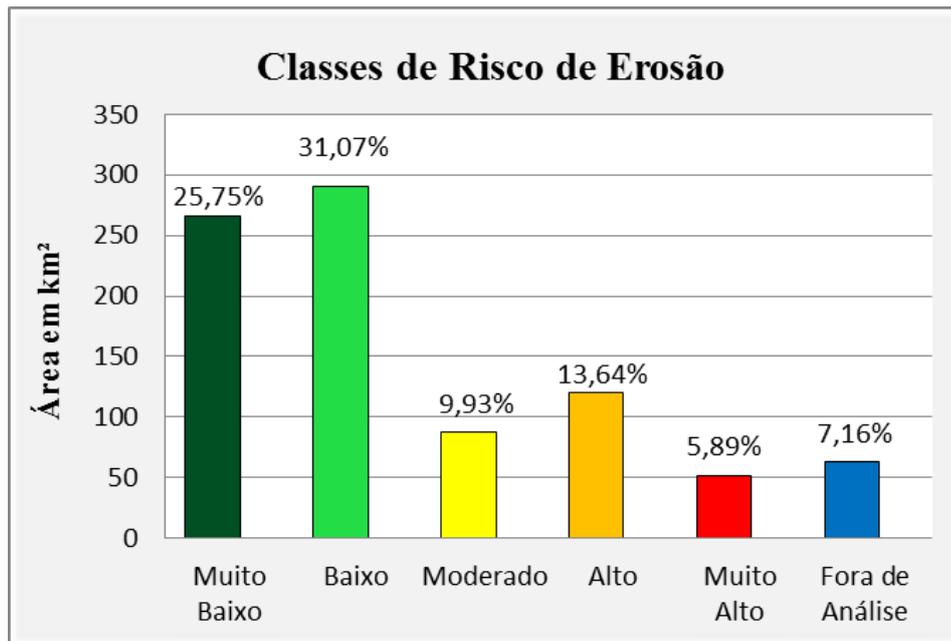
Vale ressaltar ainda, que essa classe em sua maioria é composta por vegetação do tipo: arbustiva densa (onde permanece boa parte da vegetação nativa do local) e vegetação arbustiva aberta, ou seja, durante a maior parte do tempo, estes solos apresentam-se cobertos e protegidos, o que acaba por minimizar os processos erosivos.

Apesar de apresentar uma cobertura vegetal bastante evidente ajudando a minimizar os processos erosivos, segundo Cabral e Valladares (2015) essa classe também é ocupada em alguns trechos/pontos por Argissolo Amarelo. Esses solos normalmente apresentam boa

permeabilidade e podem ser utilizados para o manejo de diversas culturas, no entanto, eles apresentam elevado gradiente textural, o que denota certa susceptibilidade a erosão.

A classe de risco de erosão baixa é a classe de maior representatividade dentro da planície costeira do estado do Piauí, conforme pode ser observado no (gráfico 6).

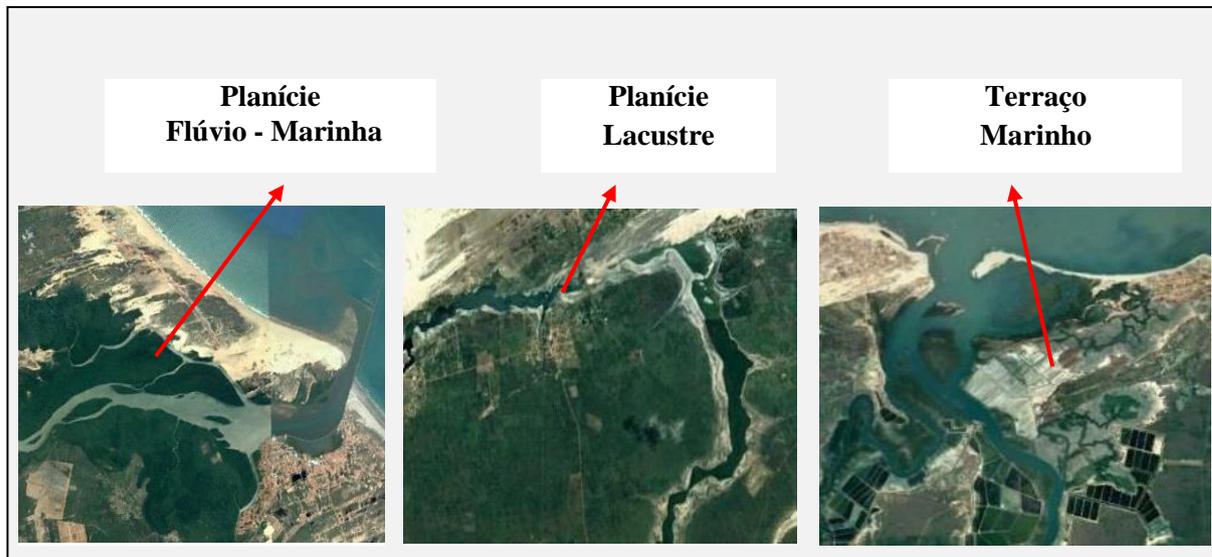
Gráfico 6 - Representação das classes de risco de erosão em porcentagem na planície costeira do estado do Piauí.



Fonte: Elaborado por Frota, 2017.

Esta classe ocupa cerca de 31,07% o que corresponde a 290,23km² da área de estudo e está relacionada principalmente às unidades geomorfológicas: planície flúvio-marinha, terraços marinhos e planícies lacustres, representadas pela lagoa do portinho, lagoa de Santana e lagoa de sobradinho (Figura 32).

Figura 32 - Representação das unidades geomorfológicas que estão associadas à classe de risco de erosão baixa na planície costeira do estado do Piauí



Fonte: Elaborado por Frota, 2017.

As planícies lacustres representam áreas mais rebaixadas do terreno se comparada à classe anterior e atuam como áreas de acumulação de sedimentos, sendo estes ambientes responsáveis por um importante papel ecológico, atuando como um grande amortecedor energético mostrando-se, portanto, como um ambiente estável a erosão.

As combinações dos processos continentais e marinhos acabam propiciando a formação de um ambiente lamacento, encharcado, úmido, rico em matéria orgânica e com vegetação de mangue, típico das áreas de planície flúvio-marinha (Souza, 2000) o que confere também uma menor suscetibilidade de erosão eólica aos sedimentos.

Segundo Carvalho e Fonte (2007) os ambientes de terraço marinho estão associados a um importante episódio transgressivo do mar, denominado por Martin et al. (1980) de penúltima Transgressão. Segundo os autores, esses terraços apresentam, na superfície, vestígios de cordões litorâneos, remanescentes de antigas cristas de praia, parcialmente retrabalhados pela ação eólica ou semifixados pela vegetação herbáceo-arbustiva de restinga. Ainda de acordo com os autores os solos mais característicos desses sub ambientes são o Neossolos Quartzarênico e o Espodossolo, que são excessivamente drenados, extremamente ácidos e de baixa fertilidade natural.

Vale inferir ainda que boa parte dessa classe de risco de erosão está associada a pequenas áreas das paleodunas, das dunas estabilizadas e da unidade geomorfológica planície e terraços fluviais de acordo com o mapeamento realizado por Sousa (2015). Esse baixo risco

nessas áreas se dá por conta da presença da vegetação arbóreo - arbustiva e rasteira presentes na região oeste da área de estudo, representadas boa parte por cajueiros, e por conta também dos diferentes tipos de uso, como os campos abertos localizados principalmente nas unidades de planície e terraços fluviais.

Apesar dos riscos nessas áreas apresentarem um grau de variação baixo, variando de 0,2 a 0,4 a ação humana efetuada na planície costeira do estado do Piauí vem contribuindo bastante para a degradação de alguns desses ambientes, como é o caso da construção de tanques de carcinicultura principalmente próximo das áreas de mangues, na planície dos rios Camurupim e Cardoso como pode ser observado na (Figura 33).

Figura 33 – Áreas referentes aos tanques de carcinicultura presentes na região leste da planície costeira do estado do Piauí.



Fonte: Google Earth, 2017.

Atividades como essa, oferecem grande risco à estabilidade bioambiental da zona costeira. Conforme ressalta Vasconcelos (2000) esse tipo de atividade produz riqueza econômica, gera emprego e renda, mas não tem conciliado a alta produtividade com a preservação ambiental. A utilização indiscriminada de áreas de mangue e de zonas inundáveis, como os denominados ‘apicuns’, além de ilegais, tem provocado forte impacto pela ameaça à estabilidade das espécies costeiras, quando diminuem sensivelmente áreas de berçário de diversas espécies de peixes, moluscos e crustáceos e no caso da área de estudo, se não administrada de forma correta, pode acarretar mudanças no padrão de circulação hídrica do estuário e eutrofização do mesmo, com as descargas dos efluentes dos viveiros sem que haja um tratamento prévio (Figura 34).

Figura 34 – Imagem referente às áreas de apicuns próximo ao município de Cajueiro da Praia-Piauí.



Fonte: Frota, 2017.

As áreas de risco moderado também estão relacionadas às unidades: paleodunas, dunas estabilizadas e planície e terraços fluviais mais localizadas na zona oeste da área de estudo. Essas classes ocupam cerca de 9,93% (87,10 km²) da área de estudo e apresentam um grau de erosão mais elevado variando de 0,4 a 0,45 isso devido principalmente a presença de áreas mais declivosas e a presença de áreas sem cobertura vegetal (solo exposto).

A classe de risco alto corresponde a cerca de 119,73 km² da área de estudo e esta associada principalmente a unidade de planície eólica apresentando uma pequena parte da unidade de planície e terraço fluvial e das paleodunas. Em campo pode-se perceber que boa parte desta classe principalmente a área que compete aos depósitos de deflação eólica, por apresentar campos naturais vem sendo bastante utilizada para a criação da pecuária extensiva.

Conforme pode ser observado na imagem abaixo (Figura 35) esta classe, esta predominantemente associada aos Neossolos Quartzarênicos e por ser uma área onde o lençol freático encontra-se muito próximo à superfície terrestre, o pisoteio do gado tende a favorecer mais ainda os processos erosivos.

Figura 35 - Imagem representativa das áreas de planície eólica no litoral do estado do Piauí



Fonte: Frota, 2017.

A classe de risco de erosão muito alto representa 5,89% da área de estudo o que corresponde a 51,70 km². Essa classe está relacionada principalmente às dunas móveis presentes na planície costeira do estado, ao cordão arenoso e a praia. Esta classe apresenta um grau de variação de erosão que vai de 0,59 a 1 demonstrando a enorme fragilidade desses ambientes em se tratando da erosão eólica e marinha.

De acordo com Costa e Souza (2009) as dunas são sistemas instáveis e ecologicamente frágeis, mesmo quando estabilizadas pela vegetação. No entanto, nos locais sem vegetação, a areia solta não oferece resistência ao vento, a escassez ou inexistência dessa cobertura vegetal implica risco de degradação dos solos, fato que aumenta a susceptibilidade aos fenômenos morfogenéticos, como o exemplo da deflação eólica, tendo, portanto, uma enorme suscetibilidade a erosão.

Da mesma forma são as praias e o cordão arenoso que por apresentarem sedimentos soltos facilitam a erosão eólica, no entanto, a praia sofre ainda uma ação mais intensa da erosão marinha, sendo, portanto, ambientes extremamente vulneráveis a erosão. Em campo pode-se perceber o processo de “desaparecimento da praia”, por consequência principalmente do processo erosivo, isso devido à baixa capacidade dos principais rios que drenam a planície costeira do estado do Piauí (com exceção do rio Parnaíba) de carrear sedimentos de volta para a linha de costa.

A expansão urbana, com construções em locais não apropriados, além da retração natural da linha de costa, acaba influenciando também de forma significativa no elevado grau de risco de erosão nas praias implicando também em perda de paisagem.

Dessa maneira, pode-se inferir que, a soma de fatores de ocupação indevida do solo, construção sobre as dunas e sobre a zona de forte atuação dos ventos e das ondas vem desencadeando mudanças significativas no regime costeiro local da planície costeira do estado do Piauí e como resposta a isso, vem se observando o avanço do mar sobre as ruas e construções praianas com visíveis processos destrutivos.

Assim, a classificação quanto ao risco de erosão (Muito baixo, baixo, médio, alto e altíssimo risco) não indica necessariamente uma reordenação no uso do solo, mas sim, uma orientação de áreas prioritárias para ações de conscientização, fiscalização e assistência técnica. Desse modo, os resultados da pesquisa poderão auxiliar pesquisadores e técnicos de órgãos públicos no planejamento de uso do solo e adoção de práticas conservacionistas na zona costeira piauiense. O mapa de suscetibilidade à erosão pode ser aplicado ao planejamento agrícola e ambiental na área.

4.4 Análise do Potencial de Expansão Urbana na Planície Costeira do Estado do Piauí

É necessário planejar a integração da infra-estrutura e superestrutura da área a ser edificada em seu entorno, de modo a possibilitar que a cidade se constitua num todo contínuo e não como um agregado formado por loteamentos isolados, em áreas inapropriadas e sem ordenação (Castro, 2012). Para isso, é essencial o levantamento de dados e informações relativos ao meio físico como forma de garantir uma implantação harmônica do loteamento, de tal forma que se consiga um projeto racional e econômico.

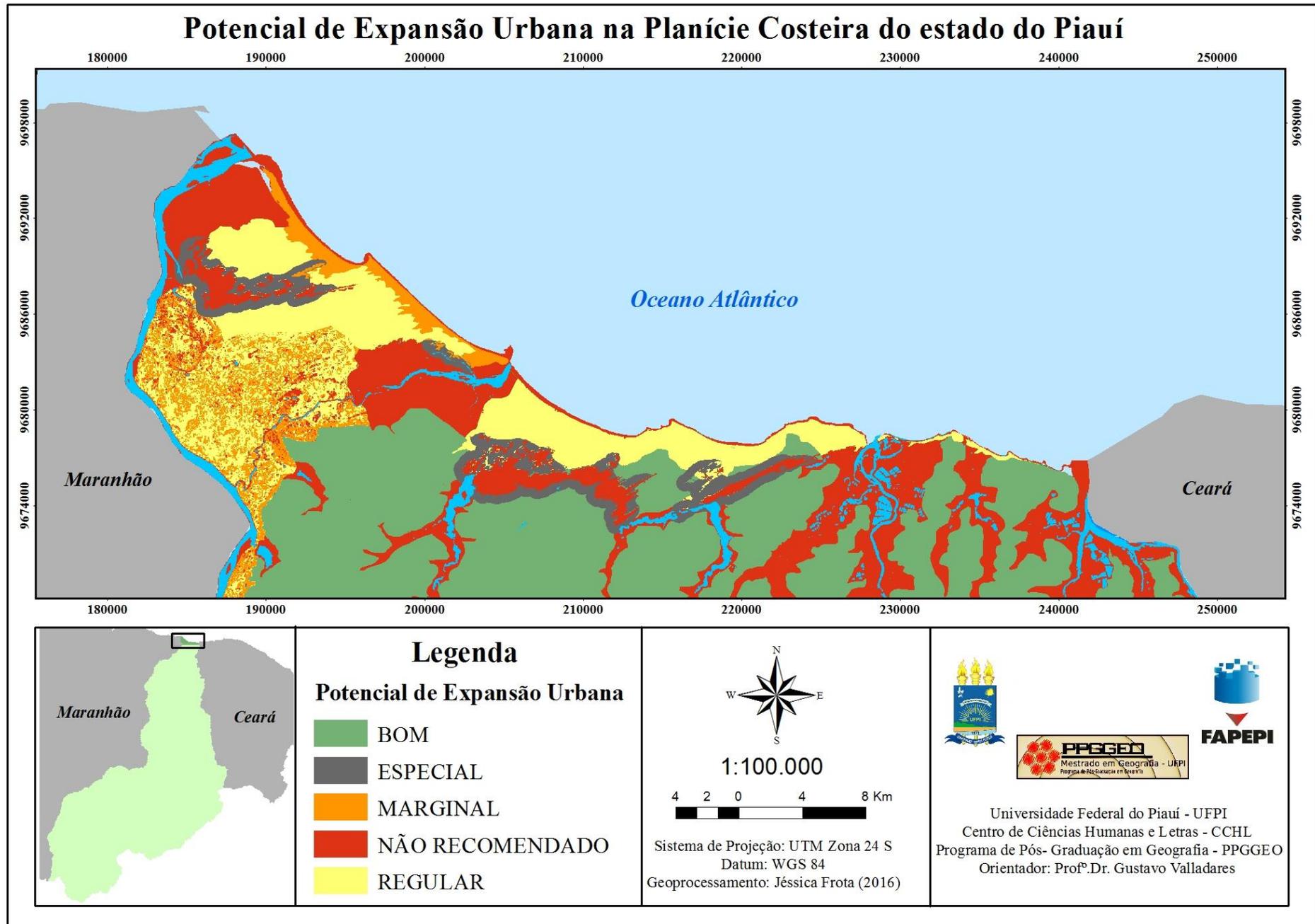
Partindo dessa premissa, procurou-se avaliar o comportamento e a adequabilidade das terras para fins de expansão urbana do litoral piauiense, a partir das informações contidas no levantamento dos aspectos físicos da mesma.

Assim, com base na avaliação ambiental realizada sobre a caracterização da área de estudo, observou-se que os critérios fotointerpretativos utilizados (geologia, geomorfologia, riscos de inundação, riscos de erosão e avanço das dunas) permitiram a inferência dos fatores analisados na caracterização das áreas com potencial e vocação para edificação nas terras da planície costeira do estado do Piauí, estabelecendo uma relação quantitativa e qualitativa entre as classes dos fatores analisados e as propriedades texturais que o determinam.

Com isso, a partir das avaliações ambientais realizadas, foi possível gerar o mapa de potencial de expansão urbana da planície costeira do estado do Piauí, apresentando cinco classes, com graus de vocação variando de ($< 0,40$ a > 1), conforme mostra o mapa (figura 36) e a (tabela 23).

Assim, quando os valores encontrados são superiores a 1, indica-se que a área não é recomendada para edificação e quando o valor encontrado variar em valores menores que um, nota-se que há potencial e/ou vocação para edificação, que vai variar em graus de acordo com as características e restrições de cada área.

Resultados semelhantes também foram encontrados nos trabalhos de Dias et al. (2004); Costa e Alves (2006); Nascimento et al. (2009); Garcia et al. (2012); Bento e Junior. (2015), dentre outros, destacando as áreas que possuem aptidão para edificação e as que não possuem.



Fonte: Elaborado por Frota, 2017.

Tabela 23 - Área das classes de potencial de expansão urbana na planície costeira do estado do Piauí em quilômetros e porcentagem.

CLASSES	ÁREA		GRAU
	Km ²	(%)	
<i>Bom</i>	332,60	38	< 0,40
<i>Regular</i>	156,32	17,86	0,40 – 0,75
<i>Marginal</i>	63,78	7,29	0,75 – 1
<i>Não Recomendado</i>	273,56	31,27	> 1
<i>Especial</i>	48,82	5,58	–
TOTAL	875,08	100	

Fonte: Elaborado por Frota, 2017.

Conforme podemos observar no mapa (figura 36) as terras classificadas com “Potencial expressivo Bom” para expansão urbana ordenada na planície costeira do estado do Piauí correspondem às classes que compreendem a maior área de estudo, ou seja, de um total de 875,08 km² correspondente às áreas da planície costeira do estado 332, 60km² da área (38%) diz respeito à classe que apresenta maior vocação para edificações.

Essa classe está associada às áreas de depósitos Terciários da Formação Barreiras (Figura 37), que se destacam como áreas com boa vocação para urbanização, tendo em vista que estes apresentam solos profundos, lençol freático profundo, boa capacidade de suporte e sedimentos propícios à construção civil.

Figura 37– Imagem representativa do Grupo Barreiras na Planície costeira do Estado do Piauí



Fonte: Frota, 2017.

Na planície costeira do estado do Piauí essas terras estão representadas pelas áreas mais elevadas correspondentes aos tabuleiros costeiros, e estão localizadas mais no interior do continente como rampas detríticas coalescentes mergulhando em direção ao oceano atlântico. É, portanto, uma classe que está disposta em locais com aptidão física favorável à construção de novos loteamentos. A maior parte da cidade de Parnaíba encontra-se localizada nesta classe, apresentando boa aptidão, por estarem sobrepostas aos tabuleiros costeiros que são áreas planas.

Levando em consideração a geomorfologia como um fator que contribui para identificação do potencial de expansão na classe que corresponde ao “**Potencial de expansão urbana Bom**” os tabuleiros costeiros apresentaram cerca de 95,34% de sua área com vocação propícia à edificação, na geologia esta unidade apresentou 94,69% de sua área com potencial bom. Com relação aos fatores riscos de inundação e risco de erosão a classe com bom potencial compreende as áreas de risco muito baixo, o que demonstra que estas terras não apresentam restrições, ou seja, apresentam uma boa vocação para urbanização, conforme pode ser observado nas tabelas 24, 25, 26 e 27.

A classe denominada de “**Potencial de expansão regular**” corresponde a 156,32km² da área de estudo, o que representa 17,36% da área total. Esta classe está associada principalmente às unidades geomorfológicas: paleodunas (onde, 78,20% dessas áreas apresentam potencial de urbanização regular), as dunas estabilizadas (75,70%), a unidade planície e terraços fluviais (47,02%) e a planície eólica com um potencial regular de 72,63%.

Esta classe apresenta um potencial de expansão significativo tendo em vista que as dunas estabilizadas e as paleodunas são áreas que já apresentam certa consolidação, pois estas por serem dunas mais antigas apresentam uma quantidade significativa de ferro em sua composição, o que lhes conferem uma coloração vermelho-amarelada e maior sustentabilidade.

Vale ressaltar que, algumas das terras dessa classe de potencial de expansão urbana regular são áreas que apresentam certas limitações como é o caso das unidades geomorfológicas: planície e terraços fluviais, e planície eólica, pois na planície costeira do estado do Piauí, a unidade de planície e terraço fluvial corresponde às áreas que estão localizadas nas proximidades do rio Parnaíba e Igaracu, esta, portanto, está sujeita a inundações periódicas, possuindo um risco de inundação variando de moderado a alto.

Tabela 24 – Relação da área do potencial de expansão urbana com as unidades geomorfológicas presentes na planície costeira do estado do Piauí

GEOMORFOLOGIA	ÁREA DO POTENCIAL DE EXPANSÃO URBANA				
	BOM (%)	REGULAR (%)	MARGINAL (%)	NÃO RECOMENDADO (%)	ESPECIAL (%)
<i>Praias</i>	-----	-----	-----	100	-----
<i>Cordão arenoso</i>	-----	-----	92,44	1,25	6,31
<i>Planície eólica</i>	-----	72,67	0,16	14,77	12,40
<i>Dunas móveis</i>	-----	-----	-----	84,52	15,45
<i>Dunas estabilizadas</i>	-----	75,70	-----	0,32	23,98
<i>Paleodunas</i>	-----	78,20	-----	0,06	21,74
<i>Planície Flúvio-Marinha</i>	-----	-----	-----	96,35	3,65
<i>Terraço Marinho</i>	-----	-----	-----	100	-----
<i>Planície e terraço fluvial</i>	-----	47,02	40,94	10,35	1,69
<i>Planície Lacustre</i>	-----	-----	-----	93,36	6,64
<i>Tabuleiro costeiro</i>	95,34	0,03	-----	0,43	4,20
<i>Canais fluviais</i>	-----	-----	-----	98,66	1,34

Fonte: Elaborado por Frota, 2017.

Tabela 25 – Relação da área do potencial de expansão urbana com as unidades geológicas presentes na planície costeira do estado do Piauí

GEOLOGIA	ÁREA DO POTENCIAL DE EXPANSÃO URBANA				
	BOM (%)	REGULAR (%)	MARGINAL (%)	NÃO RECOMENDADO (%)	ESPECIAL (%)
<i>Deposito eólico não vegetado</i>	-----	-----	-----	85,02	14,98
<i>Deposito aluvial de planície de inundação</i>	-----	47,03	40,93	10,35	1,69
<i>Depósito flúvio-marinho</i>	-----	-----	-----	98,02	1,98
<i>Grupo Barreiras</i>	94,69	-----	-----	0,28	5,03
<i>Depósito eólico vegetado</i>	-----	75,70	-----	0,33	23,97
<i>Depósito fluvio-lacustre</i>	-----	-----	-----	93,43	6,57
<i>Depósitos praias</i>	-----	-----	89,46	4,73	5,81
<i>Paleodunas</i>	-----	78,26	-----	-----	21,74
<i>Depósitos eólicos arrasados</i>	-----	82,74	0,18	2,96	14,12
<i>Canais fluviais</i>	-----	-----	-----	97,86	2,14

Fonte: Elaborado por Frota, 2017.

Tabela 26 – relação da área do potencial de expansão urbana com o risco de inundação na planície costeira do estado do Piauí

RISCO DE INUNDAÇÃO	ÁREA DO POTENCIAL DE EXPANSÃO URBANA				
	BOM (%)	REGULAR (%)	MARGINAL (%)	NÃO RECOMENDADO (%)	ESPECIAL (%)
<i>Muito Baixo</i>	85,72	0,11	-----	9,21	4,96
<i>Baixo</i>	68,14	18,65	0,31	2,99	9,91
<i>Moderado</i>	0,14	64,92	11,95	14,57	8,41
<i>Alto</i>	0,42	15,67	37,23	45,29	1,42
<i>Muito Alto</i>	-----	-----	-----	97,24	2,76
<i>Altíssimo</i>	0,43	-----	-----	96,53	2,88

Fonte: Elaborado por Frota, 2017.

Tabela 27 – relação da área do potencial de expansão urbana com o risco de erosão na planície costeira do estado do Piauí

RISCO DE EROSÃO	ÁREA DO POTENCIAL DE EXPANSÃO URBANA				
	BOM (%)	REGULAR (%)	MARGINAL (%)	NÃO RECOMENDADO (%)	ESPECIAL (%)
<i>Muito Baixo</i>	90,68	-----	-----	5,46	3,86
<i>Baixo</i>	31,46	13,19	-----	51,48	3,87
<i>Moderado</i>	0,22	43,47	44,79	6,18	5,35
<i>Alto</i>	-----	66,52	7,74	13,38	12,36
<i>Muito Alto</i>	-----	-----	-----	98,68	1,32

Elaborado por Frota, 2017.

Além de apresentarem em sua maioria terrenos alagadiços, onde o lençol freático se apresenta bem próximo à superfície, a unidade planície e terraço fluvial em seu modelado apresentam várias nebkas, acumulações de areia que ocorrem de forma isolada, na praia alta, a sotavento de um obstáculo, o que demonstra também um potencial de expansão urbano mediano devido a não uniformidade da superfície (Figura 38).

Figura 38 – Presença de Nebkas na unidade planície e terraço fluvial presente no município de Ilha Grande do Piauí.



Fonte: Frota, 2017.

Na classe de potencial regular, a unidade de planície eólica, onde se encontra toda a cidade de Luís Correia apesar de possuir um potencial de expansão urbana regular também apresenta certa limitação com relação ao risco de inundação, pois estas feições apresentam o lençol freático muito próximo da superfície, o que lhes confere em época de chuva, a inundação de áreas próxima à linha de costa, alagando ruas, avenidas e casas. (Figura 40)

Figura 39 – Áreas de inundação na cidade de Luís Correia-PI



Fonte: Frota, 2017.

Vale inferir que, parte dessa classe de Potencial Regular, correspondente às planícies eólicas são formadas por Neossolos Quartzarênicos, ou seja, essa unidade é formada por solos que apresentam pouco desenvolvimento pedogenético e que apresentam certa fragilidade e portanto, um risco de erosão muito alto conforme foi observado no mapeamento do risco de erosão da área de estudo, o que demonstra que essas terras possuem aptidão para edificação, no entanto, apresentam algumas restrições, com relação ao risco de inundação e ao risco de erosão.

A classe denominada de **“Potencial de expansão urbana marginal”** compreende 63,68 km² da área de estudo, o que corresponde a 7,29% da área total. Esta classe está associada principalmente ao cordão arenoso e parte da unidade planície e terraço fluvial.

Apesar de apresentar baixa vocação à urbanização se comparada às outras duas classes acima, a unidade cordão arenoso apresenta uma percentagem alta de área com aptidão marginal de 92,44% conforme mostra a (tabela 28) porque nestas áreas da planície costeira do estado do Piauí há a presença de muitas barracas, ou seja, são áreas que apresentam baixo potencial de expansão urbana e, no entanto, apresentam pequenas edificações em seu entorno.

Esta classe acompanhada da classe de potencial regular abriga toda a cidade de Ilha Grande e parte da cidade de Parnaíba na unidade planície e terraço fluvial, o que determina que essas cidades dispõem de áreas com potencial de expansão urbana mais, no entanto, apresentam restrições com relação ao risco de inundação e erosão que variam de moderado a alto em algumas áreas.

O que foi observado é que principalmente parte da cidade de Parnaíba foi urbanizada em áreas muito próximo a planície de inundação de rios, como é o caso do rio Igarapu (Figura 41) demonstrando baixa adequabilidade à urbanização. Contudo, percebe-se que em épocas chuvosas, partes dessas residências ficam alagadas, por conta da má ordenação territorial e da falta de planejamento urbano.

Figura 40 – Construção de residências na cidade de Parnaíba-PI, nas proximidades do rio Igarauçu



Fonte: Google Earth, 2013.

Na cidade de Ilha Grande estas áreas também sofrem restrições com relação ao avanço das dunas. As casas são construídas muito próximas dos campos de dunas móveis e com ações principalmente do vento na planície costeira do estado, estes campos de dunas tendem a invadir o espaço urbano edificado, ocasionando perdas significativas para a população residente (Figura 42).

Figura 41 – Avanço das dunas sobre a cidade de Ilha Grande do Piauí e comunidades próximas



Fonte: Google Earth, 2016.

A classe de **“Potencial de expansão não recomendado”** corresponde às áreas inadequadas à ocupação urbana. Esta classe foi considerada a segunda maior em termos de território da área de estudo, representando cerca de 273,56 km² da área, o que corresponde a 31% da mesma.

Nesta classe, levando em consideração a geologia e a geomorfologia, conforme pode ser observado nas (tabelas 24 e 25) 100% das áreas das unidades geomorfológicas: praias e terraços marinho, foram consideradas totalmente inaptas a edificação e cerca de 96,36%; 93,36% e 84,52% da área das planície flúvio-marinha, planície lacustre e dunas móveis também foram consideradas inaptas a edificação. Isto devido às limitações naturais que as mesmas apresentam com um risco de inundação e de erosão muito alto.

As praias são áreas totalmente vulneráveis a erosão e a inundação e na planície costeira do estado do Piauí estas vêm sofrendo bastante com a questão da erosão marinha. São, portanto, ambientes de enorme fragilidade e que não apresentam condições favoráveis á urbanização. Vale ressaltar que nesta classe de “não recomendado” especialmente nestas unidades geomorfológicas, na cidade de Luís correia, Parnaíba e Cajueiro da praia, é possível visualizar a existência de casas muito próximo da linha praia e a presença de muitas barracas em áreas de praia, que acabam sofrendo com a erosão marinha.

A planície flúvio-marinha é uma área permanentemente inundável, com sedimentos ricos em matéria orgânica de origem continental e acréscimos marinhos, apresentando Gleissolos revestidos por manguezais, sendo, portanto, ambientes instáveis, com elevada vulnerabilidade à ocupação urbana. Os principais solos que estão associados a esta unidade na planície costeira do Estado do Piauí são os (Gleissolos), ou seja, solos hidromórficos. Estes, por sua vez, apresentam limitações para urbanização, devido à falta de capacidade de suporte para construção de edificações.

Além disso, essas áreas apresentam um ambiente propício à produção de matéria orgânica, o que garante alimento e proteção natural para a reprodução de diversas espécies marinhas e estuarinas. Também apresentam um enorme patrimônio paisagístico, que fornece ambientes de grande beleza cênica notadamente as praias e ilhas flúvio-lacustres, que favorecem atividades de lazer e de turismo, com ênfase no turismo ecológico.

Costa e Alves (2006) em um estudo sobre o potencial de uso e ocupação urbana do solo no município de campos dos Goytacazes - RJ, também definiam essas áreas como áreas não urbanizáveis, no entanto, as destacaram como áreas que merecem uma atenção maior com relação a preservação.

As dunas móveis representadas pelos depósitos eólicos não vegetados também foram consideradas áreas não recomendadas à urbanização. Isso porque estas áreas apresentam um elevado grau de erosão, pois as mesmas não apresentam estabilidade para construção de loteamentos.

A classe considerada “**Especial**” refere-se a um cenário futuro de expansão das dunas com base na dinâmica discutida no ítem 4.1, imaginando o avanço das mesmas em um intervalo de aproximadamente três décadas. Esta por sua vez, merece uma atenção especial, por levar em consideração problemas futuros que podem vir a ocorrer na planície costeira do estado do Piauí.

Desta forma, esta classe vem como forma de demonstrar as áreas que poderão apresentar risco de avanço das dunas sobre as edificações nos próximos anos e com a finalidade de demonstrar também a importância da não construção muito próximo das dunas devido ao elevado valor paisagístico que estas feições apresentam, principalmente levando em consideração ao potencial turístico que as mesmas apresentam.

Esta classe corresponde a 48,82 km² da área de estudo, representando cerca de 5,58% do total da área. Dessa forma, vale ressaltar que, conforme pode ser observado no mapa (figura 36) essas áreas especiais são áreas que apesar de apresentarem um potencial ou não de expansão urbana do ponto de vista geológico e geomorfológico, estas devem ser estudadas com atenção, pois as áreas do entorno das dunas móveis:

- Futuramente podem apresentar riscos para uma urbanização já existente e para urbanizações futuras com o avanço das dunas. Algumas áreas podem ser comprometidas com o avanço, principalmente áreas que apresentam residências, como já foi observado na planície costeira do estado, no município de Ilha Grande.
- Além disso, essas áreas apresentam um elevado valor paisagístico, uma importância cultural e ecológica. Estas apresentam grande potencial turístico pela diversidade paisagística e/ ou beleza cênica, que são extremamente procurados para lazer e contemplação da paisagem. As dunas situam-se em área de patrimônio público da união, onde devem ser desenvolvidos esforços de preservação, pois são altamente valiosas para usos educacionais, culturais e recreativos por diversos segmentos da sociedade .

De acordo com as (tabelas 24, 25, 26 e 27) essas áreas especiais posteriormente podem vir a comprometer terras que apresentam um potencial de expansão urbana bom a marginal, como as paleodunas e dunas estabilizadas, algumas áreas do Grupo Barreiras e parte dos depósitos eólicos arrasados.

Na área de estudo, levando em consideração a questão da vulnerabilidade ambiental, Sousa (2015) evidencia que quanto mais antiga a litologia, menor a vulnerabilidade e quanto mais recente, maior seu grau de vulnerabilidade. Dessa forma, toda a área de estudo sendo composta por sedimentares do Quaternário e Terciário, nos traz uma grande homogeneidade dos valores, sendo caracterizados de vulnerabilidade moderada a muito alta e que, no entanto, merece bastante atenção em avaliações de planejamento urbano.

Diante disso, a partir da análise do mapa gerado, constatou-se que a planície costeira do estado do Piauí, apresenta muitas terras com potencial para expansão urbana e que, portanto, possui elevado potencial para crescimento urbano e no entanto, deve-se evitar a construção em terras que apresentam potenciais baixos ou que não apresentam nenhum potencial, sem que haja invasão de áreas ambientalmente frágeis.

5 CONCLUSÃO

A planície costeira do estado do Piauí é composta de uma diversidade de paisagens e fatores que atuam em interdependência na formação e dinâmica da mesma. Estes, ao atuarem em conjunto trazem transformações significativas ao ambiente modificando-o e modelando-o.

Utilizando-se de técnicas de geoprocessamento e sensoriamento remoto foi possível analisar a dinâmica das dunas na planície costeira do estado, e perceber que as mesmas, segundo o intervalo de tempo observado (1994-2015) evidenciaram uma expansão de cerca de 35% da sua área, e que as mesmas, avançam em direção ao continente cerca 18m ao ano. Estas, em alguns pontos tendem até a comprometer residências e vias de acesso, devido à ação eólica.

Através do mapeamento de risco de inundação, foi possível identificar a presença de cinco classes de inundação, proporcionando assim, uma separação dos ambientes que apresentam risco de inundação muito baixo a muito alto. Contudo, notou-se que as áreas que apresentam altitudes mais elevadas (tabuleiros e campos de dunas móveis) apresentaram risco muito baixo de inundação e já as áreas próximas a canais fluviais representam as áreas de maior risco de inundação.

No mapeamento do risco de erosão foi possível identificar também cinco classes de riscos estas variando em risco muito baixo a altíssimo. Vale ressaltar que a classificação quanto ao risco de erosão no litoral do Piauí não indica necessariamente uma reordenação no uso do solo, mas sim, uma orientação de áreas prioritárias para ações de conscientização, fiscalização e assistência técnica. Desse modo, os resultados da pesquisa poderão auxiliar pesquisadores e técnicos de órgãos públicos no planejamento de uso do solo e adoção de práticas conservacionistas nas zonas costeiras podendo ser aplicado também ao planejamento agrícola e ambiental na área.

Com base na avaliação ambiental realizada a cerca da caracterização dos aspectos físico-ambientais da área de estudo, através dos critérios fotointerpretativos utilizados (geologia, geomorfologia, riscos de inundação, riscos de erosão e avanço das dunas) foi possível identificar e caracterizar as áreas com potencial e vocação para edificação nas terras da planície costeira do estado do Piauí e as terras sem potencial. O mapa gerado apresentou cinco classes, sendo as áreas que apresentam potencial de expansão bom foram as terras associadas aos tabuleiros costeiros e as terras consideradas não urbanizáveis

Com isso, constatou-se que a planície costeira do Estado do Piauí, apresenta muitas áreas com potencial para expansão urbana e que, portanto, possui elevado potencial para

crescimento urbano e, no entanto, deve-se evitar a construção em terras que apresentam potenciais baixos ou que não apresentam nenhum potencial.

No entanto, observou-se que o crescimento e a expansão das áreas urbanizadas na planície costeira do estado do Piauí vêm desconsiderado aspectos como a prevenção dos riscos geológicos, geomorfológicos e hidrológicos e processos geodinâmicos, o que tem gerado transtornos à sociedade e ao meio ambiente. Contudo, vê-se que é essencial a execução de um planejamento urbano adequado com a interdisciplinaridade do meio urbano e a perspectiva de soluções em longo prazo, visando um melhor ordenamento territorial e a preservação de áreas urbanizadas de maneira inadequada. Vê-se também a necessidade de políticas públicas no sentido de conscientizar a população da importância do cumprimento das leis e diretrizes que estabelecem o perímetro urbano como adequado.

A metodologia pautada na decisão multicritério possibilitou considerar cada aspecto do meio físico com um peso específico de acordo com a influência que esse exerce sobre os riscos de erosão, risco de inundação e vocação para urbanização, bem como permitiu atribuir notas para distinguir a relevância de cada classe dentro de cada parâmetro utilizado. Desse modo, pode se dizer que a metodologia foi eficiente para avaliação dos riscos de erosão do solo e inundação e das áreas de vocação natural para edificações presentes na Planície costeira do estado do Piauí.

CONTRIBUIÇÕES A CERCA DOS TRABALHOS REALIZADOS

Os resultados desta pesquisa poderão contribuir para:

- Alertar a população do avanço natural das dunas no sentido transversal na planície costeira do estado, sendo que estas podem vir a prejudicar algumas comunidades;
- Identificar as áreas que apresentam risco de inundação e risco de erosão, sendo estes fatores limitantes principalmente na construção de residências;
- A identificação de áreas com vocação para urbanização e as áreas que não apresentam vocação, minimizando assim, a ocupação urbana de áreas inadequadas pelas limitações naturais.
- A disponibilidade de um acervo de dados e de análises que poderão ser utilizados conforme diferentes objetivos pelo poder público.
- A obtenção de uma base de dados na orientação de processos futuros de planejamento urbano adequado visando uma melhor ordenação territorial;
- Auxiliar pesquisadores e técnicos de órgãos públicos no planejamento de uso do solo e adoção de práticas conservacionistas nas zonas costeiras podendo ser aplicado ao territorial, agrícola e ambiental na área.

REFERÊNCIAS

ABREU, Eliana Morais de. **Proposta de Ordenamento Socioambiental do Litoral de Cajueiro da Praia – PI**. 2000. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) – Universidade Federal do Ceará. Fortaleza.

AGUIAR, R. B. de. **Projeto cadastro de fontes de abastecimento por água subterrânea, estado do Piauí**: diagnóstico do município de Parnaíba/ Organização do texto [por] Robério Bôto de Aguiar [e] José Roberto de Carvalho Gomes - Fortaleza: CPRM - Serviço Geológico do Brasil, 2004.

_____. **Projeto cadastro de fontes de abastecimento por água subterrânea, estado do Piauí**: diagnóstico do município de Luís Correia/ Organização do texto [por] Robério Bôto de Aguiar [e] José Roberto de Carvalho Gomes - Fortaleza: CPRM - Serviço Geológico do Brasil, 2004.

_____. **Projeto cadastro de fontes de abastecimento por água subterrânea, estado do Piauí**: diagnóstico do município de Cajueiro do Piauí/ Organização do texto [por] Robério Bôto de Aguiar [e] José Roberto de Carvalho Gomes - Fortaleza: CPRM - Serviço Geológico do Brasil, 2004.

_____. **Projeto cadastro de fontes de abastecimento por água subterrânea, estado do Piauí**: diagnóstico do município de Ilha Grande/ Organização do texto [por] Robério Bôto de Aguiar [e] José Roberto de Carvalho Gomes - Fortaleza: CPRM - Serviço Geológico do Brasil, 2004.

ALVES, Maria da Glória; BAROSO, Josué Alves. Análise do Potencial de Uso Urbano do Distrito de Inoã-Maricá e Região Oceânica de Niterói-RJ através de Mapeamento Geológico-Geotécnico e Técnicas de Geoprocessamento. **Anais....In: X SBSR**, Foz de Iguaçu, 21-26 de abril, 2001.

ANDRADE A.C.S. **Geologia da região costeira de Caravelas-Bahia**: contribuição ao planejamento ambiental. Dissertação de Mestrado. (Instituto de Geociências da Universidade Federal da Bahia), 1994, Salvador. 152 p.

ANDRADE, A. C. S.; DOMINGUEZ J. M. L., Informações Geológico-Geomorfológicas como Subsídios a Análise Ambiental: o Exemplo da Região Planície Costeira de Caravelas – Bahia. **Boletim Paranaense de Geociências**, Curitiba. n. 51, 2002, pp.9–17.

ANDRADE, Rony. Iglécio. Leite de. **Dinâmicas e conflitos na zona costeira de Aquiraz**: Porto das Dunas e Prainha em análise, Ceará. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Estadual do Ceará, Fortaleza, 2008. 151f.

ANDRES, Juliano; CANEPARO, Sony. Cortese; HENDGES, Elvis. Habuske. Riscos de Inundação na Cidade de Francisco Beltrão (PR) por meio de Combinação Linear Ponderada Difusa. IN: XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto – SBSR. **Anais...** João Pessoa-PB, Brasil, 2015, INPE.

ANEAS DE CASTRO, S. D. “Riesgos y peligros: una visión desde lá Geografía”. Scripta Nova: **Revista Electrónica de Geografía y Ciencias Sociales**. Barcelona, n.60, 15 de mar. 2000.

AQUINO, CMS ; VALLADARES, G. S. ; AQUINO, R.P. ; OLIVEIRA, J. G. B. Mapeamento e análise das tipologias de uso e cobertura das terras do parque nacional da serra da capivara e entorno. **Revista SODEBRAS**, v. 11, p. 34-37, 2016.

ARAÚJO, Eduardo Henrique Geraldi; KUX, Hermann Johann Heinrich. Identificação de áreas com propensão à edificação no bairro Belvedere em Belo Horizonte utilizando sensoriamento remoto e técnicas de geoprocessamento. Anais... XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Goiânia, Brasil, 16-21 abril 2005, INPE, p. 3461-3468.

ARAÚJO, M. A. R. **Unidades de Conservação no Brasil e da república à gestão de classe mundial**. Belo Horizonte: SEGRAC, 2007.

ARAÚJO, M. V.; FREIRE, G. S. S. Utilização de SIG nos estudos ambientais do estuário do Rio Acaraú – Ceará. **Geonomos**, v. 15, n. 02, p. 09-19, 2007.

ARAÚJO, Maria da Assunção. Depósitos do pleistocénico superior e do holocénico na plataforma litoral da região do Porto: a morfologia das plataformas de erosão marinha e a tectónica recente. **Revista Estudos do quaternário**. Portugal, n.º 5, 2008, p. 17-30.

BAPTISTA, E.M.C. **Caracterização e importância ecológica e econômica dos recifes da zona costeira do Estado do Piauí**. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) – Universidade Federal do Piauí, Teresina, 2004, 289 f.

BAPTISTA, E.M.C. **Estudo Morfo-sedimentar dos Recifes de Arenito da Zona Litorânea do Estado do Piauí, Brasil**. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2010, 305 f.

BARROS, Anderson de Freitas, MARQUES, Éder Teixeira. Áreas urbanizáveis e expansão urbana: uma proposta de mapeamento para o município de viçosa-mg utilizando sistema de informação geográfica (análise multicritério). **Revista Geografia e Pesquisa**, v.3, n.1, 2009.

BARROS, Sergio R. S, WASSERMAN, Julio Cesar , LIMA, Gilson B. A. Risco Ambiental na zona costeira: uma proposta interdisciplinar de gestão participativa para os Planos de Controle a Emergências dos portos brasileiros. **Revista da Gestão Costeira Integrada** 10(2):217-227 (2010).

BASTOS, Rafaella Brasil, FEITOSA, Fernando Antônio do Nascimento, KOENING, Maria Luise, Machado, Raquel Corrêia de Assis, Muniz, Kátia. Caracterização de uma zona costeira tropical (ipojuca-pernambuco-brasil): produtividade fitoplanctônica e outras variáveis ambientais. **BRAZILIAN JOURNAL OF AQUATIC SCIENCE AND TECHNOLOGY**. v.15, Nº1, 2011.

BELCHIOR, Constança de Carvalho. **Gestão Costeira Integrada – Estudo de caso do projeto ECOMONAGE na Região Estuariana de Santos São Vicente, SP, Brasil**.

Dissertação (Mestrado em Ciência Ambiental). Universidade Federal de São Paulo, 2008. 121f.

BELLINI, C; MARTINS FILHO S., THOMÉ, J.C.A; MOREIRA L.M.P., SÁ, S.S. 1990. Caracterização ambiental e mapeamento das interferências antrópicas na região do ecossistema Rio-Lagoa, Monsarás, Povoação, E.S. In: SIMPÓSIO DE ECOSSISTEMAS DA COSTA SUL E SUDESTE DO BRASIL – ACESP: estrutura, função e manejo, 2, São Paulo, 1990. **Anais...** São Paulo, v. 2: 73-84

BERTRAND, G. **Paysage et géographie physique globale pyrénées et du Sud-Oest.** v. 39, n.3, p. 249-272, 1968.

BERTRAND, G. Paisagem e geografia física global – esboço metodológico. **Cadernos de Ciências da Terra**, São Paulo, n. 13, p. 1- 27, 1972.

BERTRAND, G. 1972. Paisagem e geografia física global: esboço metodológico. **R. RA'E GA**, Curitiba, n. 8, p. 141-152, 2004.

BERTALANFFY, Ludwig von. **Teoria Geral dos Sistemas.** Tradução Francisco M. Guimarães. Petrópolis, RJ: Vozes, 1973.

BIRD, E. C. F. **Coasts : An Introduction to Coastal Geomorphology.** New York: Blackwell,1984

BURROUGH, P.A.; MCDONNELL, R.A. **Principles of Geographical Information Systems.** Oxford University Press. 1998.

BRASIL. Ministério do Exército – Diretoria do Serviço Geográfico. Região Nordeste do Brasil. **Folha SA 24 Y-A –V Bitupitá.** [S.I.]: SUDENE/DSG, 1972. Escala: 1: 100.000.

BRASIL. Ministério do Exército – Diretoria do Serviço Geográfico. Região Nordeste do Brasil. **Folha SA 24 Y-A-IV Parnaíba.** [S.I.]: SUDENE/DSG, 1972. Escala: 1: 100.000.

BRASIL. **Lei nº 7.661, de 16 de maio de 1988.** Institui o Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro e dá outras providencias. Brasília: Presidência da República, 1998. Disponível em: http://www.feam.br/Normas_Ambientais/leis_federais/lei07661-88.pdf. Acesso em 27 de dezembro de 2015.

BRASIL. Lei nº7. 661, de 16 de maio de 1988. **Institui o Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro e das outras providencias.** Brasília: Presidência da República, 1988. Disponível em: http://www.feam.br/Normas_Ambientais/leis_federais/lei7661-88.pdf.

BRASIL Constituição (1988). **Constituição da República Federativa do Brasil.** Brasília: Senado Federal, 1988.

CAMARGO, Luís Henrique Ramos de. **A ruptura do meio ambiente: conhecendo as mudanças ambientais do planeta através de uma nova percepção da ciência: a Geografia da complexidade.** Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2005. 240p.

CÂMARA, G. Medeiros, J. S. de. **Geoprocessamento para projetos ambientais. São José dos Campos**, INPE, mar. 1996. 246 p.

CAMPOS, Alberto Alves ... [et al.]. **A Zona Costeira do Ceará: Diagnóstico para a Gestão Integrada** – Fortaleza: AQUASIS, 2003.

CARMO, R.L.; SILVA, C.A.M. **População em zonas costeiras e mudanças climáticas: redistribuição espacial e riscos**. In: D.J. HOGAN; E. MARANDOLA JR. (Orgs.). **População e mudança climática: dimensões humanas das mudanças ambientais globais**. Campinas: NEPO/Unicamp; Brasília: UNFPA, 2009, p.137-157.

CARVALHO, Márcia Eliane Silva; FONTES, Arasy Losano. A Carcincultura no Espaço Litorâneo Sergipano. **Revista da Fapese**, v.3, n. 1, p. 87-112, jan./jun. 2007.

CASTRO, Demian. Garcia. Patrimônio histórico-arquitetônico como marca de qualificação da paisagem: um olhar sobre as fazendas cafeeiras e açucareiras no interior fluminense. IN: X Encontro de Geógrafos da América Latina – Universidade de São Paulo, 2005, São Paulo. **Anais...**p. 1-18.

CASTRO, Antônio Luiz Coimbra et al. **Manual de desastres**. vol. 1. Brasília: Ministério da Integração Nacional, 2007.

CAVALCANTI, A. P. B. **Impactos e condições ambientais da zona costeira do Estado do Piauí**. Rio Claro: UNESP, 2000.356p. Tese (Doutorado) Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Estadual Paulista – UNESP, Rio Claro, 2000.

CAVALCANTI, Agostinho Paula Brito; CAMARGO, José Carlos Godoy. Impactos e condições ambientais da zona costeira do estado do Piauí. In: GERARDI, Lucia Helena de Oliveira; MENDES, Iandara Alves (Orgs). **Do Natural, do Social e de suas interações: visões geográficas**, Rio Claro : Programa de Pós-Graduação em Geografia – UNESP ; Associação de Geografia Teórica – AGETEO, 2002. Disponível em: <http://s3.amazonaws.com/greenation/documents/arquivos/2453/original_Impactos_e_Condi_es_Ambientais_da_Zona_Costeira_do_Estado_do_Piau__Cavalcanti_e_camargo.pdf>.

CAVALCANTI, A.P.B. Análise Integrada das Unidades Paisagísticas na Planície Deltaica do rio Parnaíba – Piauí/Maranhão. Mercator - **Revista de Geografia da UFC**, ano 03, número 06, 2004.

CAVALCANTI, A.P.B; VIADANA,A.G. **Estudo das unidades paisagísticas costeiras do estado do Piauí: Potencialidades e limitações antroponaturais**. **Revista Climatologia e estudos da paisagem**. Rio Claro, 2007, p. 110-127.

CORRÊA, Wanderson. Barreto; FONTENELLE ,Thiago. Henriques. Processo de ocupação da zona costeira: Ecoresorts e Gerenciamento Costeiro do Meso Compartimento Cabo Frio – Cabo Búzios, Litoral do Rio de Janeiro. IN: Encontro nacional dos geógrafos. **Anais...**Porto alegre, 2010. p. 1-13.

COSTA, H.S.M; COSTA.G.M; MENDONÇA.J.G de; MONTE-MOR.R.L de M. (org.) 2006. **Novas Periferias Metropolitanas-a expansão metropolitana em Belo Horizonte: dinâmica e especificidade no eixo Sul**. Belo Horizonte:C/Arte e Fapernig.

COSTA, A.N; POLIVANOVI, H; ALVES, M.G; RAMOS, D.P. Multicriterial analysis in the investigation of favorable areas for edifications with shallow and deep foundations in the Municipality of Campos dos Goytacazes - Rio de Janeiro, Brazil. **Engineering Geology** Volume 123, Issue 3, 13 November 2011, Pages 149–165.

CUNHA, Sandra; TAVEIRA-PINTO, Francisco. Aplicação de uma metodologia de análise de risco de inundações à zona ribeirinha do Peso da Régua. IN: 6ª Jornada de Recursos Hídricos e Meio Ambiente. **Anais...** FEUP, 211.

CHRISTOFOLETTI, A. **Análise de Sistemas em Geografia**. São Paulo: Hucitec-Edusp, 1979.106p.

CHRISTOFOLETTI, A. **Modelagem de Sistemas Ambientais**. São Paulo: Ed. Edgar Blucher, 1999.

DANTAS, M.E; ARMESTO,R. C.G, SILVA, C.R, SHINZATO,E. Geodiversidade e análise da paisagem: uma abordagem teórico-metodológica. **Terra e didática**. v.11, n.1. Nov. 2015. Disponível em: <<http://periodicos.sbu.unicamp.br/ojs/index.php/td/article/view/8637304>> Acesso em: 08 jun. 2015.

DIAS, João. Alveirinho. Evolução da Zona Costeira Portuguesa: Forçamentos Antrópicos e Naturais. **Revista Tourism & Management Studies**, Portugal, n.1. p.7-27, 2005.

DONÉ, S. S. B.. **Mapas Geomorfológicos e suas legendas**. Uma contribuição para estudos analíticos. Notas Geomorfológicas: Campinas, 1981, p.85 – 110.

FERNANDES, Lucyanno dos Reis; AMARAL, Ricardo Farias do. Paisagem costeira do litoral oriental do estado do Rio Grande do Norte (Brasil): evolução temporal e padrões espaciais dos campos de dunas móveis. **Revista da Gestão Costeira Integrada** 13(1):45-59 (2013).

FUNDAÇÃO CENTRO DE PESQUISAS ECONÔMICAS E SOCIAIS DO PIAUÍ – FUNDAÇÃO CEPRO. 1990. **Atlas do Estado do Piauí**. Rio de Janeiro: IBGE. 26p.

_____. 1996b. **Macrozoneamento Costeiro do Estado do Piauí: Relatório Geoambiental e Sócio-econômico**. Teresina: s.e. 221p. ilustr.

GOMES, Fernando. Veloso. A Gestão da Zona Costeira Portuguesa. **Revista da Gestão Costeira Integrada** 7(2):83-95 (2007).

GRUBER, N.L.S; BARBOSA, E.G; NICOLODI, J.L. Geografia dos sistemas costeiros e oceanográficos: Subsídios para a gestão integrada da zona costeira. **Revista Gravel**. Porto Alegre, nº1, p. 81-89, 2003.

GUERRA, Antônio Teixeira. **Dicionário geológico-geomorfológico**. Texas: Ed. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 1980.

HOGAN, D.J.; CUNHA, J.M.P.; CARMO, R.L.; OLIVEIRA, A.A.B. **Urbanização e Vulnerabilidade SócioAmbienta: o caso de Campinas**. In: D.J. HOGAN; R.L. CARMO; J.M.P. CUNHA; R. BAENINGER (Orgs.). *Migração e Ambiente nas Aglomerações Urbanas*. Campinas: MPC Artes Gráficas, 2001, p. 397-418.

HOLANDA. Giovanni Moura de; MENEZES. Esther; MARTINS. Ricardo Benneton; LOURAL. Cláudio de Almeida. *Pluraridade e pensamento sistêmico em projetos de telecomunicações*. **RAE electron**. vol.4 no.2 São Paulo July/Dec. 2005

HORA, Silmara Borges da; GOMES, Ronaldo Lima. *Mapeamento e avaliação do risco a inundação do Rio Cachoeira em trecho da área urbana do Município de Itabuna/BA*. **Revista Sociedade e natureza**. (Online) vol.21 no.2 Uberlândia Aug. 2009.

INTERNATIONAL STRATEGY FOR DISASTER REDUCTION – ISDR – UN. **Secretariat. United Nations documents related to disaster reduction 2000- 2007**: Advance copy. Geneva, UN. International Strategy for Disaster Reduction (ISDR). Secretariat, 2007.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Censo Demográfico do Brasil**. Rio de Janeiro: IBGE, 2010.

IWAMA, Allan Yu; BATISTELLA, Mateus; FERREIRA, Lúcia da Costa. *Riscos geotécnicos e vulnerabilidade social em zonas costeiras: Desigualdades e mudanças climáticas*. **Revista Ambiente e sociedade**. vol.17 nº.4 São Paulo Oct./Dec. 2014.

JANKOWSKI, P. (1995). **Integrating Geographical Information Systems and Multiple Criteria Decision-making methods**. *International Journal of Geographical Information System*, 9, p. 251-273.

JANNUZZI, Paulo de Matino; MIRANDA, Wilmer Lázaro; SILVA, Daniela Santos Gomes da. *Análise Multicritério e Tomada de Decisão em Políticas Públicas: Aspectos Metodológicos, Aplicativo Operacional e Aplicações*. **Revista Informática Pública**. ano 11 (1) 69 – 87, 2009.

JENSEN, J. R. **Sensoriamento remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres**. Tradução (INPE): Epiphany, J.C.N.; Formaggio, A.R.; Santos, A.R.; Rudorff, B.F.T; Almeida, C.M.; Galvão, L.S. São José dos Campos: Parêntese, 2009. 598 p.

LINS-DE-BARROS, Flávia Moraes; MUEHE. Dieter. *Avaliação local da vulnerabilidade e riscos de inundação na zona costeira da Região dos Lagos, Rio de Janeiro*. **Quaternary and Environmental Geosciences** (2010) 02 (1):55-66.

LIMA, Iracilde Maria de Moura Fé. **Relevo Piauiense: uma proposta de classificação**. Carta CEPRO. Teresina. v.12 n.2 p. 55-84 Ago/Dez, 1987.

LIMONAD, Ester. *Yes, nós temos bananas! Praias, condomínios fechados, resorts e problemas sócio-ambientais*. In: Encontro da Associação Nacional de Pós-Graduação e

Pesquisa em Planejamento Urbano e Regional, 12, 2007, Belém. **Anais...** Belém: ANPUR, 2007, p. 1-20.

LIMONAD, E. **Os Lugares da Urbanização**. São Paulo: tese de doutorado FAUUSP, 1996. Disponível em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/l6/1613Itde-27042005-162418>> Acesso em: 15 junh. 2015.

LOPES, J.L.S.; CESTARO, L.A.; KELTING, F.M.S. Zoneamento Ambiental como Instrumento de Suporte e Planejamento de Uso e Ocupação do Solo do Município de Aquiraz/CE. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 4, p.738-747. 2011

MACHADO. S.J; ALBANO. F.G; SILVA. R.R.S; SILVA, C.R. Análise da dinâmica dunar da praia de Lagoinha- CE por meio de dados topográficos e aerofotogramétricos. **Anais...** In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, Curitiba, 2011. p. 2355.

MACIEL, Ana Beatriz Câmara; LIMA, Zuleide Maria Carvalho. O conceito de paisagem: diversidade de olhares. **Sociedade e Território, Natal**, v. 23, nº 2, p. 159 - 177, jul./dez. 2011.

MAGALHÃES, Álvaro. **Enciclopédia Globo para os cursos fundamental e médio: geografia**. Porto Alegre: Globo, 1973.

MAIA, L. P., MORAIS, Jader Onofre de. Aspectos históricos e evolução a médio prazo da costa de Fortaleza. In: I Simpósio de Processos Sedimentares e Problemas Ambientais na Zona Costeira Nordeste do Brasil, 1995, Recife-PE. **Anais do I Simpósio de Processos Sedimentares e Problemas Ambientais na Zona Costeira Nordeste do Brasil**, 1995.

MAIA, L P..1998a. **Procesos costeros y balance sedimentario a lo largo de Fortaleza (NE-Brasil): Implicaciones para una gestión adecuada de la zona litoral**. Tese de Doutorado. Universidade de Barcelona. 256p.

MALAVASI, M; SANTORO, R; CUTINI,M; ACOSTA, A.T.R; CARRANZA, M.L. What has happened to coastal dunes in the last half century? A multitemporal coastal landscape analysis in Central Italy. **Landscape and Urban Planning**, v. 199, p.54-63, Nov, 2013.

MMA - Ministério do Meio Ambiente (2008a) – **Documento Síntese sobre o I Simpósio Nacional sobre Erosão Costeira**. MMA, 25p., Brasília, DF, Brasil.

MARANDOLA JR, Eduardo; HOGAN, Daniel Joseph. NATURAL HAZARDS: O ESTUDO GEOGRÁFICO DOS RISCOS E PERIGOS GEOGRÁFICO. **Ambiente & Sociedade**. Vol. VII nº. 2 jul./dez. 2004.

MARANDOLA JR, Eduardo; MARQUES, Cesar; PAULA, Luís Tiago de; CASSANELI, Leticia Braga. Crescimento Urbano e áreas de risco no litoral norte de São Paulo. **Revista Brasileira de estudos de população.**, Rio de Janeiro, v. 30, n. 1, p. 35-56, jan./jun. 2013

MARINHO, M.T.R.D; FREIRE, G.S.S. Análise da evolução da linha de costa entre as Praias do Futuro e Porto das Dunas, Região Metropolitana de Fortaleza (RMF), estado do Ceará, Brasil. **Revista da Gestão Costeira Integrada**, v. 13, p.113-129. 2013.

MARQUES, Luciene; GRADINETTI, Lucas; Ferreira, Rodrigo Augusto da Silva; REIS, Giovanni Souza. Metodologia para definição de áreas favoráveis para implantação de corredor ecológico, utilizando ferramenta do Sistema de Informação Geográfica. **Anais.... XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR**, Curitiba, PR, Brasil, 30 de abril a 05 de maio de 2011, INPE p.4436.

MAZZER, A.M; DILLENBURG, S.R; SOUZA, C.R de. Proposta de método para análise de vulnerabilidade à erosão costeira no sudeste da ilha de Santa Catarina, Brasil. **Revista Brasileira de Geociência**, São Paulo, v.38, n.2, p. 279-294, jun. 2008.

MEIRELES, A.J.A; SILVA, E.V. e THIERS, P.R.L. Os campos de dunas móveis: fundamentos dinâmicos para um modelo integrado de planejamento e gestão da zona costeira. **Revista Geosp - Espaço e Tempo**, São Paulo, n° 20, 2006. p.101 - 119.

MEIRELES, Antônio Jeovah Andrade de. Geodinâmica dos campos de dunas móveis de Jericoacoara/CE-BR. **Revista Mercator**, Fortaleza, v. 10, n. 22, p. 169-190, mai./ago. 2011. ISSN 1984-2201.

MELLO, Pitt ; VALLADARES, Gustavo Souza . Mapeamento da vulnerabilidade natural à perda de solos no Pólo da Transamazônica no Estado do Pará. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2009, Natal. **Anais...Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, 2009.

MELLO, A.Y.I.; D'ANTONA, A.O.; ALVES, H.P.F. E CARMO, R.L. Análise da vulnerabilidade socioambiental nas áreas urbanas do Litoral Norte de São Paulo. V Anpas. **Anais...Florianópolis-SC**, 2010.

MELLO, A.Y.I; BATISTELLA, M.; FERREIRA, Lúcia C. Riscos geotécnicos e vulnerabilidades sociais no Litoral Norte de São Paulo. In: I Congresso Brasileiro sobre Desastres Naturais. **Anais...Rio Claro-SP**, 2012.

MELLO, Kaline; TOPPA, Rogério Hartung; ABESSA, Denis Moledo de Souza; CASTRO, Mariana. Dinâmica da expansão urbana na zona costeira brasileira: o caso do município de São Vicente, São Paulo, Brasil. **Revista da Gestão Costeira Integrada** 13(4):539-551 (2013)

MIDDLEBROOK W. Ewing R. C; AYOUB F. Bridges N. T. Smith I. Spiga A. Boundary Conditions and the Aeolian Sediment State of the Olympia Undae Dune Field, Mars. In: FOURTH INTERNATIONAL PLANETARY DUNES WORKSHOP, 5., Califórnia, 2015. **Anais...p.1-2**. Disponível em: <http://www.hou.usra.edu/meetings/dunes2015/pdf/8051.pdf>. Acesso em 15 de dez de 2016.

MITASOVA, Helena; OVERTON, Margery; HARMON, Russell S. Geospatial analysis of a coastal sand dune field evolution: Jockey's Ridge, North Carolina. **Revista Geomorphology** 72 (2005) p.204 – 221.

MONTE-MÓR, R.L.M. 1994. Urbanização extensiva e lógicas de povoamento: um olhar ambiental. in SANTOS, M., SOUZA, M.A.S. e SILVEIRA, M.L. (org.) **Território: Globalização e Fragmentação**. São Paulo: Hucitec - Anpur

MORAES, A, C, R. A ocupação da zona costeira do Brasil: uma introdução. In: _____. **Contribuições para a gestão da zona costeira do Brasil**: Elementos para uma geografia do litoral brasileiro. 2ª Ed. São Paulo: Annablume, 2007 (p.29-59).

MORAES, A. C.R. **Contribuições para a gestão da zona costeira do Brasil**: elementos para uma geografia do litoral brasileiro. São Paulo: Annablume, 2007.

MORAIS, J.O. de. Processos e Impactos Ambientais em Zonas Costeiras. **Revista de Geologia da UFC**, Fortaleza – CE, v.9,p. 141-292, 1996.

MOREIRA, M. A. **Fundamentos do Sensoriamento Remoto e Metodologias de Aplicação**. Viçosa: Ed. UFV, 2005.

MOTA, L. H.O; GOMES, A. S; VALLADARES, G. S.; MAGALHÃES, R. M. F.; LEITE, H.M. F; SILVA, T. A. Risco de salinização das terras do baixo Acaraú (CE). **Revista Brasileira de Ciência do Solo** (Impresso), v. 36, p. 1203-1210, 2012.

MOTA, Lydia Helena da Silva de Oliveira; VALLADARES, G. S; LEITE, Hugo Mota Ferreira; GOMES, Andréa da Silva ; MAGALHÃES, R.M.F. ; Silva, T.A. . Análise multitemporal do uso e cobertura das terras da região do baixo Acaraú? CE. **Geociências** (São Paulo. Online), v. 32, p. 379-396, 2013.

MOTA, Lydia Helena da Silva de Oliveira; VALLADARES, G. S. ; COELHO, R.M.; CRISCUOLO, C. . Vulnerabilidade à degradação dos solos do município de Campinas, SP. **Geografia (Londrina)**, v. 22, p. 65-79, 2013.

MUEHE, D. **O litoral brasileiro e sua compartimentação**. In: CUNHA, S. B.; GUERRA, A. J. T. (Org.). **Geomorfologia do Brasil**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil,1998. p. 273-349.

MUEHE, D. Critérios morfodinâmicos para o estabelecimento de limites da orla costeira para fins de gerenciamento. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, vol.2, nº. 1. P.35-44, 2001.

MUEHE, D. **Geomorfologia Costeira**. In: GUERRA, A. S. **Geomorfologia: exercícios, técnicas e aplicações**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2002.

MUEHE, D. **Geomorfologia Costeira**. In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. (org.) **Geomorfologia: Uma atualização de bases e conceitos**. 5 ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2006.

Muehe D., Fernandez G.B., Bulhões E.M.R., Azevedo I.F. de. Avaliação da vulnerabilidade física da orla costeira em nível local tomando como exemplo o arco praiado entre Rio das Ostras e o Cabo Búzios – RJ. **Revista Brasileira de Geomorfologia** - v. 12, nº 2 (2011).

NAIME, Roberto; ALMEIDA, Paulo Roberto Coutinho Marques de. Áreas de risco por inundação na área da região urbana do município de Novo Hamburgo - Vale dos Sinos – RS. **Revista Ciência e Natura**, UFSM, 27(1): 71 - 91, 2005.

NASCIMENTO, Geísa Silveira do. **As dunas do litoral leste de Aquiraz/CE: Evolução, Dinâmica e Gestão ambiental**. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2007. P.156f.

NASCIMENTO, Vânia Maria Lima Carneiro; LIMA, Eduardo Rodrigues Viana de; SANTOS, Celso Augusto Guimarães. SIG na avaliação de áreas para ocupação urbana de João Pessoa, PB. **Revista Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 9, n.1, p. 107-123, jan./mar. 2009.

NEVES, Claudio Freitas; MUEHE, Dieter. Vulnerabilidade, impactos e adaptação a mudanças do clima: a zona costeira. **Revista Parcerias Estratégicas**, Vol. 13, Nº 27, 2008.

NICHOLLS R. J., SMALL C., (2003). **Global analysis of human settlement in coastal zones**. Journal of Coastal Research, v. 19, 584-599 (2003).

Novo, E. M. L. M. **Sensoriamento Remoto: Princípios e Aplicações**. 2.ed. São Paulo: Edgar Blucher, 1998.

OLIVEIRA, A.C.A.; BARRETO, E.A.T; MELO & SOUZA, R. Análise da vulnerabilidade biofísica em ambientes dunares costeiros de Sergipe. In: Congresso Brasileiro de Geógrafos, 6. 2004, Goiânia. **Anais...** Goiânia AGB Nacional.

OLIVEIRA, E.S.; MATOS, D.F. Educação ambiental na APA de Genipabú, como anda? **Revista Eletrônica Mestrado em Educação Ambiental**. v.21,p. 475-483, 2008.

OLIVEIRA, R.C de. **Ambiente Costeiro – Fragilidades e impactos relacionados à ação antrópica**: o cenário da Baixada Santista no Estado de São Paulo/Brasil. In: Encontro Latino Americano de Geógrafos, XII. 2009, Montevideo, Uruguai. Instituto de Geociências – UNICAMP-Brasil.

OLIVEIRA, Frederico. Fonseca. Galvão. **Aplicação das técnicas de geoprocessamento na análise dos impactos ambientais e na determinação da vulnerabilidade ambiental no litoral sul do Rio Grande do Norte**. Tese (Doutorado em Geociências e Meio Ambiente). Universidade Federal de São Paulo, Rio Claro, 2011. 250f.

OLIVEIRA, Adeilan Rocha; MORAES, Maria Eugênia Bruck. Análise do potencial à expansão urbana da bacia hidrográfica do rio almada (BAHIA). **Caminhos de Geografia Uberlândia** v. 15, n. 49 Mar/2014 p. 14–26

PAULA, Jorge Eduardo de Abreu. **Dinâmica morfológica da planície costeira do estado do Piauí: evolução, comportamento dos processos costeiros e a variação da linha de costa**. 249f. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Ciências Marinhas Tropicais, Fortaleza- Ceará, 2013.

PEREIRA, Ana. Ramos. O espaço litoral e a sua vulnerabilidade. **GeoINova** (Ambiente e Mudanças Globais), 9, Faculdade de Ciências Sociais e Humanas, Universidade Nova, Lisboa, 2004. p.33-43.

PEREIRA. Margarida; VENTURA, José Eduardo. AS ÁREAS INUNDÁVEIS EM MEIO URBANO A abordagem dos instrumentos de planeamento territorial. 7º Congresso da Água, APRH, (em CD-ROM, s. p.), 2004.

PEREIRA, Luci Cajueiro Carneiro; DIAS, J. Alverinho. CARMO, J. Antunes do; POLETTE, Marcus. **Revista de Gestão costeira integrada**. 9(2):3-7 (2009).

PINHEIRO, L. S. **Compatibilização dos processos morfodinâmicos e hidrodinâmicos com o uso e ocupação da praia da Caponga, Cascavel-CE**. Dissertação de Mestrado, Universidade Estadual do Ceará, 180 p., 2000.

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

PINHEIRO, M. V. A.; MOURA-FÉ, M. M.; FREITAS, E. M. N.; COSTA, A. Torres; AGUIAR, A. C. S.; SOMBRA, Enio Tarsom Paiva. Dunas móveis: áreas de preservação permanente? **Revista Sociedade & Natureza**, Uberlândia, 25 (3): 595-607 set/dez/2013.

POLETTI, M. **Gerenciamento costeiro integrado: Proposta metodológica para a Paisagem Litorânea da Microbacia de Mariscal, Município de Bombinhas (SC / BR)**. Tese (Doutorado)- Programa de pós-graduação em Ecologia e Recursos Naturais do Centro de Ciências Biológicas e da Saúde. Universidade Federal de São Carlos. São Paulo. 1997, 499f.

RAMALHO, Maria Francisca de Jesus Lírio; LOURENÇO, Clécio Clayton de Carvalho; MEDEIROS, Luis Felipe da Costa. Efeitos da Dinâmica Eólica no Ambiente de Dunas em Natal/RN. **Sociedade e Território**, Natal, v. 25, nº 1, p. 30 - 44, jan./jun. 2013.

RODRIGUEZ, J. M. M.; SILVA, E. V. A classificação das paisagens a partir de uma visão Geossistêmica. **Mercator**, Revista de Geografia da UFC, ano 01, número 01, 2002

RODRÍGUEZ, J. J. & WINDEVOXHEL, N.J. **Análise Regional de La Situación de la Zona Marina Costera Centroamericana**. Banco Inter-americano de Desenvolvimento BID. Whashington, D.C. ENVI-121, 1998.

SALGADO LABOURIAL, M.L. **História Ecológica da Terra**. São Paulo: E. Bucher, 1994.

SANTOS, A. R., PRANDINI, F.L. OLIVEIRA A.M.S. 1990. Limites ambientais do desenvolvimento: geociências aplicadas, uma abordagem tecnológica da biosfera. **Public. da Associação Brasileira de Geologia de Engenharia (ABGE)**, 20 p.

SANTOS, E. A. ; REIS, E. B. ; SANTIAGO, C. M. C. ; SANTOS, G. B. ; BAPTISTA, E. M. C. Aspectos Teórico-Conceituais sobre Zona Costeira: Uma abordagem interdisciplinar. In: X Simpósio de Produção Científica e IX Seminário de Iniciação Científica, 2010, Teresina. X Simpósio de Produção Científica e IX Seminário de Iniciação Científica. Teresina: UESPI, 2010.

SANTOS FILHO, Francisco Soares; ALMEIDA JR. Eduardo Bezerra de; SOARES, Caio Jefiter dos Reis Santos e ZICKEL, Carmen Sílvia. Fisionomias das restingas do Delta do Parnaíba, Nordeste, Brasil. **Revista Brasileira de Geografia Física** 03 (2010) 218-227.

SANTOS, A. C.; CABRAL, L. J. R. S.; VALLADARES, Gustavo Souza. Mapeamento

geomorfológico e do uso e cobertura das terras do município de Campo Largo do Piauí. **Revista Equador**, v. 4, p. 798-805, 2015.

SILVA, Jéssica Ferreira da; LIMA, Cristiane dos Santos. Expansão urbana na zona costeira de São Luís – MA: a gestão ambiental inserida no gerenciamento costeiro. IN: IV Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental. **Anais...** Salvador, 2013. p.1-6.

SCHIER, R.A. Trajetórias do conceito de paisagem na geografia. **Revista R. RA'E GA**, Curitiba, n.7, p.79-85, 2003.

SILVA, S. M.; BRITTEZ, R. M. A vegetação da Planície Costeira. In: MARQUES, M. C. M.; BRITTEZ, R. M. (Org.). **História Natural e conservação da Ilha do Mel**. Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 2005.p.49-84.

SILVA, J. B; CAVALCANTE, T. C. (Coord.) **Atlas Escolar, Ceará: espaço geohistórico e cultural**. 2 ed. João Pessoa: Grafset, 2004.

SILVA, Antônio Soares da. Análise histórica da migração das dunas do peró, Cabo frio (RJ). *Revista Geo UERJ - Ano 14, nº. 23,v. 2, 2012. p. 437-458.* Disponível em: <<http://www.epublicacoes.uerj.br/index.php/geouerj>>. Acesso em 20 de setembro de 2015.

SILVA, Antônio Soares da. Análise histórica da migração das dunas do peró, Cabo frio (RJ). **Revista Geo UERJ - Ano 14, nº. 23,v. 2, 2º semestre de 2012 p. 437-458**
ISSN: 1415-7543 E-ISSN: 1981-9021. Disponível em: <<http://www.epublicacoes.uerj.br/index.php/geouerj>>. Acesso em 20 de setembro de 2014.

SILVA, Filipe Ezequiel da; AMARO, Venerando Eustáquio; MATOS, Maria de Fátima Alves de. Análise Multitemporal dos Campos de Dunas Móveis do Litoral setentrional do Rio Grande do Norte. SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 17, João Pessoa, PB, 2015. In: **Anais...** João Pessoa, PB, 2015. Disponível em: <<http://www.dsr.inpe.br/sbsr2015/files/p1526.pdf>>. Acesso em: 06 fev. 2015.

SILVEIRA, J. D. **Morfologia do litoral**. In: Azevedo, A. (ed.), Brasil: a terra e o homem. Vol. 1. São Paulo, 1964. Cia. Editora Nacional.p. 253-305.

SILVEIRA I.M., NUNES E; VILAÇA J.G. 1989. Características das unidades ambientais do município de Maxaranguape - RN. In: ENCONTRO NACIONAL DE ESTUDOS SOBRE MEIO AMBIENTE, 2, Florianópolis, 1989. **Anais...** Florianópolis, 1: 311- 318.

SLATER, P. N. **Remote Sensing, Optics and Optical Systems**. Boston (MA): Addison-Wesley Pub. Co., 1980, 575 f.

SOARES, Raquel Alexandra Pequeno. **Análise de risco de instabilidade de arribas em São Pedro de Moel**. Dissertação (Mestrado em ciências do Mar) – Universidade de Liaboá, Portugal, 177f, 2013.

SOARES. J. P.R; AQUINO, C.M.S de. Fundamentos teórico da análise sistêmica e seus usos em estudos geográficos no estado do Piauí: levantamento preliminar. **Revista Geosaberes**. Fortaleza, v. 6, número especial (1), p. 172 – 183, Outubro. 2015.

SOTCHAVA, V. B. **O estudo dos geossistemas**. Métodos em Questão. São Paulo, 1977.

_____. **Por uma teoria de classificação de geossistemas de vida terrestre.** Biogeografia, nº. 14, São Paulo: IGEOG-USP, 1978.

SOUSA, Roneide dos Santos. **Planície Costeira do Estado do Piauí:** mapeamento das unidades de paisagem, uso e cobertura da terra e vulnerabilidade ambiental. 138f. (Mestrado em Geografia – Programa de Pós Graduação em Geografia, Universidade Federal do Piauí), Teresina, 2015.

SOUSA, R. S; VALLADARES, **G. S.** . Mapeamento dos depósitos sedimentares da planície costeira do estado do Piauí. **Revista Equador**, v. 4, p. 862-869, 2015.

SOUZA, C.R de G. Projeto SIIGAL: O SIGERCO para o Estado de São Paulo. **Revista de Gerenciamento Costeiro Integrado**, 3: (2003/2004) p. 35-37.

Souza, C.R de G., Souza Filho, P.W.M., Esteves, S.L., Vital, H., Dillenburg, S.R., Patchineelam, S.M. & Addad, J.E. Praias Arenosas e Erosão Costeira. In: C.R. de G. Souza, K. Suguio, A.M. Santos & P.E. Oliveira (eds.). **Revista Quaternário do Brasil**. p.130-152, 2005. Holos Editora, Ribeirão Preto, SP, Brasil.

SOUZA, Patricia Façanha Rocha de. **Circulação Hidrodinâmica na região costeira dos municípios de Recife e Jaboatão dos Guararapes durante o verão austral.** 2007. 125f. Tese (Doutorado) Programa de Pós – Graduação em Oceanografia. Universidade Federal de Pernambuco, Pernambuco, 2007.

SOUZA, Josuely Cristainy da; LIMA, Jonathan Tenório de; CAVALCANTI, José Rafael de Albuquerque; COSTA, Karoline Tenório da; COSTA, Maria Elisa Leite, TENÓRIO, Pedro Paulo Cardoso e FREIRE, Cleuda Custodio. Potenciais impactos causados por obras civis em aquíferos costeiros: estudo de caso. In. I Congresso Internacional de Meio Ambiente Subterrâneo. **Revista águas subterrâneas**, São Paulo, 2009.

SUGUIO, K. Dicionário de Geologia Sedimentar e áreas afins. Rio de Janeiro. Bertrand Brasil, p. 222, 1998.

SZCZYGIELSKI, Agata; STATTEGGER, Karl; SCHWARZER, Klaus; SILVA, André G. Aquino da.; VITAL, Helenice; KOENING, Juliane. Evolution of the Parnaíba Delta (NE Brazil) during the late Holocene. **Geo-Mar Lett**, v. 35, n. 2, DOI 10.1007/s00367-014-0395-x, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, p.105-117, 2014. Disponível em: <<http://link.springer.com/article/10.1007%2Fs00367-014-0395-x>> Acesso em: 11 fev. 2016

TESSLER, M. G.; GOYA, S. C. y. Processos Costeiros Condicionantes do Litoral Brasileiro. **Revista do Departamento de Geografia**, 17 (2005) 11-23.

TESSLER. M. G. **Potencial de risco natural. Macrodiagnóstico da Zona Costeira e Marinha do Brasil.** (2007).

TOMMINAGA, Lídia. Keiko; SANTORO, Jair; AMARAL, Rosangela do. **Desastres naturais: conhecer para prevenir.** São Paulo: Instituto Geológico, 2009.p. 196.

TUCCI, C. E. M. **Gestão das inundações urbanas**. Global Water Partnership. Edição em arquivo digital. Brasília, 2005.

TRICART, J. **Ecodinâmica**. Rio de Janeiro: Fundação IBGE, 1977.

TROPPEMAIR, Helmut; GALINA, Márcia Helena. Geossistemas. **Mercator** - Revista de Geografia da UFC, ano 05, n.10, 2006.

VASCONCELOS, F. P. e CORIOLANO, L. N. T. Impacto Sócio-Ambientais no Litoral: um foco no turismo e na gestão integrada da zona costeira no Estado de Ceará/Brasil”. In: **Revista da Gestão Costeira Integrada**. 8(2): 259-275. 2008.

VALLADARES, G.S.; GUIMARÃES, M & BATISTELLA, M. **Susceptibilidade à erosão das terras na Região Oeste do Estado da Bahia**. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2002. 9 p. (Comunicado Técnico 10).

VALLADARES, G.S.; FARIA, A.L.L. **SIG na análise do risco de salinização na bacia do Rio Coruripe**, AL. ENGEVISTA, v. 6, p.86-98, 2004.

VASCONCELOS, R.G.F. **Estudo do fenômeno da erosão marinha na praia de Icarai no município de Caucaia - Ceará**. Monografia apresentada ao curso de Especialização em Segurança Pública e Defesa Civil. 2010, 61f.

VALLE, A. S. **As obras de proteção e de reconstituição das praias de Espinho** (Tema IV)”, in Recursos Hídricos, vol.9, nº3, 1989. p. 57-67.

XAVIER, Renato. **O Gerencimaneto costeiro no Brasil e Cooperação Internacional**. Brasília: IPR1, 1994. 157f (Coleção relações internacionais; 25).

XAVIER-DA-SILVA, J. **Geoprocessamento para Análise Ambiental**. Rio de Janeiro, Ed. do Autor, 228p. 2001.