



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS**

ELIDA REGINA DE MELO E SILVA

**AVALIAÇÃO DA SUSCETIBILIDADE E VULNERABILIDADE OCACIONADAS
PELA PREVISÃO DE ELEVAÇÃO DO NÍVEL DO MAR NO LITORAL DE
PAULISTA – PE - BRASIL**

RECIFE

2014

ELIDA REGINA DE MELO E SILVA

**AVALIAÇÃO DA SUSCETIBILIDADE E VULNERABILIDADE OCACIONADAS
PELA PREVISÃO DE ELEVAÇÃO DO NÍVEL DO MAR NO LITORAL DE
PAULISTA – PE - BRASIL**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geociências do Centro de Tecnologia e Geociências da Universidade Federal de Pernambuco, como parte dos requisitos para a obtenção do Grau de Mestre em Geociências.

Área de Concentração: Geologia Sedimentar e Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Pedro de Souza Pereira.

RECIFE

2014

Catálogo na fonte
Bibliotecária Valdicéa Alves, CRB-4 / 1260

S586a Silva, Elida Regina de Melo e.
Avaliação da suscetibilidade e vulnerabilidade ocasionadas pela
previsão de elevação do nível do mar no litoral de Paulista – PE - Brasil/
Elida Regina de Melo e Silva. – 2014.
180 folhas, il., gráfs., tabs.

Orientador: Prof. Dr. Pedro de Souza Pereira.
Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG.
Programa de Pós-Graduação em Geociências, 2014.
Inclui Referências.

1. Mudanças climáticas. 2. Elevação do nível do mar. 3.
Susceptibilidade costeira. 4. Vulnerabilidade costeira. I. Pereira, Pedro de
Souza. (Orientador). II. Título.

UFPE

551 CDD (22. ed.)

BCTG/2017-417

ELIDA REGINA DE MELO E SILVA

**AVALIAÇÃO DA SUSCETIBILIDADE E VULNERABILIDADE OCACIONADAS
PELA PREVISÃO DE ELEVAÇÃO DO NÍVEL DO MAR NO LITORAL DE
PAULISTA – PE - BRASIL**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geociências da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito para a obtenção do título de Mestra em Geociências.

Aprovada em 18 de dezembro de 2014.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Pedro de Souza Pereira (Orientador)
Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Dr. Valdir do Amaral Vaz Manso (Examinador Interno)
Universidade Federal de Pernambuco

Profa. Dr. Elírio Ernestino Toldo Júnior (Examinador Externo)
Universidade Federal do Rio Grande do Sul

“Nas grandes batalhas da vida, o primeiro passo para a vitória é o desejo de vencer.”

Mahatma Gandhi

AGRADECIMENTOS

À minha família, em especial meus pais, pessoas que amo e me orgulho na vida, a quem devo tudo que sou e o que conquistei; a minha querida irmã Jackeline e a minhas tias e tios pelo apoio e incentivo. A todos, expresso minha enorme gratidão.

Ao Prof. Dr. Pedro de Souza Pereira pela disponibilidade, apoio e orientação durante a realização deste trabalho.

Ao grande amigo Prof. Dr. Valdir do Amaral Vaz Manso, pelas orientações e pelo constante incentivo na minha jornada acadêmica.

Ao coordenador da Pós-Graduação em Geociências, Prof. Dr. Gorki Mariano, pela presteza e tranquilidade a frente desta coordenação.

Aos professores que integram a Pós-Graduação em Geociências e em Oceanografia da UFPE os quais compartilharam o conhecimento para o desenvolvimento desta fase no meu aprimoramento acadêmico.

Ao secretário da Pós-Graduação em Geociências, Igor, pela presteza, atenção e amizade.

Aos amigos e colegas do LGGM, Fernando, Claudinha, Natan, Patrícia, Eduardo, René, Geraldo, Thiago, Sharliane, Miguel, Sr. Luis, e tantos outros, pelo companheirismo e auxílio ao longo do desenvolvimento deste trabalho.

À CONDEPE/FIDEM pelas ortofotocartas disponibilizadas de grande importância para execução da pesquisa.

À Danielle Mallmann pelos artigos disponibilizados de grande importância para execução da pesquisa.

Ao Labogeo pelo banco de dados disponibilizado de grande importância para execução da pesquisa.

Ao Prof. Rodrigo Mikosz Gonçalves do Laboratório de Cartografia Costeira (LACCOST) pela imagem de satélite disponibilizada de grande importância para execução da pesquisa.

À Prefeitura da Cidade do Paulista pelas cartas altimétricas disponibilizadas de grande importância para execução da pesquisa.

Ao CAPES, pela bolsa de mestrado concedida, a qual tornou possível a realização do curso e conseqüentemente deste trabalho.

A todos os colegas e funcionários da UFPE que contribuíram de alguma forma para essa conquista.

RESUMO

O aquecimento global ocasiona mudanças climáticas, que modificam e/ou intensificam a atuação dos processos hidrodinâmicos que agem na zona costeira. Tais modificações podem estabelecer condições de risco para todos os ambientes costeiros em seus âmbitos físico, biológico e antrópico. Este trabalho apresenta uma avaliação dos impactos decorrentes da elevação do nível do mar relacionada às mudanças climáticas atuais previstas e publicadas no relatório do IPCC (2013), nos campos físico e socioeconômico nas praias de Maria Farinha, Nossa Senhora da Conceição, Nossa Senhora do Ó, Pau Amarelo e Janga localizadas no litoral de Paulista, Pernambuco. Para identificar o grau de suscetibilidade foram utilizados descritores das características físicas e hidrodinâmicas (geologia, formas de relevo, variação da linha de costa, variação relativa do nível do mar, altura da maré, altura máxima das ondas, declividade da costa) integrados através do índice geral de suscetibilidade costeira que utiliza um algoritmo similar ao proposto por Gornitz (1991). Com esta análise conclui-se que 41,75% da linha de costa possui grau de suscetibilidade muito alto, 3,07% tem alta suscetibilidade, 4,33% tem grau moderado de suscetibilidade e 22,10% da costa paulistense apresenta grau de suscetibilidade muito baixo. A extensão da linha de costa que corresponde a 28,75%, contém estruturas de fixação da costa e não foi incluída nos diagnósticos. Os resultados da suscetibilidade à elevação do nível do mar apresentados mostram que o litoral estudado é bastante suscetível às consequências danosas (erosão e inundação) decorrentes desse evento. Através da utilização da regra de Bruun foram obtidas as dimensões do recuo da linha de costa resultante dos processos de erosão incrementados com a subida do nível do mar. Utilizando o pior cenário de subida do nível do mar (0,98m), o recuo varia de 71m a 280m ao longo da costa. Com base nestas informações foi calculada a vulnerabilidade da área que utiliza como variáveis (população impactada, perda de capital de valor, perda de terra emersa e proteção/adaptação da costa para descrever o grau de vulnerabilidade socioeconômica que a área terá com a ascensão do nível do mar prevista. Os resultados obtidos para a vulnerabilidade apontam para uma situação de grande prejuízo financeiro devido às perdas de imóveis de alto valor comercial. Entretanto, o contingente de pessoas afetadas pelo evento é considerado moderado para os bairros com maior número de habitantes e alto para os bairros menos habitados. Nossa Senhora da Conceição, foi o bairro que apresentou maior vulnerabilidade em relação à perda de terras emersas. No quesito proteção/adaptação da costa todos os bairros apresentaram vulnerabilidade muito alta significando que os valores calculados para implantação de obras de proteção costeira são muito onerosos e superam em mais de 166% o valor do produto interno bruto do município. Dessa forma, quaisquer intervenções neste sentido terão que ser financiadas pelos governos estadual e/ou federal. Diante dos resultados obtidos para impactos decorrentes da subida do nível do mar prevista, a costa do município de Paulista terá enormes desafios para gerir os problemas indicados através desta pesquisa.

Palavras chave: Mudanças climáticas. Elevação do nível do mar. Suscetibilidade costeira. Vulnerabilidade costeira.

ABSTRACT

Global warming causes climate change, modifying and / or intensify the actions hydrodynamic processes that act in the coastal zone. Such modifications may establish risk conditions for the coastal environments in their physical, biological and man-made aspects. This work presents an evaluation of the impacts of sea level rise related to current climate changes predicted by the IPCC (2013) report on the physical and socioeconomic fields on the beaches of Maria Farinha, Nossa Senhora da Conceição, Nossa Senhora do Ó, Pau Amarelo and Janga located on the coast of Paulista city, Pernambuco. To identify the degree of susceptibility descriptors of integrated physical and hydrodynamic characteristics (geology, landforms, variability of the shoreline, the relative change in sea level, tide height, maximum wave height, coast slope) were used by coastal susceptibility general index which uses a similar proposed by Gornitz (1991) algorithm. From this analysis it concluded that 41.75% of the shoreline has a very high degree of susceptibility, 3.07% have high susceptibility, 4.33% have moderate susceptibility and 22.10% of Paulista coast has a very low susceptibility degree. The coastline strength which corresponds to 28.75%, contains engineering structures coast and was not included in the diagnostic. The results of susceptibility to rising sea level presented shows that the studied coastline is quite susceptible to harmful consequences (erosion and flooding) resulting from natural event. Through the usage of the Bruun rule the resulting shoreline retraction augmented with the sea level rising were obtained. Using the worst case scenario of rising sea (0,98m) level, the retraction ranges from 71m to 280m along the coast. Based on this information the vulnerability of the area that uses as variables affected people, capital loss of value, land loss and coastline protection / adaptation of the coast to describe the degree of socioeconomic vulnerability that will have to rise was calculated predicted sea level. The vulnerability results show a situation of great financial loss due to loss of properties of high commercial value. However, the number of people affected by the event is considered moderate for the districts with larger populations and higher for the less populated neighborhoods. Nossa Senhora da Conceição, was the district with the highest vulnerability to loss of its land area. On the issue coastal protection / adaptation of all the districts show very high vulnerability meaning that the calculated values for implementation of coastal protection works are very expensive and exceed by more than 166% the value of the gross domestic product of the municipality. So what to interventions will have to be financed by state and / or federal governments. Given the results for impacts of rising sea levels expected, the coast of the municipality of Paulista have enormous challenges to manage the problems indicated by this research.

Keywords: Climate change. Sea level rise. Coastal susceptibility. Coastal vulnerability.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Alguns dos principais processos físicos e geológicos responsáveis pelas variações do nível do mar.....	25
Figura 2 - Tempo e amplitude dos principais mecanismos causadores de mudanças eustáticas.....	26
Figura 3 - Os três parâmetros relacionados aos ciclos de Milankovitch: Excentricidade, obliquidade do eixo da Terra e precessão.....	27
Figura 4 - Variações climáticas como resultado das interações entre variáveis externas e internas	28
Figura 5 - Mapa atual das anomalias no campo gravitacional da Terra..	29
Figura 6 - Padrões atuais de variações isostáticas do nível do mar.....	32
Figura 7 - Mecanismo de aquecimento natural da Terra.....	33
Figura 8 - Concentração média anual de dióxido de carbono (CO ₂) na atmosfera, de 1980 a 2010.....	34
Figura 9 - Quantificação das forçantes no sistema de absorção da radiação solar entre 1750 e 2011.....	35
Figura 10 - Ciclo do carbono na Terra, destacando as quantidades em Gt/ano.....	36
Figura 11 - Representação gráfica do desequilíbrio no ciclo do carbono ocasionado pelas atividades antrópicas modernas.....	37
Figura 12- Curvas do nível relativo do mar durante o Holoceno para diversos setores da costa leste e sudeste do Brasil.....	39
Figura 13 - Estimativa dos problemas causados pelo aquecimento global.....	40
Figura 14 - Diagrama esquemático da resposta do perfil praiial segundo a Regra de Bruun.....	42
Figura 15 - Mapa de localização da área de estudo.....	45
Figura 16 - Igreja de Nossa Senhora da Conceição dos Médicos.....	46
Figura 17 - Visão área de trecho da praia do Janga, mostrando a alta densidade urbana.....	46
Figura 18 - Forte de Pau Amarelo.....	47
Figura 19 - Vista aérea da praia de Pau Amarelo.....	47

Figura 20 - Igreja de Nossa Senhora do Ó na margem esquerda da PE-001.....	48
Figura 21 - Imagem aérea da praia de Nossa Senhora do Ó.....	48
Figura 22 - Igreja de N. Sra. da Conceição.....	48
Figura 23 - Imagem aérea da praia de N. Sra. da Conceição.....	48
Figura 24 - Visão aérea do parque aquático em Maria Farinha, Paulista.	49
Figura 25 - Imagem da área total do município de Paulista.....	50
Figura 26 - Gráfico de comparação do crescimento demográfico na cidade do Paulista.....	50
Figura 27 - Imagens do litoral de Paulista em 1974 (a) e em 2013 (b), mostrando a evolução da urbanização na praia do Janga.....	51
Figura 28 - Área costeira das bacias de Pernambuco, da Paraíba e da Plataforma de Natal, com suas respectivas sub-bacias.....	54
Figura 29 - Divisão da Província Borborema em domínios estruturais e terrenos tectono-estratigráficos.....	56
Figura 30 - Quadro esquemático proposto para a estratigrafia da Bacia Paraíba, sub-bacia Olinda.....	58
Figura 31 - Mapa altimétrico global contendo valores de subida do NM...	71
Figura 32 - Perfil ilustrativo das variáveis que compõem a equação de Bruun.....	78
Figura 33 - Projeções para elevação do nível do mar até o período de 2100 segundo cenários desenvolvidos.....	79
Figura 34 - Mapa com as rotas na Carta Náutica, município de Paulista.	83
Figura 35 - Perfil esquemático adaptado de Short (1999) com o posicionamento da profundidade de fechamento (hc).....	85
Figura 36 - Mapa geológico do litoral da cidade de Paulista.....	94
Figura 37 - Mapa do litoral de Paulista com a classificação de suscetibilidade à geologia.....	95
Figura 38 - Mapa geomorfológico do litoral da cidade de Paulista.....	97
Figura 39 - Mapa do litoral de Paulista com a classificação de suscetibilidade à geomorfologia.....	98
Figura 40 - Mapa das linhas de costa de Maria Farinha, Paulista.....	100
Figura 41 - Mapa das linhas de costa de Maria Farinha e Nossa Sra. da Conceição, Paulista.....	101

Figura 42 - Mapa das linhas de costa de Nossa Sra. do Ó, Pau Amarelo e Janga, Paulista.....	102
Figura 43 - Mapa das linhas de costa do Janga, Paulista.....	103
Figura 44 - Mapa do litoral de Paulista com a classificação de suscetibilidade à variação da linha de costa.....	105
Figura 45 - Mapa do litoral de Paulista com a classificação de suscetibilidade à variação relativa do nível do mar.....	107
Figura 46 - Histograma da maré astronômica semidiurna para as praias de Paulista.....	108
Figura 47 - Série temporal de maré astronômica (1948-2008), de Paulista.....	108
Figura 48 - Mapa do litoral de Paulista com a classificação de suscetibilidade à altura da maré.....	110
Figura 49 - Histograma (A), distribuição(B) e série temporal da altura significativa de onda (Hs)(C) na Praia do Janga.....	111
Figura 50 - Histograma (A), distribuição(B) e série temporal da altura significativa de onda (Hs)(C) na Praia do Pau Amarelo.....	112
Figura 51 - Histograma (A), distribuição(B) e série temporal da altura significativa de onda (Hs)(C) na Praia de Nossa Senhora do Ó.....	113
Figura 52 - Histograma (A), distribuição(B) e série temporal da altura significativa de onda (Hs)(C) na Praia Nossa Senhora da Conceição.....	114
Figura 53 - Histograma (A), distribuição(B) e série temporal da altura significativa de onda (Hs)(C) na Praia de Maria Farinha.....	115
Figura 54 - Mapa do litoral de Paulista com a classificação de suscetibilidade à altura máxima da onda (Hmax).....	117
Figura 55 - Mapa de curvas de nível do litoral de Paulista.....	119
Figura 56 - Mapa do litoral de Paulista com a classificação de suscetibilidade à declividade da costa.....	120
Figura 57 - Mapa do litoral de Paulista com a classificação geral da suscetibilidade à elevação do nível do mar.....	123
Figura 58 - Porcentagem do grau de suscetibilidade geral para cada praia do litoral de Paulista.....	126
Figura 59 - Diagramas radiais que mostram a influência de cada índice no resultado final da suscetibilidade à elevação do nível do mar.....	127

Figura 60 - Diagramas radiais que mostram a influência de cada índice no resultado final da suscetibilidade à elevação do nível do mar.....	128
Figura 61 - Perfis de praia do litoral de Paulista.....	130
Figura 62 - Mapa da linha de costa do município de Paulista. Fonte da imagem: Google Earth.....	131
Figura 63 - Mapa batimétrico da área estudada.....	133
Figura 64 - Mapa batimétrico com a projeção dos valores da largura do perfil ativo (L) segundo os autores Dean (1977) em amarelo, Birkemeier (1985) em preto e Hallermeier (1981) para as praias de Paulista.....	137
Figura 65 - Imagens de satélite mostrando o transporte sedimentar ao longo da costa.....	138
Figura 66 - Mapa de recuos da linha de costa para uma elevação do nível do mar de 0,26 m nas praias do norte	143
Figura 67 - Mapa de recuos da linha de costa para uma elevação do nível do mar de 0,26 m nas praias do sul.....	144
Figura 68 - Mapa de recuos da linha de costa para elevação do nível do mar de 0,98 m nas praias do norte.....	145
Figura 69 - Mapa de recuos da linha de costa para uma elevação do nível do mar de 0,98 m nas praias do sul.....	146
Figura 70 - Mapa da vulnerabilidade relacionado à variável população impactada.....	149
Figura 71 - Mapa da vulnerabilidade relacionada a perda de capital de valor para o litoral de Paulista.....	153
Figura 72 - Mapa da área de recuo da linha de costa de Paulista para elevação de 0,98m do NM.....	156
Figura 73 - Mapa da vulnerabilidade para perda de área emersa do litoral de Paulista.....	157
Figura 74 - Mapa da vulnerabilidade para a variável proteção/adaptação da costa.....	160
Figura 75 - Mapa da vulnerabilidade geral para o litoral de Paulista.....	163

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Dados do censo demográfico da cidade do Paulista. Fonte: IBGE.....	51
Tabela 2 - Fragmento do catálogo dos índices de classificação da suscetibilidade costeira à elevação do nível do mar referente a geologia, adaptado de Gornitz (1991), Pendleton et al. (2004) e Nicholls e Cazenave(2010).....	68
Tabela 3 - Fragmento do catálogo dos índices de classificação da suscetibilidade costeira à elevação do nível do mar referente a geomorfologia, adaptado de Gornitz (1991), Pendleton et al. (2004) e Nicholls e Cazenave(2010).....	68
Tabela 4 - Fragmento do catálogo dos índices de classificação da suscetibilidade costeira à elevação do nível do mar referente a variação da linha de costa, adaptado de Gornitz (1991), Pendleton et al. (2004) e Nicholls e Cazenave(2010).....	70
Tabela 5 - Fragmento do catálogo dos índices de classificação da suscetibilidade costeira à elevação do nível do mar referente a variação relativa do nível do mar, adaptado de Gornitz (1991), Pendleton et al. (2004) e Nicholls e Cazenave (2010).....	72
Tabela 6 - Fragmento do catálogo dos índices de classificação da suscetibilidade costeira à elevação do nível do mar referente a altura da maré, adaptado de Gornitz (1991), Pendleton et al. (2004) e Nicholls e Cazenave (2010).....	73
Tabela 7 - Fragmento do catálogo dos índices de classificação da suscetibilidade costeira à elevação do nível do mar referente à altura máxima das ondas, adaptado de Gornitz (1991), Pendleton et al. (2004) e Nicholls e Cazenave (2010).....	75
Tabela 8 - Fragmento do catálogo dos índices de classificação da suscetibilidade costeira à elevação do nível do mar referente a geomorfologia, adaptado de Gornitz (1991), Pendleton et al. (2004) e Nicholls e Cazenave(2010).....	75
Tabela 9 - Relação dos quartis e os graus de suscetibilidade e vulnerabilidade.....	77
Tabela 10 - Fragmento do catálogo dos índices de classificação da vulnerabilidade costeira à elevação do nível do mar referente a pessoas afetadas, adaptado de Nicholls (1995).....	90
Tabela 11 - Fragmento do catálogo dos índices de classificação da vulnerabilidade costeira à elevação do nível do mar referente à perda de capital de valor, adaptado de Nicholls (1995).....	91

Tabela 12 - Fragmento do catálogo dos índices de classificação da vulnerabilidade costeira à elevação do nível do mar referente a perda de área emersa, adaptado de Nicholls (1995).....	92
Tabela 13 - Fragmento do catálogo dos índices de classificação da vulnerabilidade costeira à elevação do nível do mar referente a proteção e adaptação da costa, adaptado de Nicholls (1995).....	92
Tabela 14 - Média da taxa de variação da linha de costa (metros/ano) para as praias da área de estudo, excluídos os valores de incerteza referente ao georreferenciamento.....	99
Tabela 15 - Média geral da taxa de variação da linha de costa (metros/ano) para as praias da área de estudo, excluídos os valores de incerteza referente ao georreferenciamento.....	104
Tabela 16 - Analogia entre os intervalos dos valores e os graus de suscetibilidade.....	121
Tabela 17 - Valores da Suscetibilidade Costeira Geral de Paulista.....	122
Tabela 18 - Altura da feição emersa ativa para as praias de Paulista.....	130
Tabela 19 - Resultados da análise granulométrica dos sedimentos e da velocidade de decantação do grão das praias de Paulista.....	132
Tabela 20 - Dados hidrodinâmicos das praias de Paulista.....	134
Tabela 21 - Resultados obtidos segundo equação de Hallermeier (1981).....	134
Tabela 22 - Resultados obtidos segundo equação de Birkemeier (1985).....	135
Tabela 23 - Valores da largura do perfil ativo das praias estudadas.....	136
Tabela 24 - Respostas de feições costeiras a elevação do nível do mar.....	139
Tabela 25 - Valores de recuo da linha de costa para profundidade de fechamento segundo Hallemeier (eq. 3) e para menor previsão de variação do nível do mar.....	141
Tabela 26 - Valores de recuo da linha de costa para profundidade de fechamento segundo Hallemeier (eq. 3) e para maior previsão de variação do nível do mar.....	141
Tabela 27 - Valores de recuo da linha de costa para profundidade de fechamento segundo Birkemeier (eq. 5) e para menor previsão de variação do nível do mar.....	142
Tabela 28 - Valores de recuo da linha de costa para profundidade de fechamento segundo Birkemeier (eq. 5) e para maior previsão de variação do nível do mar.....	142
Tabela 29 - Distribuição do total de habitantes por bairro.....	147

Tabela 30 - Total de habitantes impactados e a classificação da vulnerabilidade por bairro.....	148
Tabela 31 - Lista das dimensões em m2 construído dos vários tipos de imóveis existentes nas áreas de recuo da linha de costa do município de Paulista.....	151
Tabela 32 - Lista dos valores totais em reais dos vários tipos de imóveis existentes nas áreas de recuo da linha de costa do município de Paulista.....	152
Tabela 33 - Lista do total do PIB de Paulista, total geral das perdas em reais e porcentagem das perdas em relação ao PIB.....	153
Tabela 34 - Área total dos bairros costeiros do município de Paulista.....	154
Tabela 35 - Área total erodida dos bairros costeiros do município de Paulista.....	154
Tabela 36 - Classificação da vulnerabilidade para perda de área emersa por bairro.....	155
Tabela 37 - Tabela com as informações de volume e valor da obra para todo o litoral.....	159
Tabela 38 - Classificação da vulnerabilidade para a variável proteção/adaptação da costa.....	159
Tabela 39 - Valores da Vulnerabilidade Costeira Geral de Paulista.....	161
Tabela 40 - Relação entre os intervalos dos valores e os graus de vulnerabilidade.....	161

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	18
2	OBJETIVOS.....	20
2.1	GERAL.....	20
2.2	ESPECÍFICOS.....	20
3	REFERENCIAL TEÓRICO.....	21
3.1	CONCEITOS DE SUSCETIBILIDADE E VULNERABILIDADE.....	21
3.2	CAUSAS DA VARIAÇÃO DO NÍVEL DO MAR.....	24
3.3	VARIAÇÃO DO NÍVEL DO MAR NA COSTA BRASILEIRA.....	38
3.4	CONSEQUÊNCIAS DA SUBIDA DO NÍVEL DO MAR.....	40
3.5	REGRA DE BRUUN.....	42
4	CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	45
4.1	LOCALIZAÇÃO E VIAS DE ACESSO.....	45
4.2	ASPECTOS SOCIOECONÔMICOS.....	49
4.3	ASPECTOS FISIOGRÁFICOS.....	52
4.4	CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICA.....	54
4.4.1	Província Borborema.....	55
4.4.2	Zona Transversal.....	56
4.4.3	Terreno Rio Capibaribe.....	57
4.4.4	Bacia Paraíba.....	57
4.4.5	Sedimentação Quaternária.....	62
4.5	RELEVO.....	64
5	MATERIAIS E MÉTODOS.....	67
5.1	DADOS.....	67
5.2	ÍNDICES DE SUSCETIBILIDADE.....	67
5.2.1	Geologia.....	67

5.2.2	Geomorfologia.....	68
5.2.3	Variação de Linhas de Costa.....	69
5.2.4	Variação Relativa do Nível do Mar.....	70
5.2.5	Altura da Maré.....	72
5.2.6	Altura Máxima das Ondas.....	73
5.2.7	Elevação da Costa.....	75
5.3	CÁLCULO GERAL DA SUSCETIBILIDADE E DA VULNERABILIDADE COSTEIRAS.....	76
5.4	RETROGRADAÇÃO.....	78
5.4.1	Morfologia Praial.....	78
5.4.2	Linha de Costa.....	79
5.4.3	Variação Relativa do Nível do Mar.....	79
5.4.4	Sedimentologia das Praias.....	80
5.4.5	Batimetria.....	82
5.4.6	Hidrodinâmica.....	84
5.4.7	Profundidade de Fechamento.....	85
5.4.8	Largura do Perfil Ativo.....	87
5.4.9	Cálculo da Retrogradação.....	88
5.5	ÍNDICES DE VULNERABILIDADE.....	89
5.5.1	População Impactada.....	89
5.5.2	Perda de Capital de Valor.....	90
5.5.3	Perda de Área Emersa.....	91
5.5.4	Proteção/Adaptação da Costa.....	92
6	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	93
6.1	ÍNDICES DE SUSCETIBILIDADE.....	93
6.1.1	Geologia.....	93
6.1.2	Geomorfologia.....	96

6.1.3	Variação da Linha de Costa.....	99
6.1.4	Variação Relativa do Nível do Mar.....	106
6.1.5	Altura da Maré.....	108
6.1.6	Altura Máxima das Ondas.....	111
6.1.7	Elevação da Costa.....	118
6.1.8	Cálculo Geral da Suscetibilidade Costeira.....	121
6.2	RETROGRADAÇÃO.....	129
6.2.1	Morfologia Praial.....	129
6.2.2	Linha de Costa.....	131
6.2.3	Variação Relativa do Nível do Mar.....	132
6.2.4	Sedimentologia dos Perfis Praiais.....	132
6.2.5	Batimetria.....	133
6.2.6	Hidrodinâmica.....	134
6.2.7	Profundidade de Fechamento.....	134
6.2.8	Largura do Perfil Ativo.....	135
6.2.9	Cálculo da Retrogradação.....	139
6.3	ÍNDICES DE VULNERABILIDADE.....	147
6.3.1	População Impactada.....	147
6.3.2	Perda de Capital de Valor.....	150
6.3.3	Perda de Área Emersa.....	154
6.3.4	Proteção/Adaptação da Costa.....	158
6.3.5	Cálculo Geral da Vulnerabilidade Costeira.....	161
7	CONCLUSÕES.....	164
	REFERÊNCIAS.....	166

1 INTRODUÇÃO

A zona costeira é a área de interação entre o continente emerso, o mar e a atmosfera, estando sujeita as contínuas alterações resultantes dos condicionantes geológicos, geomorfológicos, climáticos e oceanográficos as quais é exposta, sendo esses condicionantes decisivos na formação dos distintos tipos de costa (Silva *et al.*, 2004).

As praias oceânicas possuem múltiplas funções ecológicas como proteção costeira natural contra o ataque de ondas e marés de tempestade, habitat para várias espécies animais e vegetações. As praias têm desempenhado funções socioeconômicas diretas e indiretas com o uso da praia como local de recreação, lazer, esportes, turismo e moradia (Souza *et al.*, 2005; Souza, 2009).

Os dados do IBGE (2007) informam que no Brasil aproximadamente 20% da população habita na zona costeira. No Estado de Pernambuco cerca 40% das pessoas moram no litoral, motivadas principalmente pelo desenvolvimento socioeconômico propiciado pela proximidade da capital do Estado que se localiza também na zona litorânea (Klein *et al.*, 2009).

Diante da importância que o litoral possui para o meio ambiente, o meio biológico e antrópico há uma crescente preocupação quanto à suscetibilidade e vulnerabilidade da zona costeira perante as mudanças climáticas, que estão aliadas a previsão de estabelecimento de novas condições oceânicas e atmosféricas (IPCC, 2007).

Dentre as implicações previstas com as mudanças climáticas para o ambiente costeiro, a elevação do nível do mar é abordada como um dos eventos com maiores consequências para a zona costeira por expor a costa a processos erosivos e de inundação permanente ou parcial que causarão impactos aos biomas associados a ambientes estuarinos e oceânicos, bem como a infraestrutura litorânea e atividades socioeconômicas destas áreas (IPCC,2007).

Como o grau de confiabilidade das previsões de mudanças no clima aumenta com a expansão das pesquisas é necessário investimentos maiores em diagnósticos e prognósticos sobre a zona costeira, visto que os efeitos negativos resultantes do evento natural podem ser potencializados pela alta densidade populacional, falta de ordenamento do uso e ocupação do solo (Lewsey *et al.*, 2004), que é um panorama comum da zona costeira pernambucana e brasileira.

Este trabalho desenvolveu a avaliação sobre a suscetibilidade do meio físico do litoral da cidade do Paulista utilizando o índice de vulnerabilidade costeira proposto por Gornitz (1991) e amplamente utilizado pela comunidade científica para estimar a suscetibilidade de áreas diante dos impactos ao meio físico, antrópico e biológico oriundos de vários eventos naturais.

Para a delimitação do recuo de linha de costa resultante da subida do nível do mar foi utilizada a Regra de Bruun (1962) que possibilita a delimitação do alcance do evento natural previsto para atingir todas as zonas costeiras até o ano de 2100. Com os limites da área impactada pelo recuo da costa foi obtida a vulnerabilidade socioeconômica do litoral estudado baseado nos conceitos desenvolvidos por Nicholls (1995) através do índice de multicritérios.

Assim esta dissertação buscou colaborar com o gerenciamento costeiro do município disponibilizando resultados que podem ser utilizados para a construção de políticas públicas para a adaptação e mitigação aos efeitos danosos resultantes da subida do nível do mar.

2 OBJETIVOS

2.1 GERAL

Através da análise da suscetibilidade do meio físico e da delimitação do recuo da linha de costa devido à sobre-elevação do nível médio do mar, o objetivo deste presente trabalho é identificar as áreas e o contingente humano vulnerável no litoral do município de Paulista aos efeitos desse evento de modificação do nível atual do mar.

2.2 ESPECÍFICOS

- Apresentar um diagnóstico dos fatores de suscetibilidade à elevação do nível do mar do litoral estudado;
- Obter e expor projeções do alcance do recuo da linha de costa diante dos cenários de subida do nível do mar apresentados pelo IPCC (2013);
- Exibir um prognóstico da vulnerabilidade socioeconômica do litoral diante dos cenários de sobre-elevação do nível do mar e qual o contingente humano e principais elementos de infraestrutura atingidos.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 CONCEITOS DE SUSCETIBILIDADE E VULNERABILIDADE

Nesta seção foram apresentadas as diversas definições para os termos suscetibilidade e vulnerabilidade que são exibidos por vários autores. Também foi exibida qual dessas definições foi utilizada no desenvolvimento do trabalho.

Os termos suscetibilidade e vulnerabilidade possuem significância equivalente em algumas definições e por vezes, tratam com atores diferentes, porém se relacionam dentro do arranjo sistemático de análise dos fenômenos naturais que produzem perdas ou prejuízos nos âmbitos do meio ambiente e humano.

A suscetibilidade natural corresponde ao grau de probabilidade que atributos do meio ambiente condicionam, induzem ou aceleram a ocorrência de um determinado perigo geológico ou natural (Varnes, 1984).

A suscetibilidade é definida como a probabilidade da área de ser destruída e/ou resistir a fenômenos potencialmente destrutivos (Gallerini et al., 2002).

A suscetibilidade aborda a partir das variáveis físicas, qual a intensidade ou escala que um determinado ambiente pode vir a sofrer danos ou perdas devido a um perigo natural (UNDP, 2004).

Segundo Thiery *et al.* (2006), a avaliação de suscetibilidade pode ser definida como a probabilidade espacial de ocorrência de um evento em uma determinada área.

Para o Brasil/IPT (2007) “suscetibilidade indica a potencialidade de ocorrência de processos naturais e/ou induzidos em uma dada área, expressando-se segundo classes de probabilidade de ocorrência, a vulnerabilidade é o grau de perda para um dado elemento, grupo ou comunidade dentro de uma determinada área passível de ser afetada por um fenômeno ou processo, e perigo significa a condição ou fenômeno com potencial para causar uma consequência desagradável”.

De acordo com Silveira (2012) os estudos de suscetibilidade antecedem à avaliação do perigo. A suscetibilidade corresponde à possibilidade de ocorrência de algum tipo de evento numa determinada área compreendida através de parâmetros que definem uma possibilidade real.

Para Gornitz et al. (1991), a vulnerabilidade varia em função das características físicas dos ambientes, as quais indicam o potencial de determinada área sofrer danos devido a determinado evento da natureza.

Klein e Nicholls (1999) conceituaram a vulnerabilidade costeira como sendo produto de três propriedades: a Suscetibilidade que é o potencial de ser afetado por um evento natural; Resistência consistindo na capacidade de resistir ao impacto gerado pelo fenômeno natural; e Resiliência significando a velocidade de recuperação da área ou sistema atingido pelo evento da natureza. E que existe uma influência mútua entre os subsistemas (natural e humano), porém, para analisar a vulnerabilidade socioeconômica deve-se conhecer a vulnerabilidade do meio ambiente.

A vulnerabilidade é abordada como um conceito atrelado às noções de sensibilidade e risco, sendo a sensibilidade associada a fatores intrínsecos do sistema natural e o risco ao tipo e intensidade da ocupação humana (Dutrieaux et al., 2000).

Dutrieaux et al. (2000) declaram que a vulnerabilidade está relacionada aos conceitos de sensibilidade e risco, sendo a sensibilidade associada a fatores intrínsecos do sistema natural e o risco alude ao tipo e à intensidade de ocupação humana.

Vulnerabilidade é o grau de incapacidade de lidar com os efeitos adversos resultantes de um evento e é função da característica, magnitude e taxa da variação climática ao qual um sistema é exposto, considerando sua suscetibilidade e capacidade adaptativa (IPCC, 2001; 2007).

Segundo ISDR (International Strategy for Disaster Reduction-2002) a vulnerabilidade é o reflexo das condições físicas, socioeconômicas e ambientais, individuais e coletivas, as quais são continuamente influenciadas por atitudes, comportamentos culturais, socioeconômicos e política no contexto individual, familiar, comunitário e nacional.

De acordo com Alcántara-Ayala (2002) o conceito de vulnerabilidade está relacionado à capacidade de uma área em sofrer perdas ou danos ocasionados por um perigo natural, e que envolve também as condições das pessoas (fatores sociais, econômicos, políticos e culturais) residentes no local impactado.

A vulnerabilidade é produto dos fatores físicos, sociais, econômicos e ambientais os quais determinam a probabilidade e a escala dos danos causados por um perigo (UNDP, 2004).

A vulnerabilidade é entendida como o conjunto de fatores que atuam aumentando ou atenuando os efeitos de um evento natural ou induzido pelo homem (Boruff et al., 2005).

Adger (2006) se refere à análise de vulnerabilidade como um instrumento analítico que descreve os estados de susceptibilidade de sistemas físicos e sociais em resposta a danos, com o intuito de orientar e motivar ações no sentido de restringir riscos.

A vulnerabilidade física representa as ameaças aos arcabouços físico do meio ambiente e de infra-estrutura do sócio-econômico desencadeados por um evento natural (National Research Council, 2006).

Para Sharples (2006) a vulnerabilidade refere-se ao grau de exposição de feições geomorfológicas ou ecológicas aos impactos gerados por perigos.

Para o Ministério de Integração Nacional (2007), vulnerabilidade é a probabilidade de uma área geográfica ou comunidade ser afetada por uma ameaça e é estabelecida a partir de estudos técnicos.

A vulnerabilidade indica a intensidade que um sistema pode ser danificado diante de um perigo natural, e sua análise pode ser efetuada com base nos agentes de funcionamento de um sistema costeiro (Jimenez, 2008).

A vulnerabilidade está relacionada à condição de estrutura social, ativos físicos, economia e suporte ambiental da comunidade tornando-a mais ou menos suscetível aos eventos extremos (*Intergovernmental Oceanographic Commission –IOC, 2010*).

Nicolodi e Petermann (2011) consideram que a vulnerabilidade de um sistema depende dos condicionantes culturais, econômicos, políticos e sociais, pois estes influenciam de forma direta a resposta de indivíduos e da coletividade a exposição dos mesmos a um evento natural que ocasione perdas.

Diante da conceituação a respeito dos termos suscetibilidade e vulnerabilidade observamos que a suscetibilidade é considerada uma análise da intensidade ou da probabilidade do meio físico de um determinado ambiente sofrer impacto devido a um perigo natural e que a vulnerabilidade possui três abordagens principais: a) identificação de áreas vulneráveis, utilizando o termo vulnerabilidade com a mesma significância da suscetibilidade; b) o diagnóstico das perdas diante da habilidade social e econômica da comunidade em lidar com o perigo ou da capacidade de resposta do sistema ao evento, e; c) identificação de pessoas e locais que podem sofrer impacto diante de um evento ou perigo e dentro deste contexto quais são as mais suscetíveis às perdas.

Neste trabalho, suscetibilidade foi referida como a perspectiva de ocorrência de erosão e inundação decorrente da elevação do nível do mar nas praias do município

de Paulista utilizando variáveis físicas para a avaliação. E a vulnerabilidade expressou as perdas potenciais que podem ocorrer diante da ocorrência do evento de subida do nível do mar nesta mesma área.

3.2 CAUSAS DA VARIAÇÃO DO NÍVEL DO MAR

A superfície de referência na Terra mais significativa é o nível do mar (Kennett, 1982), e sua forma equivale à configuração equipotencial do campo gravitacional. Entretanto, este referencial é excessivamente móvel e relativo, pois ao longo da história geológica terrestre observou-se que as variações do nível do mar sempre ocorreram e que em nenhum momento houve um período de completa estabilização.

Há uma abundância de escalas temporais e espaciais nas quais podemos perceber as variações do nível do mar, as quais surgem a partir do pulso da maré diurna ou da quebra da onda na praia até as variações milenares. A Terra é um sistema dinâmico formado por fortes interações (Warrick et al., 1993), que repercutem diretamente sobre as oscilações do nível do mar, chamadas de transgressão e regressão.

As alterações do nível do mar são decorrentes de processos meteorológicos, geológicos, climáticos, astronômicos, hidrológicos, glaciológicos e biológicos, assim como das interações que ocorrem entre esses processos, afetando tanto o nível do mar de forma global ou local (Warrick et al., 1993) (fig. 1). Estas variações podem ocorrer de forma rápida ou lenta, dependendo do agente causador da mudança.

As variações do nível do mar globais ou regionais ocorrem por interferência direta ou indireta de processos como: eustatismo diastrófico ou tectono-eustatismo, glacio-eustatismo, eustatismo geoidal, eustatismo sedimentar, termo-eustatismo, hidro-isostasia, isostasia glaciária, isostasia de erosão, movimentos tectônicos, compactação entre outros.

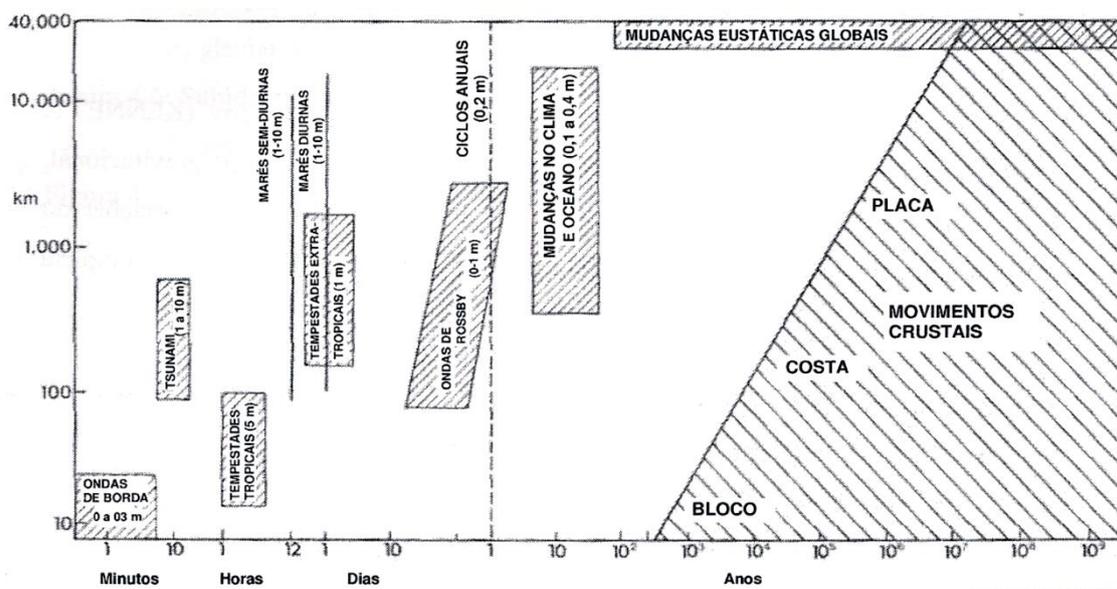


Figura 1 - Alguns dos principais processos físicos e geológicos responsáveis pelas variações do nível do mar. (Warrick et al, 1993).

Variações Eustáticas

Ao longo do tempo geológico ocorrem subidas e descidas globais do nível do mar, que são chamadas de variações eustáticas, as quais são ocasionadas por dois processos principais: mudança no volume da bacia oceânica e variações no volume (massa, ou seja, densidade) total de água no interior da bacia oceânica.

Os principais fatores ambientais e geológicos que ocasionam variações eustáticas no nível do mar, assim como a amplitude e o tempo de ocorrência destas variações podem ser observados na figura 2 (Miller et al. 2005).

A curva de variação eustática é dada pela seguinte equação (Kennett, 1982): $E = I - R$, onde: E = curva eustática; I = movimento isostático; R = elevação ou rebaixamento relativo. A equação sugere que para obtenção da variação eustática do nível do mar, utiliza-se os dados de determinado segmento da costa como base, além de realizar a calibração dos dados, extraindo da curva local do nível do mar as taxas de movimentação vertical da área emersa.

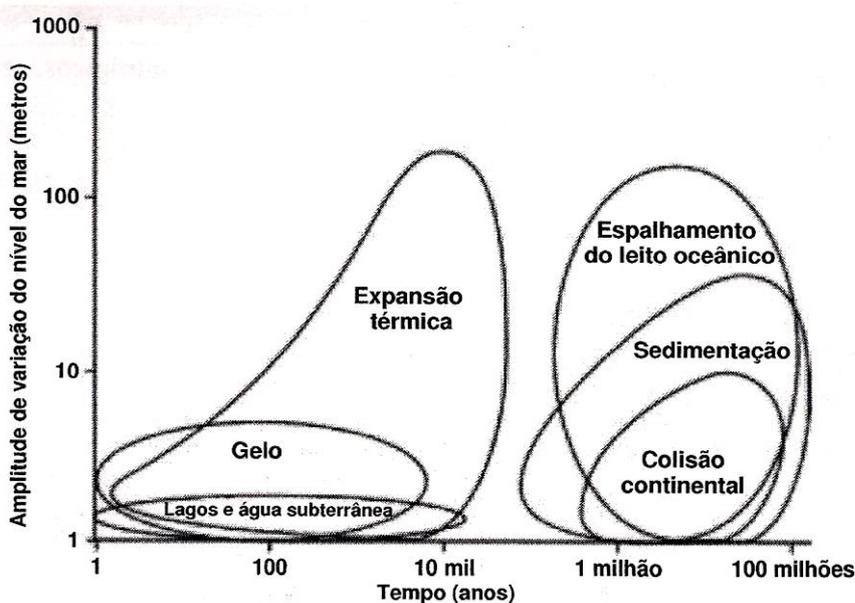


Figura 2 - Tempo e amplitude dos principais mecanismos causadores de mudanças eustáticas. Fonte: Adaptado de Miller et al. (2005).

Algumas variações astronômicas são responsáveis por mudanças no clima da Terra e conseqüentemente sobre as variações eustáticas do nível do mar.

A teoria dos ciclos de Milankovitch trata da variação na quantidade de radiação solar recebida pelo planeta e da distribuição da insolação em diferentes latitudes, as quais estão relacionadas diretamente as variações na inclinação do eixo e na órbita da Terra (Coe, 2005). E que estas variações regulares (em termos de periodicidade) da temperatura da atmosfera promovem mudanças climáticas cíclicas que resultam em expansão ou contração termal dos oceanos e avanço ou recuo das geleiras, influenciando nas variações globais do nível do mar. As variações astronômicas estão relacionadas a três parâmetros: Excentricidade da órbita da Terra, obliquidade do eixo terrestre e precessão (fig. 3).

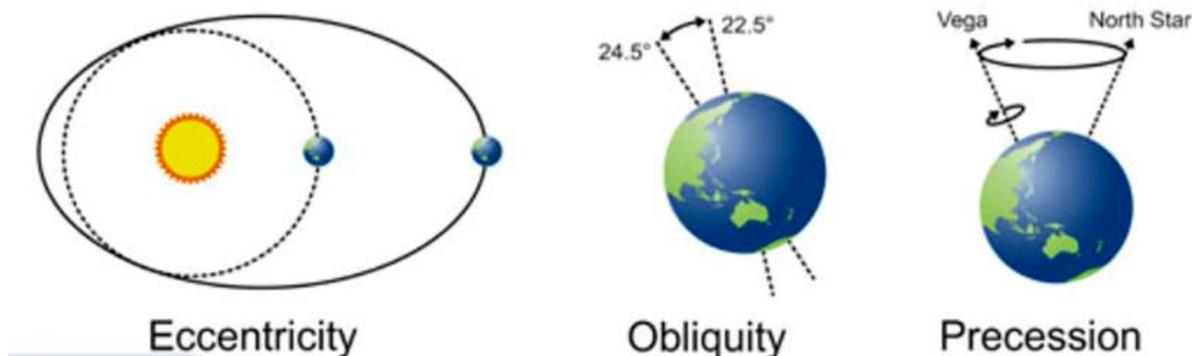


Figura 3 - Os três parâmetros relacionados aos ciclos de Milankovitch: Excentricidade, obliquidade do eixo da Terra e precessão. Fonte: Modificado de Coe, 2005).

A atividade solar que é um fenômeno de escala secular/decadal pode interferir na temperatura planetária da Terra. Esta radiação é a radiação solar, que em parte é refletida para o espaço e o restante é absorvido pela terra em forma de calor. Os dados obtidos mostram mudanças de 2W/m^2 (0,15%) ocorrendo em dois ciclos completos ao longo de quase 20 anos (período aproximado de 11 anos) (Ruddiman, 2001).

Outro tipo de variação da radiação solar ocorre em decorrência dos ciclos solares. O ciclo solar é a variação de intensidade do vento solar e do campo magnético solar. Estudos de Heliosismologia comprovaram a existência de "vibrações solares", cuja frequência cresce com o aumento da atividade solar, acompanhando o ciclo solar que dura em média de 11 anos com mudança no ritmo das erupções, além da movimentação das estruturas magnéticas em direção aos pólos solares, que resultam em ciclos de aumento da atividade geomagnética da Terra e da oscilação da temperatura do plasma ionosférico na estratosfera de nosso planeta (Ruddiman, 2001).

As oscilações do nível do mar provenientes das alterações climáticas são decorrentes de muitos processos que acontecem no interior, na superfície e no exterior da Terra. O diagrama (fig. 4) mostra as causas das variações climáticas, o sistema interno de interações e as respostas dos diferentes compartimentos ambientais.

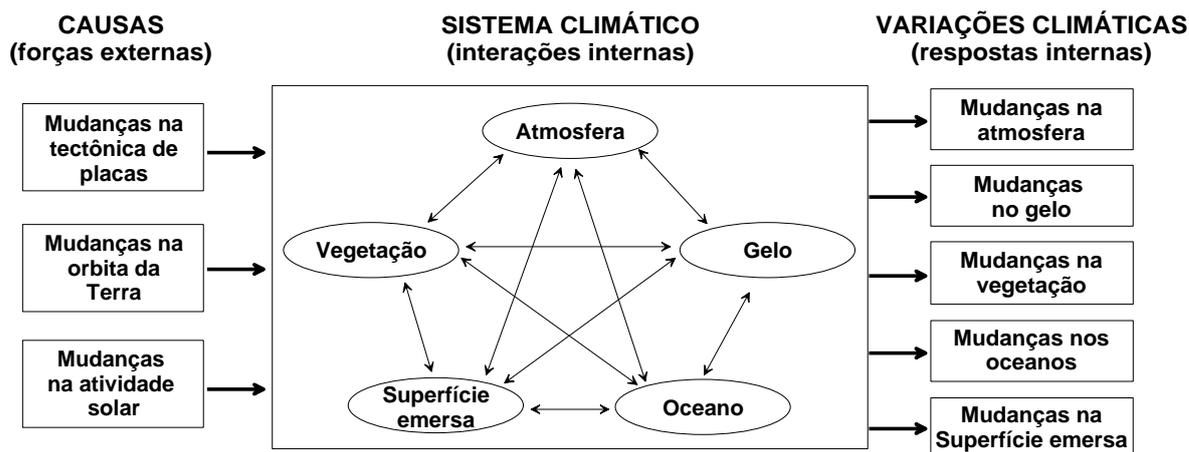


Figura 4 - Variações climáticas como resultado das interações entre variáveis externas e internas (Ruddiman, 2001).

As variações da massa de água existentes nos oceanos resultante das glaciações e deglaciações são representadas pela glácio-eustasia. Em períodos glaciais há um aumento dos mantos de gelo por inclusão da água precipitada, ocasionando períodos de regressão, isto é, diminuição do nível do mar. Quando ocorrem períodos interglaciais, ou seja, aumento da temperatura, ocorre derretimento de parte das reservas glaciais produzindo uma elevação no nível do mar. Um aumento ou diminuição em apenas 2 ou 3 °C na temperatura média anual global tem um grande efeito nos volumes de gelo e das águas oceânicas (Davis e Fitzgerald, 2004). As massas de gelo cujo derretimento causa eustasia são aquelas cujo substrato se encontra acima do nível do mar (Read et al., 1995).

A variação do volume de água dos oceanos causada pela expansão ou contração termal, com apenas mudanças em seu volume e densidade, sem mudanças em sua massa é chamada de estéreo-eustasia. Em águas mais geladas, a variação da temperatura ocasiona uma pequena expansão do volume, enquanto em águas mais quentes essa expansão terá proporções maiores. Numa alta latitude onde a temperatura alcança 5 °C, a elevação da temperatura em 1°C causa um aumento do volume da água oceânica entorno de 1 parte em 10.000. Entretanto em latitudes tropicais um aumento de mesma magnitude ocasionará um aumento no volume de 3 partes em 10.000. Assim, os primeiros 100 metros de lâmina d'água oceânica terão seu nível elevado em 3 centímetros quando a temperatura passar de 25 °C para 26 °C. A mudança de temperatura ao longo da coluna d'água nos oceanos ocorre de forma diferenciada, a camada de mistura (primeiros 100 metros a partir da superfície) entra em equilíbrio termal com a atmosfera de forma rápida, enquanto que no restante

da massa da coluna d'água o processo da mudança de temperatura é mais lento ou pode não ocorrer (Houghton, 1994).

O geóide corresponde a superfície equipotencial do campo gravitacional terrestre (fig. 5). As variações do geóide são medidas através de satélites geodésicos. As modificações da superfície do geóide significam mudanças na força gravitacional e deformação da superfície oceânica. A variação de 1 miligal na força gravitacional deformaria a superfície oceânica em 3,3 metros, chegando a afetar a superfície da crosta, podendo promover variações da ordem de 1,7 metros (Morner, 1980, in: Suguio et al. 1985).

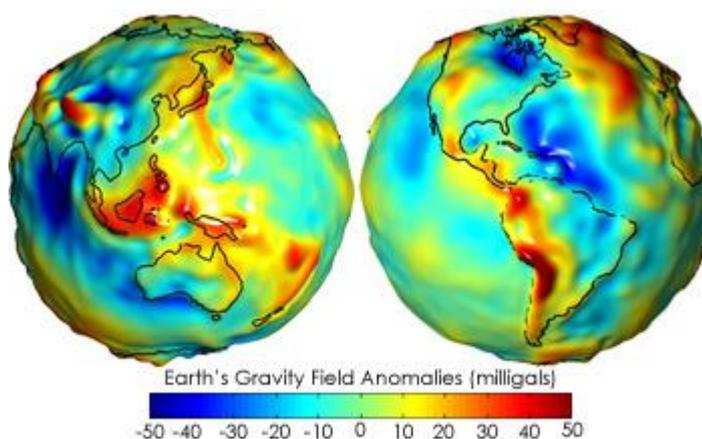


Figura 5 – Mapa atual das anomalias no campo gravitacional da Terra. Fonte: Nasa Grace (*Gravity Recovery and Climate Change*).

A tectono-eustasia é o processo que causa variações no volume geral da bacia oceânica (aumento e diminuição) devido a movimentação das placas tectônicas que alternam processos de rifteamento e junção das placas tectônicas a partir de eixos orogênicos preexistentes. A taxa de variação do nível do mar ocasionada pela tectono-eustasia é de aproximadamente 1cm a cada 1000 anos. Entretanto, as variações eustáticas ocasionadas por este processo pode atingir valores entre 100 a 300 m. Diante de sua escala temporal é classificado como ciclo de primeira ordem, com aproximadamente 200 a 300 milhões de anos (Read et al., 1995).

O processo de sedimento-eustasia tem como efeito a mudança no volume da bacia oceânica. Este processo acontece devido às mudanças causadas pela adição de sedimentos na bacia oceânica (Davis e Fitzgerald, 2004). Já o processo de erosão tectônica, resultante do processo de subducção da placa tectônica juntamente com os

sedimentos marinhos acumulados sobre ela ainda é pouco conhecido, não é conhecido o efeito deste processo.

A adição de água juvenil proveniente do vulcanismo submarino adicionado a quantidade total de água na superfície terrestre pode criar alterações no nível do mar, entretanto, as taxas de adição são desconhecidas. Alguns estudos apontam para um valor perto de 1m/milhão de anos para uma taxa constante a partir da formação da Terra. Estando certa essa estimativa, o nível do mar no Cretáceo médio, a 100 milhões de anos, estava 100 metros abaixo do nível do Presente, considerando também que os demais fatores permaneceram constantes. Além do vulcanismo submarino, pequena quantidade de água pode também ser removida pela alteração hidrotermal da crosta terrestre (Davis e Fitzgerald, 2004).

A hipótese do deslocamento polar pressupõe que as variações do nível do mar e climática de longa escala temporal estão relacionadas a mudanças nas posições relativas das localizações geográficas modernas dos polos e do eixo de rotação do planeta. Esta proposição afirma que só existe possibilidade de formação de mantos de gelo nos períodos em que massas continentais estiveram nas regiões polares. Essas variações do nível do mar não resultam diretamente de mudanças no clima global, mas sim, dos movimentos dos continentes causados pela tectônica de placas (Ruddiman, 2001).

A hipótese de controle tectônico do dióxido de carbono propõe que mudanças na quantidade de dióxido de carbono disponíveis na atmosfera tem relação direta com a taxa de expansão da crosta oceânica. A liberação de dióxido de carbono do interior da Terra para a atmosfera e oceano ocorre devido ao contato direto entre o magma e a água do mar em zonas de divergência ou convergência decorrente da movimentação das placas tectônicas. Mudanças nas taxas de espalhamento oceânico, durante milhões de anos, controlam a liberação de CO₂ para a atmosfera, sendo uma componente bastante importante no controle do clima da Terra. Taxas mais rápidas de espalhamento crustal fazem com que ocorra aumento na atividade vulcânica de regiões de convergência, quanto em regiões de divergência gerando maiores inputs de CO₂, aquecendo o clima planetário. De forma inversa, uma menor velocidade no espalhamento crustal diminuiria o input de CO₂, causando redução da temperatura (Ruddiman, 2001).

Variações Isostáticas

Movimento isostático ou isostasia refere-se ao estado de equilíbrio gravitacional, e suas alterações, entre a litosfera e a astenosfera da Terra. O equilíbrio isostático é atingido quando um acúmulo de carga ou perda de massa existente na parte emersa (litosfera) é contrabalanceada, respectivamente, por uma perda de massa ou acúmulo de carga na parte submersa (astenosfera) (Kennett, 1982).

Os movimentos isostáticos são causados por qualquer fator que varie seu equilíbrio gravitacional, seja aumento, diminuição, transposição de massa acima da crosta ou mudanças na densidade da crosta. Esses movimentos podem ocorrer por causa de diversos fatores como a formação ou derretimento dos mantos de gelo, erosão dos continentes, acumulação de sedimentos em bacias sedimentares, transgressão e regressão sobre a plataforma continental, aumento da coluna d'água sobre a crosta oceânica, vulcanismo, resfriamento da crosta, etc. (Kennett, 1982).

A glacio-isostasia ocorre quando o peso do gelo glacial comprime a crosta continental, ocasionando sua deformação e subsidência. A subsidência resultante abaixo do gelo faz com que o material da astenosfera flua para a área periférica da região glacial, elevando a crosta nesta área de entorno. Quando o gelo derrete, ocorre a diminuição do peso acima da crosta, resultando em um soergimento no local onde havia gelo anteriormente. Nos oceanos e nas margens continentais a resposta à glacio-isostasia é a hidro-isostasia. Nos períodos interglaciais, a elevação do nível eustático do mar pela água de degelo representa uma sobrecarga sobre o leito oceânico, causando sua subsidência. Este processo causa o fluxo do material abaixo da crosta oceânica em direção à crosta continental, a qual tende a se elevar, reativando a flexura na margem continental em direção ao oceano. Nos períodos glaciais ocorre o inverso (Pirazzoli, 1994).

O nível relativo do mar vem mudando até os dias de hoje em várias regiões como resultado de ajustes às diferenças de volume de água e de gelo sobre o leito dos oceanos e sobre os continentes, respectivamente (Ruddiman, 2001) (fig. 6).

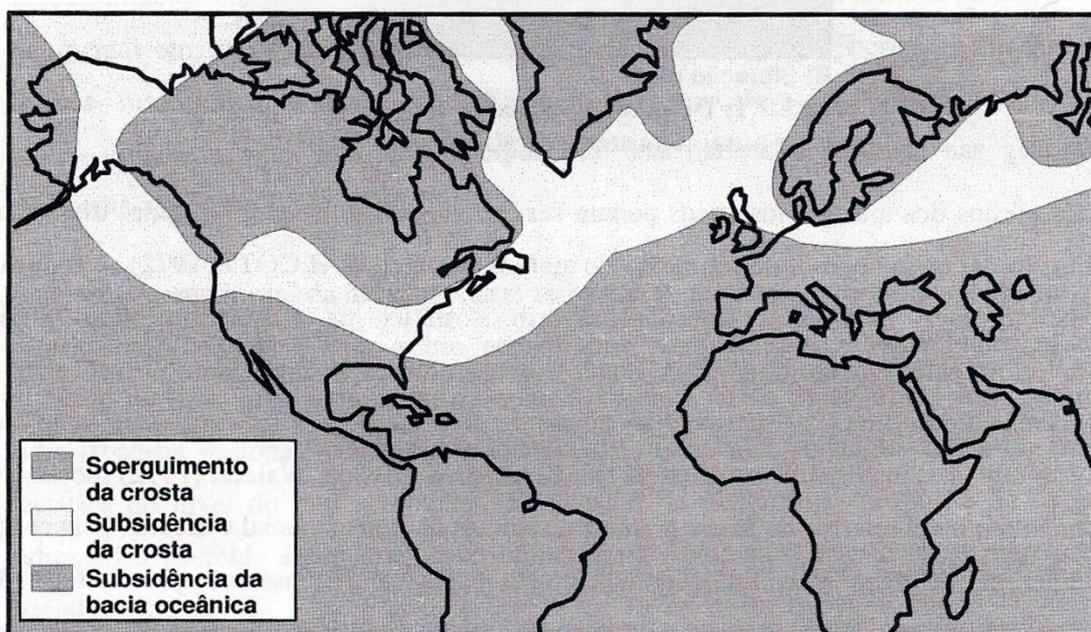


Figura 6 – Padrões atuais de variações isostáticas do nível do mar. Fonte: Ruddiman, 2001.

A acumulação de sedimento sobre a litosfera (sedimento-isostasia) também causa ajustes isostáticos da crosta terrestre. Comumente ocorre em planícies costeiras progradacionais, onde milhares de metros de sedimentos são acumulados durante milhões de anos, causando subsidência da crosta, produzindo elevação relativa do nível do mar (Read et al., 1995). A subsidência isostática associada à sedimentação na bacia e ao seu afogamento gera pressão hidrostática, cria um espaço adicional incrementando a taxa de subsidência. Assumindo a isostática local e negligenciando a flexura gerada, uma transgressão geral de uma plataforma emergente pode causar um adicional de 40% na subsidência, apenas pela carga de água (Read et al., 1995).

São mudanças na densidade da litosfera que pode causar respostas isostáticas e produzir mudanças no nível relativo do mar. Após a formação da crosta oceânica, enquanto a litosfera é jovem e quente, ela apresenta baixa densidade. Ao longo dos milhares de anos sua densidade aumenta e causa subsidência termo-isostática sobre a astenosfera. Com isso ocorre a submersão gradual das ilhas oceânicas que são carregadas lateralmente (Davis e Fitzgerald, 2004).

Quando a crosta se aproxima de um hot spot ocorre o inverso, isto é, ocorre aquecimento, expansão e elevação da crosta e após ultrapassar o hot spot volta a esfriar, contrair e subsidir. Frequentemente próximo a hot spots, ocorrem vulcanismo submarino com extravassamento de magma. Como resultado grande volume de

material vulcânico causa aumento de massa sobre a crosta que gera subsidência e subida relativa do nível do mar na área, sendo chamado de vulcano-isostasia (Davis e Fitzgerald, 2004).

Variações Recentes e Previsões

Os estudos paleoclimáticos mostram as flutuações climáticas que já ocorreram no planeta, e fornecem as hipóteses sobre as causas. Com o conhecimento dos ciclos climáticos naturais e a identificação da origem destas mudanças temos como prever ou estimar variações climáticas futuras (Brandley, 1999). Como a última fase de expansão das geleiras ocorreu há 10 mil anos, supõe-se que a tendência climática moderna seria o resfriamento global. Como este é um fenômeno natural, que ocorre lentamente, não deverá contribuir significativamente ao aquecimento causado pela elevação nas concentrações de gases-estufa na atmosfera, causado pelo homem e que ocorre muito mais rapidamente (Suguio e Suzuki, 2003). Na nossa escala de tempo (decadal/secular) as variáveis isostáticas e astronômicas podem ser “desconsideradas” quando comparadas com as consequências do efeito antrópico, que age em menor escala temporal.

As mudanças climáticas atuais estão relacionadas a alterações no sistema de aquecimento natural da Terra, que se baseiam na quantidade de energia solar absorvida e refletida (fig. 7), considerando os diversos processos e agentes envolvidos neste sistema.

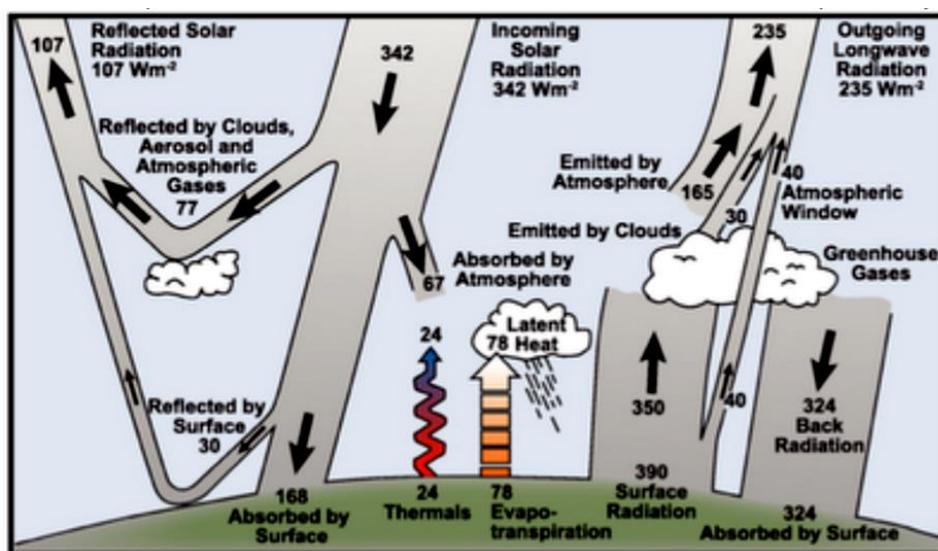


Figura 7 - Mecanismo de aquecimento natural da Terra. Fonte: http://www.ipcc.ch/publications_and_data/ar4, de Kiehl, J., e K. Trenberth, 1997:

O aquecimento da atmosfera pela absorção de radiação infravermelha por gases é um fenômeno natural que regula a temperatura média da Terra no valor de $\pm 18^{\circ}\text{C}$ positivo caso contrário a temperatura média seria em torno de 19°C abaixo de zero (Molion 2008). Entretanto as atividades humanas tem disponibilizado um quantitativo de gases maior que o ciclo natural de retenção de carbono pode absorver causando um desequilíbrio na oferta de gases e desencadeando o processo de mudança no clima (Houghton 1999).

Estudos mostram que atualmente a temperatura global da Terra vem se elevando e os fatores responsáveis por esse processo é o excesso de gases estufa disponível na atmosfera oriundos das atividades modernas do homem. Esse fenômeno acontece porque houve um aumento da disponibilidade de gases estufa em especial o dióxido de carbono e o vapor d'água, que conseguem absorver a energia infravermelha emitida pelo Sol. Portanto, se temos maior quantidade dessas moléculas na atmosfera, temos maior quantidade de radiação absorvida gerando o aquecimento da atmosfera e da superfície dos oceanos de forma global. A tendência pode ser observada no gráfico que mostra o crescimento da quantidade de dióxido de carbono na atmosfera (fig. 8). E também quando se observa o quadro de quantificação energética das forçantes responsáveis pela absorção da radiação solar (fig. 9), percebendo que o maior contribuinte para absorção de radiação solar é o dióxido de carbono.

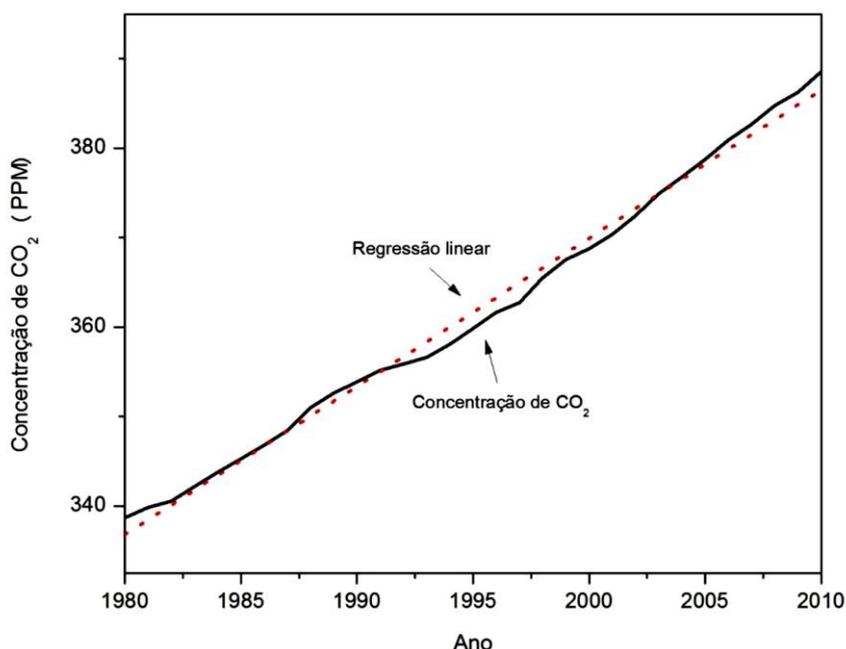


Figura 8 - Concentração média anual de dióxido de carbono (CO₂) na atmosfera, de 1980 a 2010. Fonte: NOAA, 2011.

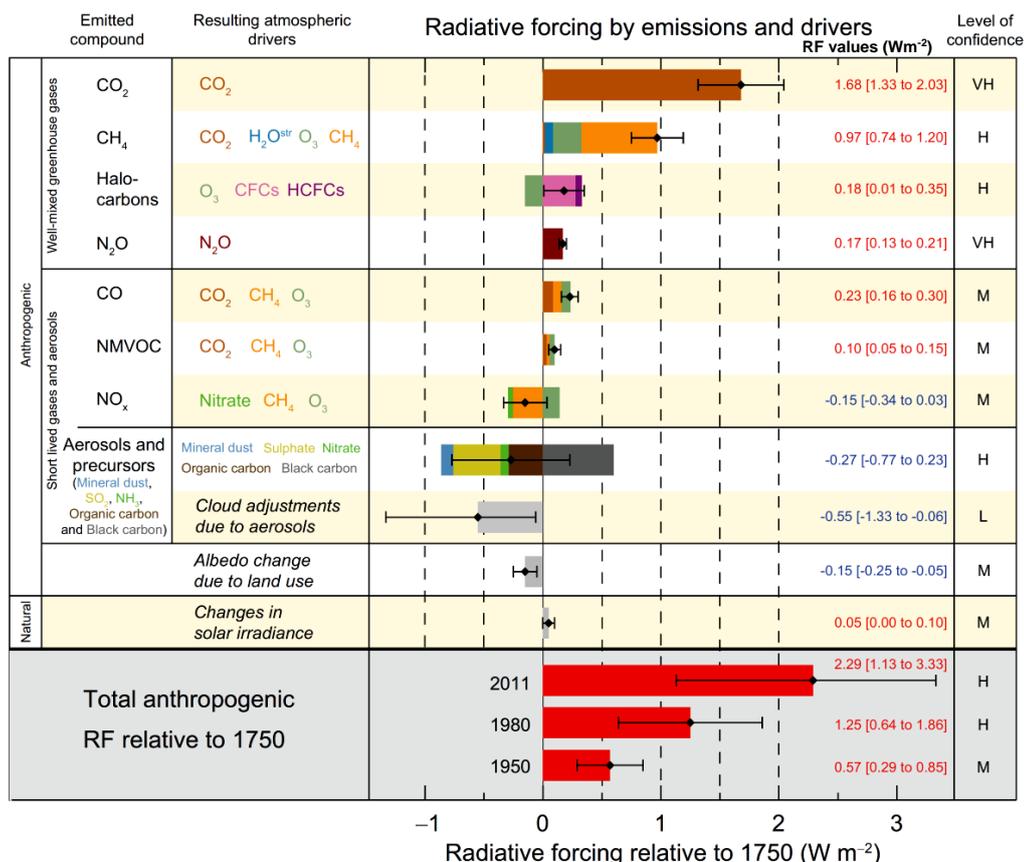


Figura 9 – Quantificação das forçantes no sistema de absorção da radiação solar entre 1750 e 2011. Os níveis de confiabilidade estão representados por (VH - muito alto, H - alta, M - médio, L - baixo, VL - muito baixa). Fonte: IPCC, 2013.

O carbono é elemento químico que está presente em todos os compartimentos ambientais (atmosfera, litosfera, biosfera e oceanos), e pode estabelecer ligação química com todos os elementos químicos exceto com os elementos metálicos. O carbono pode ser encontrado na natureza de duas formas, orgânica e inorgânica. A concentração de CO₂ na atmosfera é a resultante do balanço entre fontes e sumidouros nos ecossistemas terrestres, nos oceanos e na litosfera (fig. 10). O carbono pode ser fixado em diversos ambientes, sendo um dos mais importantes os oceanos que absorve o dióxido de carbono por processos físicos e biológicos.

A absorção de CO₂ por processos biológicos é caracterizada principalmente pela respiração de organismos (fotossíntese) que sintetizam seu próprio alimento e posteriormente precipitam o CO₂ como carbonato de suas carapaças (Roscoe, 2003). Outra forma de fixação do carbono é a formação do petróleo, gás natural e carvão através da transformação de matéria orgânica acumulada em rochas sedimentares de ambientes continental, marinho ou lagunar, e submetida às condições térmicas adequadas (Farias, 2008). Parte desse carbono orgânico e, principalmente, os

carbonatos (inorgânicos) acumulam-se no fundo dos oceanos, formando depósitos sedimentares.

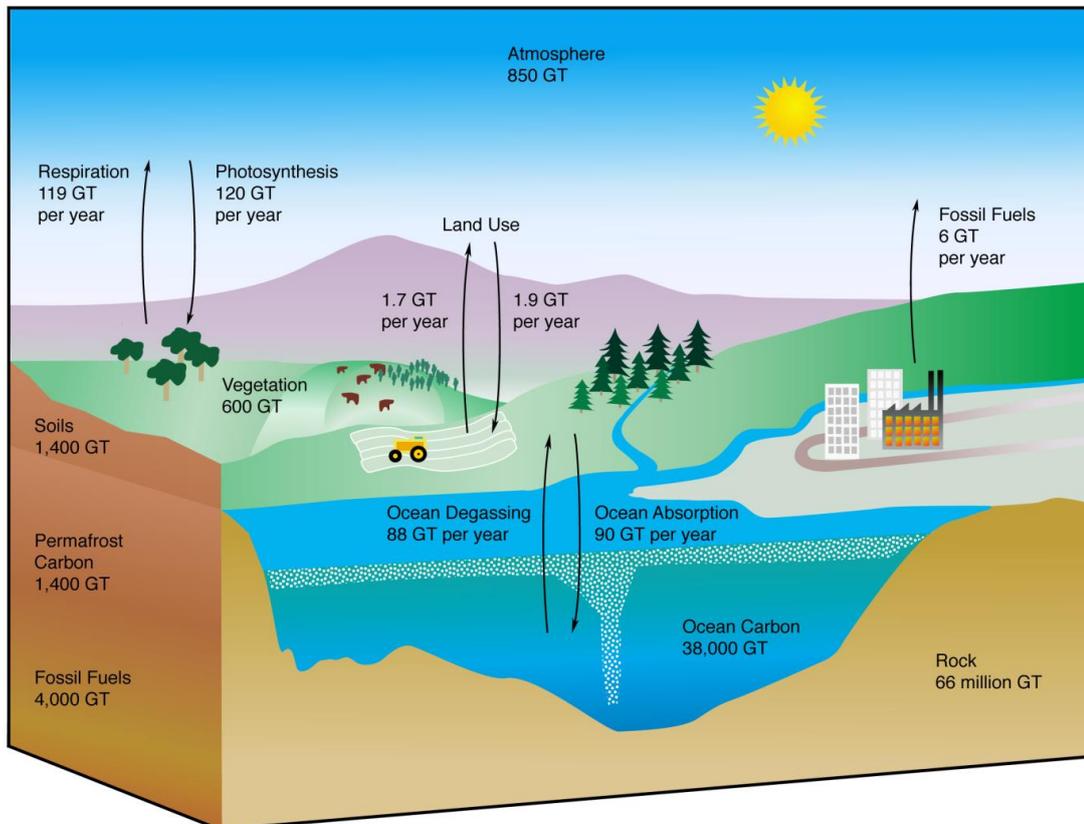


Figura 10 – Ciclo do carbono na Terra, destacando as quantidades em Gt/ano. Fonte: Earth's Environmental Systems, Columbia University, URL: http://eesc.columbia.edu/courses/ees/slides/climate/carbon_res_flux.gif.

Em condições naturais, o carbono aprisionado nesse reservatório sedimentar gasta pelo menos 400 milhões de anos para voltar à atmosfera, por emissões vulcânicas e hidrotérmicas (Schlesinger, 1997; Wigley e Schimel, 2000). Nos ecossistemas terrestres, o CO_2 fixado pela vegetação é parcialmente consumido pela respiração dos próprios autotróficos e entra como a fonte básica de energia para os demais sistemas heterotróficos, sendo consumido pela respiração dos mesmos em diferentes níveis tróficos e, finalmente, por processos de decomposição. Parte desse carbono acumula-se no solo, na forma de matéria orgânica do solo (MOS). A MOS é também decomposta, mas em taxas mais lentas, fazendo com que esta seja um importante reservatório de carbono nos sistemas terrestres. Calcula-se que os solos armazenam quatro vezes mais carbono que a vegetação (Watson et al., 2000). O tempo de permanência do carbono nesses reservatórios terrestres varia entre dias a alguns poucos milhares de anos (Wigley e Schimel, 2000).

As atividades que causam disponibilizam maior quantidade de carbono são a queima de combustíveis fósseis, a utilização de rochas carbonáticas para produção de cimento, o uso da terra associado ao desmatamento (Watson et al., 2000). Por meio da queima de combustíveis fósseis e do uso de carbonatos na indústria de cimento, é disponibilizado um grande fluxo de CO₂ para a atmosfera sem precedentes no ciclo biogeoquímico desse gás (Schlesinger, 1997), mesmo em escala geológica (Watson et al., 2001). A biosfera e os oceanos, hoje são capazes de absorver pouco mais da metade do CO₂ disponível na atmosfera emitido pelas atividades antrópicas a cada ano, porém essa capacidade tem um limite e uma velocidade mais lenta que a de emissões (fig. 11) e, segundo o IPCC um estágio de saturação pode existir.

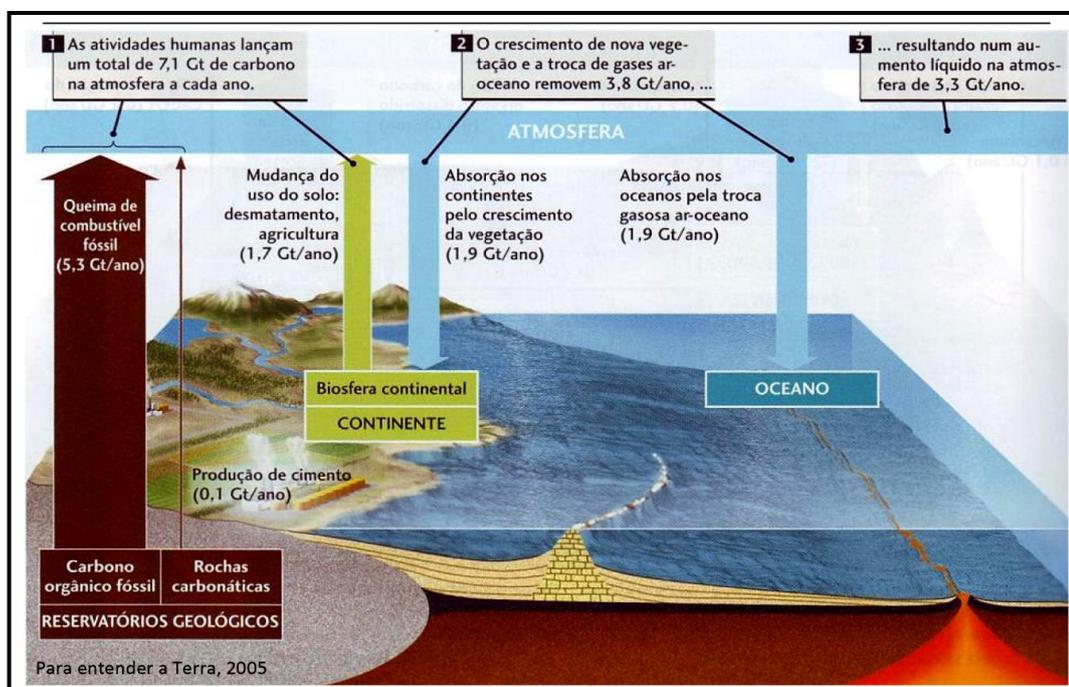


Figura 11 – Representação gráfica do desequilíbrio no ciclo do carbono ocasionado pelas atividades antrópicas modernas. Fonte: John Grotzinger e Thomas Jordan (2005).

Entre as evidências do aquecimento global (IPCC, 2007), adquiridas através de estações meteorológicas, registros de paleoclima, batitermógrafos, satélites entre outros métodos de medição, são:

- O aumento na temperatura da atmosfera sobre terras e mares;
- A retração da vasta maioria das geleiras;
- A diminuição da área coberta por neve;
- A retração do gelo oceânico global;

- O aumento do conteúdo de calor oceânico, com o resultado de elevar-se o nível do mar pela expansão térmica.

Dentro do cenário de aquecimento global, uma das previsões indicadas nos relatórios do IPCC (2007, 2013) é a subida do nível do mar ocasionada pela expansão térmica das águas dos oceanos e o derretimento de calotas e glaciares de montanha. A elevação do nível médio do mar ocasionará impactos diretos nas regiões costeiras, causando prejuízos aos meios físico, biótico e sócio-econômico.

3.3 VARIAÇÃO DO NÍVEL DO MAR NA COSTA BRASILEIRA

A plataforma continental sul e sudeste brasileira tem registros do fim da regressão pleistocênica e início da transgressão holocênica, a qual ocorreu entre 11.000 e 10.000 anos A.P., esses registros também são considerados para a plataforma do nordeste. Corrêa et al. (1999) dividiram a fase transgressiva na plataforma sul e sudeste brasileira, em quatro fases:

Fase 1: Desde o início da transgressão holocênica ocorrida a 17.500 anos a 16.000 anos A.P., o mar estava a aproximadamente -120 a -130 metros abaixo do nível atual.

Fase 2: A subida do nível do mar nesta segunda fase iniciou a 16.000 seguindo até a 11.000 anos A.P., com uma taxa de elevação de 0,6cm/ano. São observadas marcas de linha de costa antigas nas profundidades de -100 a -110 e de -60 a -70 metros de profundidade em relação ao nível de mar atual.

Fase 3: Ocorreu entre 11.000 e 6.500 anos A.P.. Esta fase é caracterizada por duas zonas de ruptura de pendentes localizadas sob as profundidades atuais de -32 a -45 metros e -20 a -25 metros.

Fase 4: Aconteceu durante os últimos 6.500 anos. Neste período o nível do mar atual foi ultrapassado duas vezes, sendo a primeira quando atingiu a cota de +5 metros a aproximadamente 5.100 anos. Após essa transgressão ocorreu uma regressão que levou o nível do mar a -6 metros do nível atual a aproximadamente 3.500 anos. A segunda transgressão ocorreu há aproximadamente 3.000 anos, quando o nível do mar chegou a cota de +4 metros acima do nível atual.

Empregando vários indicadores (sedimentares, biológicos, arqueológicos e isotópicos) Martin *et al.*(1997) apresentou curvas de nível relativo do mar para os últimos 7.000 anos para diversos locais da costa brasileira (fig. 12). Suas pesquisas mostram que, depois da última grande transgressão do nível do mar, parcialmente estabilizada por volta de 7.000 anos, o nível do mar continuou semelhante ao nível atual com propensão para regressão para os últimos 5.000 anos. Seus resultados indicam que, a partir do máximo transgressivo, aconteceram duas expressivas regressões do nível do mar, identificadas como oscilações de alta frequência para a costa do Brasil.

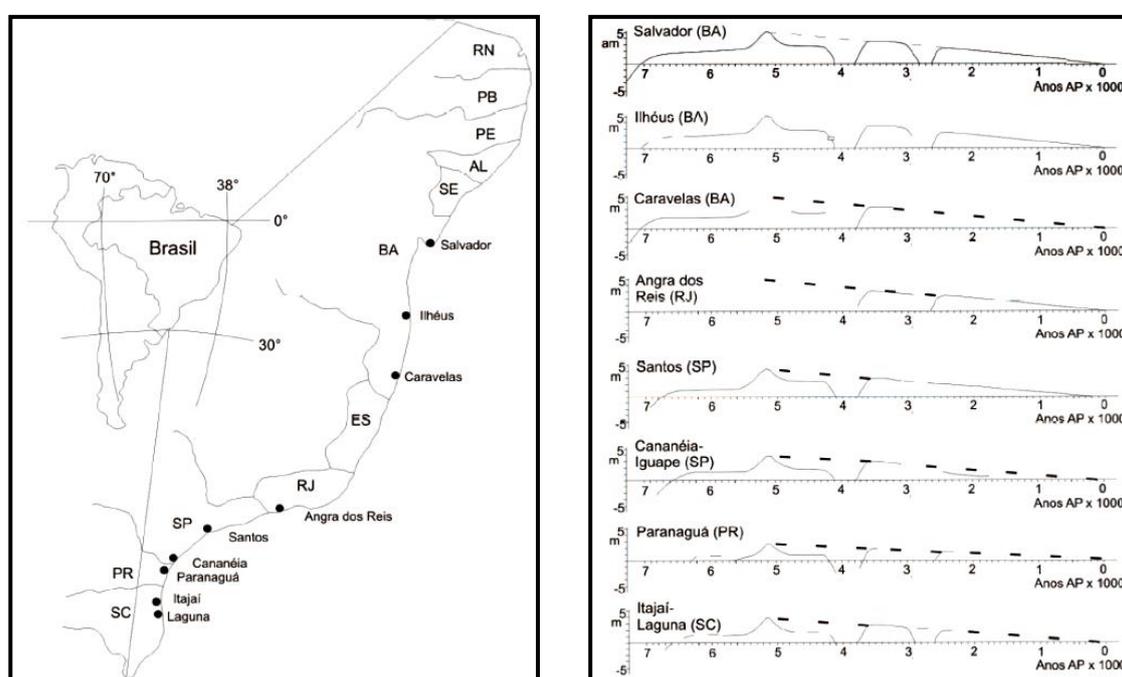


Figura 12 – Curvas do nível relativo do mar durante o Holoceno para diversos setores da costa leste e sudeste do Brasil. Fonte Martin *et al.* (1997).

Dados sobre as variações do nível do mar mais recentes não podem ser considerados devido a não confiabilidade nos dados maregráficos de longa duração, ocasionado discordâncias sobre a ocorrência ou não da elevação do NMM mar no litoral brasileiro e sobre a taxa com que essas variações estão ocorrendo (NEVES; MUEHE, 2008).

Entretanto alguns pesquisadores como Silva (1992), Silva e Neves (1993), Paiva (1993), Harari e Camargo (1993), Castro e Lee (1995), Mesquita *et al* (1995), Mesquita (1997) e Kalil (1999), que ao analisar registros maregráficos das décadas

de 1960 a 1980 verificaram, em algumas estações maregráficas do país, uma elevação do nível relativo do mar.

Num estudo mais recente realizado por Franco et al. (2001), os autores relatam que nos últimos 50 anos foi observada uma tendência de aumento do nível relativo do mar na ordem de 40 cm/século (ou 4mm/ano), em alguns locais da costa brasileira.

3.4 CONSEQUÊNCIAS DA SUBIDA DO NÍVEL DO MAR

Diante das evidências de mudanças climáticas devido ao aquecimento global, são apontados vários impactos (fig. 13) diretos para as regiões costeiras e indiretos para as áreas localizadas em áreas elevadas.



Figura 13 – Estimativa dos problemas causados pelo aquecimento global. Fonte: Adaptado de Wind e Peerebolte (1993).

Os principais impactos causados pela subida do mar decorrente do aquecimento global para as próximas décadas atingiram o meio físico, biótico e sócio-econômico.

No meio físico os impactos são mais evidentes na zona costeira. A configuração da linha de costa depende principalmente da posição do nível do mar, do tipo de rocha exposta, do perfil praiado, do clima local, de processos biológicos, sedimentológicos e hidrológicos. A modificação no nível do mar irá mudar a posição da linha de costa para um novo plano, com isso alterará também a zona exposta à ação das ondas e,

consequentemente, o transporte e a deposição de sedimentos ao longo da faixa praial (Pirazzoli, 1994).

Atualmente, a maioria das linhas de costa do mundo está sofrendo processos erosivos, e a maior parte das exceções são áreas com alto suprimento de sedimentos. Diante da grande ocupação urbana na zona costeira, com a subida do nível do mar, as taxas de retração da linha de costa serão uma prioridade social (Pilkey e Cooper, 2004).

A partir das previsões de subida do nível do mar têm-se como principais impactos previstos para o meio físico (Klein et al. 2009):

- Erosão de praias e costões com a retração da linha de costa;
- Estreitamento das praias;
- Entalhe do cordão de dunas;
- Migração transgressiva das dunas;
- Segmentação das restingas e barreiras arenosas;
- Estreitamento de ecossistemas costeiros;
- Inundação das áreas baixas;
- Aumento na intensidade e frequência das inundações causadas por marés de tempestades (ressacas);
- Intrusão de sal nos aquíferos e águas superficiais; e
- Migração de estuários para montante

Estes impactos podem ser agravados em áreas costeiras de baixa declividade, ou que estejam sofrendo subsidência e/ou balanço negativo de sedimentos.

Em muitos casos poderão ser necessárias instalações ou adequação de estruturas de proteção costeira, implementação de programas de engordamento praial, barragens em rios, e outras estruturas de engenharia (Titus, 1993) preventivas ou mitigatórias.

Como mais de 60% da população habita a zona costeira e 90% da atividade industrial mundial está sediada na zona costeira (Snoussi et al., 2008), a elevação do nível do mar prevista para os próximos 100 anos trará grandes impactos negativos a população global.

Os principais impactos no meio socioeconômico ocasionados pela subida do nível do mar são:

- Perda de área;
- Comprometimento de infra-estrutura costeira: áreas residências, áreas comerciais, áreas industriais, áreas turísticas, patrimônios ambientais e culturais, etc;
- Salinização das águas fluviais em rios planos e/ou de menor vazão;
- Aumento na intensidade e frequência das inundações causadas por marés de tempestades (ressacas);
- Redução de áreas cultiváveis.

Com a subida do nível do mar e os impactos decorrentes desse evento serão necessárias ações de adaptação e mitigação como, realocação das populações costeiras, transferências e adaptações de culturas agrícolas, medidas de proteção costeira entre outras.

3.5 REGRA DE BRUUN

A regra de Bruun (1962) foi estabelecida a partir da relação entre o aumento do nível do mar e o recuo da linha de costa. O modelo de equilíbrio de Bruun (fig. 14) pressupõe que, à medida que o nível do mar é aumenta, o perfil de equilíbrio se desloca em direção ao continente admitindo que toda a areia removida dentro da área superior do perfil praial ativo é depositada na plataforma submersa deste perfil até o limite da profundidade de fechamento.

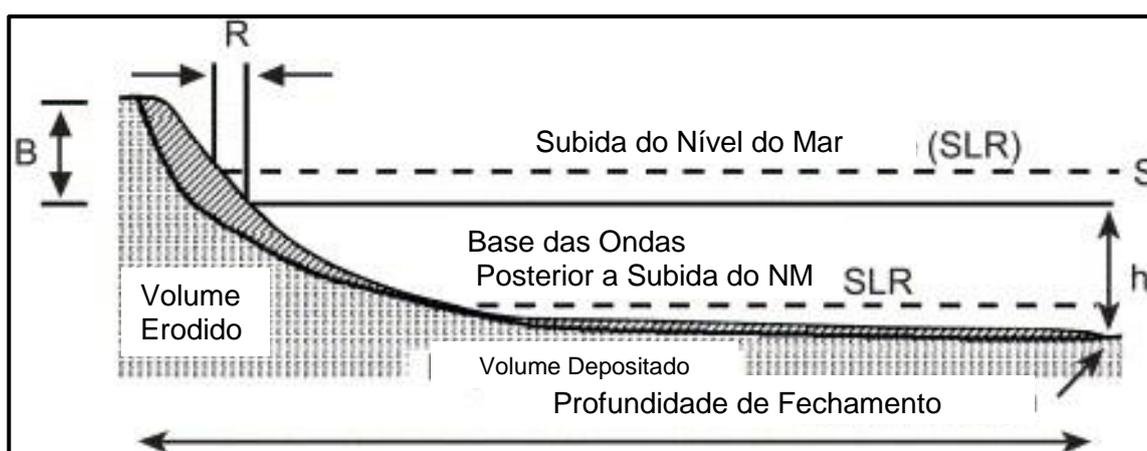


Figura 14 - Diagrama esquemático da resposta do perfil praial segundo a Regra de Bruun.

Esta teoria tem sido bastante utilizada por diversos estudiosos e profissionais de engenharia costeira na obtenção de taxas de retrocesso da linha de costa,

modelagem numérica, estudos de evolução costeira e projetos de engordamento de praia.

Apesar de sua aplicação em todo o mundo, a proposição desenvolvida por Bruun é bastante discutida por estudiosos por apresentar problemas relacionados ao transporte litorâneo de sedimento. Entretanto a Regra de Bruun (op. cit.) aborda um importante problema do meio físico costeiro que tem enorme repercussão no meio socioeconômico, no qual não há uma opção simples e viável.

Segundo Rosen (1978) os resultados obtidos ao longo de 336 km na costa da Baía de Chesapeake, Virginia para o recuo da linha de costa ocasionado pelo aumento relativo do nível do mar utilizando a regra de Bruun se ajusta à taxa de medição de longo prazo com erro de 3%. O aumento relativo do nível do mar nesta área é muito alto e chega ao valor de 5,43 mm / ano, e o recuo médio de longo prazo da costa é de 0,98 m / ano. O modelo foi aplicado individualmente a 146 unidades de praia na área, e os resultados foram compilados regionalmente. O modelo tem significado físico quando numa configuração regional de longo prazo, as variações sazonais ou locais no processo são calculadas como média.

O grau de incerteza dos parâmetros empregados nas equações e a complexidade que envolve as questões relacionadas ao balanço sedimentar são algumas das razões das limitações existentes na regra de Bruun (Dean et al., 2002).

Ranasinghe et al., (2007) afirma que a regra de Bruun é um recuo da linha de costa em direção ao continente num perfil transversal como resposta ao aumento do nível do mar, e que esta abordagem está relacionada diretamente a profundidade de fechamento. Segundo este autor a regra de Bruun apresenta resultados que podem ser considerados estimativas de ordem de magnitude, uma vez que existem poucos litorais que tenham as condições limitantes da regra de Bruun. As limitações podem ser resumidas da seguinte forma: não inclui a variabilidade tridimensional, uma vez que assume apenas o movimento dos sedimentos bidimensionais (cross-shore); é aplicável apenas aos perfis de praia em "equilíbrio"; pressupõe que não haja movimento de sedimentos (como perda de sedimentos no exterior) para o mar além da profundidade do fechamento; não permite variações nos sedimentos entre a costa, a berma da praia e a duna.

Segundo Copper (2004) a regra de Bruun proporcionou um avanço na compreensão do sistema costeiro no momento da sua primeira publicação. No entanto, foi superado por inúmeras descobertas subsequentes e agora é inválido. Em

nenhum lugar a Regra de Bruun foi considerada aprovada de forma adequada; pelo contrário, vários estudos a contrapõe no campo. Apesar disso, a Regra Bruun está em uso contemporâneo generalizado a uma escala global, tanto como uma ferramenta de gerenciamento como também um conceito científico. A persistência desse conceito além da base de suposição original é atribuída aos seguintes fatores: É um modelo analítico simples e fácil de usar que está em uso generalizado; a dificuldade de determinar a validade relativa de provas; Facilidade de aplicação; Defesa positiva de alguns cientistas; Aplicação por outros cientistas sem avaliação crítica; A expressão numérica simples do modelo; Falta de alternativas fáceis. A Regra Bruun não tem poder para prever o comportamento do litoral diante do aumento do nível do mar e deve ser abandonada.

Os resultados obtidos em trabalho de revisão da resposta da linha de costa a subida do nível do mar na Austrália e Nova Zelândia publicado por Shand (2013), mostram que modelos de equilíbrio geométrico como a Regra de Bruun e suas variações, embora sujeitos a limitações, fornecem resultados razoáveis se utilizados de forma sensata e com o conhecimento dos dados de fluxo dos sedimentos e variabilidade da profundidade de fechamento, já a modelagem baseada nos processos que ocorrem no sistema praias oferecem uma alternativa poderosa, porém são necessários avaliações de longo prazo dos resultados, disponibilidade de dados de qualidade e acuracidade do profissional para criticar os resultados obtidos.

Apesar das diversas críticas a regra de Bruun ainda não foi desenvolvido nenhum modelo costeiro capaz de reproduzir com exatidão o recuo do litoral ocasionado pelo aumento do nível do mar devido as inúmeras implicações que este tipo de previsão engloba.

Através de uma breve revisão de trabalhos que utilizaram a Regra de Bruun observou-se que muitos destes estudos confirmam a validade da teoria e outros que desaconselham sua utilização. Considerando todos os argumentos positivos e negativos em torno da regra de Bruun este estudo aplica o conceito considerando que os resultados alcançados a partir de sua utilização devem ser confirmados por estudos de campo mais aprofundados, visto que, o conhecimento sobre os processos costeiros atuantes no litoral ainda é embrionário.

4 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

4.1 LOCALIZAÇÃO E VIAS DE ACESSO

A área de estudo, litoral do município de Paulista (fig. 15), localiza-se no Norte do Estado de Pernambuco, estando entre as coordenadas UTM 207338/9132490 ao norte e 298409/9119817 ao sul. Paulista está a aproximadamente 17 km do Recife e limita-se ao norte com os municípios de Igarassu e Abreu e Lima, ao sul com os municípios de Olinda e Recife, a oeste com o município de Paudalho e a leste com o Oceano Atlântico.

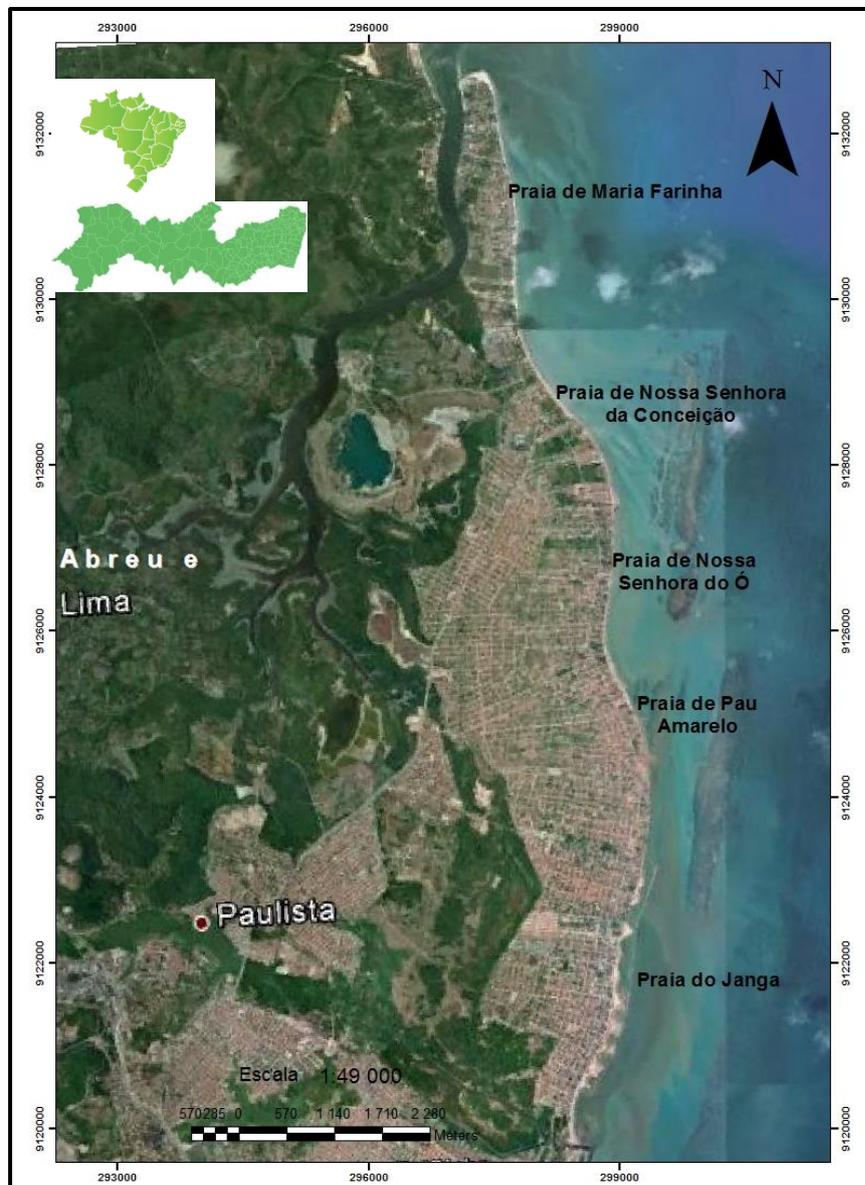


Figura 15 – Mapa de localização da área de estudo. Fonte da imagem: Google Earth.

O acesso às praias do município de Paulista é feito através da BR-101, PE-015, PE-020, Av. Gen. Castelo Branco e PE-001(Av. Dr. Cláudio José Gueiros Leite), esta última avenida citada bordeja todas as praias da cidade do Paulista.

A faixa litorânea da cidade do Paulista tem extensão de 14468 km, onde estão localizadas as praias do Janga, Pau Amarelo, Nossa Senhora do Ó, Nossa Senhora da Conceição e Maria Farinha. Cerca de 4160 metros do total da extensão da linha de costa possuem obras de proteção costeira de origem artesanal e projetada (muros, enrocamentos, bagwall) com a finalidade de fixar a linha de costa, evitando a destruição de diversos empreendimentos urbanos.

A Praia do Janga esta localizada entre a foz do Rio Paratibe e a praia do Pau Amarelo, sua extensão é aproximadamente de 5117 metros. A praia é totalmente urbanizada, têm casas, edifícios restaurantes, bares, shopping, escolas, supermercados, postos de gasolina, monumento histórico (fig. 16 e 17) e empreendimentos comerciais de pequeno porte. Da extensão total, 1892 metros possuem obras de proteção costeiras (quebra-mar e enrocamento) devido a processos erosivos intensos. Na área onde estão instalados os quebra-mares foi efetuado um engordamento hidráulico para restituição da faixa de areia, e posteriormente implantou-se uma via de acesso para veículos e um calçadão que sofreu diversas avarias devido à ação das ondas. Na área dos quebra-mares próxima ao guia corrente há desova de tartarugas marinhas monitorada pelo IBAMA. O monumento histórico localizado na Av. Cláudio Gueiros é a igreja de Nossa Senhora da Conceição dos Médicos é do século XIX aproximadamente, 1812.



Figura 16 – Igreja de Nossa Senhora da Conceição dos Médicos. Fonte da imagem:<http://viagemviagem.com.br>.



Figura 17 – Visão área de trecho da praia do Janga, mostrando a alta densidade urbana. Fonte da imagem: Google Earth.

A Praia de Pau Amarelo tem extensão de aproximadamente 1780 metros e está localizada entre as praias do Janga e Nossa Senhora do Ó. O total de 962 metros da linha de costa possuem obras de fixação da linha de costa. Esta praia é bastante urbanizada, possui residências fixas e de veraneio, edifícios residenciais, restaurantes, bares e empreendimentos comerciais de pequeno porte, além do monumento histórico que é o Forte do Pau Amarelo (Fortaleza de Nossa Senhora dos Prazeres) (fig. 18 e 19) construído no século XVIII pelos portugueses, erguido em pedra de cantaria (blocos de rochas das formações calcárias, Fm. Gramame e Fm. Maria Farinha, localizadas na área,) e que fica a beira mar. Ao longo dos anos a faixa de praia foi invadida por residências e estabelecimentos comerciais, atualmente só é possível utilizar a faixa de praia em grande parte da extensão nos períodos de baixamar.



Figura 18 – Forte de Pau Amarelo. Fonte da imagem: Diário de Pernambuco (01/10/2013).



Figura 19 – Vista aérea da praia de Pau Amarelo. Fonte da imagem: Google Earth.

A praia de Nossa Senhora do Ó localiza-se entre as praias de Pau Amarelo e Conceição, tem 1,53 km de extensão, dos quais 595 metros possuem obras de fixação de costa. Esta é uma praia bastante urbanizada, com casas, pequenos prédios, estabelecimentos comerciais de pequeno porte. Outro imóvel histórico é a igreja de Nossa Senhora do Ó, construída no século XIX (fig. 20 e 21). A faixa de praia possui vários pontos com enrocamentos caracterizando áreas com processo erosivo bem acentuado.



Figura 20 - Igreja de Nossa Senhora do Ó na margem esquerda da PE-001. Fonte da imagem: http://www.stad.com/index.php?city_id=33



Figura 21 – Imagem aérea da praia de Nossa Senhora do Ó. Fonte da imagem: Google Earth

A Praia da Conceição localiza-se entre as praias de Nossa Senhora do Ó e Maria Farinha e o acesso pode ser feito pelas vias PE-001, PE-015 e PE-022. Sua extensão é de aproximadamente 1786 metros, dos quais aproximadamente 75 metros possuem estruturas de fixação da linha de costa. A praia recebe o nome da Igreja de Nossa Senhora da Conceição construída em 1842 (fig. 22 e 23). Possui casas de veraneio e residenciais, restaurantes, bares, posto de gasolina e pequenos empreendimentos comerciais. A urbanização desta praia ainda é esparsa, na área há muitos lotes sem nenhum tipo de construção, porém a vegetação nativa e os coqueirais foi praticamente extinta. A faixa de areia pode ser utilizada na preamar e baixamar, porém há uma forte pressão por sua ocupação realizada principalmente por barracas e residências.



Figura 22 – Igreja de N. Sra. da Conceição. Fonte da imagem: <http://hotsitespe.com/turismo/2012/praias>



Figura 23 – Imagem aérea da praia de N. Sra. da Conceição. Fonte da imagem: Google Earth.

A Praia de Maria Farinha tem extensão total de 4,26 km. Aproximadamente 637 metros possuem obras de fixação da linha de costa. Esta praia possui casas, restaurantes, bares, hotéis, pousada, marinas, parque de diversão aquático (fig. 24), posto de gasolina, fábrica de cimento, escola e igrejas. Na face oeste, a praia é contornada pelo rio Timbó que possui infraestrutura náutica que permite passeios de barco e catamarã, além de possui atracadouro com balsa para travessia do rio até a localidade de Santa Cruz. Uma das praias do município mais visitadas devido à possibilidade de passeios náuticos pelo rio Timbó até o Porto Artur atravessando seu estuário e também excursões até a Ilha de Itamaracá e Coroa do Avião. Em grande parte da extensão praial, a faixa de areia da praia só pode ser utilizada na baixamar devido à ocupação indevida da mesma por residências e empreendimentos.



Figura 24 – Visão aérea do parque aquático em Maria Farinha, Paulista. Fonte da imagem: *Google Earth*.

4.2 ASPECTOS SOCIOECONÔMICOS

Paulista foi considerado município em 11 de setembro de 1928 através da Lei Estadual n.º 1.931. Ao longo dos anos a cidade sofre inúmeras mudanças em seus limites territoriais, e em 1988 o município passa a ter a configuração territorial (fig. 25) que apresenta nos dias de hoje, sendo composta pelos distritos de Paulista, Navarro, Paratibe e Praia da Conceição.

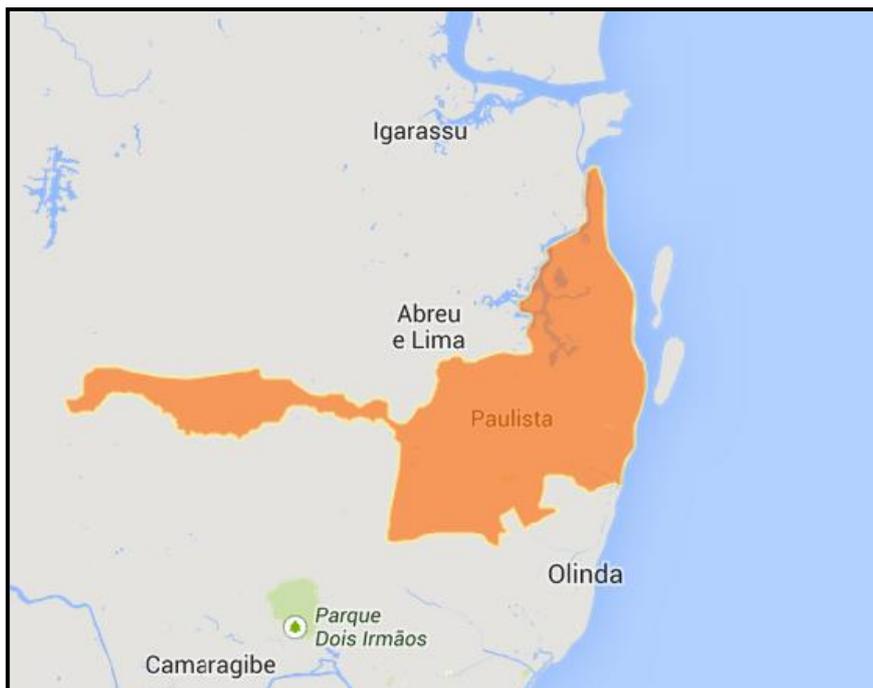


Figura 25 – Imagem da área total do município de Paulista. Fonte: IBGE

A cidade de Paulista possui área de 97.312 Km² e densidade demográfica de 3.087,66 habitantes/km². A população total do município é de 300.466 habitantes até o ano de 2010 e a previsão populacional para o ano de 2013 é 316.714 habitantes. Ao longo dos últimos 40 anos a cidade sofreu uma grande expansão demográfica (fig. 26 e tabela 1), fato que contribuiu para a instalação de diversos problemas ambientais, entre eles os processos erosivos em todo o litoral.

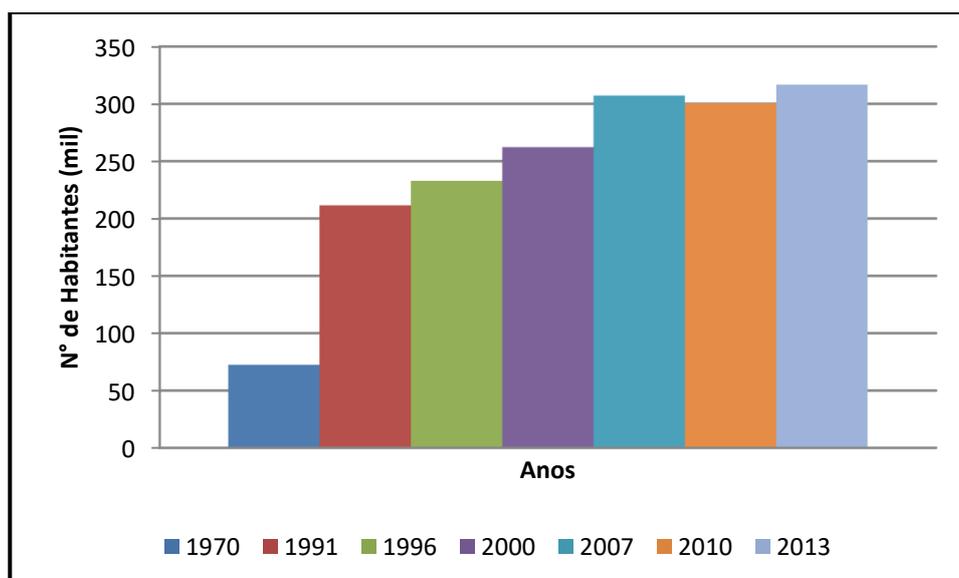


Figura 26 – Gráfico de comparação do crescimento demográfico na cidade do Paulista. Fonte: IBGE- Censo demográfico de 1970, 1991, 1996, 2000, 2007, 2010 e a previsão para 2013.

Tabela 1 - Dados do censo demográfico da cidade do Paulista. Fonte: IBGE.

Ano	1970	1991	1996	2000	2007	2010	2013
Nº habitantes	72.412	211.491	232.897	262.237	307.284	300.466	316.714

A faixa litorânea sofreu uma forte transformação ao longo dos últimos 40 anos (fig. 27 a e b), áreas que eram destinadas principalmente a plantações de coqueirais foram substituídas por residências fixas, ocasionando um aumento considerável no número de pessoas residentes nestas áreas. O levantamento censitário de 2010 informou que as praias de Paulista tem um total de 84.254 habitantes, isto é, 28% do total da população de Paulista moram nas praias. Hoje, a faixa costeira deste município é composta basicamente por residências fixas e de veraneio, monumentos históricos, empreendimentos turísticos e comerciais e fábrica de cimento.



Figura 27 - Imagens do litoral de Paulista em 1974 (a) e em 2013 (b), mostrando a evolução da urbanização na praia do Janga. (Fontes: a) FIDEM; b) *Google Earth*).

4.3 ASPECTOS FISIAGRÁFICOS

O município de Paulista está localizado na zona fisiográfica do Litoral-Região Metropolitana do Recife. Segundo a classificação de Koppen, o clima é do tipo As', quente e úmido com chuvas de outono-inverno distribuídas de março a agosto. A pluviosidade média anual é de aproximadamente 1.500mm, sendo que, de abril a julho, ocorre o período mais chuvoso, com 70 a 75% do total de chuvas anuais. O período seco ocorre de setembro a fevereiro, normalmente com precipitação mensal abaixo de 100mm.

As médias anuais de temperatura atmosférica são de 26°C e a amplitude térmica é de 5°C. Dezembro, janeiro e fevereiro são os meses mais quentes, onde a temperatura alcança os valores entre 28°C e 27°C. Os meses considerados mais frios são os de julho e agosto, embora apresentem temperaturas médias em torno de 24°C (INMET, 2014). De acordo com Aragão (2004), o clima da região nordeste está condicionado a mecanismos de circulação gerais atmosféricos e oceânicos externos, que interagem com fatores locais como altitude, latitude, condições de relevo, vegetação e continentalidade. Os principais sistemas atmosféricos que exercem efeitos na região nordeste são o posicionamento da Zona de Convergência Intertropical, as Perturbações e Ondas de Leste, os Vórtices Ciclônicos de Ar Superior, as Frentes Frias do Sul e as Brisas Marítimas.

Hidrograficamente, a cidade de Paulista é cortada pelo Rio Timbó na direção oeste-leste até o início do estuário quando corre na direção nordeste até a sua desembocadura entre Nova Cruz e a praia de Maria Farinha. Tem como tributários principais os rios Arroio Desterro, Zumbi, Fábrica, Massapê e Fundo, além de inúmeros riachos e grotões. Forma um estuário com aproximadamente 1.397 hectares que abriga uma expressiva vegetação. Durante seu percurso até a desembocadura corta as formações Barreiras, Beberibe e Gramame (FIDEM, 1987). Sua rede de drenagem é do tipo dendrítica, apresenta quase 15 km de vias navegáveis em preamar, com largura no baixo e médio curso variando de 250 a 300 metros e sua foz tem cerca de 200m de largura (FIDEM, 1980). Na maré alta, expõe ampla superfície líquida, com profundidades mínimas de 2m e máximas de 8m (FIDEM, 1987). De acordo com a CPRH (1986), este rio apresenta uma pequena vazão estimada em cerca de 0,20m³/s, sendo seu estuário de planície costeira dominado por marés é, portanto um estuário bem misturado, sem estratificação de águas (Costa e Macedo,

1989). O outro rio que atravessa a cidade é o Paratibe que nasce na divisa dos municípios de Paudalho, Camaragibe e Paulista. Segue a direção oeste-leste da nascente até sua desembocadura na divisa entre os municípios de Paulista e Olinda. Recebe contribuição dos rios Fragoso, Piaba, Mumbeca, Boi, Limoeiro, Córrego Maximino e do Canal da Tinta. O rio Paratibe e seus tributários sofrem a ação contínua de aterros e da poluição por resíduos de origem doméstica e industrial (matadouro, abatedouros de aves, indústrias têxteis entre outras), motivando a destruição da fauna fluvial, sobretudo no baixo curso desse rio, além de contribuir para a má qualidade da água das praias contíguas à desembocadura do mesmo. Este rio também forma um estuário que atualmente encontra-se bastante degradado devido a pressão urbanística que ocasiona inúmeros aterros, o desmatamento da vegetação de mangue (CPRH, 2003).

A Cidade de Paulista possui três áreas de preservação ecológica: a reserva ecológica da Mata do Janga, a reserva ecológica da Mata de Jaguarana e a estação ecológica de Caetés.

A reserva ecológica da Mata do Janga situa-se próximo à foz do rio Paratibe e do Canal das Tintas, integrando-se ao pequeno estuário do rio Paratibe, possui uma área de 132,24 hectares e está inserida na bacia hidrográfica do rio Paratibe. A mata é composta por espécies arbustivas de médio a grande porte com distribuição irregular. Está localizada próxima a áreas urbanizadas e sofre com a retirada ilegal de madeira. Foi considerada reserva ecológica pelo Governo do Estado através da Lei nº 9989, que define as reservas da Região Metropolitana do Recife (FIDEM, 1987).

A reserva ecológica da Mata de Jaguarana está inserida na Bacia Hidrográfica do Rio Timbó e é considerado um remanescente da Mata Atlântica no município, em algumas porções bordeja o estuário do rio Timbó. Possui uma área de 332,28 hectares constituída por espécies arbustivas de grande e médio porte e sofre com o desmatamento ilegal devido à proximidade de áreas urbanizadas e a falta de instrumentos de fiscalização para assegurar seu patrimônio ecológico. A área foi deliberada como Reserva Ecológica pela Lei nº 9.989/97, sendo considerada unidade de proteção do relevo e do solo e protetora da qualidade ambiental urbana (FIDEM, 1987).

A Estação Ecológica Estadual de Caetés está inserida na Bacia Hidrográfica do Rio Paratibe e possui área de 157 hectares. Foi implementada em 1998 através da

Lei Estadual nº 11.622 e está sob administração da CPRH. Possui demarcação física em seu entorno inibindo ações de destruição e desmatamento (FIDEM, 1987).

4.4 CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICA

A área de estudo está localizada no município de Paulista que apresenta características peculiares quanto a sua geologia refletindo seu processo de formação. O município está inserido na Bacia Paraíba, Sub-Bacia Olinda que se limita com a Bacia Pernambuco através do Lineamento Pernambuco e com a Plataforma de Natal pela falha de Mamanguape (fig. 28). Esta Bacia é composta pelas formações: Beberibe, Itamaracá, Gramame, Maria Farinha, Barreiras e Sedimentos Quaternários (Beurlen, 1967; Mabesone e Tinoco, 1971; Mabesone *et al.*, 1991), os quais repousam discordantemente sobre o embasamento cristalino, conforme representado na coluna estratigráfica proposta por Barbosa. (2007).

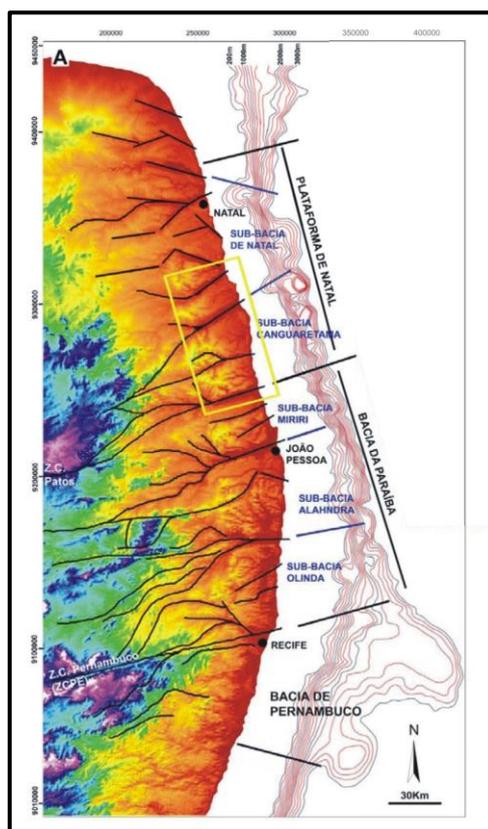


Figura 28 - Área costeira das bacias de Pernambuco, da Paraíba e da Plataforma de Natal, com suas respectivas sub-bacias (Modificado de Barbosa, 2007).

4.4.1 Província Borborema

A Província Borborema foi inicialmente descrita por Brito Neves (1975) que definiu os principais compartimentos segundo uma hierarquia tectônica constituída por sistemas ou faixas de dobramentos, maciços medianos e lineamentos, que foram sustentados recentes em estudos de estrutural/geocronológico (Van Schmus *et al.*, 1995; Brito Neves *et al.*, 1995a; Neves *et al.*, 2000) e atualizadas segundo a tectônica de placas (Brito Neves *et al.*, 1995; Santos, 1995; Santos e Medeiros, 1999).

A Província Borborema é constituída por complexos gnáissicos e migmatíticos do embasamento (rochas paleoproterozóicas e domínios arqueano-paleoproterozóicos) com idade de deformação no intervalo 2,0 - 2,2Ga. Recobrando este embasamento ocorrem seqüências metavulcanossedimentares e metasedimentares (cinturões de dobramentos) de idades paleoproterozóicas a neoproterozóicas (Van Schmus *et al.* 1995, 1996; Dantas *et al.* 1998; Fetter *et al.* 2000; Brito Neves *et al.* 2001) (Fig. 29).

Na evolução geotectônica da Província Borborema há registros de que após 2,0-2,2Ga, o embasamento desta província alcançou condições cratônicas estáveis, registrada por seqüências metavulcanossedimentares de rifteamento intracrustal e por intrusões anorogênicas (Sá *et al.* 1995, 1997, 2002 e Accioly *et al.* 2000).

Um evento com idades variando no intervalo 1,1 a 0,9 Ga, denominado Cariris Velhos, representado por rochas muscovita - biotita gnaisses, granada-biotita xistos, metavulcânicas bimodal, predominantemente félsicas e metagranitóides com idade toniana (Santos 1995; Van Schmus *et al.* 1995, Kozuch *et al.* 1997, Leite *et al.* 2000, Brito Neves *et al.* 2001), foi identificado nos Domínios Central e Sul da Província Borborema. Durante o Brasiliano (550 – 650 Ma) a Província Borborema foi palco de intenso magmatismo granítico, metamorfismo, que alcançou condições de fácies anfíbolito de alta temperatura, e desenvolvimento de extensas zonas de cisalhamento transcorrentes a maioria delas associadas com zonas de cisalhamento NE-SW.

Segundo Van Schmus *et al.* (2008) a Província Borborema compreende seis domínios (regionais) principais e terrenos: (1) Domínio Médio Coreau (DMC); (2) Domínio Ceará Central (DCE), com a faixa de dobramento Orós (Or), de 1,8Ga; (3) Domínio Rio Grande do Norte (DRGN), com o núcleo arqueano São José do Campeste (SJC); (4) Domínio Transversal (DT), com os terrenos Alto Pajeú (AP), Alto Moxotó (AM) e Rio Capibaribe (RC) e faixas Cachoeirinha (CA) e Cariris Velhos (CV);

(5) Domínio Sul, subdividido nos terrenos Sergipano (S) e Riacho do Pontal (RP). (6) Domínio Pernambuco Alagoas (PEAL).

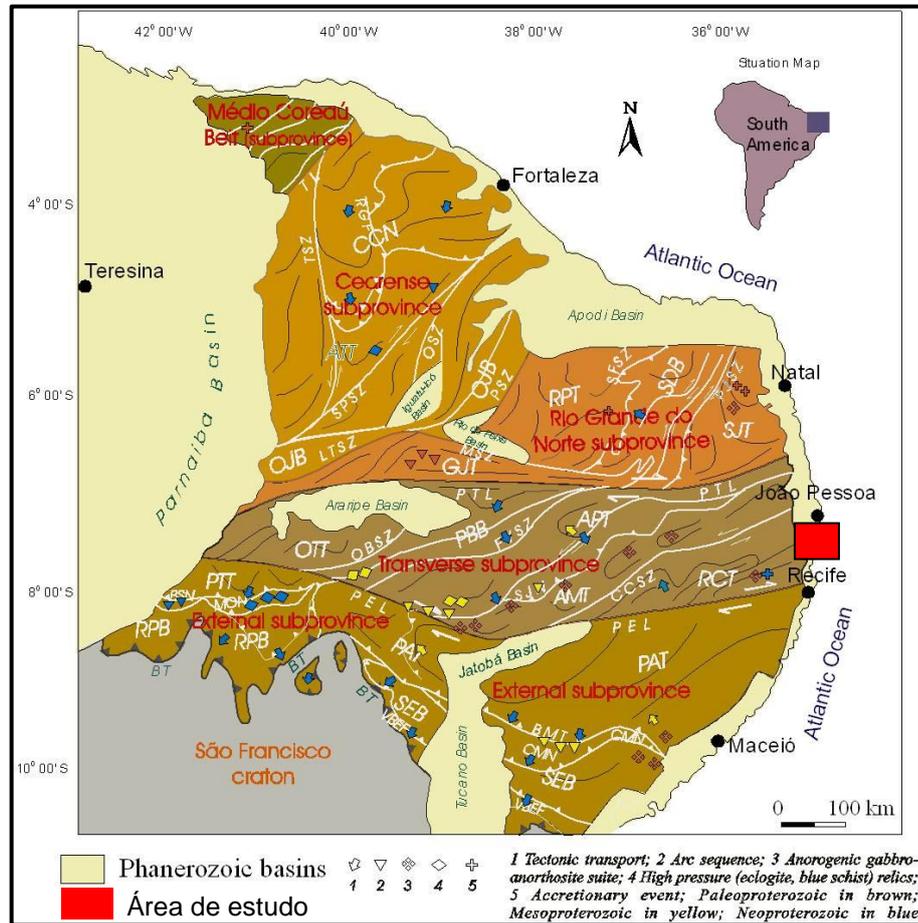


Figura 29 - Divisão da Província Borborema em domínios estruturais e terrenos tectono-estratigráficos. Fonte: Santos *et al.*, 2000.

4.4.2 Zona Transversal

A Zona Transversal está localizada entre o Domínio Rio Grande do Norte, do qual é separada pela Zona de Cisalhamento Patos (dextral, de direção E-W), e Domínio Sul, do qual é separada pela Zona de Cisalhamento Pernambuco (ou Lineamento Pernambuco) (igualmente dextral, de direção E-W). A Zona Transversal caracteriza-se por dispor de outras zonas de cisalhamento, estas sinistrais, de direção NE-SW.

Alguns autores (Santos *et al.*, 1997; Ferreira *et al.*, 1998; Santos e Medeiros, 1999; Brito Neves *et al.*, 2000, 2001b; Santos *et al.*, 2004) interpretam a Zona Transversal como resultado de um orógeno colisional, subdividindo-o em quatro

terrenos, que receberam as seguintes designações (de leste para oeste): Terreno Rio Capibaribe, Terreno Alto Moxotó, Terreno Alto Pajeú e Terreno Piancó Alto-Brígida ou faixa Cachoeirinha.

4.4.3 Terreno Rio Capibaribe

O embasamento cristalino da área estudada é representada pelo Terreno Rio Capibaribe (Cordani *et al.*, 1984) e é composto por ortognaisses bandados, *augen* gnaisse granítico (ortognaisse Taquaritinga), rochas metassedimentares e intrusões. Os metassedimentos são a litologia mais abundante, dividindo-se em biotita gnaisse, biotita xisto, paragnaisse quartzo-feldspático, quartzito e mármore, localmente com pequenas lentes de para-anfibolito e de rochas calcissilicáticas. Quanto aos ortognaisses bandados, alternam bandas de composições dioríticas e graníticas (Neves *et al.*, 2006).

A denominação “Terreno Rio Capibaribe” é utilizada pelos autores que advogam uma origem através de colagem de terrenos, enquanto o termo “Faixa Pernambuco Leste” é empregado pelos autores que contestam esta interpretação.

Segundo França e Capucci (1978), ao longo das praias de Janga até Conceição o embasamento foi encontrado a profundidade de 400m abaixo do nível do mar. Rodrigues (1983) cita a profundidade de 543m a nordeste da cidade de Paulista. Admite-se ainda que, embora os vales dos grandes rios da área coincidam com zonas preferenciais de tendência transgressiva ao curso da seqüência clástica, isto não reflete no comportamento das curvas estruturais do topo do embasamento, pelo menos de um modo marcante.

4.4.4 Bacia Paraíba

As unidades litológicas que compõe a Bacia Paraíba (fig. 30) são as formações Beberibe, Itamaracá, Gramame, Maria Farinha e Barreiras, todas recobertas pelos sedimentos quaternários.

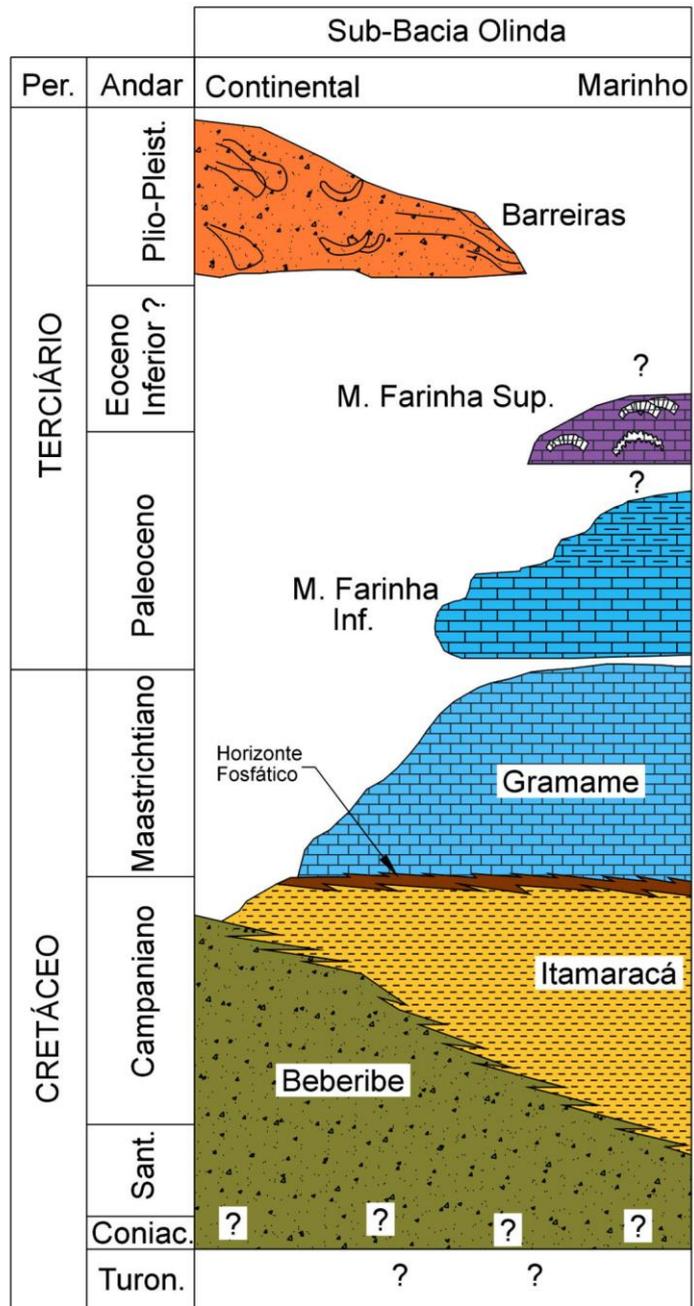


Figura 30 - Quadro esquemático proposto para a estratigrafia da Bacia Paraíba, sub-bacia Olinda (Barbosa, 2007).

A Formação Beberibe é constituída por arenitos médios a grossos, por vezes conglomeráticos, que afloram próximo à borda da bacia e ao longo dos cursos de rios que cortam a Bacia Paraíba (Kegel, 1957). A partir de fósseis invertebrados marinhos, Kegel (1957) sugeriu a idade turoniana para a formação. Entretanto Beurlen (1976) sugeriu idade santoniana ou campaniana à formação verificada por meio de restos de amonóides. Contudo, é possível que os amonóides encontrados pertençam a

Formação Itamaracá, pois localmente esta formação se interdigita com os depósitos flúvio-lacustres da Formação Beberibe (Barbosa, 2004). Tem-se apenas o conhecimento que a deposição da Formação Beberibe iniciou após o Turoniano (Barbosa, 2004).

Na Formação Beberibe foi identificadas fácies de leques aluviais, fácies fluviais e flúvio-lacustres e fácies estuarina/lagunar com moldes de moluscos relacionados a águas rasas e salobras. Estas fácies estão associadas aos ambientes de deposição desta formação (Beurlen, 1967a, 1967b; Mabesoone e Alheiros, 1988, 1993; Souza, 1998, 2006; Nóbrega e Alheiros, 1991).

A deposição sedimentar que indica o início da fase marinha da Bacia Paraíba é representada pela Formação Itamaracá, que é formada por folhelhos, arenitos calcíferos e calcários com siliciclastos (Barbosa *et al.*, 2003; Barbosa, 2004). Localmente, observa-se intercalação de fácies flúvio-lacustres da Formação Beberibe com fácies de lagunas costeiras da Formação Itamaracá ocasionada por pequenas oscilações da linha de costa durante o avanço da transgressão (Beurlen, 1967a; Muniz, 1993; Barbosa, 2004; Souza, 1999, 2006).

A abundância de sedimento siliciclástico na composição dos calcários da Formação Itamaracá indicam que provavelmente a deposição do fácies ocorreu em águas rasas com alta energia e forte influxo de material terrígeno proveniente de rios. A grande quantidade de material fóssilífero deste fácies possui características de organismos que vivem em águas salobras, indicando que a deposição ocorreu em áreas de lagunas costeiras influenciadas por estuários (Kegel, 1957a; Beurlen, 1967b; Muniz, 1993).

No topo da Formação Itamaracá ocorre uma zona de siltitos ricos em fosfato sedimentar, com cimentação carbonática fosfática (Tinoco, 1962, Tinoco e Siqueira, 1976; Amaral e Menor, 1977; Menor *et al.*, 1977; Menor e Amaral, 1979; Souza, 1998, 2006; Lima Filho *et al.*, 2001). Esse extrato rico em fosfato sedimentar ocorre em toda bacia e marca o período de máximo afogamento da bacia, durante a fase transgressiva. Ao término deste extrato sedimentar surgem os calcários da Formação Gramame que não possuem material siliciclástico e é considerado o marco da fase totalmente marinha da bacia (Souza, 1999, 2006; Barbosa, 2004, 2007).

A Formação Gramame, de idade Maastrichtiana (Maury, 1930; Beurlen 1967b; Tinoco, 1971, 1967; Muniz, 1993), é constituída por calcários, calcários margosos e margas que caracterizam períodos de águas rasas na bacia que podem representar

oscilações eustáticas. Para Schlicht et al. (1999) a ciclicidade observada através de pares de camadas calcário-marga representam os ciclos de Milankovich. A deposição da Formação Gramame ocorreu em regime de plataforma rasa, com energia moderada a baixa, sendo atingida por eventos de tempestade de acordo com as características sedimentológicas e da paleofauna observadas (Albertão, 1993; Barbosa, 2004; Barbosa et al., 2006a).

Os sedimentos ricos em fósseis que constituem a Formação Gramame possuem descrição de reptéis, peixes ósseos, seláquios, equinodermos, moluscos, anelídeos e crustáceos (Maury, 1930). Os fósseis de conchas de moluscos e de microfósseis sofreram piritização e recristalização. As camadas de tempestitos e galerias de *Thalassinoides* (tocas construídas por organismos como peixes, crustáceos e outros) representam períodos de tempestades frequentes com maior aporte de lama. Níveis de calcário e marga, laminações argilosas e níveis de acumulação de bioclastos também representam períodos de tempestades com capacidade para agitar o fundo do mar raso (Barbosa et al., 2003; Barbosa, 2004, 2007; Barbosa et al., 2006a; Távora e Miranda, 2004).

Nos sedimentos que constituem o cume da Formação Gramame e que são datados do Maastrichtiano Superior, nota-se uma redução no contingente da fauna de invertebrados e uma tendência regressiva (Stinnesbeck, 1989; Stinnesbeck e Keller, 1996; Barbosa, 2004). Como indicativo da regressão que foi mais evidente no Paleoceno, observou-se na parte superior da Formação Gramame variações laterais de sua faciologia identificadas em locais onde a paleogeografia da bacia era mais rasa (Barbosa et al., 2006a). Nestes locais rasos o topo da Formação Gramame é caracterizado por um aporte maior de terrígenos, passando para um ambiente de alta energia de plataforma interna a sublitoral.

A Formação Maria Farinha representa o registro da fase transgressiva, e seus depósitos apontam um ambiente marinho com entrada de material terrígeno (Kegel, 1955, 1957a; Souza, 1998, 2006; Barbosa et al., 2003, Barbosa, 2004). É constituída por camadas de calcários detríticos com siliciclastos, arenitos calcíferos e níveis de marga e folhelho, todos bastante fossilíferos, os quais apresentam variados graus de bioturbação com baixa diversidade de icnogêneros e abundância de poucas espécies, similarmente a Formação Gramame. Suas características sedimentológica e fossilífera com abundância de ostreídeos e crustáceos decápodes, indicam que a

formação foi depositada na plataforma interna com forte influência de estuários (Beurlen (1967a, 1967b).

As camadas da Formação Maria Farinha possuem estratificações oriundas da ação de ondas, maior quantidade de sedimentos terrígenos e bioclastos que indicam a diminuição gradual e ascendente da profundidade da bacia, como efeito da regressão o que também produziu variações faciológicas laterais (Barbosa, 2004; Barbosa et al., 2006a).

Na parte superior da Formação Maria Farinha observou-se camada fosfática com variações de níveis de fosforitos mais puros nos flancos norte e sul da bacia até níveis de arenitos finos e siltitos carbonáticos ricos em fosfato (Kegel, 1955, 1957a; Menor et al., 1977; Menor e Amaral, 1979; Amaral et al., 1977).

A porção basal, de idade Daniana, da Formação Maria Farinha é composta por calcário conglomerático contendo intraclastos carbonáticos e bioclastos. Esta camada é identificada em toda a bacia e se configura uma discordância por separar as formações (Albertão, 1993; Albertão *et al.*, 1994, 1994b; Stinnesbeck e Keller, 1996; Barbosa, 2004; Barbosa *et al.*, 2006a).

A Formação Barreiras (Kegel, 1957) recobre discordantemente o cristalino e/ou as formações cretáceas e terceárias da Bacia Pernambuco. Esta formação apresenta litologia composta por areias quartzosas a subarcosianas de coloração creme, mediantemente selecionadas, com aspecto maciço, sobre as quais se desenvolvem solos podzol, conhecidos como coberturas de areias brancas, e na base às vezes apresenta níveis endurecidos de ferro. Também é formada por areias de quartzosas a subarcosianas, com as cores vermelha, alaranjada e roxa, em função dos diferentes estágios de oxidação do ferro. Apresentam porcentagem de pseudo-matriz argilosa, decorrente da argilização dos grãos de feldspato, além de conter camadas de argilas maciças e siltes, de cores variadas, tendo caulinita como principal argilomineral. E diamictitos, com baixa densidade de cascalhos/seixos com matriz formada por material argilo-arenoso avermelhado e fragmentos subangulosos de quartzo nas dimensões cascalho e por vezes, seixo (Alheiros e Lima Filho, 1991).

Foram identificados diferentes fácies dos sistemas deposicionais na Formação Barreiras. O fácies fluvial (leques aluviais) ocorre na base da formação e é constituído por areias grossas a conglomeráticas recobertas por sedimentos argilosos com granodecrescência ascendente, que indica o caráter cíclico da deposição. O fácies fluvial com canais entrelaçados é composto por sedimentos arenosos bem

selecionados, com baixo grau de arredondamento, presença de estratificações cruzadas acanaladas de médio a grande porte, formando barras longitudinais com estratificação planar de alto ângulo. Esse fácies apresenta granodecrescência ascendente e geralmente são recobertos por depósitos de leques aluviais distais. O fácies litorâneo é formado por areias quartzosas com pouco feldspato, possui granulometria média a fina, boa seleção e grãos sub-arredondados a subangulosos. Essas areias são intercaladas por finas camadas de argila (Alheiros e Lima Filho, 1991).

4.4.5 Sedimentação Quaternária

As formações quaternárias presentes na área de estudo são sedimentos recentes constituídos pelos Terraços Marinhos Pleistocênicos, Terraços Marinhos Holocênicos, depósitos de sedimentos fluvio-lagunar, depósitos de mangue, depósitos de praias, recifes de arenito, recifes algálicos, depósitos aluvionares, e depósitos de praia atuais.

Os Terraços Marinhos Pleistocênicos ocorrem na porção mais interna da planície costeira, como uma faixa alongada, parcialmente paralela à linha de costa, com largura variável entre 0,4 a 1 km, com altitude em torno de 2 m. São constituídos por areias quartzosas inconsolidadas de granulometria média, com moderada seleção. Os sedimentos que compõe esta litologia quando ocorrem na superfície apresentam coloração branca ou acastanhada e em profundidade exibem cor preta devido à presença de ácidos húmicos e óxido de ferro devido a ação dos processos pedogenéticos. Grande parte destes depósitos está coberto pela malha urbana ou são utilizados como matéria-prima na construção civil. É resultante da “ultima transgressão” (Bittencourt et al.,1979).

Os Terraços Marinhos Holocênicos estão localizados na parte mais externa da planície costeira. São compostos por areias quartzosas inconsolidadas que pode conter conchas de moluscos em bom estado de conservação. A característica marcante destes depósitos é a presença de antigos cordões litorâneos. .Esses depósitos possuem entre 2,0 metros ou poucos centímetros da preamar atual. São corpos alongados, parcialmente paralelos a linha de costa e possuem largura até aproximadamente 2,0 km. Sua idade está relacionado à “ultima transgressão” (Bittencourt et al.,1979).

Os depósitos Flúvio-Lagunares são formados por areias grossas até siltes argilosos com variados graus de compactação. Ocorrem como terraços formando planícies nos vales dos rios ou como terraços isolados no sopé das formações mais antigas. Estes terraços apresentam altura variando entre 3 a 9 m.

Os depósitos de mangue são constituídos por material argiloso e material arenoso, apresentando tonalidade cinza-escuro a preto, devido a alta concentração de material orgânica. A fração arenosa é composta predominantemente de quartzo, hornblenda, epidoto e hiperstênio com pouca mica e alguns minerais pesados (ilmenita e a magnetita). Os grãos de quartzo são sub-arredondados, com ocasionais retrabalhamentos eólicos. A porção argilosa é constituída essencialmente de caulinita mal cristalizada, com a montmorillonita e a illita ocorrendo de forma equilibrada. Os valores de montmorillonita são mais elevados nos mangues situados próximos das formações calcárias.

Os recifes de arenito ocorrem como corpos lineares, descontínuos, dispostos em linhas aproximadamente paralelas a atual linha de costa. O número de linhas varia, em alguns pontos da costa é possível observar até duas linhas de recifes de arenito. A composição dos recifes de arenito aparentemente reflete a composição das praias onde ocorrem. A maioria é composta por areia quartzosa e fragmentos orgânicos, cimentada por calcário. Apresentam dois tipos de estruturas facilmente identificáveis, a laminação plano-paralela que é a mais comum e a estratificação cruzada de baixo ângulo (Assis, 1990). A origem dos arenitos de praia está relacionada às flutuações do nível do mar, mais precisamente, à Última Transgressão e regressão subsequente (Delibrias e Laborel, 1971).

Os recifes algálicos estão localizados nas áreas abrigadas pelos recifes de arenito na costa. São recifes formados por uma estrutura coralínea (corais e algas calcárias incrustantes do grupo *Melobesia*), estabelecida sobre um embasamento arenítico. Em sua maioria, são mortos ou pouco ativos. As partes expostas à baixa-mar apresentam uma superfície aplainada muito pobre em vida (Kempf, 1970). Datações efetuadas nos corais da costa de Pernambuco por Delibrias e Laborel (1971) apresentam idades de 1830 ± 110 e 3100 ± 120 anos A.P., enquanto Domingues et al.(1990) datou uma amostra de coral do litoral pernambucano com idade de 5170 ± 230 anos A.P.

Os depósitos aluvionares são compostos por areia, cascalho e/ou lama carreados pelo sistema fluvial e depositados no leito e nas margens da drenagem,

incluindo as planícies de inundação e as áreas deltaicas. Os depósitos aluviais são muito retrabalhados e mutáveis devido à erosão fluvial. Normalmente são depósitos clásticos mal classificados e mal selecionados, de cascalho, areias e lamas, podendo ocorrer depósitos de blocos maiores, às vezes bem arredondados nas regiões elevadas das cabeceiras com maior energia fluvial.

Os depósitos de praia atuais formam a estreita faixa da atual zona de praia, que por sua vez representa a porção mais externa da planície costeira. Estes sedimentos encontram-se depositados entre a linha de baixa-mar e os terraços holocênicos e constituem uma faixa estreita devido as características morfodinâmicas da área (praia dominada por maré) e a ocorrência de processos erosivos. Estes depósitos são constituídos por areias quartzosas, com percentual de minerais pesados, material calcário constituído principalmente por fragmentos de algas calcárias, conchas, corais, briozoários, equinodermas e foraminíferos bentônicos e plantônicos. A granulometria varia entre média e fina, o grau de seleção varia entre anguloso a sub-arredondado.

4.5 RELEVO

Para Mablesone e Silva (1991), o relevo da faixa sedimentar costeira pode ser dividido em três grandes unidades: colinas parcialmente arredondadas localizadas na faixa litorânea e formada por rochas cristalinas e formações cretáceas; os tabuleiros costeiros, situados na zona litorânea e representados por sedimentos da Formação Barreiras, e; as áreas baixas, compostas por tabuleiros, planícies e praias. Coutinho *et al.* (1993) individualiza ainda um outro compartimento geomorfológico denominada Domínio Colinoso, representados pelas formações Beberibe (Itamaracá), Gramame e Maria Farinha e representavam o relevo formado por pequenas colinas que marcam a passagem entre os tabuleiros costeiros mais a oeste para a planície costeira mais a leste.

As regiões de altas declividades (>30%) são representadas pelos morros compostos por terrenos cristalinos e formações cretáceas e pelas vertentes dos tabuleiros da Formação Barreiras.

O relevo colinoso é representado por rochas do embasamento costeiro e formações cretáceas que foram modeladas pela ação intempérica do clima local ao longo do tempo e adquiriram feições arredondadas ou quando sujeitos a processos

de dissecação, mostram-se com topos em forma de divisores de água arredondados. A passagem da região de colinas para a região de tabuleiros a leste é gradativa e sem qualquer ruptura de declive. A área é bastante dissecada, devido à umidade regional, em pequenos interflúvios mais ou menos tabulares. As formas são convexizadas, até mesmo pouco tabulares. Processos de rastejamento e coluvionamento são comuns nas encostas. Os vales fluviais são de fundo chato e colmatados por areias. O padrão da rede de drenagem tem caráter mais dendrítico.

Os tabuleiros costeiros apresentam formas com topos largos e planos ou ligeiramente ondulados, limitados por escarpa de erosão, formados pelos depósitos da formação Barreiras, correspondendo à zona de tabuleiros dissecados por vales. Limita-se a leste pela baixada litorânea e a oeste pelas colinas do embasamento cristalino. Ocorrem na área de estudo de forma descontínua, apresentando-se como áreas extensas ou isoladas. As altitudes variam entre 50 e 100m e são cortadas pelos vales fluviais ora largos, ora estreitos e profundos, normalmente apresentando fundos chatos, dos cursos d'água que formam uma rede de drenagem relativamente paralela, dissecando a região e retalhando-a em forma de pequenas mesas. Sobre estes tabuleiros é comum a ocorrência de areias brancas, cremes a avermelhadas com seixos de quartzo ferruginizados na base e atingem 1m de espessura. Em Paulista, é bastante comum a ocorrência desses seixos conglomeráticos.

A saturação em água da Formação Barreiras favorece a ocorrência de solifluxão dando origem a coluviões formados pelo desmoronamento de pequenos morros, principalmente em trechos de talude de inclinação acentuada. A extensão dos interflúvios tabulares possui menos de 2km, sendo fraco o entalhe da drenagem. Muito dos cursos inferiores dos rios mais importantes ocorrem em linhas de falhas. As planícies aluviais chegam a até 15 km e largura de 4km. Na formação Barreiras ocorrem processos erosivos induzidos principalmente por corte e/ou desmatamento inadequado, favorecidos pelo caráter friável dos sedimentos, mostrando-se sujeitos a ravinamento acelerado formando grandes voçorocas após evolução da erosão em sulcos. Processos de rastejamento e escorregamento também modelam o relevo, este último provocado pelo movimento de materiais dissolvidos transportados para longe, e argilas que se acumulam em parte no fundo dos vales.

As unidades incluídas nas áreas são os terraços e as planícies marinhas e fluvio-marinhas quaternárias conseqüências diretas das oscilações no nível do mar durante o Quaternário, com alguma influência tectônica. Segundo Suguio et al. (1985),

houve uma alternância de três fases de transgressão e regressão, depois da acumulação da formação Barreiras no início do Pleistoceno. Estas feições nem sempre são contínuas, ficando as ligações restritas à estreita faixa de praias em alguns pontos. A largura máxima da planície chega a 15 km na porção setentrional da área.

Os depósitos marinhos ocorrem em forma de restingas e praias, eventualmente formando estreitos terraços de 2-3m e 8-10m acima do nível do mar atual. Nas praias e mar adentro ocorrem extensas linhas de recifes de arenito, com dureza variável. Os materiais são arenosos e, nos recifes, litificados. As planícies fluvio-marinhas estão presentes nas embocaduras dos rios principais. São geralmente colmatadas por material argiloso, onde ocorrem manguezais.

Segundo Suguio et al. (1985) a costa atual representa a evolução de uma seqüência de eventos que ocorreram no Quaternário. Segundo este autor após a deposição da Formação Barreiras sob clima semi-árido ocorreu uma transgressão, causando as falésias costeiras, em clima mais úmido. Em novo período semi-árido houve sedimentação da formação continental Pós-Barreiras, em leques aluviais. A penúltima transgressão, há 120.000 anos atrás erodiu os depósitos continentais anteriores. A regressão marinha posterior favoreceu a construção dos Terraços marinhos pleistocênicos, e a última transgressão, há 5.150 anos, ocasionou novas e profundas escavações nos depósitos anteriores. Por fim deltas intralagunares e terraços marinhos holocênicos foram instalados novamente sob condições regressivas.

As praias são depósitos de areia transportados as áreas mais altas pelos rios ou transportados de outras praias do litoral que se acumulam nas áreas abrigadas da costa, onde as correntes litorais exercem menos força. Quando o depósito de areia se acumula paralelamente à costa, formam-se as barras ou barreiras ou bancos de areia.

5 MATERIAIS E MÉTODOS

Com o intuito de reunir as informações sobre as várias metodologias e dados existentes foi realizada pesquisa bibliográfica em relatórios técnicos, monografias, dissertações, teses e artigos científicos. Com as informações coletadas em mãos foram aplicadas as metodologias necessárias a fim de obter os resultados pretendidos. Tais procedimentos foram descritos abaixo.

5.1 DADOS

A base de dados utilizada neste trabalho foi obtida gratuitamente no banco de dados do Projeto de Monitoramento Ambiental Integrado (MAI), na Agência Estadual de Planejamento e Pesquisas de Pernambuco (CONDEPE/FIDEM), no banco de dados do Laboratório de Cartografia Costeira (LACCOST) e no banco de dados do Sistema de Monitoramento Costeiro do Brasil (SMC-Brasil).

5.2 ÍNDICES DE SUSCETIBILIDADE

Utilizando a metodologia desenvolvida por Gornitz (1991), Pendleton *et al.* (2004) e Nicholls e Cazenave (2010) foi elaborada uma tabela de índices de suscetibilidade à elevação do nível do mar. Esse catálogo apresenta as variáveis: geologia (litologia), geomorfologia (formas de relevo), taxa de variação do nível do mar, altura máxima de onda, altura de maré, variação de linha de costa, declividade da costa e morfodinâmica praial, as quais são classificadas segundo um ranqueamento com intervalos numerados de 1 a 5 significando respectivamente suscetibilidade muito baixa a muito alta.

5.2.1 Geologia

O índice de suscetibilidade à elevação do nível do mar relacionado à geologia (tabela 2) foi construído por Gornitz (1991) contemplando os tipos de litologia existentes em áreas costeiras e elegendo para os mesmos valores de suscetibilidade

em detrimento a sua resistência à erosão diante dos agentes hidrodinâmicos (ondas, marés e correntes) ao qual a costa será submetida pela ação do mar diante do quadro de aumento do nível do mar.

Tabela 2 – Fragmento do catálogo dos índices de classificação da suscetibilidade costeira à elevação do nível do mar referente a geologia, adaptado de Gornitz (1991), Pendleton *et al.* (2004) e Nicholls e Cazenave(2010).

Variáveis	Categorias de Suscetibilidade				
	Muito Baixa 1	Baixa 2	Moderada 3	Alta 4	Muito Alta 5
Geologia (Litologia)	Plutônica, Vulcânica, Metamórfica de Alto e Médio grau	Metamórfica de Baixo Grau, Arenito e Conglomerado (bem cimentado)	Sedimentar	Sedimentar inconsolidada com grãos grossos e/ou pobremente selecionados	Sedimentar inconsolidada com grãos médios a finos, Cinza Vulcânica

Utilizando mapas geológicos em escala regional (1:100.000) e fotos aéreas em escala de detalhe (1:30.000), foi possível confeccionar o mapa geológico do litoral da cidade do Paulista em uma escala de detalhe, que serviu de ferramenta de análise da suscetibilidade baseada na tabela de categorias de suscetibilidade.

5.2.2 Geomorfologia

Gornitz (1991) utilizou as formas de relevo na análise da suscetibilidade à elevação do nível do mar relacionado-as a resistência à erosão de cada feição sob a ação dos agentes hidrodinâmicos costeiros, e a altura de cada forma de relevo em relação ao nível do mar, possibilitando inundação. (tabela 3).

Tabela 3 - Fragmento do catálogo dos índices de classificação da suscetibilidade costeira à elevação do nível do mar referente a geomorfologia, adaptado de Gornitz (1991), Pendleton *et al.* (2004) e Nicholls e Cazenave(2010).

Variáveis	Categorias de Suscetibilidade				
	Muito Baixa 1	Baixa 2	Moderada 3	Alta 4	Muito Alta 5
Geomorfologia (Formas de Relevo)	Costa Rochosa, Falésias, Fiords, Fiards	Falésias Médias, Costas Recortadas	Falésias Baixas, Drift Glacial, Marismas, Recifes de Coral, Mangue	Praias (seixos), Estuário, Lagoa, Planície Aluvial	Ilha Barreira, Praia (areia), Sapal, Deltas

Baseado no mapa geológico e em fotografias aéreas de detalhe foi produzido o mapa geomorfológico do litoral da cidade do Paulista em escala de detalhe que

subsidiou a análise de suscetibilidade à elevação do nível do mar, classificando as praias de acordo com o catálogo de suscetibilidade geomorfológica.

5.2.3 Variação de Linhas de Costa

A linha de costa é uma feição geomorfológica bastante mutável espacialmente devido a sua interação com os agentes costeiros de diferentes magnitudes e frequências. A variação de sua posição geográfica está relacionada aos processos de elevação do nível do mar (curto e longo prazo), balanço sedimentar, movimentos tectônicos e reológicos, e fatores antrópicos (Camfield e Morang, 1996).

O mapeamento da linha de costa e do seu comportamento migratório ao longo do tempo propicia ferramentas para atividades de pesquisa, de engenharia e de planejamento costeiros (NRC,1990). Esta variável é um indicativo da condição de erosão ou acreção no qual a costa encontra-se no momento.

Neste trabalho as linhas de costas utilizadas para determinação da variação de costa foram determinadas a partir de ortofotocartas digitais dos anos de 1974 e 1984, além de imagens de satélite de 2009. Todas as imagens estão no datum WGS84. Foram traçadas visualmente as linhas de costa (para cada uma das datas) usando como referência a linha que separa a areia úmida da areia seca, conforme proposto por Boak e Turner (2005).

Em seguida, utilizou-se o aplicativo livre *Digital Shoreline Analysis System* (DSAS) versão 4.2 para calcular a variação da linha de costa. Para esse cálculo o aplicativo solicita um valor de incerteza para cada linha. Esses campos foram preenchidos com as incertezas referentes ao georreferenciamento. Para o traçado dos transectos necessitou-se de uma linha base (baseline) obtida a partir da linha de costa mais recente, utilizando a ferramenta buffer do SIG ArcGIS, reproduzindo esta linha a uma distância determinada. Os transectos perpendiculares as linhas de costa foram construídos a partir da linha base (*baseline*) com comprimento de 500 metros e distanciados 100 metros entre si.

Para fins de teste e seleção do resultado a ser adotado, foram calculadas as taxas de variação da linha de costa para as praias em estudo empregando-se os dois métodos disponíveis pelo DSAS. O método utilizado foi o *Linear Regression* (LRR), que faz uma regressão linear, isto é, busca estimar o comportamento de uma variável

dependente (y – posição da linha de costa em relação à baseline) em relação a uma outra variável (data) por meio de uma função linear. Sua vantagem é que todos os dados entram no cálculo.

Para o LRR, o aplicativo computa os parâmetros LCI e WCI, respectivamente relativos à incerteza da taxa de variação calculada com intervalo de confiança escolhido pelo usuário (nesse caso 95%) e LR2 e WR2 que são parâmetros relativos à porcentagem da variância dos dados explicada pela regressão linear (equiparado ao coeficiente de determinação).

Esse método forneceu taxas de variação da linha de costa diferentes. Com a intenção de embasar a justificativa de escolha do método empregado neste trabalho e buscando não subestimar a variação da linha de costa, foi feita a comparação dos resultados desses métodos por meio do teste estatístico não-paramétrico Kruskal-Wallis. Este teste é apropriado para dados que não apresentam distribuição normal e para comparar as distribuições de duas ou mais variáveis em amostras independentes (Landim, 2003), ou seja, verificar se as taxas de variação da linha de costa são (ou não) idênticas nos dois métodos do DSAS.

Tabela 4 – Fragmento do catálogo dos índices de classificação da suscetibilidade costeira à elevação do nível do mar referente a variação da linha de costa, adaptado de Gornitz (1991), Pendleton *et al.* (2004) e Nicholls e Cazenave(2010).

Variáveis	Categorias de Suscetibilidade				
	Muito Baixa	Baixa	Moderada	Alta	Muito Alta
	1	2	3	4	5
Variação da Linha de Costa (mm/ano)	≥ 0	0 a -0,2	-0,2 a -0,4	-0,4 a -0,8	$\leq -0,8$

5.2.4 Variação Relativa do Nível do Mar

Na ausência de dados conclusivos do IBGE e outras fontes nacionais optou-se em utilizar dados de altimetria de satélite para obtenção do valor de subida do nível do mar na área estudada.

A altimetria de satélite possibilita a observação do comportamento global do nível do mar. Pelo meio da análise de imagens Topex/Poseidon, Jason 1e2, GFO, ERS-1e2, e Envisat coletadas no período de outubro de 1992 e julho de 2009 foi gerado o modelo altimétrico global (fig 31) mostrando as tendências de aumento do nível do mar não uniformes e que em algumas regiões o nível do mar subiu até três

vezes mais rápido que a média global desde 1993 até 2009 (Nicholls e Cazenave, 2010).

Os principais fatores que estão contribuindo para que o nível do mar esteja subindo são o aquecimento dos oceanos, as variações de salinidade não uniforme, o derretimento de massas de gelo, os efeitos gravitacionais, as mudanças na circulação oceânica devido a maior entrada de água doce no sistema oceânico (Nicholls e Cazenave, *op.cit*).

Observando o mapa altimétrico global identificou-se que a região do nordeste brasileiro entre norte da Bahia até a Paraíba apresenta uma taxa de subida do nível do mar de 2 a 5 mm/ano.

A partir da taxa de subida do nível do mar para a região estudada (2 a 5 mm/ano) e da metodologia de Gornitz (1991) foi desenvolvida a escala de variação relativa do nível do mar (tabela 5) que serviu de parâmetro para a classificação da suscetibilidade à variação relativa do nível do mar.

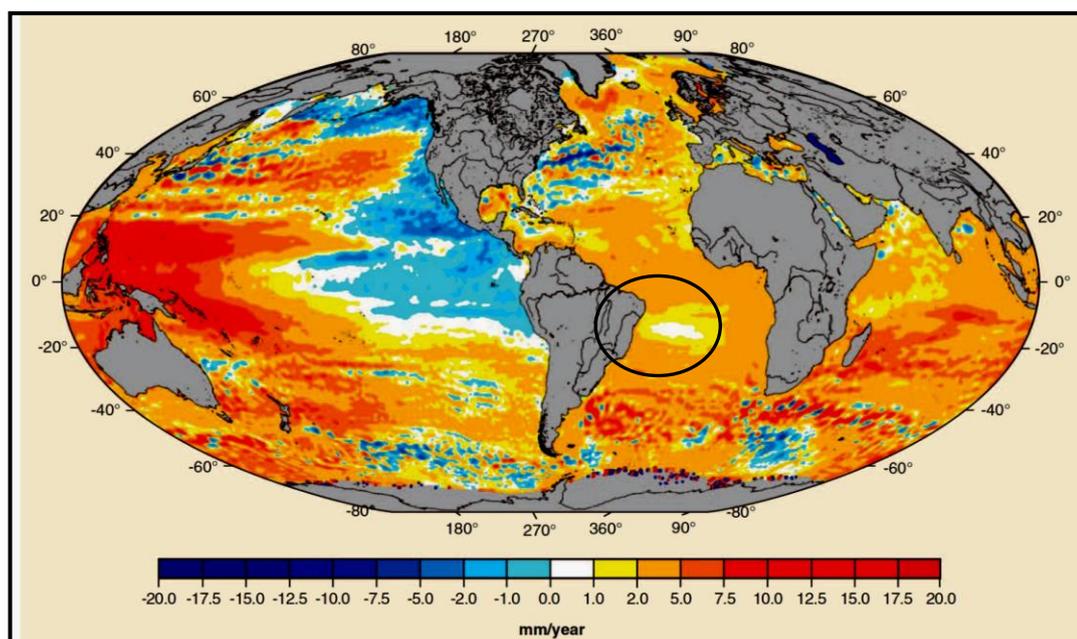


Figura 31 – Mapa altimétrico global contendo valores de subida do NM. Fonte: Nicholls e Cazenave, 2010.

De acordo com os valores da previsão de subida do nível do mar obtida através da publicação do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas de 2013 foi avaliada a taxa de subida do nível do mar para os valores mínimo, médio e máximo

descrito pelo IPCC 2013 e a partir destes resultados as praias foram classificadas de acordo com a tabela de suscetibilidade a variação do nível do mar.

Tabela 5 – Fragmento do catálogo dos índices de classificação da suscetibilidade costeira à elevação do nível do mar referente a variação relativa do nível do mar, adaptado de Gornitz (1991), Pendleton *et al.* (2004) e Nicholls e Cazenave (2010).

Variáveis	Categorias de Suscetibilidade				
	Muito Baixa	Baixa	Moderada	Alta	Muito Alta
	1	2	3	4	5
Variação Relativa do Nível do Mar (mm/ano)	≤ -2.99	-3.0 a 1.99	2.0 a 5.0	5.1 a 10.0	≥ 10.1

5.2.5 Altura da Maré

Os dados utilizados para a classificação da altura de maré são provenientes do SMC-Brasil que possui um banco de dados de maré astronômica gerados pelo IH Cantabria empregando constantes harmônicas oriundas do modelo global de marés TPXO, desenvolvido pela Universidade do Estado de Oregon (Egbert *et al.*, 1994; Egbert e Erofeeva, 2002).

O modelo global de marés TPXO é um modelo inverso de marés que incorpora a informação do nível do mar derivada das observações do sensor TOPEX/Poseidon. O modelo representa um ajuste em termos de mínimos quadrados da equação de maré de Laplace junto aos dados de satélite resultante da missão TOPEX/Poseidon.

A base de dados TPXO, resultante do modelo, proporciona quatro componentes harmônicas semidiurnas (M2, S2, N2, K2), quatro componentes diurnas (K1, O1, P1, Q1) e duas componentes de longo período (Mf e Mm). Os dados estão representados por uma malha de cobertura global de 1440 x 721 pontos, com 0,25° de resolução espacial, tanto em latitude como em longitude. A base de dados TPXO é uma descrição mais detalhada do modelo numérico, que pode ser encontrada na seguinte página web: <http://volkov.oce.orst.edu/tides/global.html>

Partindo dessa informação, foi gerado pelo IH Cantabria uma base de dados obtida por reanálises de maré astronômica, que abrange o período de 1948 e 2008 com resolução de 0,25° espacial e temporal horária. Essa base de dados, pertencente

ao IH Cantabria, que proporciona uma elevação do nível do mar em função da maré astronômica ao longo de todo litoral brasileiro, se denomina GOT (*Global Ocean Tide*).

Utilizando a escala de suscetibilidade relacionada à altura de maré (tabela 6) desenvolvida por Gornitz (1991) e o resultado de altura de maré encontrado para Paulista obtidos a partir do processamento do banco de dados do SMC-Brasil foi realizado a classificação de suscetibilidade relacionada à altura de maré.

Tabela 6 – Fragmento do catálogo dos índices de classificação da suscetibilidade costeira à elevação do nível do mar referente a altura da maré, adaptado de Gornitz (1991), Pendleton *et al.* (2004) e Nicholls e Cazenave (2010).

Variáveis	Categorias de Suscetibilidade				
	Muito Baixa	Baixa	Moderada	Alta	Muito Alta
	1	2	3	4	5
Altura da Maré (m)	≤ 0.99 Micromaré	1.0 a 1.9 Micromaré	2.0 a 4.0 Mesomaré	4.1 a 6.0 Macromaré	≥ 6.1 Hipermaré

5.2.6 Altura Máxima das Ondas

Os dados utilizados para a classificação da altura máxima das ondas são provenientes do SMC-Brasil que possui um banco de dados de ondas gerado pelo reanálise de ondas *Global Ocean Waves* (GOW) no período de fevereiro de 1948 a dezembro de 2008, estruturado em diferentes escalas espaciais. Esta base de dados pertence ao IH Cantabria.

O modelo numérico utilizado para a simulação da reanálise de ondas foi o modelo *WaveWatch III* (Tolman, 1997, 1999) desenvolvido pela *National Oceanic and Atmospheric Administration/National Centers for Environmental Prediction* (NOAA/NCEP), que resolve a equação do balanço de densidade espectral. A forçante introduzida no modelo foi uma base de dados de velocidade de ventos a 10 m de altura, pertencente à reanálise atmosférica global *National Centers for Environmental Prediction/National Center for Atmospheric Research* (NCEP/NCAR).

O modelo assume como hipótese fundamental que as propriedades do meio (correntes e batimetria) e o campo de ondas variam em escalas muito maiores que um comprimento de onda, no espaço e no tempo. Assumindo que este modelo não seja capaz de simular os efeitos da propagação das ondas em menores profundidades utiliza o modelo SWAN (*Simulating Waves Nearshore*).

Através do SWAN realiza-se as propagações desde pontos obtidos pela base de dados GOW, até zonas de águas costeiras localizadas frente ao litoral brasileiro, tomando como condições iniciais de simulação os resultados do modelo WaveWatch III. O modelo SWAN está fundamentado na conservação da ação espectral da onda, mas não é capaz de resolver de maneira efetiva os fenômenos de difração que afetam as ondas que chegam até a costa; e é a partir desse ponto que se faz o transporte destas ondas até pontos localizados na costa com modelo OLUCA, modelo este, incluído no Sistema de Modelado Costeiro –Brasil.

Para o processamento dos dados de onda foi utilizada uma malha global que proporciona dados em escala mundial e apresentam uma resolução de 1,5° em longitude e 1° em latitude. Dentro dessa malha global foram incluídas malhas para o estudo detalhado da zona costeira de Brasil com maior grau de definição com resolução de 0,5° x 0,5°.

Os resultados obtidos na malha de detalhe são parâmetros de onda (altura significativa de onda, H_s , período de pico, T_p , direção média de procedência, θ), dispostos em todos os nós da malha de cálculo, apresentando uma resolução temporal de 1 hora. Além disso, com o intuito de definir corretamente as ondas próximas a costa, foram obtidos pontos com resolução horária ao longo do litoral brasileiro, separados entre si por aproximadamente 50 Km. A partir desses pontos foram unidos modelos de propagação em função de uma escala local. O método de calibração consistiu em uma correção da energia (em termos de altura significativa de onda, H_s) utilizando dados de satélite que proporcionaram dados de maior qualidade.

Desta forma foram gerados dados de ondas em 5 pontos do litoral de Paulista na plataforma interna entre a linha de costa e os recifes, com o intuito de caracterizar o clima de onda de cada praia. A estatística apresentada pelo SMC-Brasil sobre o clima de ondas exhibe alguns gráficos com os quais é possível visualizar os valores encontrados para a altura significativa da onda (H_s) para as praias do Janga, Pau Amarelo, Nossa Senhora do Ó, Nossa Senhora da Conceição e Marinha Farinha.

A partir dos dados de altura significativa das respectivas praias foi calculado o valor de altura máxima da onda segundo a equação (1) de Komar (1998).

$$H_{\max} = 1.57 \times H_s \quad (1)$$

Tabela 7 – Fragmento do catálogo dos índices de classificação da suscetibilidade costeira à elevação do nível do mar referente à altura máxima das ondas, adaptado de Gornitz (1991), Pendleton *et al.* (2004) e Nicholls e Cazenave (2010).

Variáveis	Categorias de Suscetibilidade				
	Muito Baixa	Baixa	Moderada	Alta	Muito Alta
	1	2	3	4	5
Altura Máxima das Ondas (m)	0 a 2.9	3.0 a 4.9	5.0 a 5.9	6.0 a 6.9	≥ 7.0

Com o resultado de altura máxima para as praias do Janga, Pau Amarelo, Nossa Senhora do Ó, Nossa Senhora da Conceição e Marinha Farinha foi possível classificar o litoral estudado quanto a suscetibilidade à altura máxima das ondas (tabela 7) definida por Gornitz (1991).

5.2.7 Elevação da Costa

A geração do mapa de declividade da costa foi efetuada a partir de ortofotocartas na escala de 1:2000 datadas de 1974 que dispunham das curvas altimétricas. Através da ferramenta Arcsan hospedada no software Arcgis 9.3 foi realizada a digitalização das curvas e pontos altimétricos. Com as curvas de nível foi criado um mapa demonstrativo da declividade do litoral paulistense, onde as curvas de nível com valores entre 0,5m e 5m foram realçadas com a cor rosa e as curvas de nível com valores entre 6m e 40m foram destacadas com a cor verde para que seja possível através de análise visual identificar qual o comportamento da declividade no litoral da área estudada.

Gornitz (1991) utilizou a altura da superfície da costa na análise da suscetibilidade à elevação do nível do mar relacionado-as a altura a probabilidade de inundação das áreas costeiras (tabela 8).

Tabela 8 – Fragmento do catálogo dos índices de classificação da suscetibilidade costeira à elevação do nível do mar referente a geomorfologia, adaptado de Gornitz (1991), Pendleton *et al.* (2004) e Nicholls e Cazenave(2010).

Variáveis	Categorias de Suscetibilidade				
	Muito Baixa	Baixa	Moderada	Alta	Muito Alta
	1	2	3	4	5
Declividade (altura) da Costa (m)	≥30.1	20.1 a 30.0	10.1 a 20.0	5.1 a 10.0	0 a 5.0

Através do mapa de declividade foi realizada a análise de suscetibilidade à elevação do nível do mar classificando as praias de Paulista de acordo com a escala de suscetibilidade da altura da costa, relacionando a altura da porção emersa do litoral e a probabilidade de inundação da área.

5.3 CÁLCULO GERAL DA SUSCETIBILIDADE E DA VULNERABILIDADE COSTEIRAS

A suscetibilidade e a vulnerabilidade foram determinadas através de um índice de multivariáveis relacionadas ao ambiente e ao evento, estudados, que possibilita avaliar a perspectiva de uma determinada área ser atingida por um determinado evento natural (Gornitz, 1991; Pendleton, 2004).

Para obtenção dos coeficientes de suscetibilidade e vulnerabilidade foram desenvolvidas duas tabelas compostas pelas variáveis e seus respectivos valores correspondentes aos graus de muito baixa (1), baixa (2), moderada (3), alta (4) e muito alta (5) gerando assim uma escala. Após a identificação relacionada entre os valores da escala e os valores da área estudada para cada variável, é possível realizar o cálculo da suscetibilidade e vulnerabilidade gerais do local a partir da utilização de um algoritmo (eq. 2) que relaciona todas as variáveis responsáveis pela classificação.

$$IGSC \cdot ou \cdot IGVC = \sqrt{\frac{a \times b \times c \times d \times e \times f \times g}{n}} \quad \text{eq. (2)}$$

Para determinação do Índice Geral de Suscetibilidade Costeira (IGSC) da costa à elevação do nível do mar foi utilizado o resultado das seguintes variáveis que descrevem o comportamento físico e hidrodinâmico do litoral:

- a – geologia da costa;
- b - geomorfologia da costa;
- c – variação da linha de costa;
- d – variação relativa do nível do mar;
- e - altura da maré;
- f – altura máxima da onda;
- g - elevação da costa;

n - número de variáveis.

Para calcular o Índice Geral de Vulnerabilidade Costeira (IGVC) da costa à elevação do nível do mar foi empregado o resultado dos seguintes descritores que apresentam as características socioeconômicas da área atingida pelo evento:

- a – população impactada;
 - b – perda de capital de valor;
 - c – perda de área emersa;
 - d – proteção/adaptação da costa;
- n - número de variáveis.

Como o resultado dos algoritmos foram valores adimensionais foi realizado tratamento estatístico para propiciar sua interpretação. Assim foram calculados os quartis e estabelecida à relação com os graus de suscetibilidade e vulnerabilidade (tabela 9).

Tabela 9 – Relação dos quartis e os graus de suscetibilidade e vulnerabilidade.

Valores	Grau de Suscetibilidade ou Vulnerabilidade
Valor mínimo	Muito Baixo
Primeiro Quartil	Baixo
Segundo Quartil	Moderado
Terceiro Quartil	Alto
Valor Máximo	Muito Alto

5.4 RETROGRADAÇÃO

Para utilizar a metodologia desenvolvida por Bruun (1962) para calcular o recuo da linha de costa devido à subida do nível do mar foi necessário a geração de vários subprodutos como batimetria, sedimentologia dos perfis de praia, hidrodinâmica, profundidade de fechamento, entre outros.

5.4.1 Morfologia Praial

Os perfis de praia utilizados neste trabalho foram adquiridos durante a vigência do Projeto de Monitoramento Ambiental Integrado (MAI) nos anos de 2006 e 2007. Neste período foram realizados 15 campanhas de campo em cada praia.

Para os levantamentos topográficos utilizou-se de nível, tripé, mira graduada, balizas e trena. A localização geográfica de cada perfil foi adquirida com uso de GPS. A partir das informações adquiridas com a medição da mira graduada nos pontos de mudança do contorno morfológico das feições praias e da distância entre cada uma dessas medições foi possível desenhar o perfil topográfico da praia.

Para aplicação do cálculo de retrogradação é necessário adquirir a altura da feição emersa ativa (crista da berma) para compor o somatório (H) entre o valor da altura da feição emersa e a profundidade de fechamento, além de ser um dos extremos da largura do perfil ativo (L) (fig. 32). Esses dados foram utilizados no cálculo de recuo da linha de costa.

Para obter a altura da feição emersa ativa (crista da berma) foram utilizados os perfis topográficos das praias estudadas identificando a altura da feição morfológica em relação ao nível médio do mar de cada perfil mensal. Com os valores foi obtida a média aritmética das alturas da crista de berma de cada praia.

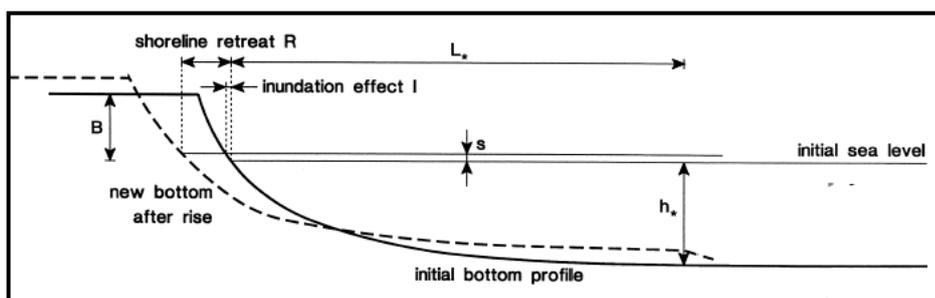


Figura 32 – Perfil ilustrativo das variáveis que compõem a equação de Bruun.

5.4.2 Linha de Costa

A linha de costa das praias de Paulista foi identificada através de imagens de satélite com resolução de 0.5 m, no datum WGS84 e datadas de 2009. Estas foram cedidas gratuitamente pelo Laboratório de Cartografia Costeira (LACCOST) através do Prof. Rodrigo Mikosz Gonçalves.

A feição identificada como linha de costa foi a linha de deixa que representa o ponto de máxima excursão das ondas e também ponto no qual a berma é formada.

Esse referencial também foi utilizado no cálculo da retrogradação.

5.4.3 Variação Relativa do Nível do Mar

Os dados divulgados no relatório do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas de 2013 mostram que até 2100, o nível do mar deve alcançar os seguintes intervalos para os respectivos cenários (fig 33):

- 0,26-0,55 m para RCP2.6,
- 0,32-0,63 m para RCP4.5,
- 0,33-0,63 m para RCP6.0 e
- 0,45-0,82 m para RCP8.5 (grau de confiabilidade médio) e até 2100 0,52-0,98 m para RCP8.5.

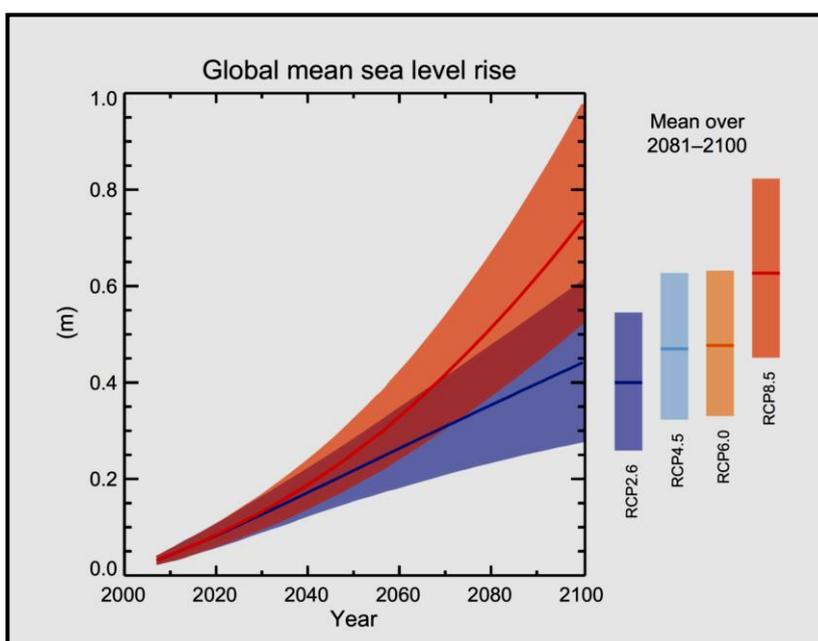


Figura 33 – Projeções para elevação do nível do mar até o período de 2100 segundo cenários desenvolvidos. Fonte: IPCC, 2013.

A partir dos dados divulgados foram selecionados os dados extremos para serem utilizados neste trabalho. Assim os cálculos da retrogradação foram realizados empregando os valores 0.26m a 0.98 m, que representam as taxas de elevação do nível do mar para os próximos 100 anos.

Para obter estes valores o Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas realizou estudos multidisciplinares a fim de obter resultados coerentes sobre essas transformações.

Os parâmetros utilizados para descrever a tendência de subida do nível do mar para os próximos 100 anos são:

- i) A expansão térmica da água dos oceanos;
- ii) A relação de troca de água entre os oceanos e outros reservatórios (geleiras e calotas polares, camadas de gelo, reservatórios de água outra terra - inclusive por meio de mudanças antrópicas na hidrologia da terra e da atmosfera).
- iii) Mudança na circulação oceânica;
- iv) Pressão atmosférica;
- v) Subsidência e elevação dos continentes;
- vi) Sedimentação das bacias oceânicas;
- vii) Medições de maregrafos de oceanos interiores;
- viii) Mudanças do geoide;
- ix) Altimetria por satélite; e
- x) Salinidade dos oceanos.

5.4.4 Sedimentologia das Praias

Os resultados granulométricos utilizados neste trabalho são oriundos do levantamento sedimentar ocorrido em Paulista durante o Projeto de Monitoramento Integrado (MAI). No período de 15 meses foram coletadas amostras em 05 pontos diferentes que representam a granulometria de cada praia estudada.

Para o conhecimento das frações granulométricas que compõem o sedimento oriundo da área estudada foi realizado amostragens sedimentar seguida de análise granulométrica e processamento através de programa estatístico para obtenção da classificação dos sedimentos quanto ao tamanho do grão.

As amostras de sedimento coletadas no estirâncio da área estudada foram submetidas à análise granulométrica. Todas as amostras foram submetidas às seguintes etapas laboratoriais:

- a) pré-secagem a temperatura ambiente;
- b) secagem a temperatura de 60°C em estufa;
- c) quarteamento manual e pesagem de 100g em balança semi-analítica, com erro aproximado de 0,05g. onde parte da amostra foi reservada como contra amostra, para eventual erro de processamento;
- d) após a primeira pesagem, foi feito o peneiramento úmido em água corrente para a primeira separação das frações granulométricas. Nesse processo utilizam-se duas peneiras, sendo uma com abertura de malha de 2mm e outra com 0.063mm. As partículas que ficam retidas na primeira peneira são as do tamanho cascalho, as que ficam na peneira de abertura 0,063mm são as areias e as que passam são menores do que 0,063 e portanto silte e/ou argila, que para efeito deste estudo não foram consideradas;
- e) depois da lavagem as areias e cascalhos foram colocados para secar na estufa em beckeres a uma temperatura de 60°;
- f) logo após a secagem, as amostras foram novamente pesadas, separando-se as frações cascalho e areia, estas foram colocadas num jogo de peneiras com aberturas de 1,00 mm, 0,500 mm, 0,250 mm e 0,125 mm e um fundo onde são retidas as partículas entre 0,125 mm e 0,063 mm. As amostras foram agitadas durante 10 minutos. As partículas retidas correspondem as frações areia muito grossa (acima de 1,00mm), areia grossa (entre 1,00 e 0,500 mm), a areia média (entre 0,500 e 0,250mm), areia fina (entre 0,250 e 0,125 mm) e areia muito fina (entre 0,125 e 0,063 mm).
- g) Separadas as frações tamanho areia, pesa-se cada um delas acondicionando-as em sacos plásticos, devidamente identificadas.

De posse das informações referentes às frações areia, introduziu-se os dados no programa Sysgran 3.0 (Camargo, 2006), gerando os parâmetros estatísticos (média, mediana, desvio padrão, assimetria e curtose), das amostras analisadas tendo como referência a classificação de Folk e Ward (1975).

Para aplicação dos resultados granulométricos foi obtida a média aritmética das análises granulométricas de cada ponto coletado, considerando que os resultados granulométricos de cada ponto de coleta se mantiveram dentro do mesmo intervalo granulométrico.

Com os resultados do diâmetro médio do grão para cada praia foi definida a velocidade de queda do grão (W_s) segundo Gibbs *et al.* (1971) que relaciona o tamanho do grão com a velocidade que queda do grão.

5.4.5 Batimetria

A batimetria utilizada neste trabalho faz parte do banco e dados do Projeto de Monitoramento Ambiental Integrado (MAI) realizado em dezembro de 2006 e janeiro de 2007, obtida através da aquisição de 64 perfis perpendiculares à costa e 02 paralelos a costa para amarração dos dados coletados. Para a obtenção de uma batimetria de qualidade foi construído um mapa com as rotas de navegação pré-estabelecidas utilizando como base cartográfica e de navegação à carta náutica da DHN nº930 com datum WGS84 e sistema de coordenadas UTM (fig. 34). Os perfis são espaçados em 200 m entre si, possuem uma extensão média de 4 km iniciando na zona de arrebentação até a isobáta de 15m.

Para a aquisição dos dados foi utilizada a ecossonda Garmin GPSMap 298 acoplada à embarcação Mattang usando o software garmin MapSource. O instrumento foi programado para operar numa frequência de 200 kHz com armazenamento de dados a cada 3 segundos.

Os dados coletados sofreram correção de altura do transdutor e da maré, sendo referenciados em função do zero hidrográfico do Porto do Recife.

Para o processamento dos dados foi utilizado o método geoestatístico de krigagem que interpola pontos, isto é, admite que pontos próximos no espaço tendem a possuir valor mais parecido do que pontos mais afastados (Princípio da Primeira Lei de Geografia de Tobler). A krigagem utiliza funções matemáticas para acrescentar pesos maiores nas posições mais próximas aos pontos amostrais e pesos menores nas posições mais distantes, e criar assim os novos pontos interpolados com base nessas combinações lineares de dados.

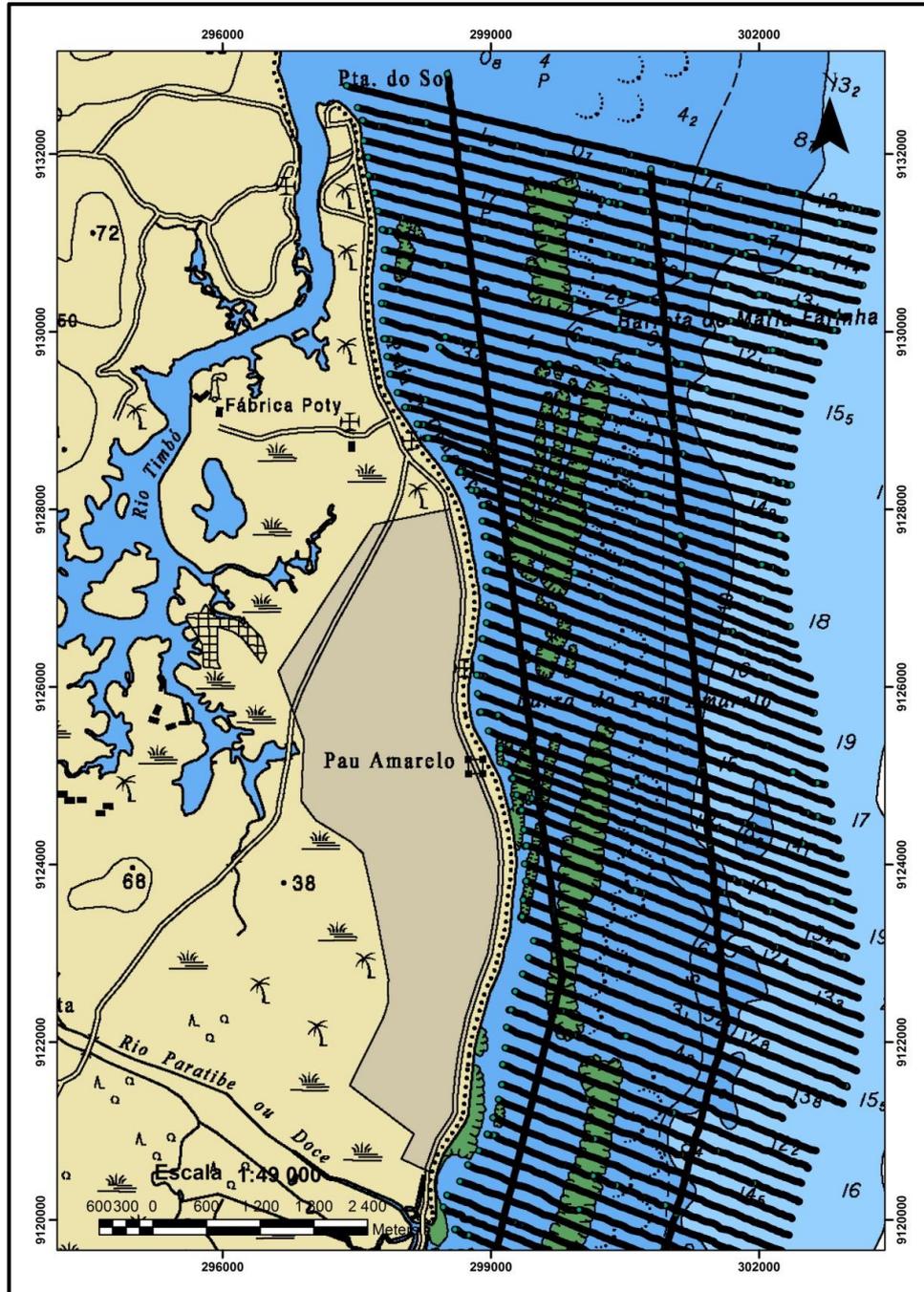


Figura 34 – Mapa com as rotas na Carta Náutica, município de Paulista.

O mapa batimétrico do litoral de Paulista foi gerado a partir da krigagem dos pontos através da ferramenta *Geostatistic Analyst* hospedada no Arcgis 9.3.

A partir do mapa batimétrico e do resultado da profundidade de fechamento litorâneo e da feição emersa foi possível mensurar a distância do perfil ativo (H) que é utilizado no cálculo do recuo da linha de costa.

5.4.6 Hidrodinâmica

Os dados de onda significativa com frequência de 12 horas por ano (H_{s12}) utilizados no cálculo da retrogradação são provenientes do SMC-Brasil que possui um banco de dados de ondas gerado pelo reanálise de ondas Global Ocean Waves (GOW) no período de fevereiro de 1948 a dezembro de 2008, estruturado em diferentes escalas espaciais. Esta base de dados pertence ao IH Cantabria.

O modelo numérico utilizado para a simulação da reanálise de ondas foi o modelo WaveWatch III (Tolman 1997, 1999) desenvolvido pela NOAA/NCEP, que resolve a equação do balanço de densidade espectral. A forçante introduzida no modelo foi uma base de dados de velocidade de ventos a 10 m de altura, pertencente à reanálise atmosférica global *NCEP/NCAR*.

O modelo assume como hipótese fundamental que as propriedades do meio (correntes e batimetria) e o campo de ondas variam em escalas muito maiores que um comprimento de onda, no espaço e no tempo. Assumindo, que este modelo não seja capaz de simular os efeitos da propagação das ondas em menores profundidades utiliza o modelo SWAN (*Simulating Waves Nearshore*).

Através do SWAN realiza-se as propagações desde pontos obtidos pela base de dados GOW, até zonas de águas costeiras localizadas frente ao litoral brasileiro, tomando como condições iniciais de simulação os resultados do modelo WaveWatch III. O modelo SWAN está fundamentado na conservação da ação espectral da onda, mas não é capaz de resolver de maneira efetiva os fenômenos de difração que afetam as ondas que chegam até a costa; e é a partir desse ponto que se faz o transporte destas ondas até pontos localizados na costa com modelo OLUCA, modelo este, incluído no Sistema de Modelado Costeiro –Brasil.

Para o processamento dos dados de onda foi utilizada uma malha global que proporciona dados em escala mundial e apresentam uma resolução de $1,5^\circ$ em longitude e 1° em latitude. Dentro dessa malha global foram incluídas malhas para o estudo detalhado da zona costeira de Brasil com maior grau de definição com resolução de $0,5^\circ \times 0,5^\circ$.

Os resultados obtidos na malha de detalhe são parâmetros de onda (altura significativa de onda (H_s), período de pico (T_p), direção média de procedência (θ_m), dispostos em todos os nós da malha de cálculo, apresentando uma resolução temporal de 1 hora. Além disso, com o intuito de definir corretamente as ondas

próximas a costa, foram obtidos pontos com resolução horária ao longo do litoral brasileiro, separados entre si por aproximadamente 50 Km. A partir desses pontos foram unidos modelos de propagação em função de uma escala local. O método de calibração consistiu em uma correção da energia (em termos de altura significativa de onda, H_s) utilizando dados de satélite que proporcionaram dados de maior qualidade.

Esses dados de onda significativa com frequência de 12 horas por ano (H_{s12}) adquiridos através do SMC-Brasil posteriormente subsidiaram a determinação do limite de profundidade de fechamento.

5.4.7 Profundidade de Fechamento

A profundidade de fechamento é o limite em que o perfil da praia sofre modificações devido ao transporte sedimentar longitudinal e transversal (fig. 35), ou seja, a partir desta profundidade não ocorrem transporte sedimentar significativo (Almeida *et al.*, 1999).

Várias fórmulas matemáticas foram desenvolvidas utilizando os parâmetros altura significativa da onda, período e outros para determinar a profundidade limite de movimentação dos sedimentos por ação das ondas.

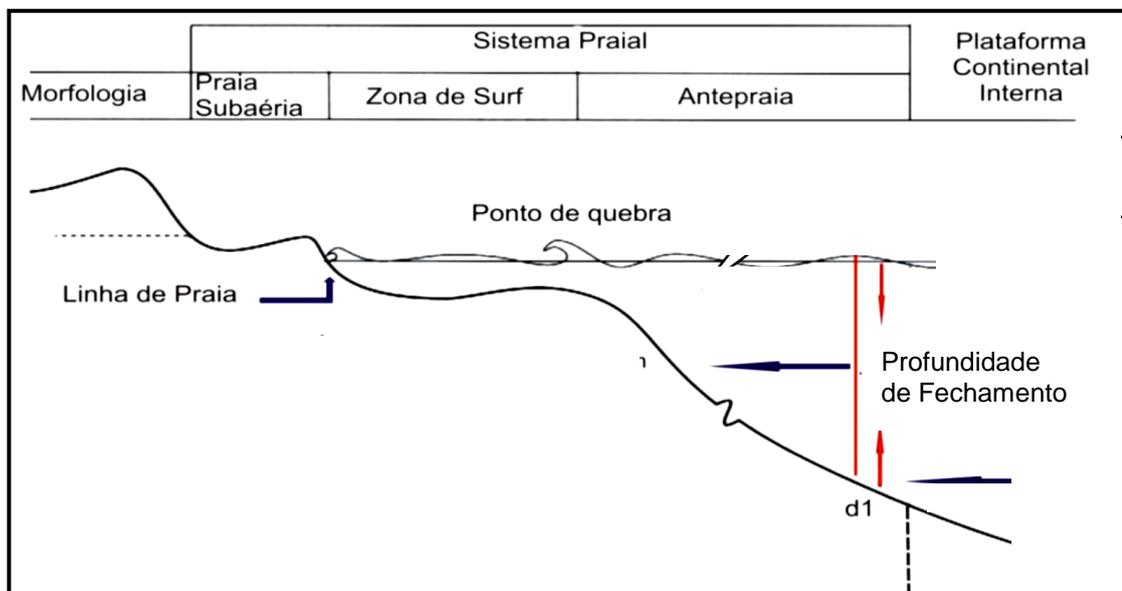


Figura 35 - Perfil esquemático adaptado de Short (1999) com o posicionamento da profundidade de fechamento (h_c).

Para definição da profundidade de fechamento neste trabalho foram utilizadas as equações de Hallermeier (1981) que foram definidas segundo as características de fundos arenosos e de parâmetros estatísticos representativos do clima anual de ondas e as equações de Birkemeier (1995) ajustadas segundo observações de campo.

Em 1981, Hallermeier propõe a seguinte equação (eq. 3) para delimitar a profundidade de fechamento:

$$hc = 2,28H_{s12} - 68,9 \frac{H_{s12}^2}{gT_{s12}^2} \quad \text{Eq. (3)}$$

onde,

hc – profundidade de fechamento;

g - aceleração da gravidade (9,8 m/s²);

T_s- período significativo associado à altura de onda significativa excedida somente 12 horas por ano;

H_{s12} - altura da onda significativa excedida somente 12 horas por ano.

Em 1985, Birkemeier propôs duas novas expressões (eqs. 4 e 5) para calcular a profundidade de fechamento, ajustadas a partir de comparações entre diversos levantamentos de perfis de praia, sendo a segunda uma simplificação da primeira equação:

$$hc = 1,75H_{s12} - 57,9 \frac{H_{s12}^2}{gT_s^2} \quad (4)$$

$$hc = 1,57H_{s12} \quad (5)$$

hc – profundidade de fechamento;

g - aceleração da gravidade(9,8 m/s²);

T_s- período médio significativo associado à altura de onda significativa excedida somente 12 horas por ano;

H_{s12} - altura da onda significativa excedida somente 12 horas por ano

Apenas as equações (3) e (5) foram utilizadas na obtenção de valores de limite litorâneo neste trabalho.

5.4.8 Largura do Perfil Ativo

A largura do perfil ativo (L) consiste na distância horizontal entre a feição emersa ativa (berma) e a profundidade de fechamento (h_c) (fig. 31). A obtenção do valor referente à largura do perfil ativo (L) foi efetuada através da aplicação da equação do perfil de equilíbrio de Dean (1977) e da medição da distância horizontal entre a feição emersa ativa e a profundidade de fechamento calculada a partir das equações de Hallemeier (1981) e Birkemeier (1985) para cada praia.

O primeiro conjunto de valores da largura do perfil ativo (L) resultou da medição horizontal

O segundo conjunto de valores da largura do perfil ativo (L) resultou da medição horizontal da largura do perfil ativo entre a feição emersa ativa (crista da berma) e a profundidade de fechamento calculada através da equação segundo Birkemeier (1985).

O terceiro conjunto de valores originou-se da equação (6) do perfil de equilíbrio de Dean (1977), da equação (7) de velocidade de queda do sedimento de Dean (1987) e da equação (8) profundidade de fechamento de Birkemeier (1985) que possibilitaram a obtenção da equação matemática (9) que forneceu os valores da largura do perfil ativo (L) para cada praia.

$$h = Ax^{2/3} \quad (6)$$

$$A = 0.51 w^{0.44} \quad (7)$$

$$h = 1.57H_{s12} \quad (8)$$

$$L = (1,57.H_{s12}/0.51w^{0,44})^{1,5} \quad (9)$$

Onde,

h = profundidade de fechamento

x ou L = largura do perfil ativo

A = parâmetro de forma que depende da velocidade de queda do grão (w)

w = veloc. de queda do grão que depende do tamanho do sedimento (D_{50}).

H_{s12} = altura da onda significativa excedida somente 12 horas por ano

5.4.9 Cálculo da Retrogradação

O processo de retrogradação representa o mecanismo de recuo da linha de costa no sentido do continente, ocasionado pela elevação do nível do mar. O limite de retrogradação foi calculado a partir da equação matemática (eq. 10) de Bruun (1962) abaixo:

$$R = \frac{SLG}{H}, \quad (\text{eq. 10})$$

onde:

R – retrogradação devido à elevação do nível do mar (m);

S – elevação do nível do mar (m);

L – largura do perfil ativo (m);

G – proporção de material erodido que se mantém no perfil ativo, considerando como sendo igual a 1;

H – somatório da altura da feição emersa ativa (m) com a profundidade de fechamento do perfil (hc).

Os valores de variação do nível do mar (S) utilizados para o cálculo do recuo da linha de costa do litoral de Paulista foram 0.26 e 0.98 metros, obtidos adquiridas na publicação *Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* do IPCC em 2013.

A largura do perfil ativo (L) foi obtida medindo-se a distância entre a linha de costa representada pela linha de deixa e a profundidade de fechamento (hc). A largura do perfil ativo (L) também foi obtida através das equações do perfil de equilíbrio de Dean (1977), da velocidade de queda do sedimento de Dean (1987) e da profundidade

de fechamento de Birkemeier (1985). A altura do perfil ativo (H) foi obtida através do somatório da altura da ativa (crista de berma) e da profundidade de fechamento (hc).

5.5 ÍNDICES DE VULNERABILIDADE

Para a avaliação da vulnerabilidade do litoral de Paulista foi escolhida a abordagem que dar ênfase a exposição da população e bens socioeconômicos aos perigos da zona costeira (erosão) diante da elevação do nível do mar.

Baseado na metodologia utilizado por Nicholls (1995) foi elaborada uma tabela de índices de vulnerabilidade à elevação do nível do mar. Essa lista apresenta as variáveis: pessoas afetadas, perda de capital de valor, perda de área emersa e proteção/adaptação da costa, as quais são classificadas segundo um ranqueamento com intervalos numerados de 1 a 4 significando respectivamente vulnerabilidade baixa a muito alta.

5.5.1 População Impactada

Esta variável é definida como o número de pessoas que vivem na área afetada pelo recuo da linha de costa ocasionada pela elevação do nível do mar. Os valores de retrogradação empregados foram os resultados obtidos a partir da aplicação da regra de Bruun utilizando o valor extremo da previsão de subida do nível do mar (0,98m) previsto pelo IPCC (2013).

Para definir o número de pessoas afetadas foi contabilizada a quantidade de domicílios atingidos pelo recuo da linha de costa, e em seguida o valor de residências foi multiplicado pelo fator 03 (três) que é o número estimado de moradores por domicílio para o município de Paulista segundo dados do IBGE (2010).

Para contabilizar a quantidade de domicílios atingidos pelo recuo da linha de costa foram utilizadas as projeções da retrogradação sobre as imagens de satélite de alta resolução do litoral de Paulista datadas de 2009 e contabilizadas todas as residências. Também foram utilizadas plantas de cadastro imobiliário oriundas da Companhia de Abastecimento de Pernambuco (COMPESA) para auxiliar na identificação dos domicílios.

O cálculo da porcentagem da população impactada foi realizado mediante o número de moradores da área atingida e o número total de habitantes por bairro (praia estudada). Assim, pôde-se efetuar a classificação da vulnerabilidade.

A construção dos percentuais de vulnerabilidade para população impactada segundo Nicholls (1995) considera que se do número total de habitantes do bairro estudado, um valor percentual estipulado dos moradores for atingido pelo evento em questão (erosão) a área possui grau de vulnerabilidade compatível com o valor percentual de habitantes afetadas.

Utilizando a escala de vulnerabilidade relacionada à população impactada (tabela 10) desenvolvida por Nicholls (1995) e o resultado da variável em questão encontrado para Paulista foi adquirida a classificação da vulnerabilidade.

Tabela 10 – Fragmento do catálogo dos índices de classificação da vulnerabilidade costeira à elevação do nível do mar referente a pessoas afetadas, adaptado de Nicholls (1995).

Variáveis	Categorias de Vulnerabilidade			
	Baixa 1	Moderada 2	Alta 3	Muito Alta 4
População Impactada (n° de pessoas / total da população) x 100%	< 1%	1 a 10%	10 a 50%	>50%

5.5.2 Perda de Capital de Valor

Este fator é determinado como o valor financeiro de terrenos e imóveis atingidos pelo recuo da linha de costa previsto com a subida do nível do mar.

Para determinar a quantidade de capital de valor atingido foi realizado um levantamento para quantificação do número de terrenos, imóveis residenciais, comerciais e industriais que foram atingidos pelo recuo da linha de costa. Em seguida foi realizado um levantamento do preço do metro quadrado construído para imóveis residenciais, comerciais e industriais, além do preço do metro quadrado de terrenos. Com esses dados foi possível quantificar o valor de perda capital de cada bairro do município estudado.

Para contabilizar a quantidade de imóveis atingidos pelo recuo da linha de costa foram utilizadas as projeções da retrogradação sobre as imagens de satélite de alta resolução do litoral de Paulista datadas de 2009 e contabilizadas todos os imóveis. Também foram utilizadas plantas de cadastro imobiliário oriundas da Companhia

Pernambucana de Saneamento (COMPESA) para auxiliar na identificação dos domicílios e outros imóveis da área.

Após a identificação dos imóveis foi criada uma tabela com os valores monetários de cada empreendimento para possibilitar a obtenção dos totais de perda de capital de valor para cada praia.

Usando a escala de vulnerabilidade relacionada à perda de capital de valor (tabela 11) desenvolvida por Nicholls (1995) e o resultado da variável em questão encontrado para Paulista foi obtida a classificação da vulnerabilidade.

Tabela 11 – Fragmento do catálogo dos índices de classificação da vulnerabilidade costeira à elevação do nível do mar referente à perda de capital de valor, adaptado de Nicholls (1995).

Variáveis	Categorias de Vulnerabilidade			
	Baixa	Moderada	Alta	Muito Alta
	1	2	3	4
Perda de Capital de Valor (total de perdas/2014 PIB) x 100%	<1%	1-3%	3-10%	>10%

5.5.3 Perda de Área Emersa

A extensão total de terra emersa que será permanentemente erodida devido ao aumento do nível do mar é definida como a área emersa perdida.

Para calcular esta área perdida para cada bairro foram utilizadas as projeções de retrogradação obtidas a partir da aplicação da regra de Bruun utilizando os valores extremos da previsão de subida do nível do mar (0,26m e 0,98m) previstos pelo IPCC (2013). Através das projeções de retrogradação foram desenhados polígonos os quais tiveram suas áreas calculadas através de ferramentas do Arcgis 9.3. Também foi traçado o perímetro dos bairros estudados e calculada as áreas totais de cada bairro. Com essas informações foi possível calcular qual a porcentagem de perda de área emersa e assim efetuar a classificação da vulnerabilidade.

A construção dos percentuais de vulnerabilidade para perda de área emersa segundo Nicholls (1995) considera a relação entre a área total do bairro e a área atingida pelo evento em questão (erosão).

Através da escala de vulnerabilidade relacionada à perda de área emersa (tabela 12) criada por Nicholls (1995) e o resultado da variável em questão encontrado para Paulista foi obtida a classificação da vulnerabilidade.

Tabela 12 – Fragmento do catálogo dos índices de classificação da vulnerabilidade costeira à elevação do nível do mar referente a perda de área emersa, adaptado de Nicholls (1995).

Variáveis	Categorias de Vulnerabilidade			
	Baixa	Moderada	Alta	Muito Alta
	1	2	3	4
Perda de Área Emersa (área de perda / área total) x 100%	<3%	3-10%	10-30%	>30%

5.5.4 Proteção/Adaptação da Costa

Esta variável é definida como a proteção e outros custos de adaptação necessários para manter o status de proteção da linha de costa diante da elevação do nível do mar.

De acordo com as projeções de retrogradação calculadas com a aplicação da regra de Bruun utilizando os valores extremos da previsão de subida do nível do mar (0,26m e 0,98m) previstos pelo IPCC (2013) para o litoral de Paulista, para os dois valores de aumento do nível do mar há retrocesso da linha de costa. Diante deste fato foi considerado que em toda a extensão do litoral serão necessárias obras costeiras para conter o avanço do mar.

As estruturas de fixação da linha de costa contabilizadas para este litoral foram enrocamento e engordamento. Os custos de manutenção podem ser significativos, mas são excluídos do cálculo.

Por meio da escala de vulnerabilidade relacionada à proteção/adaptação da costa (tabela 13) empregada por Nicholls(1995) e o resultado da variável em questão encontrado para Paulista foi obtida a classificação da vulnerabilidade.

Tabela 13 – Fragmento do catálogo dos índices de classificação da vulnerabilidade costeira à elevação do nível do mar referente a proteção e adaptação da costa, adaptado de Nicholls (1995).

Variáveis	Categorias de Vulnerabilidade			
	Baixa	Moderada	Alta	Muito Alta
	1	2	3	4
Proteção e Adaptação da Costa (custo anual / 2014 PIB) x 100%	<0.05%	0.05-0.25%	0.25-1%	>1%

6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Este capítulo reuniu os resultados e discussões sobre os índices de suscetibilidade, a retrogradação e os índices de vulnerabilidade do litoral da cidade do Paulista.

6.1 ÍNDICES DE SUSCETIBILIDADE

6.1.1 Geologia

A área estudada encontra-se no domínio geotectônico do Terreno Rio Capibaribe que constitui o Embasamento Cristalino da área (Cordani *et al.*, 1984), e está recoberto por sedimentos do período Cretáceo representados pelas formações Beberibe, Itamaracá e Gramame, pelo depósito sedimentar do Paleógeno composto pela Formação Maria Farinha, pela Formação Barreiras do Neógeno e por um conjunto de depósitos sedimentares do Quaternário (Barbosa, 2007).

O levantamento geológico no litoral de Paulista resultou em um mapa (fig. 36) que apresenta as litologias aflorantes locais. Como é possível observar no mapa, toda a linha de costa do município de Paulista é constituída pela litologia identificada como Depósitos Atuais de Praias e descrita como areias quartzosas inconsolidadas com fragmentos de conchas de moluscos e algas coralinas. Esse depósito sedimentar é pouco espesso e ocupa uma faixa estreita composta pelo pós-praia, estirâncio e antepraia. O pós-praia encontra-se em muitos trechos ocupada por edificações.

Observando o catálogo (tabela 2) dos índices de classificação da suscetibilidade costeira à elevação do nível do mar que descreve o grau de suscetibilidade de cada litologia, identificou-se que sedimentos inconsolidados (areia) tem grau de suscetibilidade cinco. Portanto, todas as praias do município de Paulista (fig. 37) para a variável geologia possui grau de suscetibilidade muito alto. Através do diagrama é possível observar qual a porcentagem do litoral que correspondente a litologia encontrada juntamente com a porcentagem de linha de costa fixada por obras costeiras.

O resultado obtido para a suscetibilidade geológica costeira se justifica porque o fenômeno de elevação do nível do mar ocasiona recuo da linha de costa quando a litologia que compõe a linha de costa não oferece resistência a ação das ondas e correntes, isto é, a subida do mar promove a erosão do litoral. Assim quanto menor o

grau de resistência da litologia ao efeito erosivo maior será o grau de suscetibilidade. Como toda a extensão do litoral de Paulista possui praias composta por areias quartzosas inconsolidadas com fragmentos carbonáticos, o grau de suscetibilidade encontrado foi muito alto de acordo com Gornitz (1991).

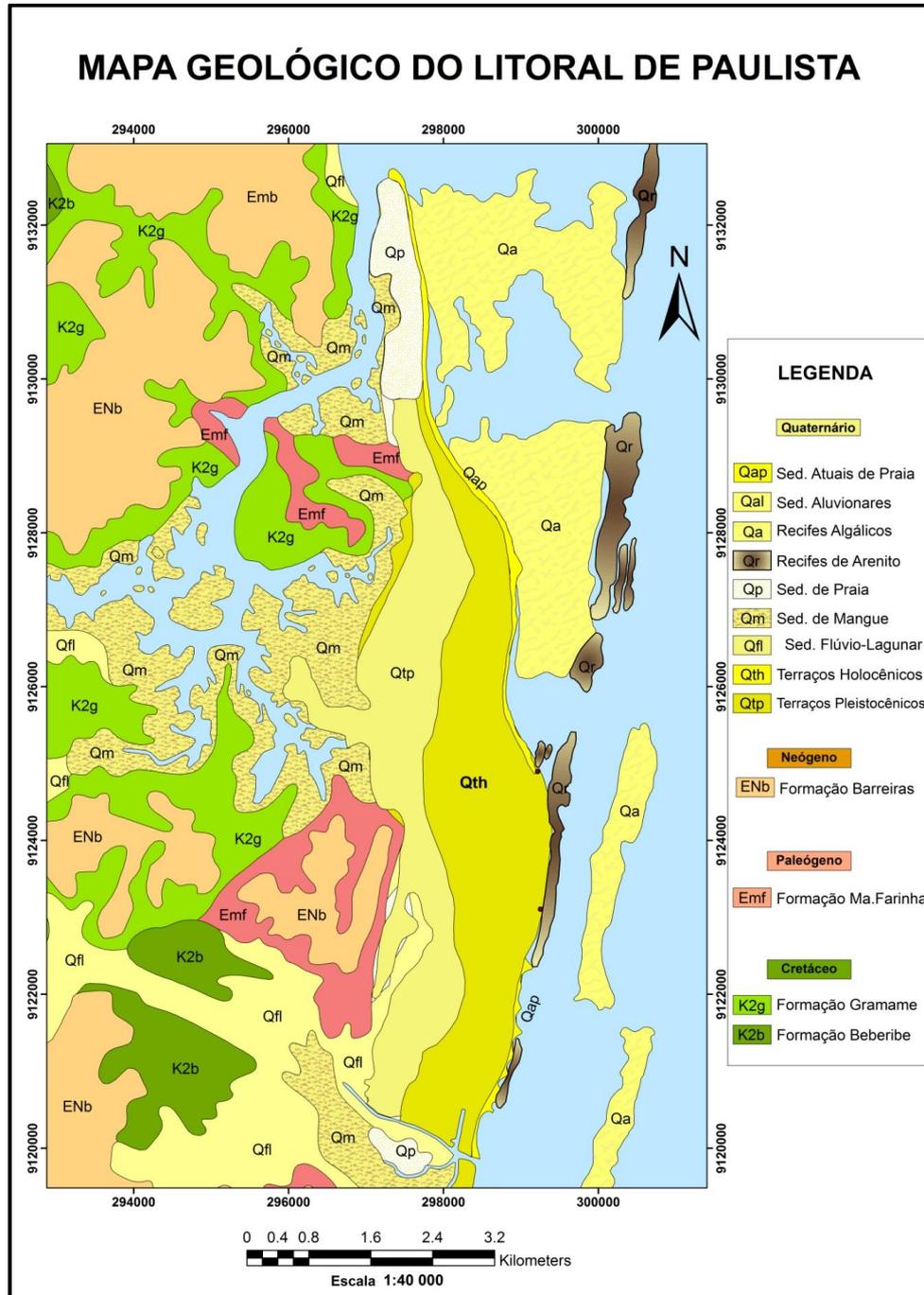


Figura 36 – Mapa geológico do litoral da cidade de Paulista. Fonte: Modificado de Lima Filho et al., 1994.

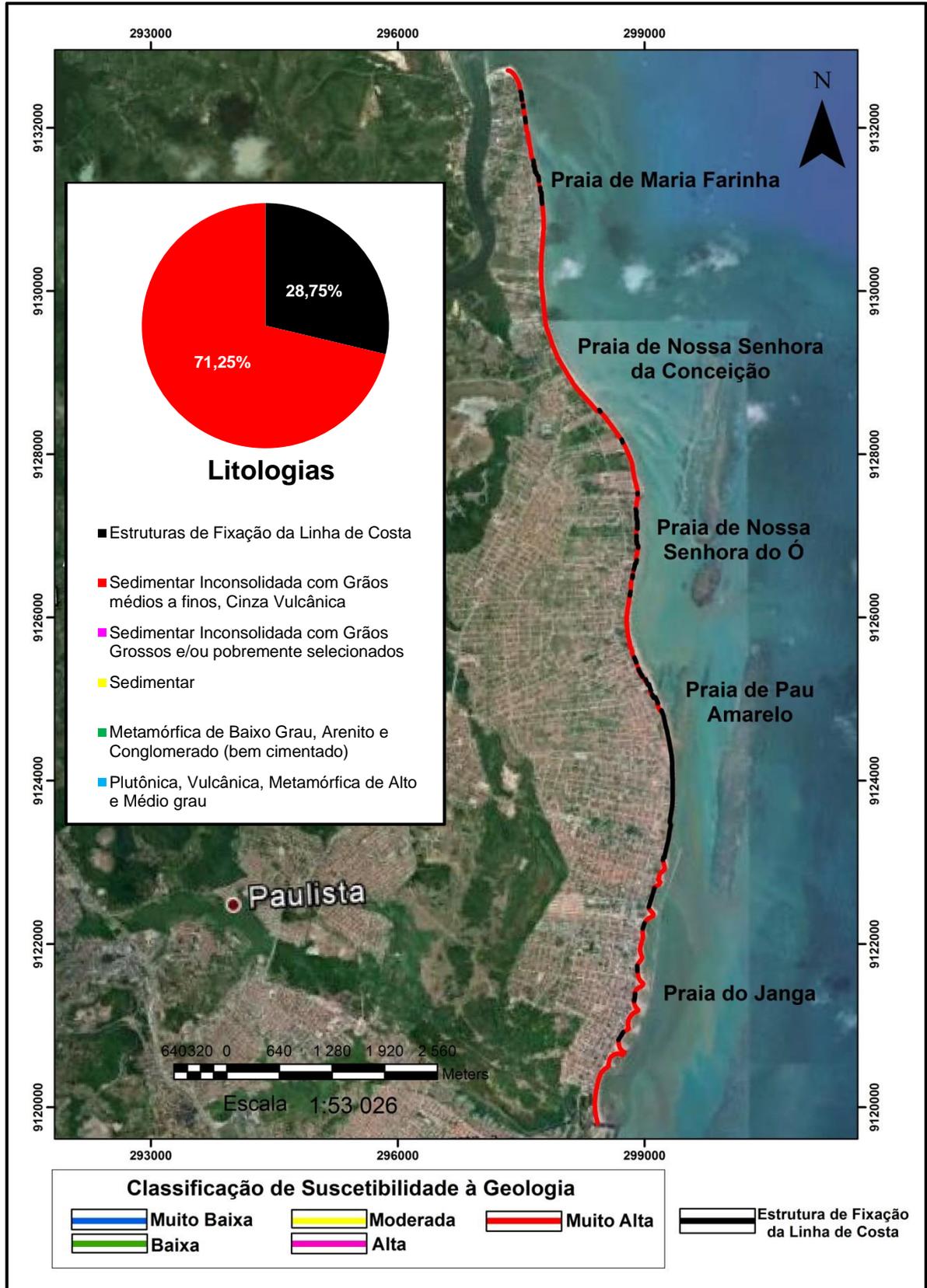


Figura 37 - Mapa do litoral de Paulista com a classificação de suscetibilidade à geologia. Fonte da Imagem: *Google Earth*.

6.1.2 Geomorfologia

No litoral de Paulista observam-se as feições geomorfológicas que demonstram o gradiente de declividade próprio das áreas litorâneas, iniciando com colinas representadas pelas formações cretáceas (Fm. Beberibe e Fm. Gramame) e paleógenas (Fm. Maria Farinha), tabuleiros constituídos pela Formação Barreiras, terraços compostos pelos Terraços Marinhos Pleistocênico e Holocênico, planícies aluvionar, de maré e praial ou praia, spit ou esporão e recifes.

O levantamento geomorfológico resultou em um mapa (fig. 38) que apresenta as formas de relevo no litoral de Paulista. Como é possível observar no mapa, toda a linha de costa do município de Paulista é constituída pela planície praial ou praia descrita como uma acumulação de sedimentos inconsolidados (areias e fragmentos de conchas de moluscos e algas coralíneas). Esse depósito sedimentar é pouco espesso e estreito. No trecho litorâneo da praia do Janga é possível observar tómbolos, saliências e enseadas, contornos gerados pela presença dos quebra-mares.

Observando o catálogo (tabela 3) dos índices de classificação da suscetibilidade costeira à elevação do nível do mar que descreve o grau de suscetibilidade de cada forma de relevo. Assim, planície praial ou praia tem grau de suscetibilidade cinco. Portanto todas as praias do município de Paulista (fig. 39) para a variável geomorfologia possui grau de suscetibilidade muito alto. Por meio do diagrama se observa a percentagem da linha de costa fixada através de obras costeiras e a porcentagem do litoral que correspondente a forma de relevo da área estudada.

A geomorfologia encontrada no litoral de Paulista proporciona o galgamento desta feição por ondas promovendo inundação temporária e até definitiva de acordo com a altura de subida do nível do mar em relação à feição, e/ou o desenvolvimento do processo erosivo visto que, a forma de relevo é constituída por material granulado que pode ser carregado pela ação das ondas e correntes. Deste modo, quanto mais baixa a feição geomorfológica costeira presente na linha de costa e adjacências em relação ao nível do mar, maior será o grau de suscetibilidade. Como toda a extensão do litoral de Paulista possui na linha de costa praias estreitas seguidas por terraço marinho e esporão, todos com baixa altitude, o grau de suscetibilidade encontrado foi muito alto de acordo com Gornitz (1991).

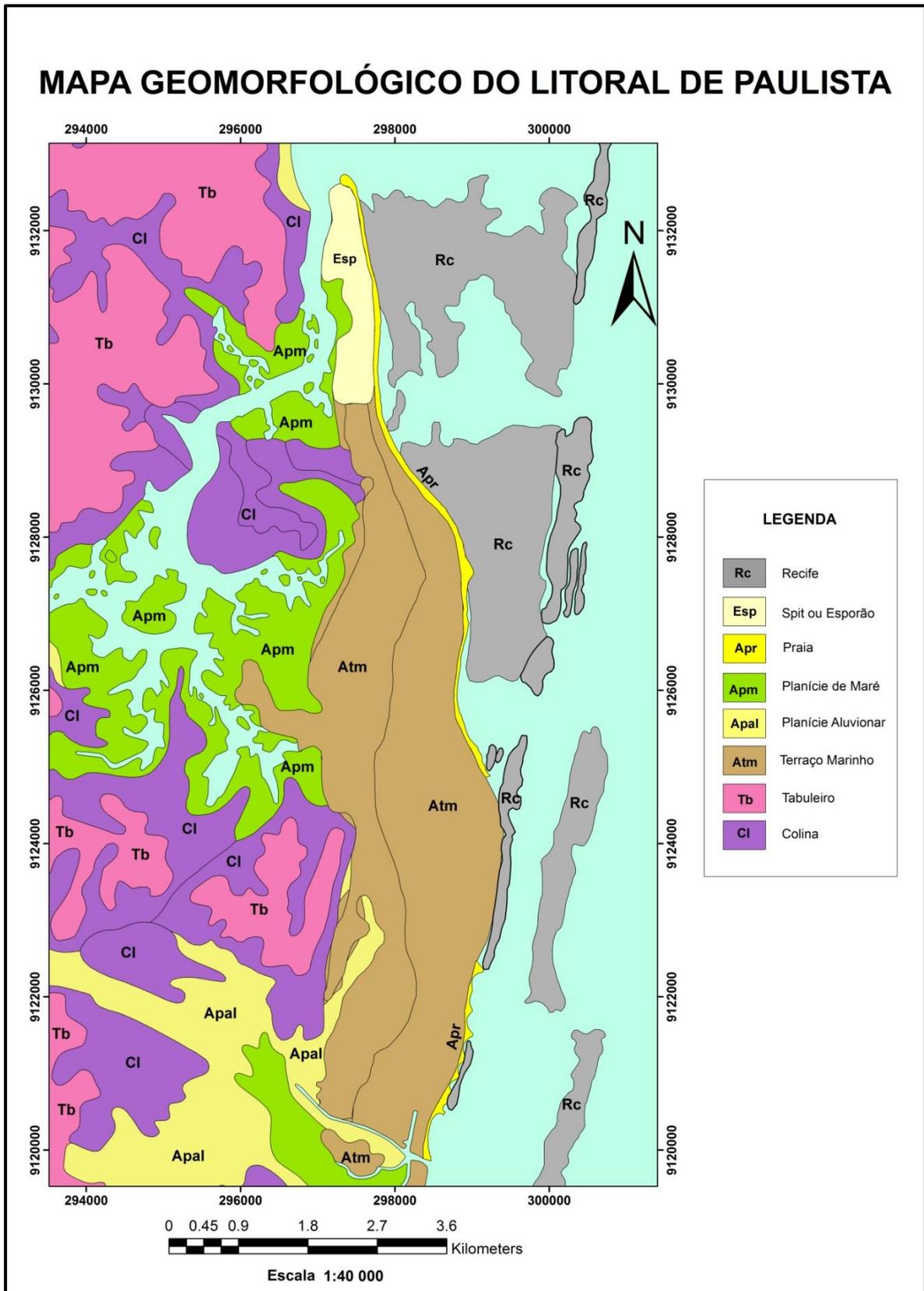


Figura 38 – Mapa geomorfológico do litoral da cidade de Paulista.

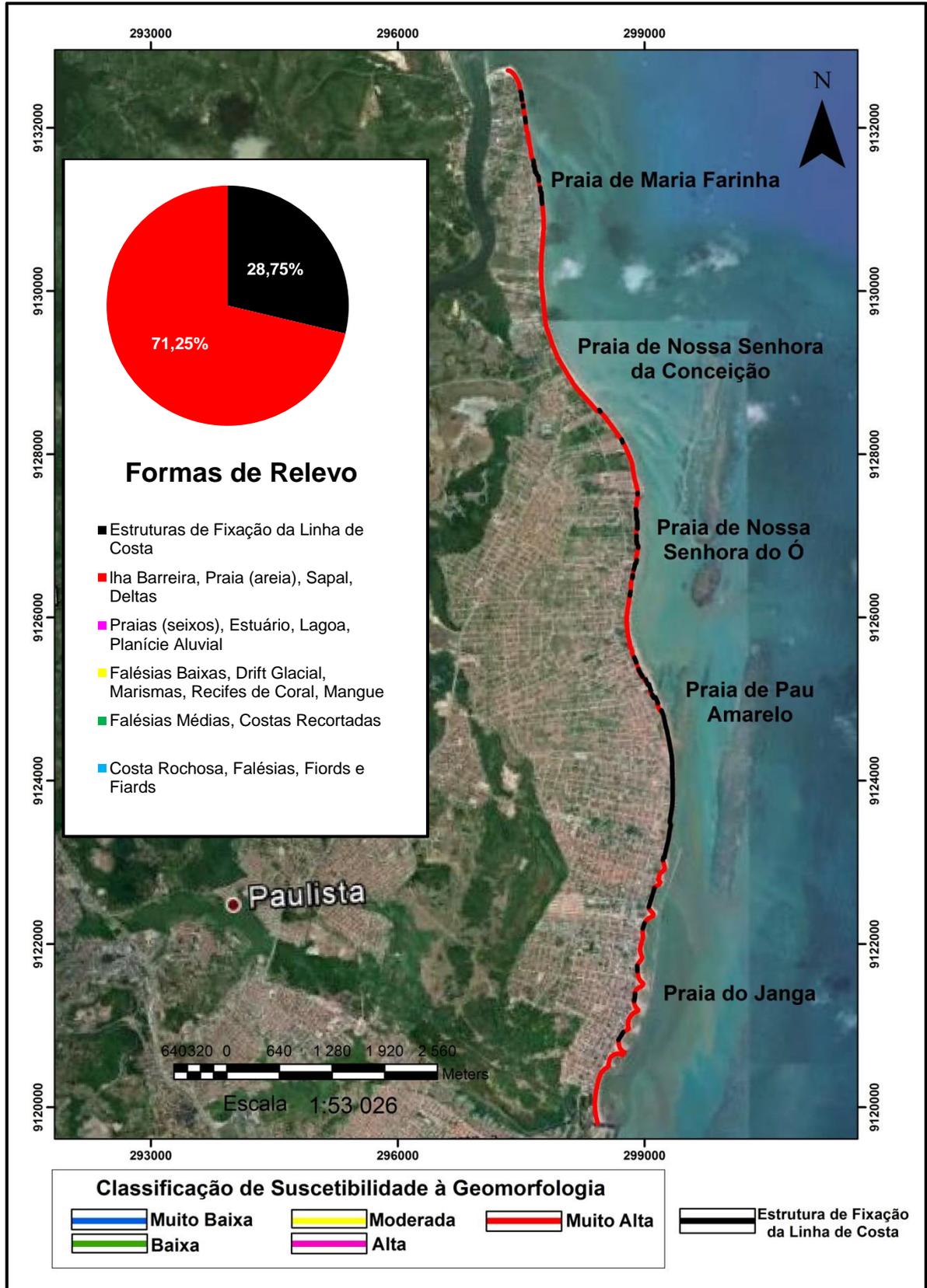


Figura 39 - Mapa do litoral de Paulista com a classificação de suscetibilidade à geomorfologia.

6.1.3 Variação da Linha de Costa

Na observação das linhas de costa do litoral paulistense (figs. 40, 41, 42 e 43) datadas de 1974, 1984 e 2009 são identificados segmentos da costa que sofreram erosão e outros que tiveram acreção ao longo do intervalo de tempo (35 anos) ocorrido entre os dados de base. Em uma comparação visual das diferentes linhas de costa é possível identificar que a linha de costa das praias de Maria Farinha, Conceição e Janga possuem segmentos progradados, isto é, trechos em que a linha de costa atual avançou em direção ao mar. Mas também há extensões de linha de costa nestas praias que foram erodidas. Já em toda a extensão de linha de costa das praias de Nossa Senhora do Ó e Pau Amarelo apresenta erosão.

A partir do método LRR aplicado foi obtida a média da taxa de variação da linha de costa (tabela 14) do município de Paulista, onde valores positivos representam progradação e resultados negativos significam erosão. Da média apresentada pelo *software* DSAS foram extraídos os valores de incerteza provenientes do erro calculado do georreferenciamento das informações cartográficas.

Tabela 14 - Média da taxa de variação da linha de costa (metros/ano) para as praias da área de estudo, excluídos os valores de incerteza referente ao georreferenciamento.

Praias	Taxa Média LRR	Situação
Maria Farinha 1	- 1,18	erosão
Maria Farinha 2	+ 0,61	acreção
Maria Farinha 3	- 0,20	erosão
Maria Farinha 4	- 0,65	erosão
Nossa Sra. da Conceição 1	- 1,58	erosão
Nossa Sra. da Conceição 2	+ 0,86	acreção
Nossa Senhora do Ó	-1,06	erosão
Pau Amarelo	-1,97	erosão
Janga 1	-0,94	erosão
Janga 2	+ 1,62	acreção

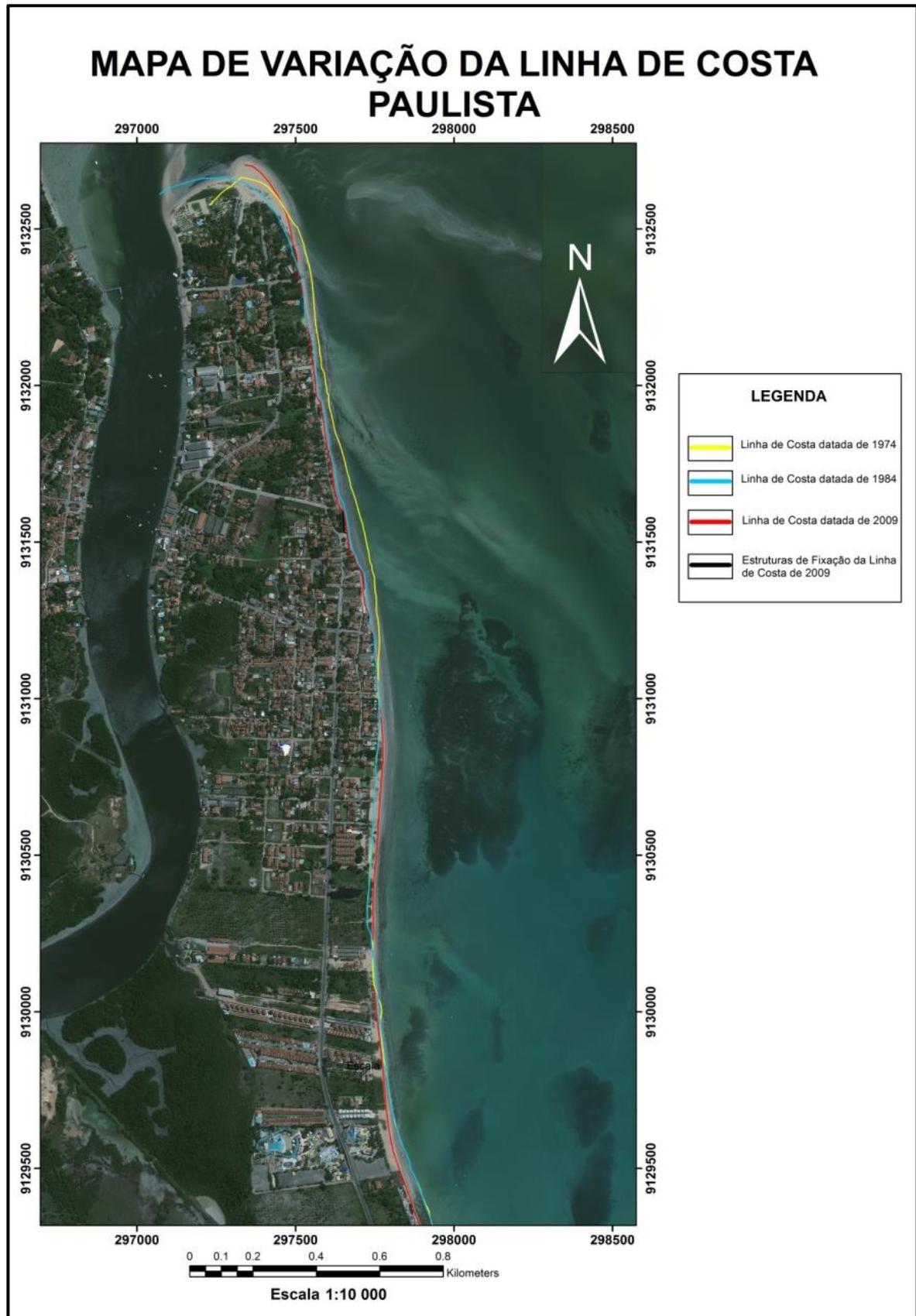


Figura 40 – Mapa das linhas de costa de Maria Farinha, Paulista.

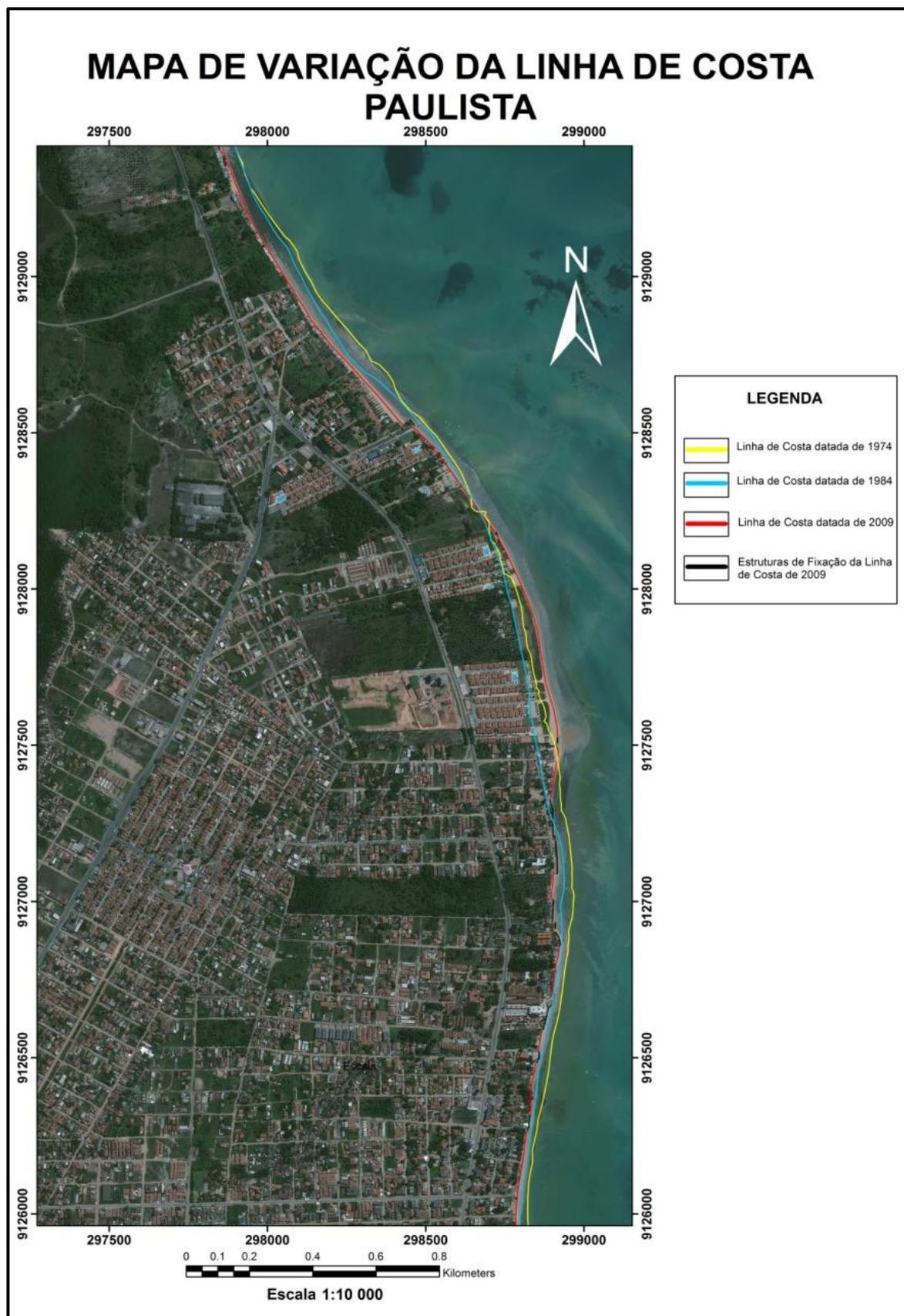


Figura 41 – Mapa das linhas de costa de Maria Farinha e Nossa Sra. da Conceição, Paulista.

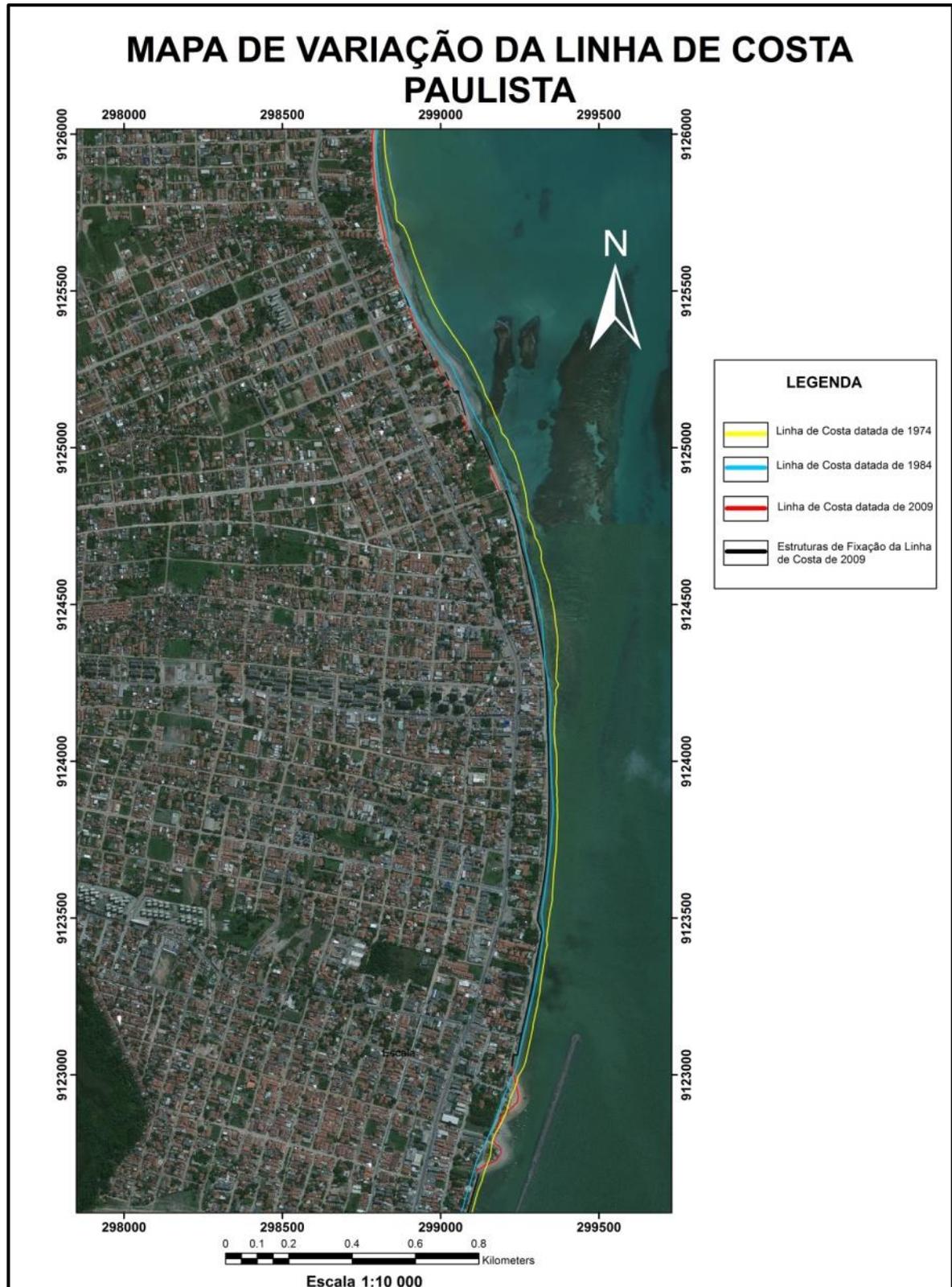


Figura 42 – Mapa das linhas de costa de Nossa Sra. do Ó, Pau Amarelo e Janga, Paulista.

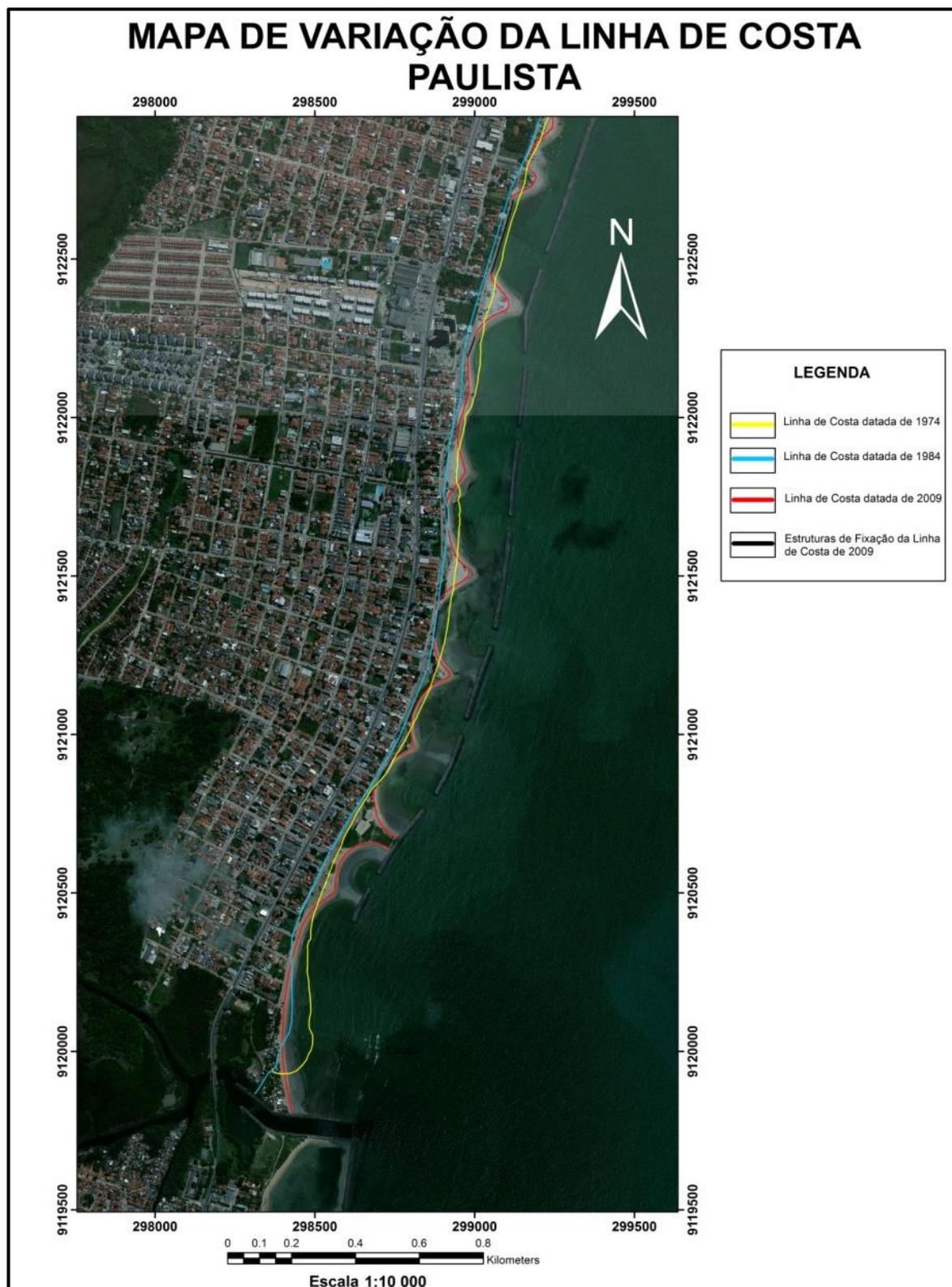


Figura 43 – Mapa das linhas de costa do Janga, Paulista.

Os valores que constituem o pior cenário, isto é, que possui os maiores índices são os resultados da regressão linear (LRR), nele é possível confirmar as observações visuais de segmentos com acreção e com erosão ao longo do litoral. Também

podemos constatar que os valores de perda de sedimentos das praias são maior que os resultados de acresção, com exceção da praia do Janga. Assim, mesmo com trechos com acresção, uma determinada praia ainda continua classificada como erosiva. Como exemplo, a praia de Maria Farinha possui um segmento com taxa de erosão de 1,18 m/ano, enquanto outro segmento desta mesma praia tem taxa de acreção de 0,61 m/ano. Com o resultado final de -0,57 m/ano, a praia de Maria Farinha continua classificada como erosiva. Os resultados gerais quantificam todos os seguimentos de uma mesma praia e indicam sua característica geral (acreção ou erosão) para os dois métodos estatísticos. Esta análise para as praias estudadas podem ser observados na tabela 15.

Tabela 15 - Média geral da taxa de variação da linha de costa (metros/ano) para as praias da área de estudo, excluídos os valores de incerteza referente ao georreferenciamento.

Praias	Média Geral LRR	Situação Geral
Maria Farinha	- 1,42	Erosão
Nossa Senhora da Conceição	-0,72	Erosão
Nossa Senhora do Ó	-1,06	Erosão
Pau Amarelo	-1,97	Erosão
Janga	+ 0,68	Acreção

A partir dos resultados de erosão e acresção encontrados (tabela 14) em comparação aos valores do catálogo (tabela 4) dos índices de classificação da suscetibilidade costeira à variação da linha de costa, o litoral de Paulista (fig. 44) possui grau de suscetibilidade muito baixo para os segmentos que apresentaram acreção e suscetibilidade baixa, moderada e muito alta para os trechos que exibiram erosão. Como os resultados da variação da linha de costa de Paulista mostram uma costa com aspecto erosivo, visto que a linha de costa é composta por 28,75% de estruturas de proteção costeira e 49,15% sofreu erosão, apenas 22, 10% da linha de costa apresentou acreção, como é possível visualizar no diagrama. Desta forma, é possível afirmar que diante de um cenário de elevação do nível do mar pessimista que se traduz em uma subida de 0,98 m, este litoral sofrerá perdas patrimoniais.

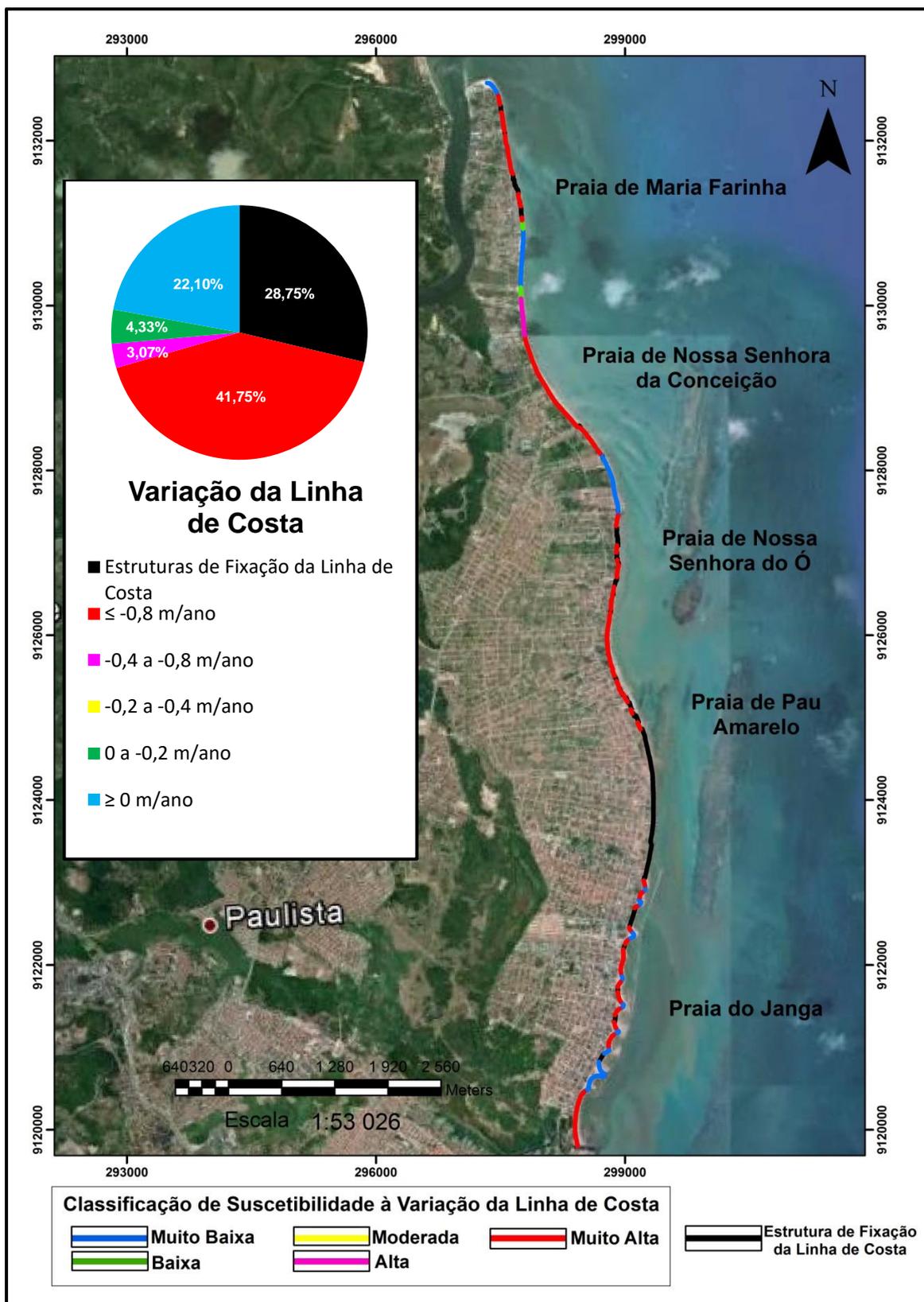


Figura 44 - Mapa do litoral de Paulista com a classificação de suscetibilidade à variação da linha de costa.

6.1.4 Variação Relativa do Nível do Mar

Devido a falta de informações locais a cerca dos quantitativos referentes a concentração dos gases estufa e outros fatores que contribuem para a elevação do nível do mar, ou ainda, dados de marégrafos exibindo os valores da altura do nível do mar ao longo dos anos, na análise da suscetibilidade de Paulista referente a variação relativa do nível do mar foi utilizado o valor máximo de subida do nível do mar projetado pelo IPCC que é 0,98 m entre 2013 e 2100, o que significa uma elevação no nível do mar da ordem de 11,26 mm/ano.

Para avaliar o grau de suscetibilidade em relação a variação relativa do nível do mar foi efetuada a comparação entre os dados projetados até 2100 (IPCC, 2013) e os dados atuais (1992 a 2009) publicados por Nicholls e Cazenave (2010), os quais foram utilizados como valores de referência (tabela 5). Com isso obteve-se como resultado da análise do grau de suscetibilidade o valor cinco, que corresponde a suscetibilidade muito alta para as praias de Paulista, que equivale a 71,25% da linha de costa.

A elevação do nível relativo do mar pode ocasionar alteração da dinâmica das ondas, isto é, pode ocorrer modificações na intensidade das correntes longitudinais e no transporte de sedimentos. Também pode acontecer alteração na área de ação das ondas, ou seja, haver a progradação do sistema de espraiamento em direção ao continente com o *swash e backwash* atuando em áreas onde anteriormente não agia como sobre a berma, na base da duna, ou mesmo, alcançar o topo da duna promovendo eventos de sobrelavagem. Esses efeitos ocasionados pela subida do nível do mar são eventos com caráter erosivo, e promovem o recuo da linha de costa. Além desses resultados também pode deflagar inundações na costa.

Diante do resultado de suscetibilidade muito alta para o item variação relativa do nível do mar no litoral estudado, tem-se como indicativo a efetivação de processos erosivos e/ou de inundação decorrentes da elevação do nível do mar. Este resultado pode ser visualizado no mapa de suscetibilidade em relação a variação relativa do nível do mar (fig. 45).

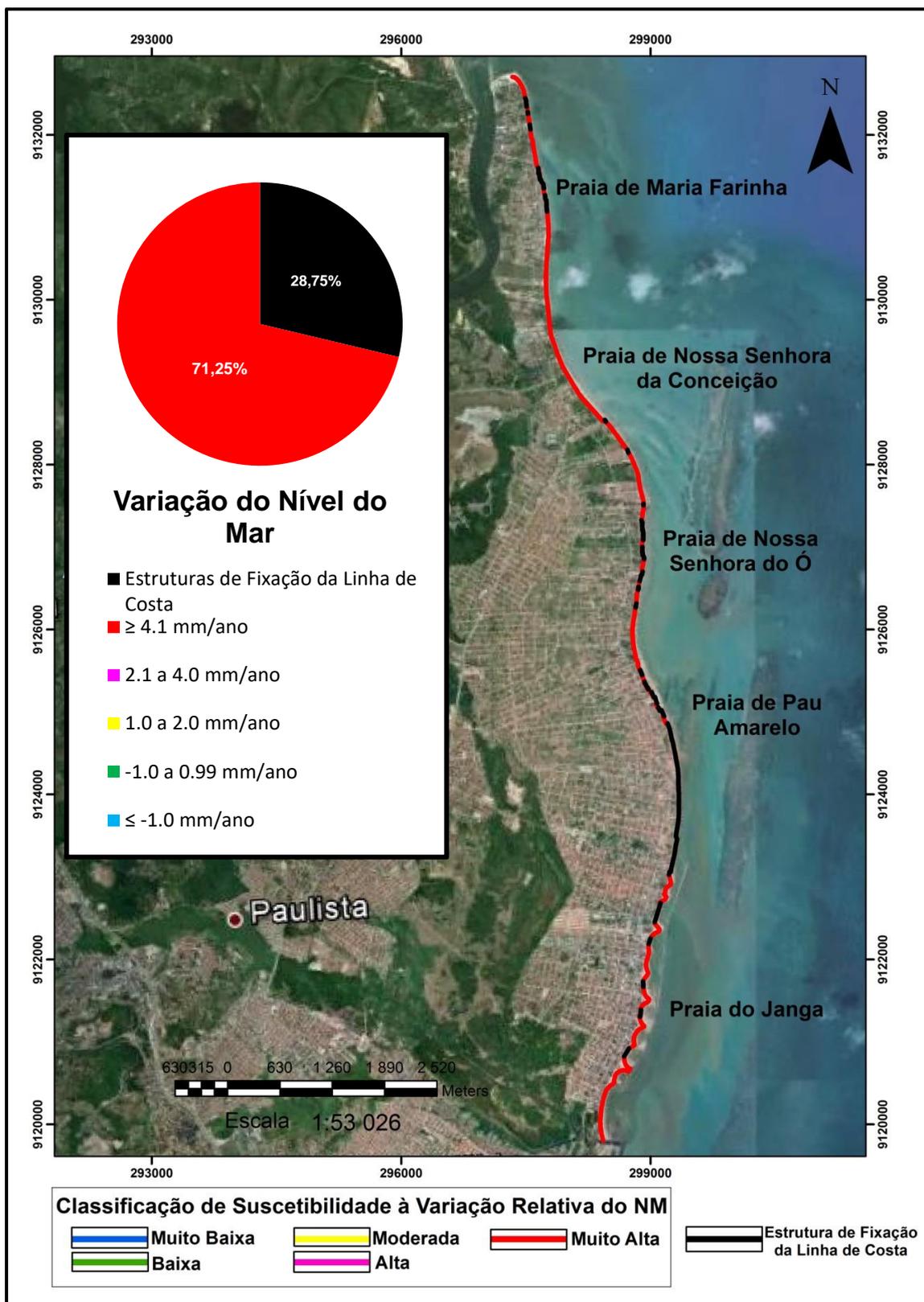


Figura 45 – Mapa do litoral de Paulista com a classificação de suscetibilidade à variação relativa do nível do mar.

6.1.5 Altura da Maré

O litoral de Paulista possui regime de mesomaré com período médio de 12.42 horas. As marés são do tipo semi-diurna e apresenta duas preamares e duas baixamar (fig. 46 e 47). A maré alcança altura máxima de 2,77 m durante o período de sizígia e altura máxima de 1,34 m no período de quadratura.

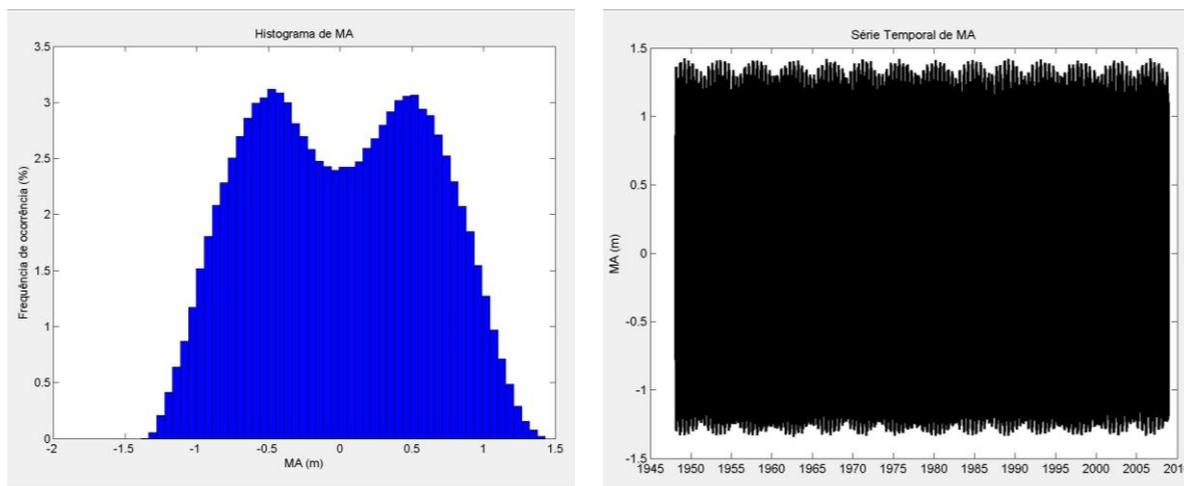


Figura 46 – Histograma da maré astronômica semidiurna para as praias de Paulista.

Figura 47 - Série temporal de maré astronômica (1948-2008), de Paulista.

As correntes de maré são agentes ativos de transformação da costa. A amplitude das marés está ligada a eventos de inundações e de erosão. Embora grande parte da energia contida nas marés seja dissipada pelas ondas, as marés causam erosão em praias ou falésias erodíveis no período de maré alta (Bird, 2008), também delineiam uma zona ampla de áreas úmidas entre-marés, que serão mais suscetíveis à inundação com a elevação do nível do mar.

Em águas oceânicas, a maré se propaga como uma onda progressiva, e valores máximos de correntes de maré são observados na baixamar e na preamar, e a inversão da direção ocorre aproximadamente na metade do tempo da vazante e da enchente.

Para marés semi-diurnas o campo de velocidades terá dois máximos e dois mínimos entre os dois primeiros picos. A preamar poderá ocorrer lentamente ou rapidamente. Quanto maior a velocidade, maior será a erosão no litoral.

A alta amplitude de maré está associada às correntes de maré, assim quanto maior a amplitude da maré mais forte são as correntes de marés, que desta forma serão capazes de erodir e transporte de sedimentos. Portanto, costas onde incidem macromaré são mais suscetíveis à erosão do que aquelas onde atuam marés com menor amplitude (Gornitz, 1991).

De acordo com a classificação proposta por Davies (1980) o regime de maré do litoral estudado pode ser denominado com mesomaré. Assim, de acordo com o catálogo (tabela 6) que descreve os graus de suscetibilidade, as praias de Paulista possuem grau de suscetibilidade à altura das marés moderado. Desta forma, o potencial erosivo contido nas marés do município estudado também é moderado concomitantemente com a amplitude da maré local.

No mapa (fig. 48), também é possível observar a distribuição da classificação de suscetibilidade à altura da maré ao longo de todo o litoral do município de Paulista, além de identificar quais as áreas fixadas da linha de costa e que por este motivo não são avaliadas.

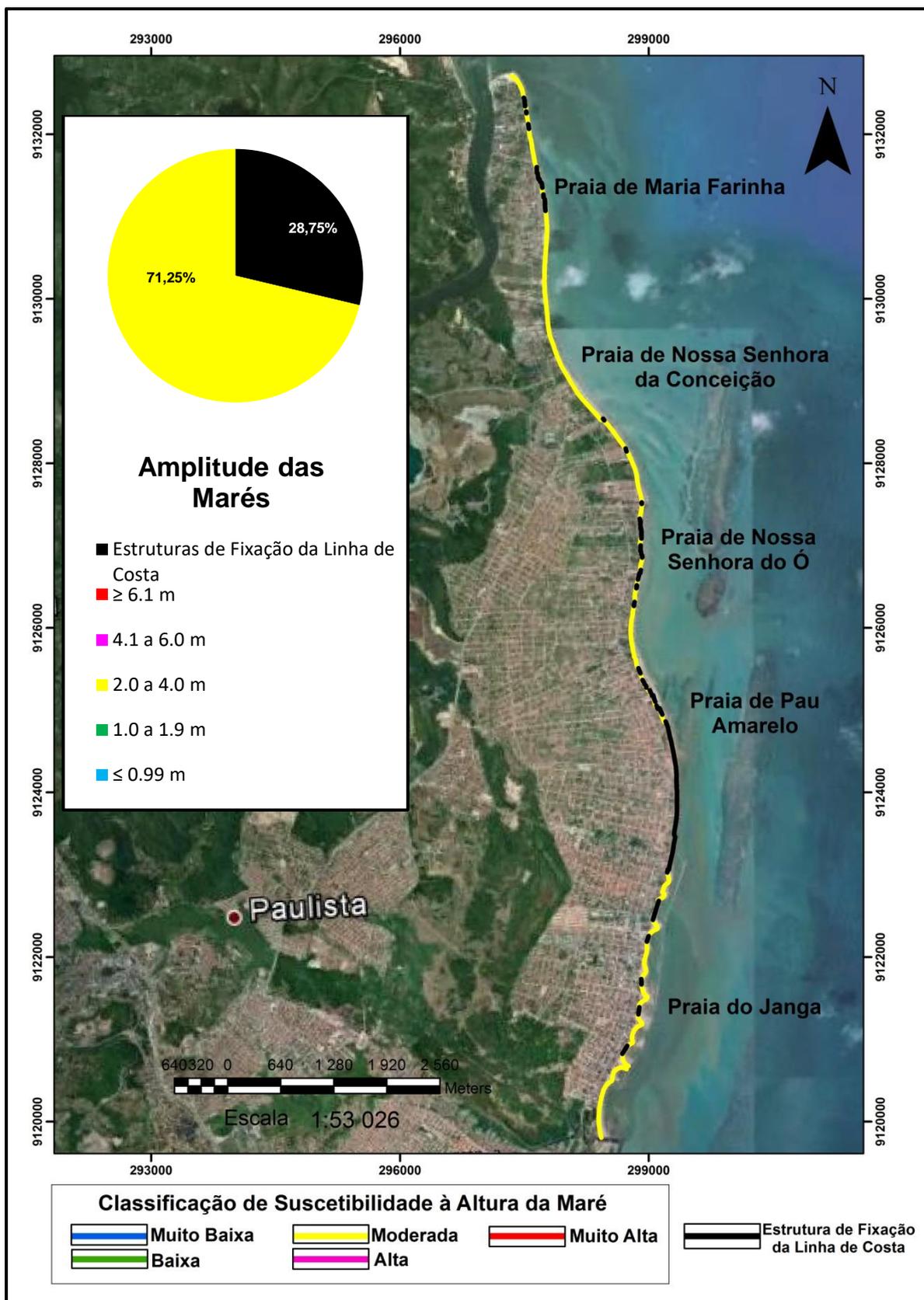


Figura 48 – Mapa do litoral de Paulista com a classificação de suscetibilidade à altura da maré.

6.1.6 Altura Máxima das Ondas

A estatística apresentada pelo SMC sobre o clima de ondas exibe alguns gráficos com os quais é possível visualizar os valores encontrados para a altura significativa da onda (H_s) para as praias do Janga, Pau Amarelo, Nossa Senhora do Ó, Nossa Senhora da Conceição e Marinha Farinha.

Na praia do Janga, a altura significativa da onda na plataforma interna (isóbata de 3,95m) apresenta valores entre 0,5m a 1,8m, entretanto 75% do clima de onda apresenta altura de onda com magnitude de 1,17m, 50% do clima de onda exibe altura significativa de ondas com valor de 1,06m e 25% do clima de onda apresenta ondulações com altura significativa de 0,92m (fig. 49). A altura máxima da onda (H_{max}) calculada segundo Komar (1998) é de 1,84m.

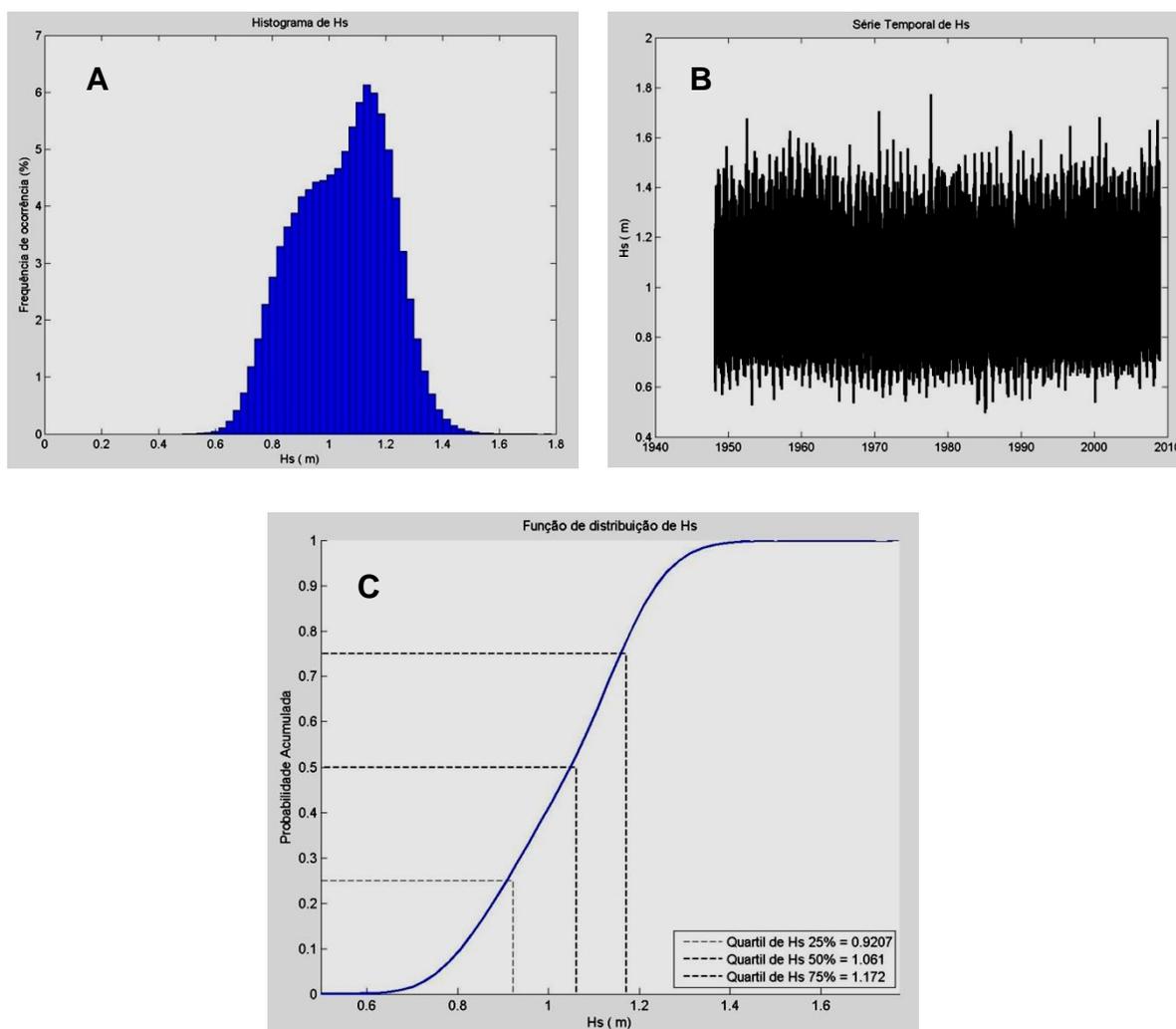


Figura 49 – Histograma (A), distribuição(B) e série temporal da altura significativa de onda (H_s)(C) na Praia do Janga.

Na praia de Pau Amarelo, a altura significativa da onda na zona interna aos recifes (isóbata de 2,85m) apresenta valores entre 0,3m a 1,6m, entretanto 75% do clima de onda apresenta altura de onda com magnitude em torno de 0,88m, 50% do clima de onda apresenta ondas com altura significativa com valor de 0,78m e 25% do clima de onda apresenta ondulações com altura significativa de 0,69m (fig. 50). A altura máxima da onda (H_{max}) calculada segundo Komar (1998) é de 1,38m.

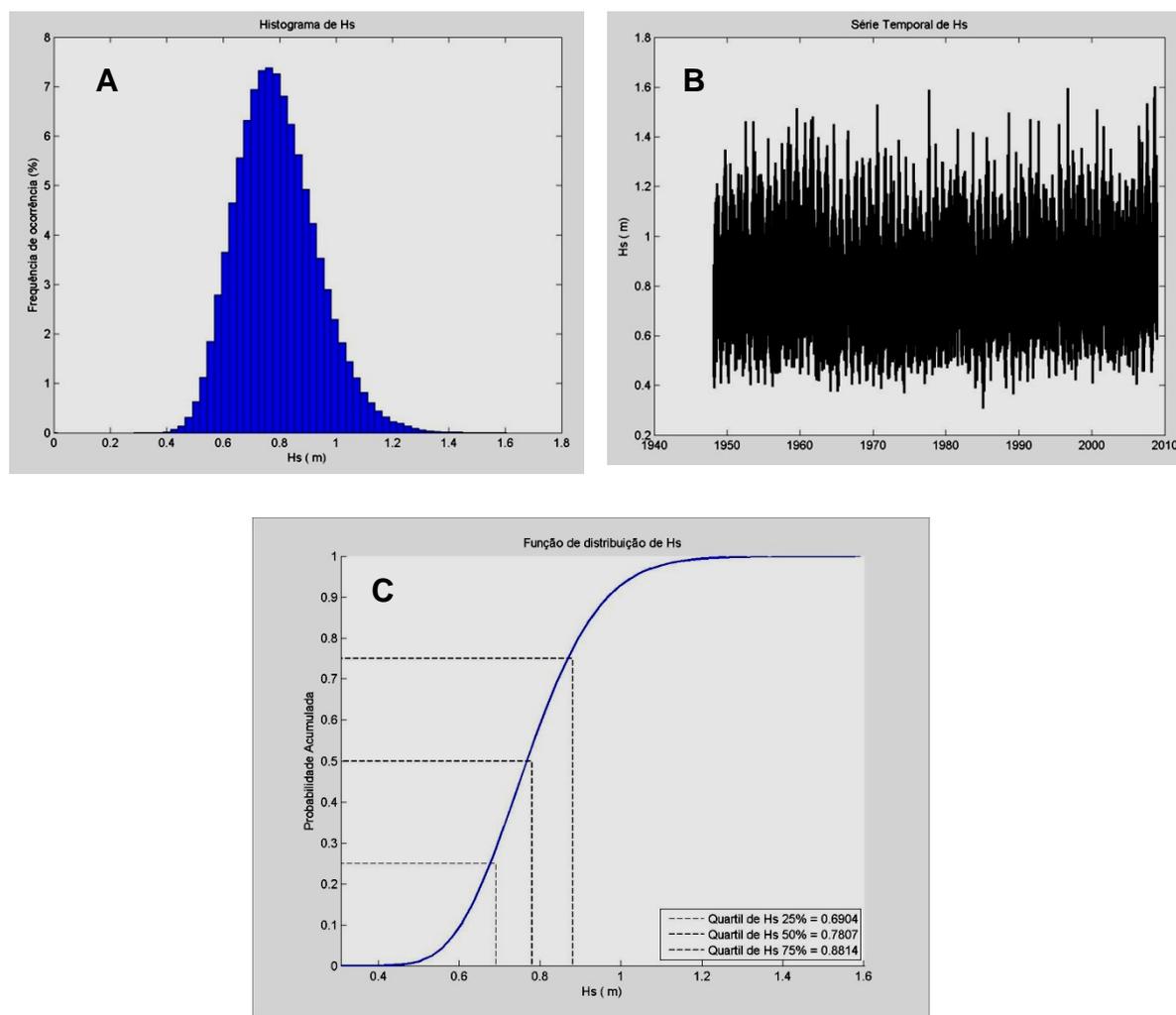


Figura 50 – Histograma (A), distribuição(B) e série temporal da altura significativa de onda (Hs)(C) na Praia do Pau Amarelo.

Na praia de Nossa Senhora do Ó, a altura significativa da onda entre a linha de costa e os recifes (isóbata de 3,01m) apresenta valores entre 0,2m a 1,07m, entretanto 75% do clima de onda apresenta altura de onda com magnitude em torno de 0,64m, 50% do clima de onda apresenta ondas com altura significativa com valor de 0,58m e

25% do clima de onda apresenta ondulações com altura significativa de 0,51m (fig. 51). A altura máxima da onda (H_{max}) calculada segundo Komar (1998) é de 1,01m.

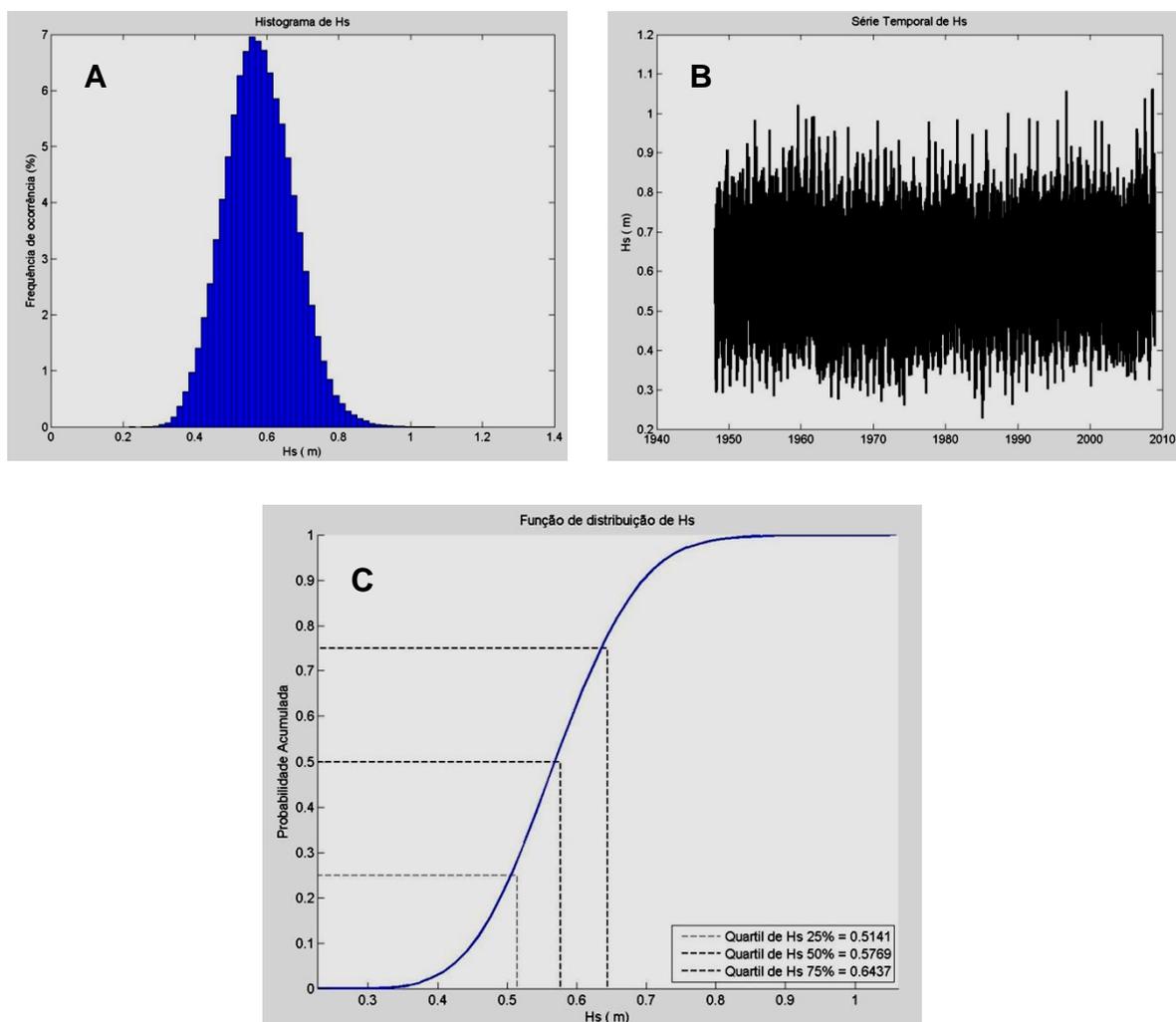


Figura 51 – Histograma (A), distribuição(B) e série temporal da altura significativa de onda (Hs)(C) na Praia de Nossa Senhora do Ó.

Na praia de Nossa Senhora da Conceição, a altura significativa da onda na plataforma interna (isóbata de 1,80m) apresenta valores entre 0,38m a 1,50m, entretanto 75% do clima de onda apresenta altura de onda com magnitude em torno de 0,63m, 50% do clima de onda apresenta ondas com altura significativa com valor de 0,48m e 25% do clima de onda apresenta ondulações com altura significativa de 0,33m (fig. 52). A altura máxima da onda (H_{max}) calculada segundo Komar (1998) é de 1,35m.

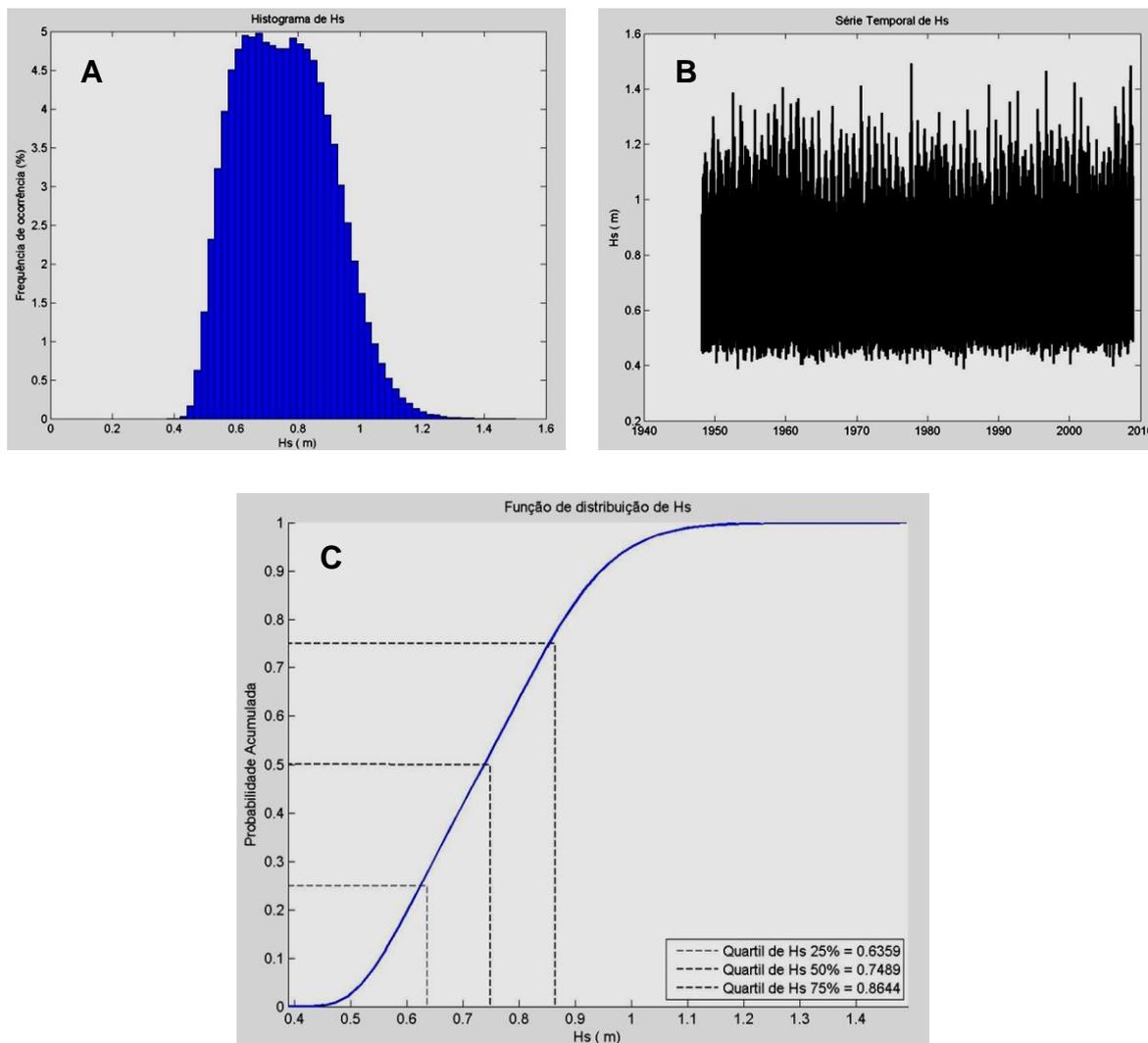


Figura 52 – Histograma (A), distribuição(B) e série temporal da altura significativa de onda (H_s)(C) na Praia Nossa Senhora da Conceição.

Na praia de Maria Farinha, a altura significativa da onda na zona entre a linha de costa e os recifes (isóbata de 1,85) apresenta valores entre 0,3m a 1,1m, entretanto 75% do clima de onda apresenta altura de onda com magnitude em torno de 0,69m, 50% do clima de onda apresenta ondas com altura significativa com valor de 0,51m e 25% do clima de onda apresenta ondulações com altura significativa de 0,32m (fig. 53). A altura máxima da onda (H_{max}) calculada segundo Komar (1998) é de 1,08m.

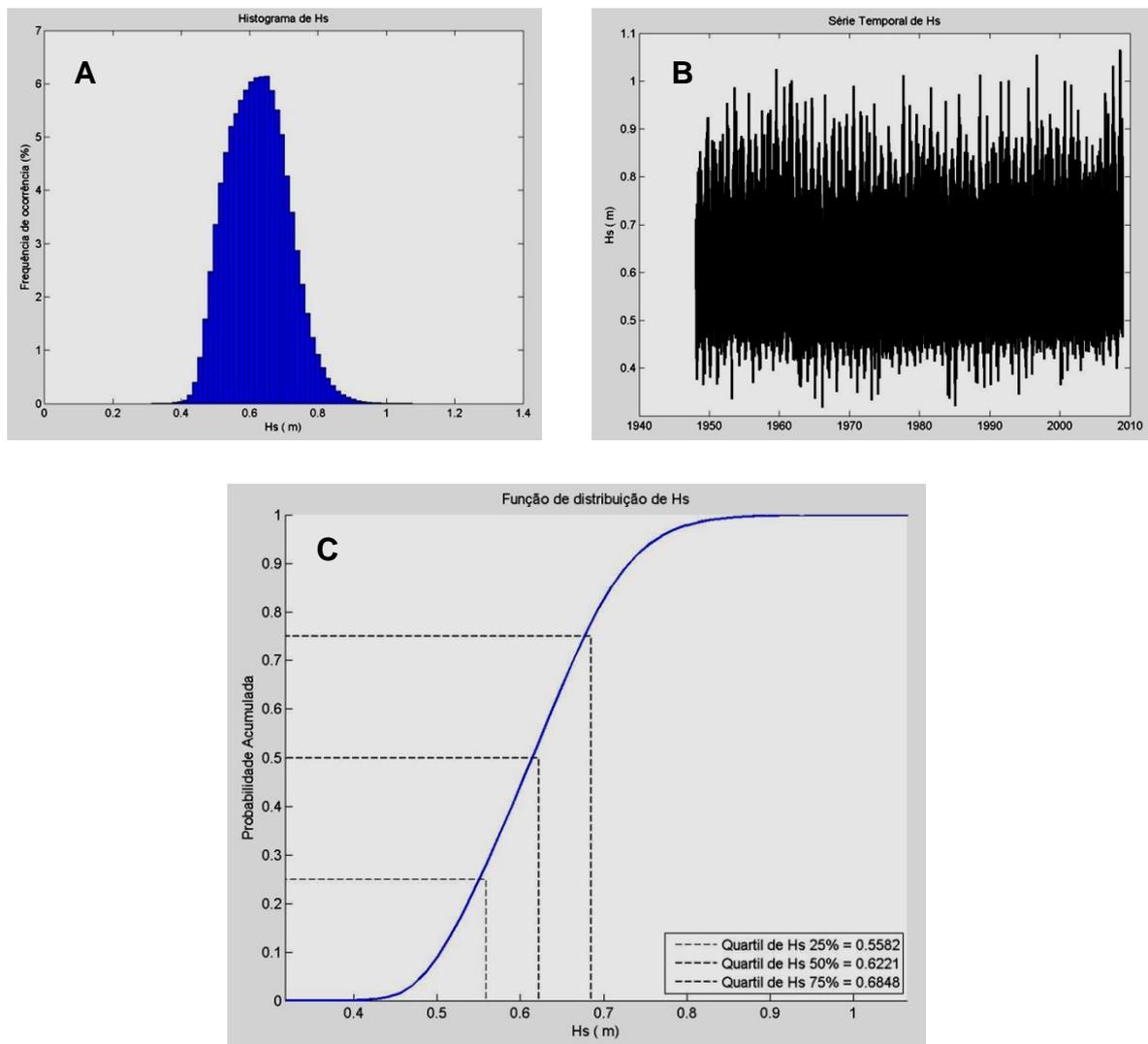


Figura 53 – Histograma (A), distribuição(B) e série temporal da altura significativa de onda (H_s)(C) na Praia de Maria Farinha.

Como foi possível observar nos gráficos, 75% dos valores encontrados da altura significativa de onda (H_s) para as praias do Janga, Pau Amarelo, Nossa Senhora do Ó, Nossa Senhora da Conceição e Maria Farinha encontram-se dentro do intervalo de 0,69m a 1.17m e o valor de altura máxima da onda calculada segundo Komar (1998) apresentam valores de 1,01m a 1,84m. A comparação entre os valores referência para a variável altura máxima da onda (H_{max}) por Gornitz (1991) e os valores encontrados na área estudada, indicam que todas as praias da cidade do Paulista têm grau de suscetibilidade baixo, que corresponde a 71,25% da linha de costa como é possível visualizar no mapa (fig. 54).

A energia da onda $E = 1/8 (\rho g \cdot H^2)$ é diretamente proporcional ao quadrado da altura da onda, assim quanto maior for a altura da onda maior será a energia liberada. O espraiamento é a fase final de dissipação da energia da onda e seu alcance depende da quantidade de energia da onda desprendida na face da praia. A velocidade da onda $C = \sqrt{g \cdot (2 \cdot H)}$ também está relacionada à altura da onda, desta forma quanto maior a altura da onda maior será sua velocidade. Por fim, o volume de sedimento transportado $Q = 3,4 \cdot (E \cdot C) \cdot \sin \alpha \cdot \cos \alpha$ pela deriva litorânea considera como elementos de cálculo a energia e velocidade da onda. Pode-se afirmar que a altura da onda é proporcional à capacidade de transporte de sedimento.

A energia e a velocidade da onda juntamente com a capacidade de transporte de sedimento pela deriva litorânea estão diretamente relacionadas à altura da onda. Assim quando maior for a altura da onda maior será sua capacidade de erosão da praia. Como as ondas na área estudada são baixas, seu poder erosivo será reduzido.

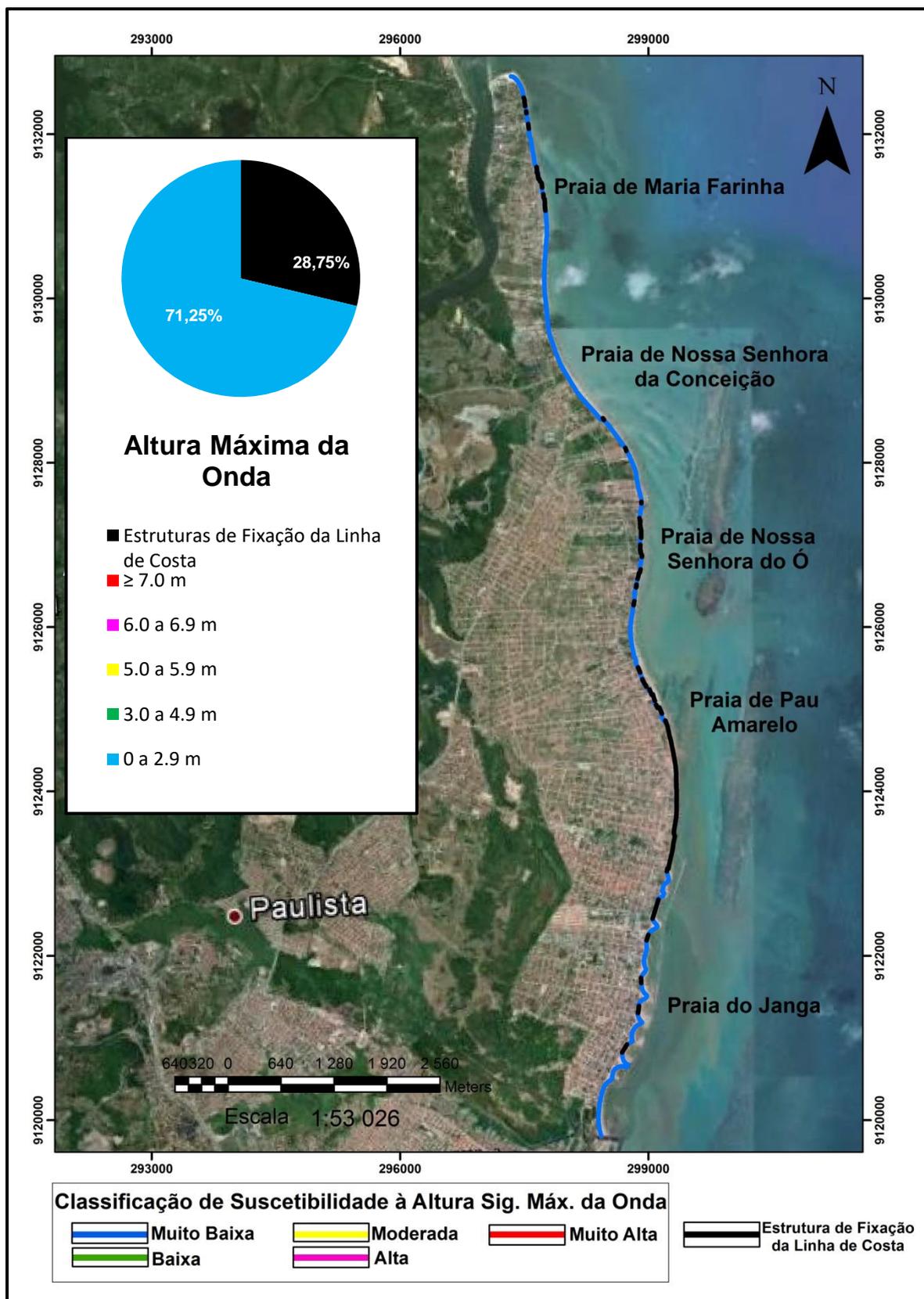


Figura 54 – Mapa do litoral de Paulista com a classificação de suscetibilidade à altura máxima da onda (H_{max}).

6.1.7 Elevação da Costa

A superfície de todo o litoral da cidade do Paulista é extremamente baixa (fig. 55) com cotas em relação ao nível do mar variando de 0,5m a 5m em maior parte da extensão. Apenas em trechos localizados a oeste é possível observar áreas com altura alternando entre 10m a 40m.

Na análise da suscetibilidade da declividade da costa, busca-se relacionar a altura da superfície emersa com a probabilidade de inundação que este litoral possa sofrer mediante uma progressiva elevação do nível do mar ou ainda por eventuais tempestades ou ressacas.

Gornitz (1991) estabeleceu uma escala de alturas da superfície costeira na qual, áreas com altitudes inferiores a 5m tem alto grau de suscetibilidade muito alto (fig. 56) como é o caso do litoral estudado, já que toda a extensão do litoral tem altura igual ou inferior a 5m. Assim, 71,25% do litoral possui alto grau de suscetibilidade em função da baixa elevação que correspondente a uma enorme possibilidade de sofrer inundação permanente ou eventual com as mudanças no nível do mar.

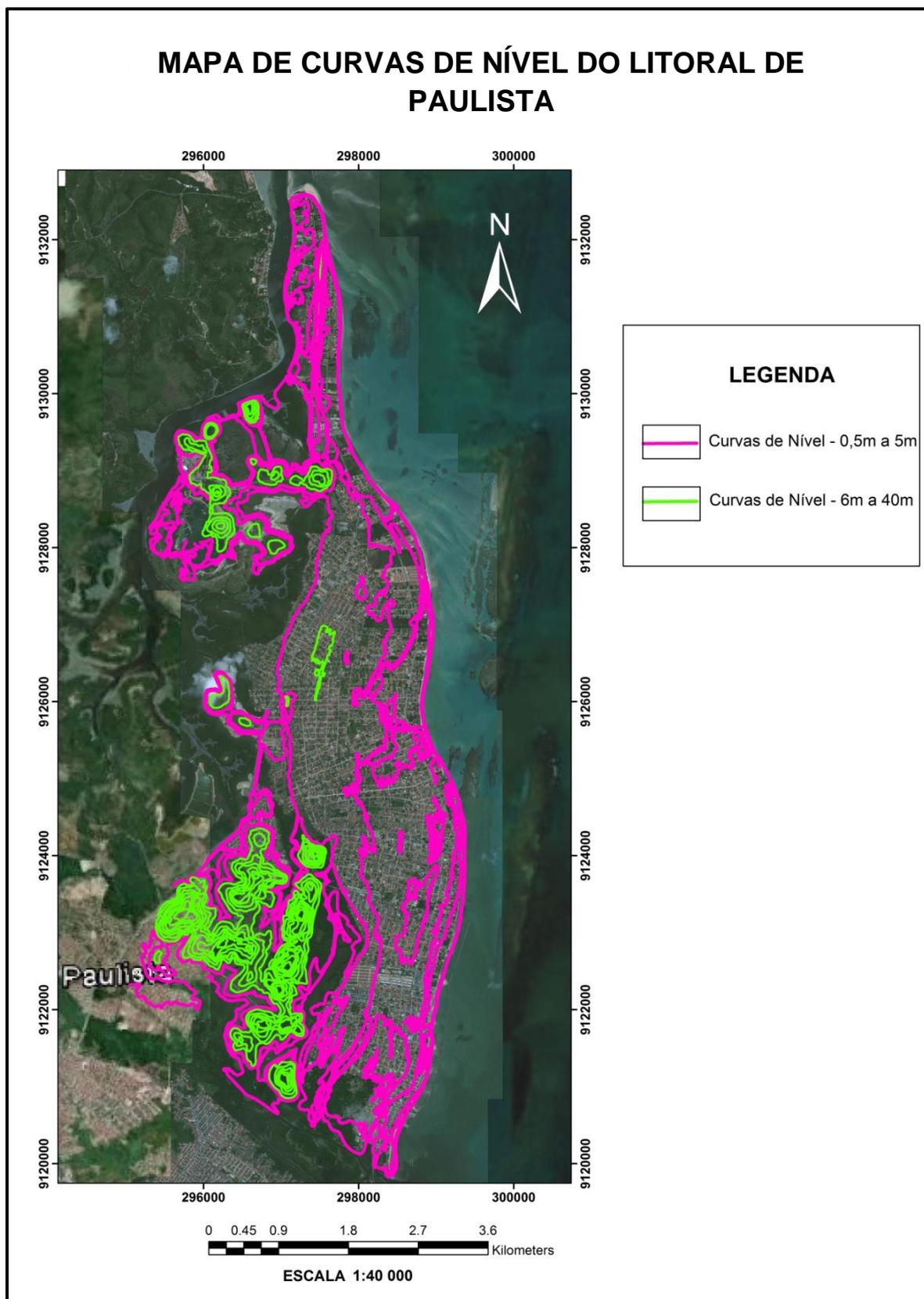


Figura 55 – Mapa de curvas de nível do litoral de Paulista.

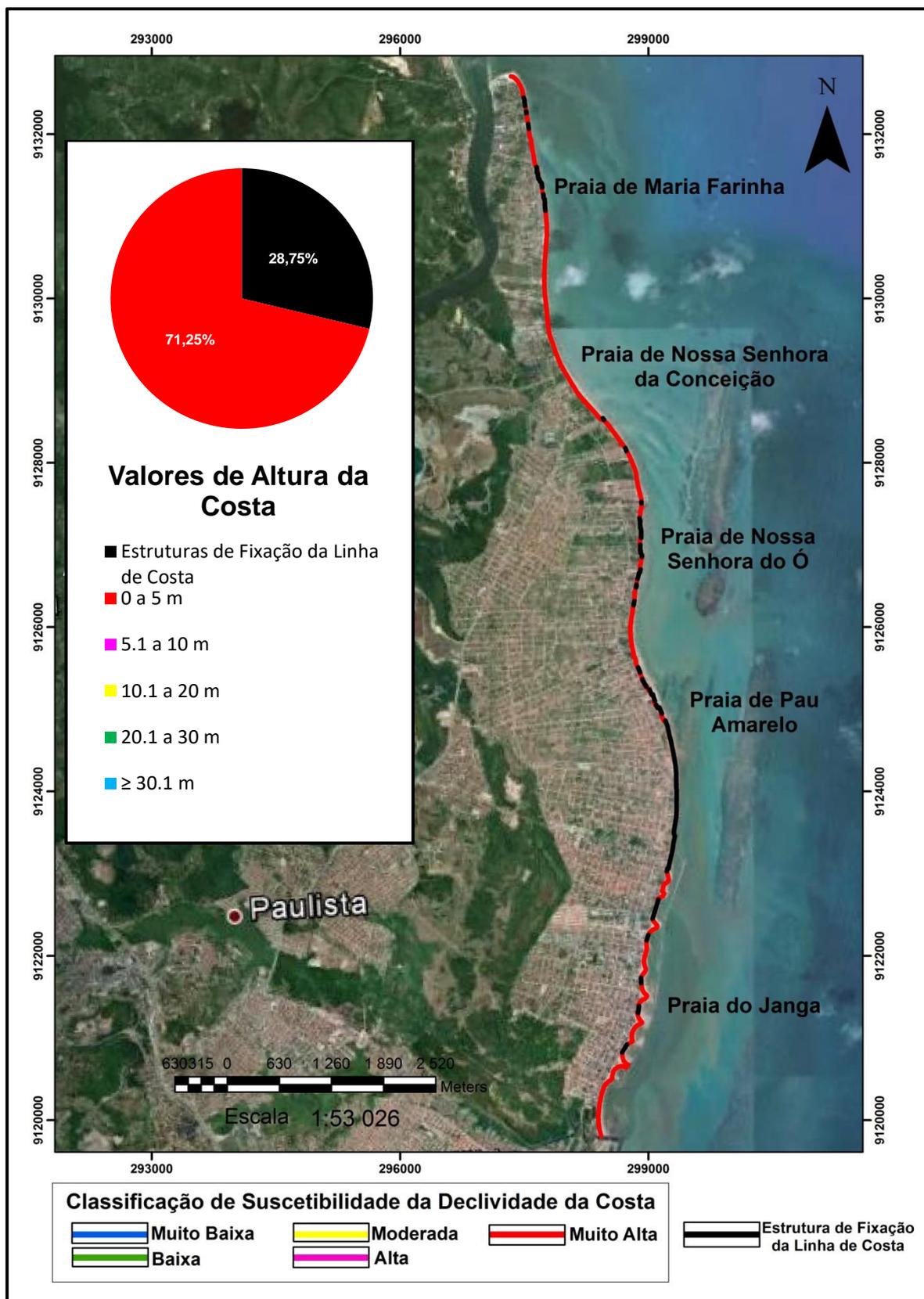


Figura 56 – Mapa do litoral de Paulista com a classificação de suscetibilidade à declividade da costa.

6.1.8 Cálculo Geral da Suscetibilidade Costeira

A classificação geral da suscetibilidade costeira para as praias do município de Paulista (tabela 17) foi encontrada através do algoritmo que relaciona de todos os índices de suscetibilidade analisados. Entretanto, como os valores calculados resultaram em números adimensionais, foi necessária a utilização de tratamento estatístico (tabela 16) com o cálculo de quartis e a identificação dos valores mínimo e máximo. Gornitz (1991) propôs que o valor calculado para o terceiro quartil seja considerado o índice de suscetibilidade muito alta dentre os quartis calculados para a classificação geral de suscetibilidade.

Tabela 16 - Analogia entre os intervalos dos valores e os graus de suscetibilidade.

Intervalos	Grau de Suscetibilidade Geral
≤ 16,37	Muito Baixo
16,38 a 19,76	Baixo
19,77 a 27,94	Moderado
27,95 a 34,66	Alto
> 34,67	Muito Alto

Com os intervalos definidos para a suscetibilidade geral obteve-se a classificação geral da suscetibilidade (tabela 17) para o litoral de Paulista que apresenta a seguinte distribuição: muito baixa para 22,10% da linha de costa, moderada para 4,33%, alta para 3,07% e muito alta para 41,75%, considerado que 28,75% da linha de costa possui estrutura de fixação da costa. Essa distribuição pode ser visualizada através do mapa (fig.57).

Estes resultados mostram que a costa paulistense tem aptidão para erosão e inundação em níveis diferentes de acordo com a localização espacial dos resultados encontrados através do índice geral de suscetibilidade. As variáveis descreveram a partir das características físicas e hidrodinâmicas da área a relação entre agentes e efeitos resultantes.

Tabela 17 - Valores da Suscetibilidade Costeira Geral de Paulista.

Praias	Resultado dos Índices de Suscetibilidade							Classificação Geral da Suscetibilidade
	Geologia	Geomorfologia	Varição da Linha de Costa	Varição Relativa do Nível do Mar	Altura da Maré	Altura Máxima das Ondas	Declividade da Costa	
Maria Farinha 1	5	5	1	5	3	1	5	Muito Baixa
Maria Farinha 2	5	5	5	5	3	1	5	Muito Alta
Maria Farinha 3	5	5	2	5	3	1	5	Moderada
Maria Farinha 4	5	5	4	5	3	1	5	Alta
Nossa Sra. da Conceição 1	5	5	5	5	3	1	5	Muito Alta
Nossa Sra. da Conceição 2	5	5	1	5	3	1	5	Muito Baixa
Nossa Sra. do Ó	5	5	5	5	3	1	5	Muito Alta
Pau Amarelo	5	5	5	5	3	1	5	Muito Alta
Janga 1	5	5	5	5	3	1	5	Muito Alta
Janga 2	5	5	1	5	3	1	5	Muito Baixa

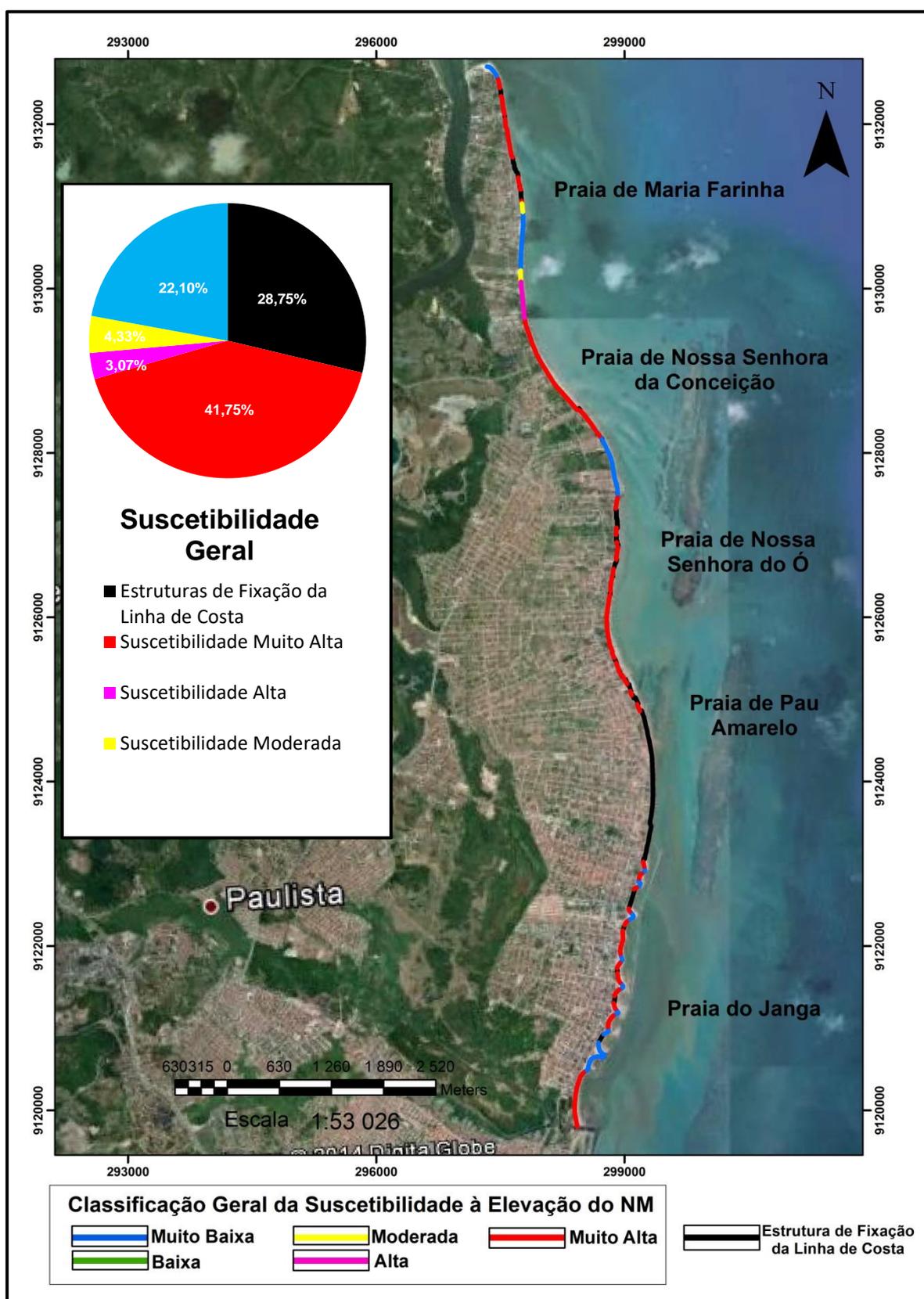


Figura 57 – Mapa do litoral de Paulista com a classificação geral da suscetibilidade à elevação do nível do mar.

A linha de costa da praia de Maria Farinha possui a seguinte distribuição percentual (fig. 58) de suscetibilidade: 37,59% de sua extensão foram classificadas como muito alto, 10,43% como alta, 14,71% como moderada, 22,30% como muito baixa. O trecho com estruturas de fixação da linha de costa corresponde a 14,97% do total de 4.255,28 metros de extensão.

A extensão de 1.785,60 metros de linha de costa da praia de Nossa Senhora da Conceição está repartida da seguinte forma em relação a suscetibilidade(fig. 58): 53,78% foi classificada como muito alta e 42,02% como muito baixa. O segmento de linha de costa fixado corresponde a 4,20%.

Em Nossa Senhora do Ó 61,15% da linha de costa tem suscetibilidade muito alta e 38,85% da extensão total possui obras costeiras para fixação da linha de costa (fig.58). A extensão total desta praia é de 1.530,34m.

A praia de Pau Amarelo tem extensão total de 1.779,91 metros dos quais 45,97% são considerados com alta suscetibilidade e 54,03% possuem obras de fixação da costa (fig.58).

Na praia do Janga que possui 5.116,87 metros de extensão, o percentual da suscetibilidade (fig. 58) está repartido da seguinte maneira: 33,77% foi considerado com muito alta suscetibilidade, 29,28% com muito baixa e 36,95% possui estruturas de fixação.

Através dos diagramas radiais (fig. 59 e 60) de cada praia é possível observar o comportamento de cada variável em relação à suscetibilidade. Por meio da análise das características de cada praia em relação a cada variável foi possível apontar quais os descritores que mais contribuíram para que a praia em questão fosse considerada com maior ou menor propensão a erosão e a inundação.

As variáveis geologia, geomorfologia, declividade da costa e variação do nível do mar obtiveram para todas as praias pontuação máxima. Assim características como menor resistência a ação hidrodinâmica associada às variáveis geologia e geomorfologia, baixa altura em relação ao nível do mar relacionada aos descritores declividade da costa e geomorfologia e previsão de alta taxa de subida do nível do mar e movimento descendente da crosta continental ou ascendência da bacia oceânica local agregada ao componente variação do nível do mar integram o conjunto de atributos que mais colaboraram com a disposição das praias estudadas a desenvolverem erosão e inundação com a subida do nível do mar.

Os descritores hidrodinâmicos, altura máxima da onda e altura da maré, obtiveram pontuação muito baixa e moderada, respectivamente, para todas as praias. Assim, é possível afirmar que os agentes de desagregação e transporte dos sedimentos tiveram baixa e moderada significância no desenvolvimento dos processos erosivos e de inundação da área relacionados à elevação do nível do mar.

Na análise do item variação da linha de costa foi observado comportamento diversificado entre as praias e na mesma praia. De forma geral, quando este descritor obteve grau muito baixo significou que a linha de costa progradiu ou houve acreção, e quando alcançou os valores moderado, alto e muito alto a linha de costa retrocedeu ou erodiu. O comportamento desta variável foi decisivo na classificação geral da suscetibilidade das praias estudadas, já que seu desempenho demonstra a tendência da linha de costa em desenvolver ou dar continuidade ao processo erosivo quando seu resultado apontou erosão. Quando os resultados encontrados foram de acreção em determinados seguimentos indicam pequena possibilidade de desenvolvimento de erosão na área.

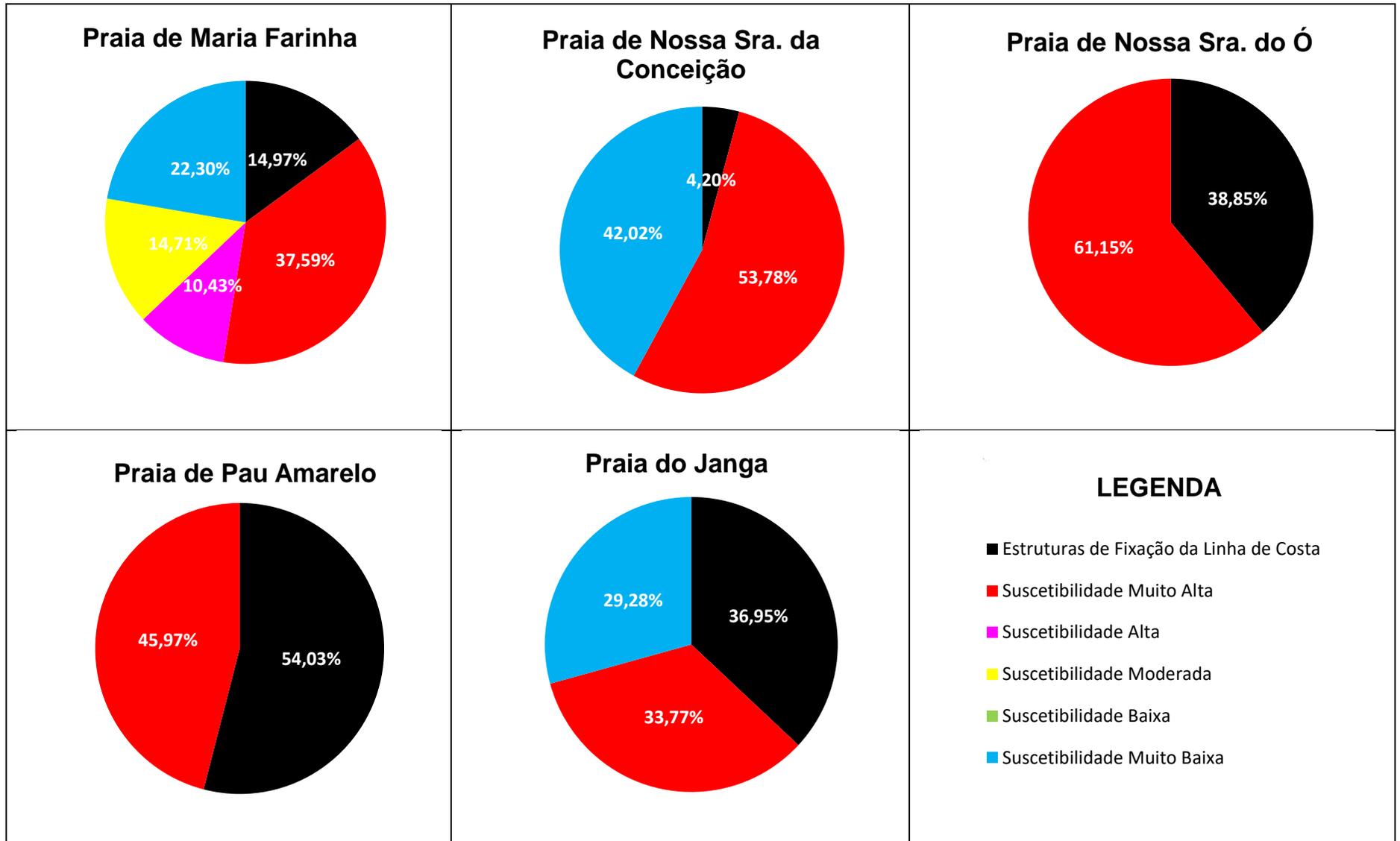
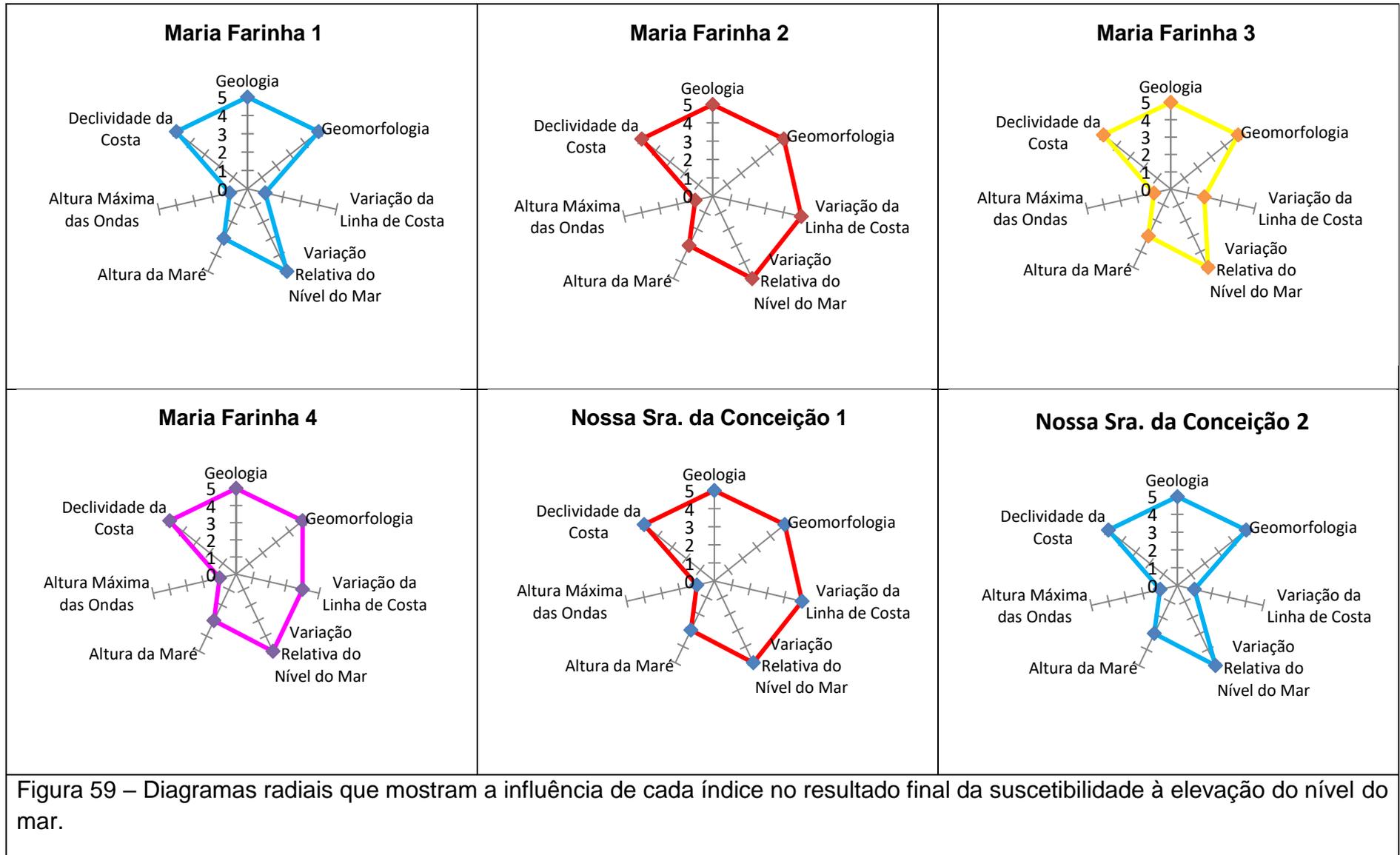
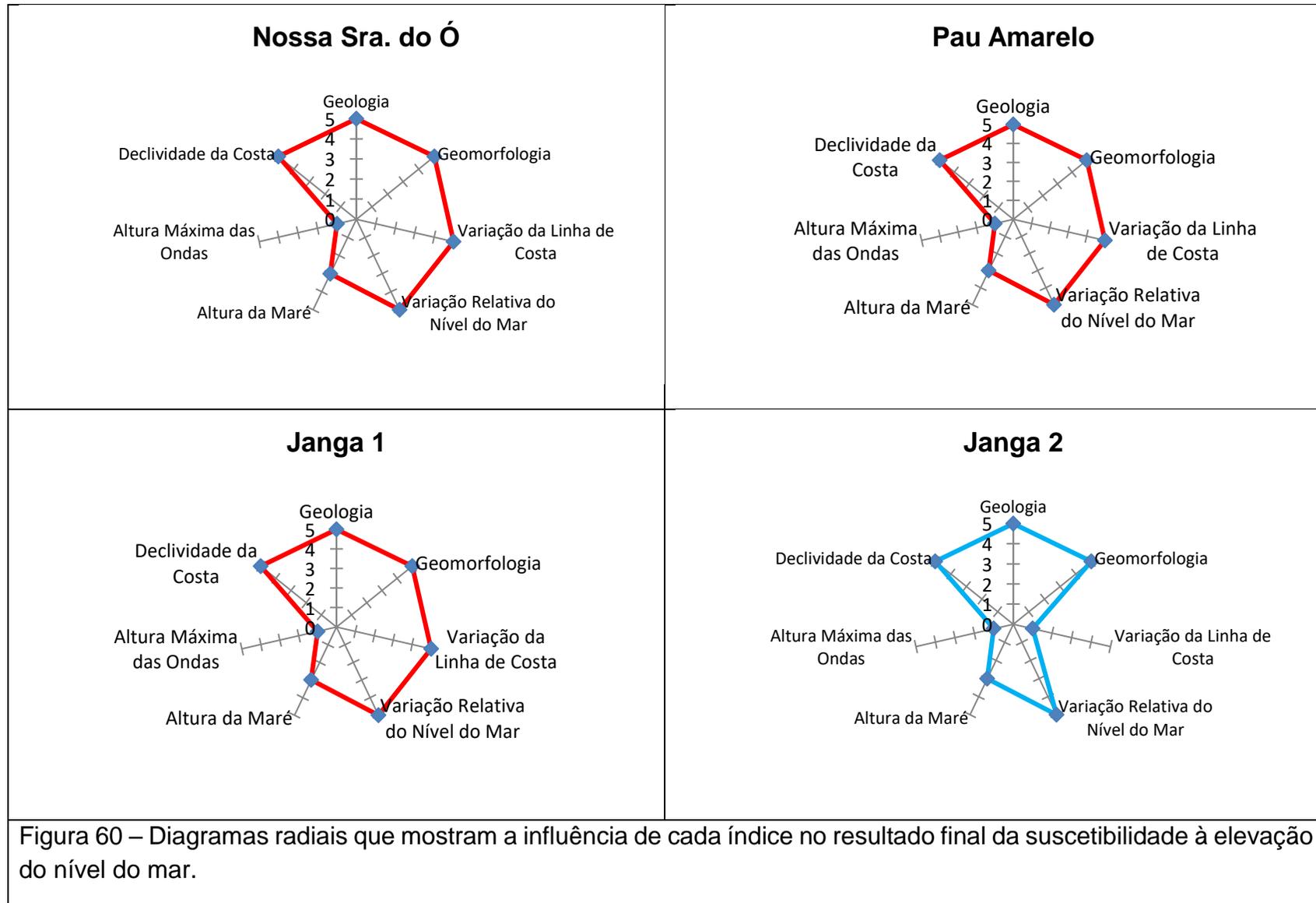


Figura 58 - Porcentagem do grau de suscetibilidade geral para cada praia do litoral de Paulista.





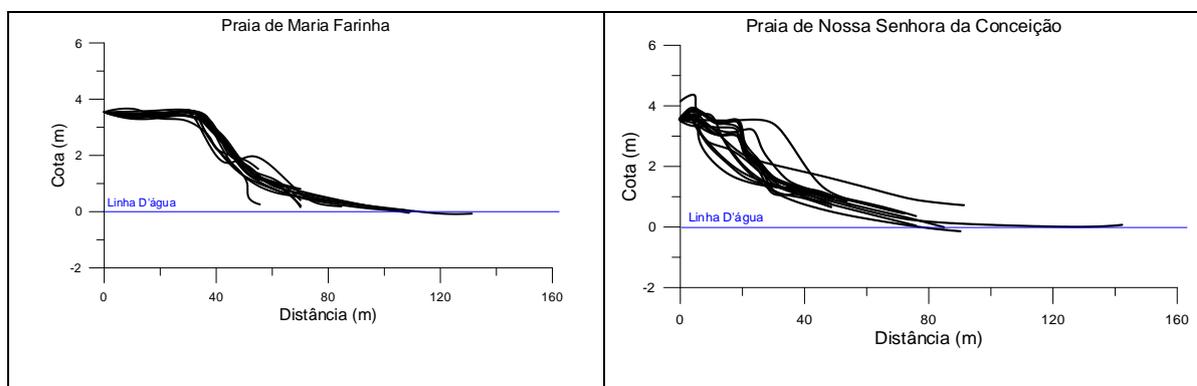
6.2 RETROGRADAÇÃO

Para subsidiar o cálculo de recuo da linha de costa do município de Paulista utilizando a Regra de Bruun (1962) foram produzidos vários produtos como confecção de mapa da linha de costa, mapa batimétrico, cálculo da profundidade de fechamento, processamento de dados de onda, entre outros. Estes resultados estão dispostos abaixo.

6.2.1 Morfologia Praiaal

As praias geralmente apresentam em perfil transversal aproximadamente côncavo. Sua inclinação varia devido à granulometria dos sedimentos que as constituem e as características do clima de onda incidente. O ângulo de incidência da onda tem papel preponderante no modelamento da zona costeira, uma vez que as suas variações determinam o sentido da corrente de deriva litorânea e conseqüentemente o transporte sedimentar longitudinal. Estas variações do ângulo de incidência são controladas pelas direções ou alinhamentos que as áreas costeiras assumem, em função das suas características geológicas-geomorfológicas, sendo significativas ao longo da costa.

Os perfis de praia do litoral de Paulista (fig. 61) apresentam configuração morfodinâmica de praias modificadas por marés.



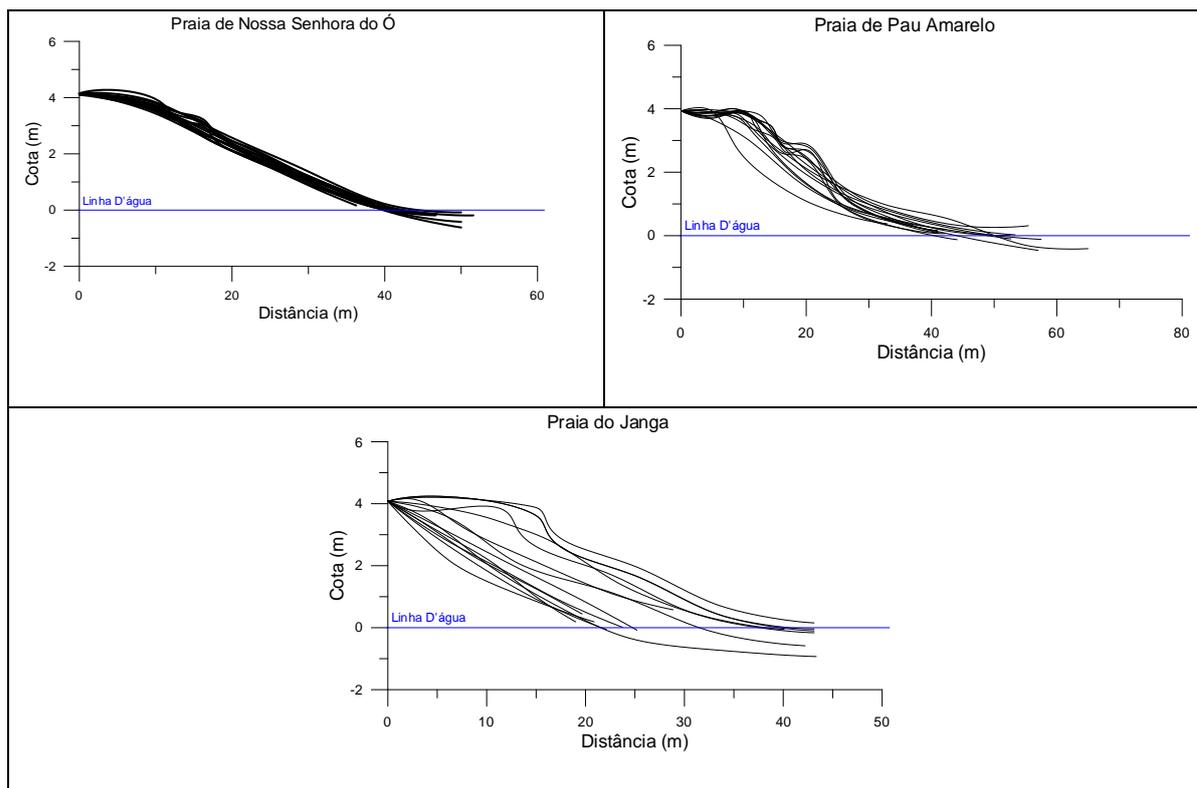


Figura 61 – Perfis de praia do litoral de Paulista.

A partir dos perfis praias foram adquiridos os valores (tabela 18) da altura da feição emersa ativa (crista de berma) das praias de Maria Farinha, Nossa Senhora da Conceição, Nossa Senhora do Ó, Pau Amarelo e Janga.

Tabela 18 – Altura da feição emersa ativa para as praias de Paulista.

Praia	Altura da crista de berma (m)
Maria Farinha	3.373
Nossa Senhora da Conceição	3.515
Nossa Senhora do Ó	3.347
Pau Amarelo	2.667
Janga	3.158

6.2.2 Linha de Costa

A linha de costa materializa na parte emersa da plataforma continental, o alcance das ondas atuantes na área estudada. A linha de costa (fig. 62) utilizada neste trabalho foi confeccionada a partir da identificação visual da linha de deixa que representa a distância de alcance do espraiamento das ondas. Também é possível visualizar os trechos de linha de costa que foram fixados por estruturas de contenção dos processos erosivos atuantes na costa deste município.

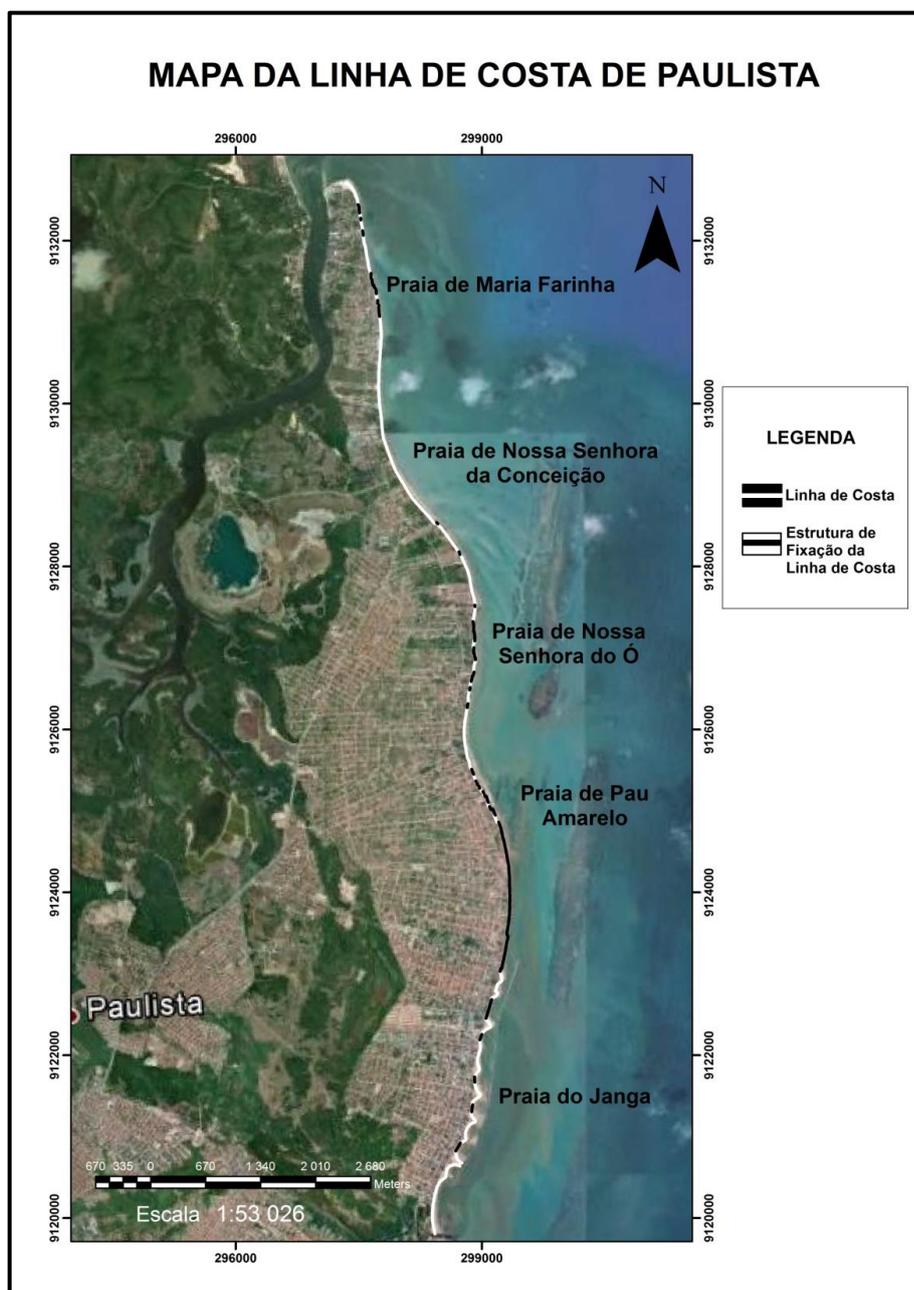


Figura 62 – Mapa da linha de costa do município de Paulista. Fonte da imagem: Google Earth.

6.2.3 Variação Relativa do Nível do Mar

Os dados divulgados no relatório do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas de 2013 mostram que entre 2081 a 2100, o nível do mar deve alcançar os seguintes intervalos para os respectivos cenários (fig 68):

- 0,26-0,55 m para RCP2.6,
- 0,32-0,63 m para RCP4.5,
- 0,33-0,63 m para RCP6.0 e
- 0,45-0,82 m para RCP8.5 (grau de confiabilidade médio) e até 2100 0,52-0,98 m para RCP8.5.

Assim, para o cálculo da retrogradação foi utilizado os valores extremos (0,26m e 0,98m), dentre os valores divulgados.

6.2.4 Sedimentologia dos Perfis Praiais

As praias do litoral de Paulista apresentam valores similares (tabela 19) para o tamanho granulométrico do sedimento e para a velocidade de queda do grão segundo Gibbs et al. (1971).

Tabela 19 – Resultados da análise granulométrica dos sedimentos e da velocidade de decantação do grão das praias de Paulista.

Praia	Parâmetros		
	D ₅₀	Tamanho Granulométrico	W (m/s)
Maria Farinha	0.313	Areia média	0.025482
Nossa Sra. Conceição	0.299	Areia média	0.025482
Nossa Sra. do Ó	0.295	Areia média	0.025482
Pau Amarelo	0.377	Areia média	0.025482
Janga	0.360	Areia média	0.025482

6.2.5 Batimetria

O mapa batimétrico (fig. 63) mostra que a plataforma interna que bordeja a cidade do Paulista possui uma morfologia de fundo bastante variada. Apresenta recifes de arenito e algálicos posicionados paralelamente à costa. Os recifes se estendem em sua maioria, da borda da plataforma emersa até aproximadamente a isóbata de 10 metros. Desta isóbata até a profundidade de 15 metros ocorre uma faixa de baixa declividade alongada que se estende por toda a costa. Após a isóbata de 15 metros a plataforma apresenta áreas de declividade acentuada.

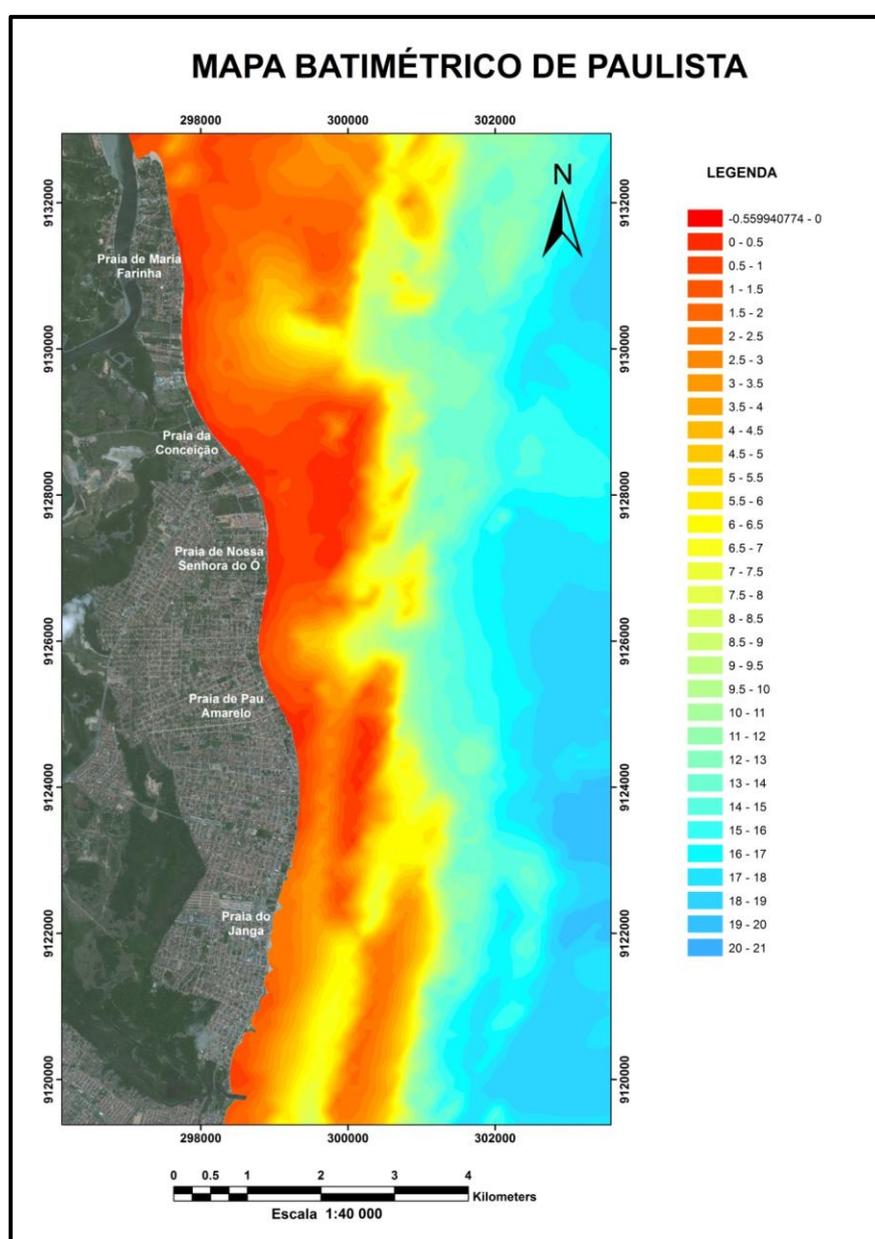


Figura 63 - Mapa batimétrico da área estudada.

6.2.6 Hidrodinâmica

Os dados que caracterizam do clima de ondas da área estudada, foram adquiridos através do processamento de banco de dados de ondas externas denominado Global Ocean Waves (GOW) de propriedade da IH-Cantabria, banco de dados contidos dentro do SMC-Brasil.

Os dados hidrodinâmicos (tabela 20) foram utilizados para efetuar os cálculos de profundidade de fechamento (limite litorâneo).

Tabela 20 – Dados hidrodinâmicos das praias de Paulista.

Praia	Parâmetros	
	Hs ₁₂ (m)	T _s (s)
Maria Farinha	0,92	14,20
Nossa Sra. Conceição	1,26	14,22
Nossa Sra. do Ó	0,91	14,19
Pau Amarelo	1,32	14,14
Janga	1,48	14,35

6.2.7 Profundidade de Fechamento

Para calcular a profundidade de fechamento (h_c) que estabelece o limite interno da interação entre as ondas e a movimentação do sedimento de fundo marinho foram utilizadas as seguintes equações:

Tabela 21- Resultados obtidos segundo equação de Hallermeier (1981).

Profundidade de fechamento (h_c)				
Praia	Parâmetros			hc (m)
	Hs ₁₂	T _s	G	
Maria Farinha	0,92	14,20	9.8	2,07
Nossa Sra. Conceição	1,26	14,22	9.8	2,81
Nossa Sra. do Ó	0,91	14,19	9.8	2,04
Pau Amarelo	1,32	14,14	9.8	2,95
Janga	1,48	14,35	9.8	3,30

Tabela 22 - Resultados obtidos segundo equação de Birkemeier (1985).

Profundidade de fechamento (hc)		
Praia	Parâmetros	hc(m)
	Hs₁₂	
Maria Farinha	0,92	1,44
Nossa Sra. Conceição	1,26	1,98
Nossa Sra. do Ó	0,91	1,43
Pau Amarelo	1,32	2,07
Janga	1,48	2,32

Através dos gráficos (fig.70) é possível observar a variação dos resultados da profundidade de fechamento obtidos utilizando as formulações propostas por Hallermeier (1981) e Birkemeier (1985) para as praias estudadas.

6.2.8 Largura do Perfil Ativo

A largura do perfil ativo (L) consiste na distância horizontal entre a feição emersa ativa (berma) e a profundidade de fechamento (hc). A obtenção do valor referente à largura do perfil ativo (L) foi efetuada de 03 formas:

- Através da medição horizontal da largura do perfil ativo entre a feição emersa ativa (crista da berma) e a profundidade de fechamento calculada através da equação segundo Hallermeier (1981);
- Através da medição horizontal da largura do perfil ativo (L) entre a feição emersa ativa (crista da berma) e a profundidade de fechamento calculada através da equação segundo Birkemeier (1985) e,
- Através da aplicação da equação do perfil de equilíbrio de Dean (1977) que calcula a distância horizontal entre a feição emersa ativa e a profundidade de fechamento.

Tabela 23 – Valores da largura do perfil ativo das praias estudadas.

Largura do Perfil Ativo (L)			
Praia	Distância Medida		
	L (m) segundo Hallemeier	L (m) segundo Birkemeier	L (m) segundo Dean
Maria Farinha	487,17	425,72	53,84
Nossa Sra. Conceição	1806,28	1675,15	86,07
Nossa Sra. do Ó	390,52	196,59	52,94
Pau Amarelo	674,73	427,59	92,26
Janga	524,09	410,70	109,66

Como é possível observar numericamente (tabela 21) e através da projeção no mapa batimétrico (fig. 64) há uma diferença considerável entre os resultados da largura do perfil ativo.

A partir da projeção da largura do perfil ativo no mapa batimétrico (fig. 64) e da comparação com imagens de satélite das áreas (fig. 65) foi possível analisar qual formulação para obtenção dos valores de largura do perfil ativo é mais apropriada para o uso na região estudada.

Na análise das imagens de satélite (fig. 65) é possível ver que existe transporte sedimentar significativo entre a linha de costa e os recifes de arenito e algálicos, devido à presença de ondas de areia neste espaço ao longo de toda a costa do município. Assim a formulação mais adequada para a apresentada por Hallemeier (1985).

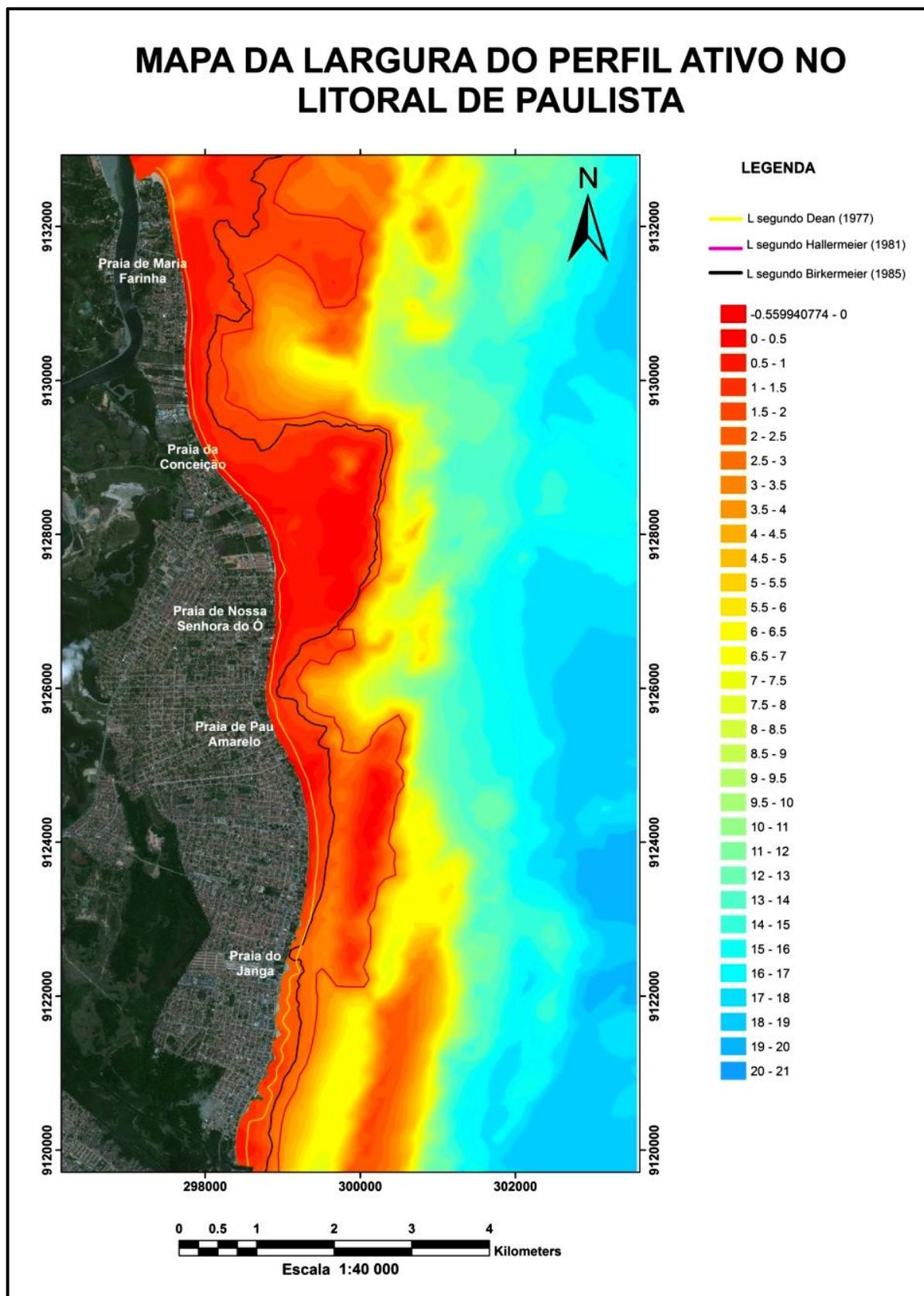


Figura 64 – Mapa batimétrico com a projeção dos valores da largura do perfil ativo (L) segundo os autores Dean (1977) em amarelo, Birkemeier (1985) em preto e Hallermeier (1981) para as praias de Paulista.

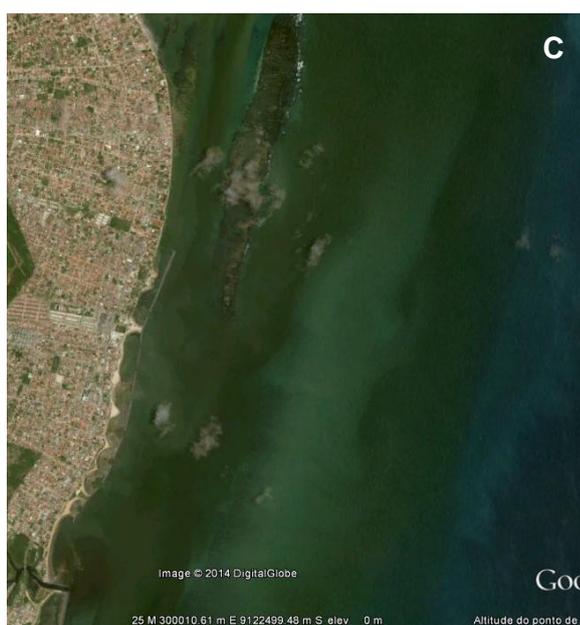
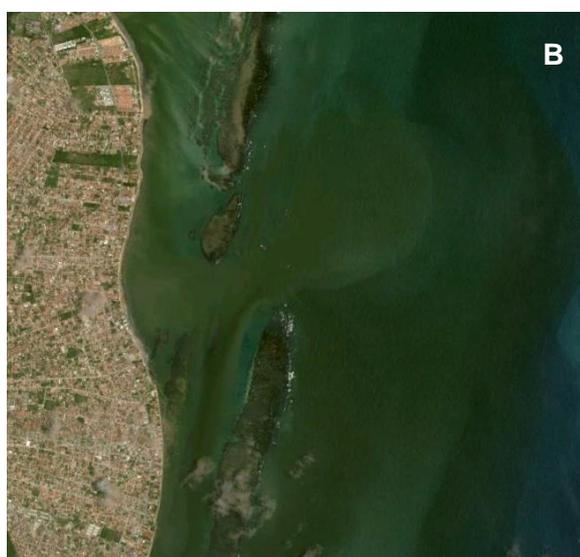


Figura 65 – Imagens de satélite mostrando o transporte sedimentar ao longo da costa.

6.2.9 Cálculo da Retrogradação

Este trabalho traz resultados de retrogradação da linha de costa do município de Paulista baseados em projeções de elevação do nível do mar para o ano de 2100 adquiridas na publicação *Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* do IPCC em 2013.

Os cenários de subida do nível do mar do IPCC apresentam 05 panoramas distintos baseados em diferentes projeções do efeito estufa. Como os dados quantitativos sobre os gases do efeito estufa na região são inexistentes optou-se utilizar os valores extremos de elevação do nível do mar para este trabalho. Assim os valores de variação do nível do mar (S) utilizados para o cálculo do recuo da linha de costa do litoral de Paulista foram 0.26 e 0.98 metros.

A largura do perfil ativo (L) foi obtida medindo-se a distância entre a linha de costa representada pela linha de deixa e a profundidade de fechamento (hc). A altura do perfil ativo (H) foi obtida através do somatório da altura da ativa (crista de berma) e da profundidade de fechamento (hc).

De acordo com as características geomorfológicas e litológicas da área se pode ter respostas diferenciadas para a elevação do nível do mar (tabela 24), entretanto, toda a extensão do litoral do Paulista é composta por praias arenosas que respondem a subida do nível do mar com erosão e consequente recuo da linha de costa.

Tabela 24 - Respostas de feições costeiras a elevação do nível do mar. Fonte: Muehe (2004).

Tipo de Costa	Resposta
Costa rochosa	Ausência de retrogradação
Falésia erodível	Erosão
Praia arenosa	Erosão
Praia de seixos	Erosão
Litoral lamoso	Erosão ou inundação
Costa baixa	Inundação
Litoral pantanoso	Inundação
Manguezais	Inundação
Atol de coral	Inundação

Para o cálculo da regra de Bruun é necessária à aplicação do valor de profundidade de fechamento. Assim, apesar do indicativo de que a formulação mais apropriada para ser utilizada no cálculo da profundidade de fechamento foi a equação apresentada por Hallemeier (1981) também foi utilizada a equação de Birkemeier (1985) nos cálculos da retrogradação a fim de conferir a aplicação da regra de Bruun (1962) condições comparativas.

Os resultados de retrogradação (tabelas 25, 26, 27 e 28) foram obtidos para os valores mínimo e máximo (0,26 e 0,98 metros) de variação do nível do mar de acordo com os cenários do IPCC (2013) e diferem devido à aplicação de valores diferenciados de profundidade de fechamento que se basearam nas formulações de Hallemeier (1981) e Birkemeier (1985) que geram uma largura de perfil ativo (L) com valores diferentes entre si. Assim foi possível obter 4 valores de retrogradação.

O recuo da linha de costa calculado para os valores mínimo e máximo (0,26m e 0,98m) de elevação utilizando as profundidades de fechamento calculadas utilizando as equações de Birkemeier (1985) e Hallemeier (1981) produzem valores de recuo similares.

Através dos mapas (figs. 66 e 67) é possível visualizar que para a variação do nível do mar mínima (0,26m) o recuo de linha de costa afetará uma faixa estreita que varia de aproximadamente 19m a 79m que contém residências e estabelecimentos comerciais no litoral de Maria Farinha, Conceição, Nossa Senhora do Ó, Pau Amarelo e Janga.

Nos mapas (figs. 68 e 69) que apresentam a variação do nível do mar máxima (0,98m) de recuo da linha de costa, a zona afetada corresponde a uma faixa larga com valores entre 73m a 298m composta por residências, estabelecimentos comerciais, imóveis considerados patrimônio histórico, trechos do sistema viário principal e secundário e empreendimentos de lazer nas praias de Maria Farinha e Nossa Senhora da Conceição. No caso dos bairros de Nossa Senhora do Ó, Pau Amarelo e Janga a área afetada tem residências, estabelecimentos comerciais e vias de acesso secundário.

Os resultados podem subsidiar os órgãos de gestão costeira nas esferas municipal, estadual e federal, na elaboração de planos de gestão das perdas e prejuízos gerados pelo evento natural que é a elevação do nível do mar.

Tabela 25 - Valores de recuo da linha de costa para profechamento de fechamento segundo Hallemeier (eq. 3) e para menor previsão de variação do NM

Praias	Altura da feição emersa ativa (h)	Profundidade de fechamento segundo Hallemeier (hc)	Largura do perfil ativo medido (L)	Elevação do nível do mar (S)	Material erodido mantém no perfil ativo (G)	Altura do perfil ativo (H)	Recuo da Linha de costa em metros (R)
Maria Farinha	3,373	2,07	487,17	0,26	1	5,44	23,28
Nossa Senhora da Conceição	3,515	2,81	1806,28	0,26	1	6,33	74,19
Nossa Senhora do Ó	3,347	2,04	390,52	0,26	1	5,39	18,84
Pau Amarelo	2,667	2,95	674,73	0,26	1	5,62	31,22
Janga	3,158	3,30	524,09	0,26	1	6,46	21,09

Tabela 26 - Valores de recuo da linha de costa para prof. de fechamento segundo Hallemeier (eq. 3) e para maior previsão de variação do NM.

Praias	Altura da feição emersa ativa (h)	Profundidade de fechamento segundo Hallemeier (hc)	Largura do perfil ativo medido (L)	Elevação do nível do mar (S)	Material erodido mantém no perfil ativo (G)	Altura do perfil ativo (H)	Recuo da Linha de costa em metros (R)
Maria Farinha	3,373	2,07	487,17	0,98	1	5,44	87,76
Nossa Senhora da Conceição	3,515	2,81	1806,28	0,98	1	6,33	279,65
Nossa Senhora do Ó	3,347	2,04	390,52	0,98	1	5,39	71,00
Pau Amarelo	2,667	2,95	674,73	0,98	1	5,62	117,66
Janga	3,158	3,30	524,09	0,98	1	6,46	79,51

Tabela 27 - Valores de recuo da linha de costa para prof. de fechamento segundo Birkemeier (eq. 5) e para menor previsão de variação do NM

Praias	Altura da feição emersa ativa (h)	Profundidade de fechamento segundo Birkemeier (hc)	Largura do perfil ativo medido (L)	Elevação do nível do mar (S)	Material erodido mantém no perfil ativo (G)	Altura do perfil ativo (H)	Recuo da Linha de costa em metros (R)
Maria Farinha	3,373	1,44	425,72	0,26	1	4,81	23,01
Nossa Senhora da Conceição	3,515	1,98	1675,15	0,26	1	5,50	79,19
Nossa Senhora do Ó	3,347	1,43	196,59	0,26	1	4,78	10,69
Pau Amarelo	2,667	2,07	427,59	0,26	1	4,74	23,45
Janga	3,158	2,32	410,70	0,26	1	5,48	19,49

Tabela 28 - Valores de recuo da linha de costa para prof. de fechamento segundo Birkemeier (eq. 5) e para maior previsão de variação do NM

Praias	Altura da feição emersa ativa (h)	Profundidade de fechamento segundo Birkemeier (hc)	Largura do perfil ativo medido (L)	Elevação do nível do mar (S)	Material erodido mantém no perfil ativo (G)	Altura do perfil ativo (H)	Recuo da Linha de costa em metros (R)
Maria Farinha	3,373	1,44	425,72	0,98	1	4,81	86,74
Nossa Senhora da Conceição	3,515	1,98	1675,15	0,98	1	5,50	298,48
Nossa Senhora do Ó	3,347	1,43	196,59	0,98	1	4,78	40,31
Pau Amarelo	2,667	2,07	427,59	0,98	1	4,74	88,41
Janga	3,158	2,32	410,70	0,98	1	5,48	73,45

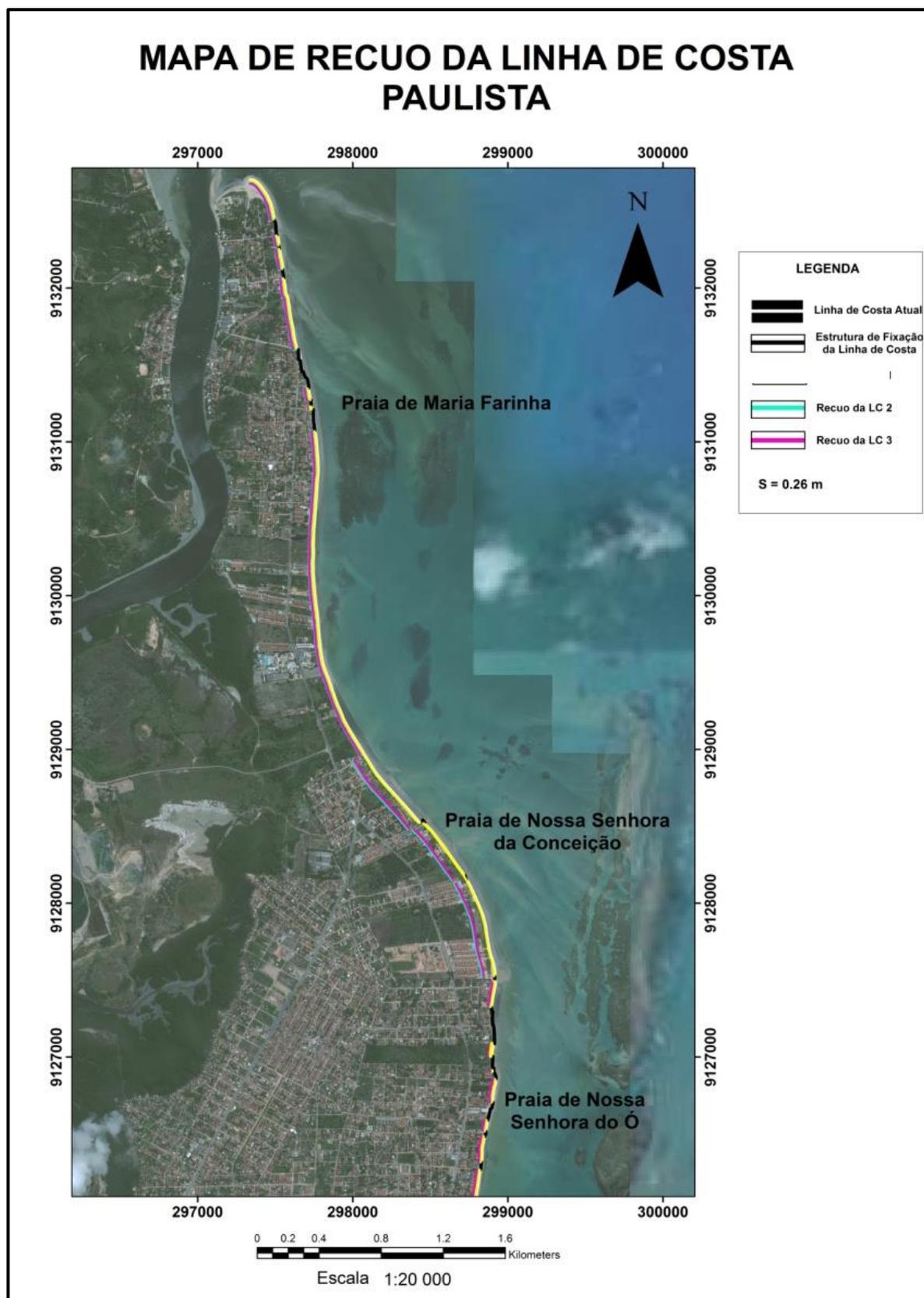


Figura 66 – Mapa de recuos da linha de costa para uma elevação do nível do mar de 0,26 m nas praias do norte.

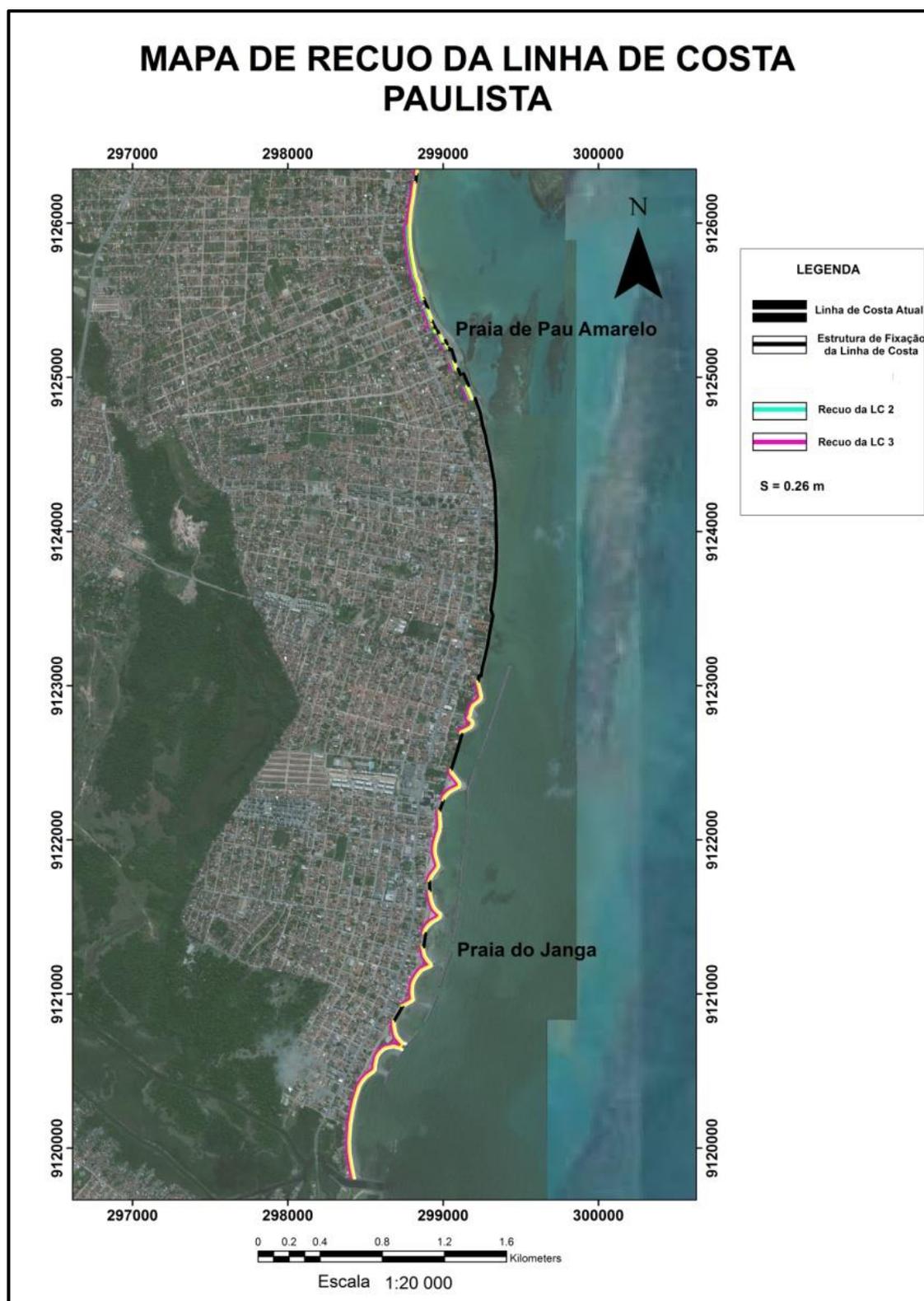


Figura 67 – Mapa de recuos da linha de costa para uma elevação do nível do mar de 0,26 m nas praias do sul.

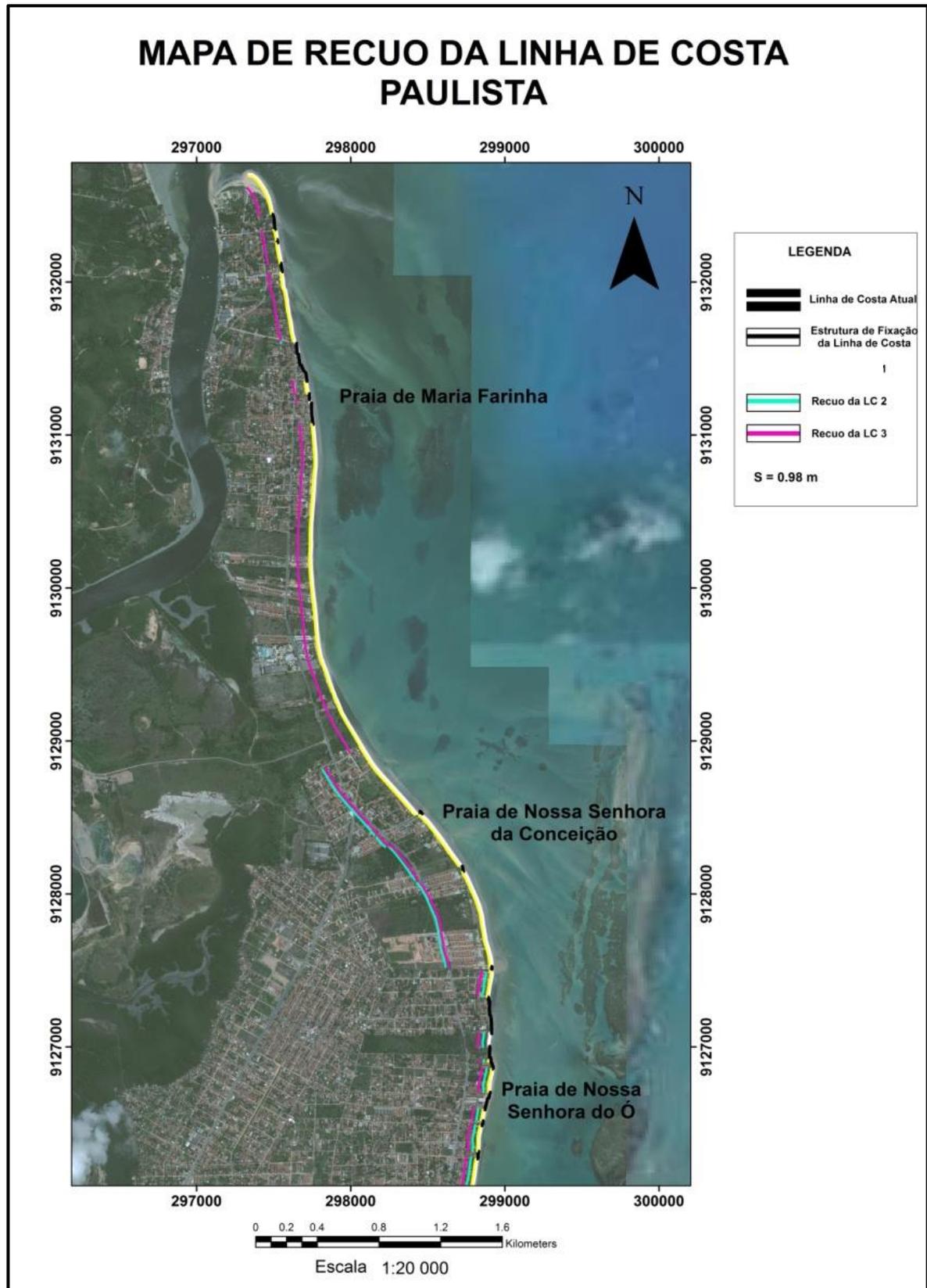


Figura 68 - Mapa de recuos da linha de costa para elevação do nível do mar de 0,98 m nas praias do norte.

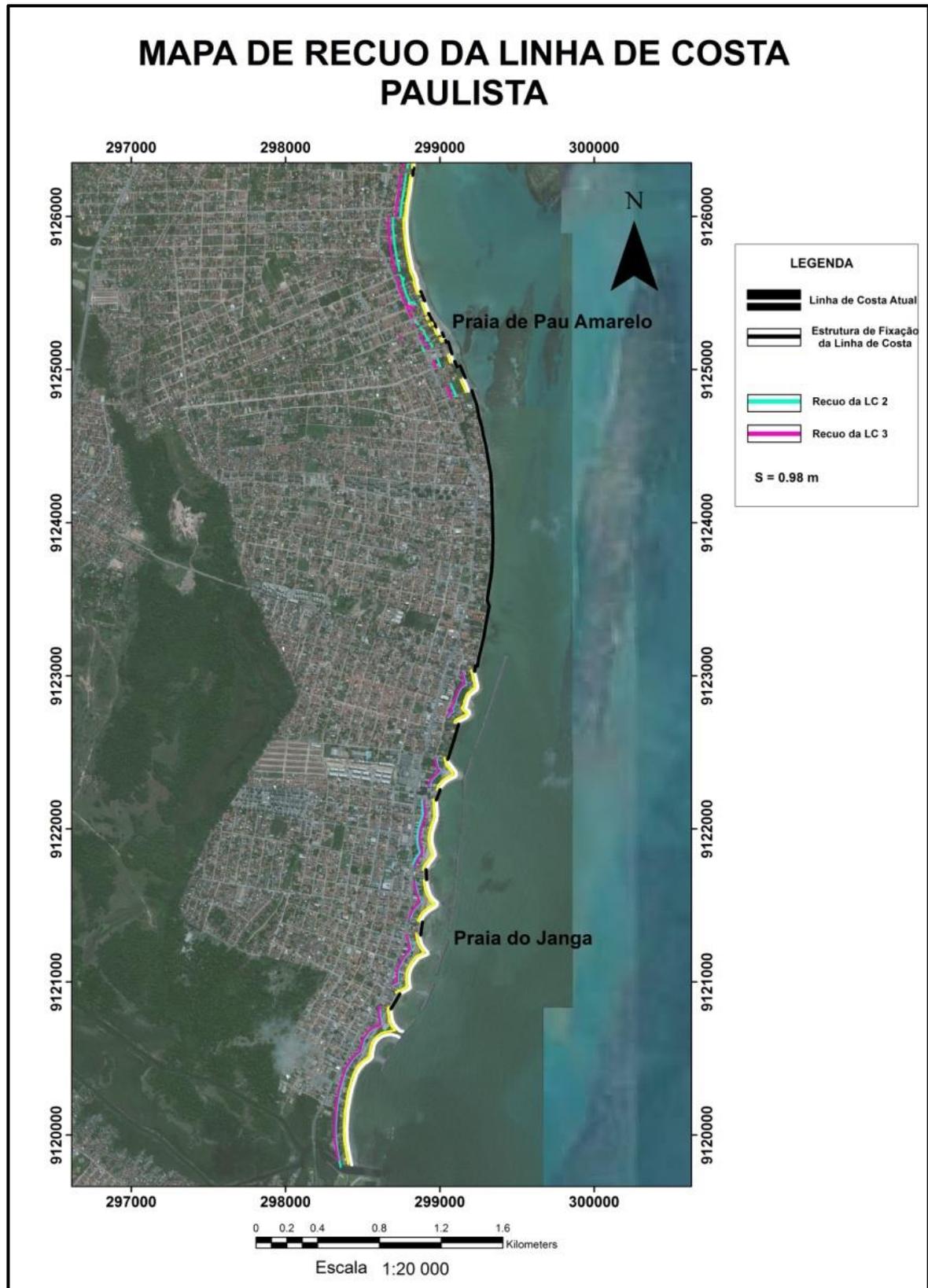


Figura 69 - Mapa de recuos da linha de costa para uma elevação do nível do mar de 0,98 m nas praias do sul.

6.3 ÍNDICES DE VULNERABILIDADE

Os índices de vulnerabilidade que foram utilizados neste estudo se fundamentam em uma lista de variáveis apresentadas por Nicholls (1995) que fornecem um panorama dos impactos decorrentes do processo de inundação e erosão da linha de costa associada à subida do nível do mar de forma acelerada sobre a população e os diferentes elementos que compõem a infraestrutura urbana das cidades costeiras. Entretanto, este trabalho procurou apenas quantificar os impactos socioeconômicos decorrentes da retração da linha de costa ocasionada pela previsão de subida do nível do mar de 0,98m, que foi o pior cenário encontrado.

Ao longo da linha de costa do município estudado a ação erosiva decorrente da subida do nível do mar somente será considerada nos trechos de linha de costa não foi fixada.

6.3.1 População Impactada

Os bairros costeiros da cidade de Paulista possuem um total de 84.254 habitantes (IBGE, 2010) distribuídos de forma heterogênea (tabela 29). Os bairros que contém maior contingente de moradores são o Janga, Pau Amarelo e Nossa Senhora do Ó, enquanto que em Maria Farinha e Nossa Senhora da Conceição o número de habitantes é extremamente menor quando os valores são comparados.

Tabela 29 – Distribuição do total de habitantes por bairro. Fonte: IBGE, 2010.

Praias	Total de Habitantes
Maria Farinha	1780
Nossa Senhora da Conceição	2828
Nossa Senhora do Ó	17356
Pau Amarelo	18202
Janga	44008
Total Geral de Habitantes	84.254

Com base no número de residências localizadas nas áreas de recuo da linha de costa calculadas a partir da regra de Bruun foi orçado o quantitativo de habitantes

afetados (tabela 30) pelo evento erosivo decorrente da elevação do nível do mar de 0,98m prevista pelo IPCC (2013). Com estes valores foi possível determinar a vulnerabilidade para cada bairro.

Foi possível observar que as áreas de maior vulnerabilidade foram as que têm menor contingente de habitantes, possivelmente o fator que ocasionou esse resultado está relacionado com a quantidade de moradores, o tamanho da área atingida pelo evento e o tamanho de cada bairro. Assim, no Janga que possui o maior número de pessoas afetadas (1242 hab.) pelo evento obteve classificação moderado devido ao elevado número total de habitantes (44008 hab.) que possui, enquanto que o bairro de Maria Farinha que possui o menor número de habitantes (1780 hab.) tem vulnerabilidade alta porque o número de pessoas atingidas é proporcionalmente grande (402 hab.). A relação entre a quantidade total de habitantes por bairro e a porcentagem desta população afetada em relação ao número de habitantes por bairro pode ser visualizada na tabela 30.

Tabela 30 – Total de habitantes impactados e a classificação da vulnerabilidade por bairro.

Praias	Total de População Impactada	Porcentagem de População Impactada	Vulnerabilidade para Pessoas Impactada
Maria Farinha	402	22,58%	Alto
Nossa Senhora da Conceição	864	30,55%	Alto
Nossa Senhora do Ó	252	1,45%	Moderado
Pau Amarelo	462	2,53%	Moderado
Janga	1242	2,82%	Moderado

A distribuição espacial da vulnerabilidade para população impactada pelo recuo da linha de costa pode ser visualizada no mapa (fig. 70).

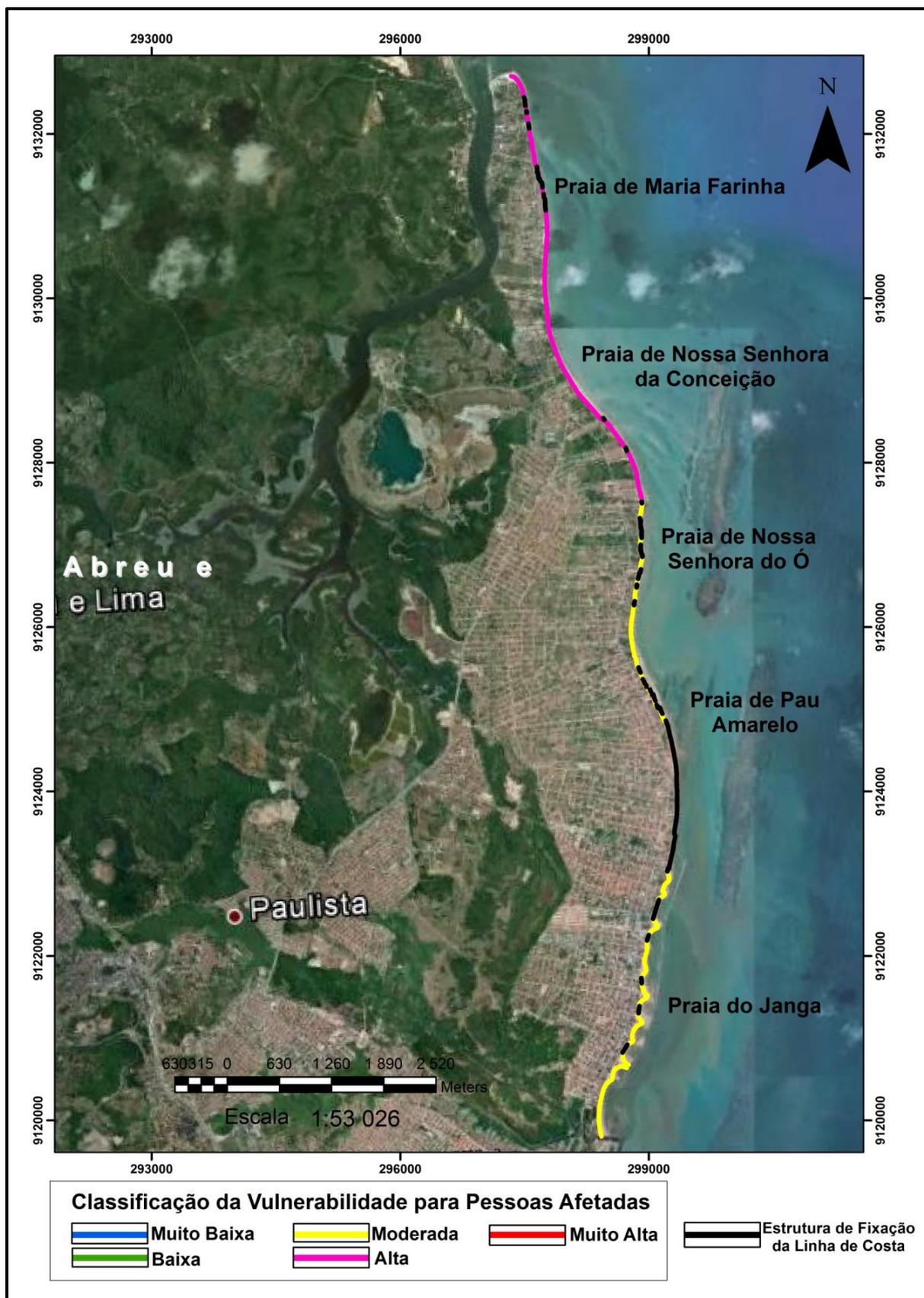


Figura 70 – Mapa da vulnerabilidade relacionado à variável população impactada.

6.3.2 Perda de Capital de Valor

Ao longo da área de recuo calculada para uma elevação de 0,98m para todo o litoral de Paulista existem diversos empreendimentos que serão atingidos. Através de um levantamento realizado utilizando imagens de satélite, unibase e mapa de cadastro imobiliário foram listados (tabela 31) os diversos imóveis que se localizam nesta faixa.

Posteriormente foi realizado um levantamento de preços do metro quadrado construído para cada tipo de imóvel registrado nas áreas atingidas pelo processo de retração da linha de costa, desta forma foi possível obter o valor total em reais da perda de capital de valor para cada praia (tabela 32). Os valores do metro quadrado registrado foram adquiridos em órgãos especializados em desenvolvimento de orçamentos para implantação do empreendimento e dados orçamentais sobre estradas (Sebrae e DER/PE) e imobiliária no caso das residências. Com o total destes valores foi calculada a porcentagem em relação ao produto interno bruto (PIB) da cidade (tabela 33).

O valor encontrado para a perda de capital de valor caracteriza todas as praias do litoral de Paulista como de muito alto grau de vulnerabilidade (fig. 71).

Tabela 31 – Lista das dimensões em m² construído dos vários tipos de imóveis existentes nas áreas de recuo da linha de costa do município de Paulista.

EMPREENHIMENTO	PRAIAS									
	Maria Farinha (m ² construído)	Maria Farinha (Preço do m ² construído)	Nossa Senhora da Conceição (m ² construído)	Nossa Senhora da Conceição (Preço do m ² construído)	Nossa Senhora do Ó (m ² construído)	Nossa Senhora do Ó (Preço do m ² construído)	Pau Amarelo (m ² construído)	Pau Amarelo (Preço do m ² construído)	Janga (m ² construído)	Janga (Preço do m ² construído)
Residências	25639,8	R\$ 3169,86	15069,02	R\$ 2551,60	6987,67	R\$ 2200,00	18642,88	R\$ 2208,00	43723,54	R\$ 2785,00
Posto de Gasolina	0	0	1600	R\$ 1255,84	0		0	0	1800	0
Padaria	0	0	150	R\$ 500	0		0	0	0	0
Bar	0	0	3500	R\$ 400	6300	R\$ 400	0	0	3420	R\$ 400
Supermercado	0	0	250	R\$ 902,75	0		0	0	0	0
Parque Aquático	12430	R\$ 32,89	0	0	0		0	0	0	0
Patrimônio Histórico	0	0	234	Sem informação	0		0	0	0	0
Cemitério	0	0	401	R\$ 21,42	0		0	0	0	0
Estrada Principal	0	0	24362,60	R\$ 1200	0		0	0	0	0
Estrada Secundaria	0	0	0	0	0		0	0	11604,48	R\$ 1950
Marinas	4640	R\$ 44,60	0	0	0		0	0	300	R\$ 44,60
Total de Área Construída	42709,80		45566,62		13287,67		18642,88		60848,02	

1-Imobiliária em Paulista: Rocha Imóveis (Creci: 7770-J) <http://www.rochaimoveispe.com.br/>

2 – Parque de Diversão: <http://www.sebrae.com.br/sites/PortalSebrae/ideias/parque-de-divers%C3%A3o>

3 –Padaria: <http://www.sebrae-sc.com.br/ideais/default.asp?vcdtexto=4391e^>

4 – Bar: <http://www.sebrae-sc.com.br/ideais/default.asp?vcdtexto=2602>

5 – Supermercado: <http://www.sebrae-sc.com.br/ideais/default.asp?vcdtexto=2959&^>

6 – Estradas: DER/PE http://www.der.pb.gov.br/index.php?option=com_contentview=articleid=333&Itemid=100025

Tabela 32 – Lista dos valores totais em reais dos vários tipos de imóveis existentes nas áreas de recuo da linha de costa do município de Paulista.

EMPREENDIMENTO	TOTAL DE CADA EMPREENDIMENTO POR PRAIAS				
	Maria Farinha	Nossa Senhora da Conceição	Nossa Senhora do Ó	Pau Amarelo	Janga
Residências	R\$ 81274576,43	R\$ 38450111,40	R\$ 15372874,00	R\$ 41163479,00	R\$ 121770059,00
Posto de Gasolina	0	R\$ 2009344,00	0	0	0
Padaria	0	R\$ 75000,00	0	0	0
Bar	0	R\$ 1400000,00	R\$ 2520000,00	0	R\$ 1368000,00
Supermercado	0	R\$ 225687,50	0	0	0
Parque Aquático	R\$ 408822,70	0	0	0	0
Patrimônio Histórico	0	0	0	0	0
(Igreja)	0	0	0	0	0
Cemitério	0	R\$ 8589,42	0	0	0
Estrada Principal	0	R\$ 29235120,00	0	0	0
Estrada Secundaria	0	0	0	0	R\$ 22628736,00
Marinas	R\$ 206944,00	0	0	0	R\$ 13380,00
Total Geral em R\$	R\$ 81.890.343,13	R\$ 71.403.852,40	R\$ 17.892.874,00	R\$ 41.163.479,00	R\$ 145.780.175,00

Tabela 33 – Lista do total do PIB de Paulista, total geral das perdas em reais e porcentagem das perdas em relação ao PIB.

PIB de Paulista 2011	Total de Perda de Capital de Valor	%
R\$ 2.475.243,85	R\$ 410.858.003,00	166%

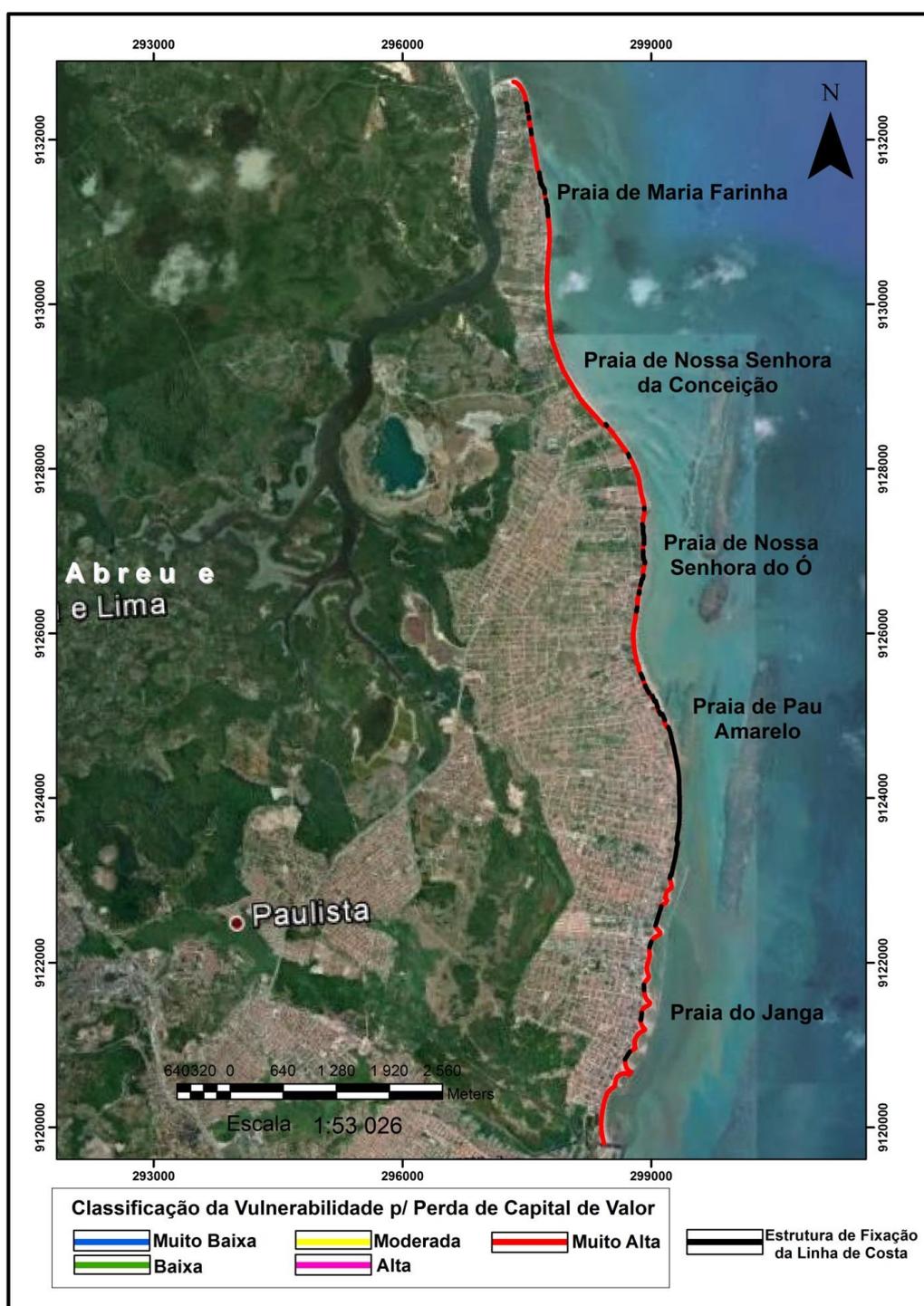


Figura 71 – Mapa da vulnerabilidade relacionada a perda de capital de valor para o litoral de Paulista.

6.3.3 Perda de Área Emersa

Os bairros do litoral possuem uma área total de 19.152.856,61 m², dentre os quais os que possuem maior extensão são Maria Farinha e o Janga, e o de menor tamanho é Nossa Senhora da Conceição (tabela 34).

Tabela 34 – Área total dos bairros costeiros do município de Paulista.

Praias	Área Total do Bairro (m²)
Maria Farinha	6.857.611,43
Nossa Senhora da Conceição	1.432.674,05
Nossa Senhora do Ó	2.310.338,39
Pau Amarelo	3.260.813,15
Janga	5.291.419,59

Utilizando os valores calculados para o recuo da linha de costa ocasionado pela elevação de 0,98m do nível do mar foi possível obter os valores das áreas erodidas para as cinco localidades, assim como as porcentagens relativas às mesmas (tabela 35). O bairro com a maior previsão de perda de área emersa foi Nossa Senhora da Conceição, que registrou supressão de 31,81% do seu território. A localidade com menor perda de área emersa foi Pau Amarelo, que tem previsão de apenas 2,86% de erosão de sua extensão.

Tabela 35 – Área total erodida dos bairros costeiros do município de Paulista.

Praias	Área Erodida (elevação do NM de 0,98m)	Porcentagem de Área Erodida (elevação do NM de 0,98m)
Maria Farinha	284.732,97 m ²	4,15%
Nossa Senhora da Conceição	455.666,21 m ²	31,81%
Nossa Senhora do Ó	66.438,35 m ²	2,88%
Pau Amarelo	93.214,41 m ²	2,86%
Janga	243.392,07 m ²	4,60%

Através da comparação entre os valores previstos de supressão de área emersa de cada bairro e o catálogo referência (tabela 12) foi possível determinar a classificação da vulnerabilidade para perda de área emersa (tabela 36) considerando o pior cenário (subida do nível do mar de 0,98m). Através do mapa (fig. 72) é possível visualizar a área atingida utilizando os dados do pior panorama.

Tabela 36 – Classificação da vulnerabilidade para perda de área emersa por bairro.

Praias	Classificação da Vulnerabilidade para Perda de Área Emersa
Maria Farinha	Moderada
Nossa Senhora da Conceição	Muito Alta
Nossa Senhora do Ó	Baixa
Pau Amarelo	Baixa
Janga	Moderada

A vulnerabilidade relacionada à perda de área emersa é muito alta para o bairro de Nossa Senhora da Conceição, é moderada para as localidades de Maria Farinha e Janga, e baixa para as praias Nossa Senhora do Ó e Pau Amarelo (fig. 73).

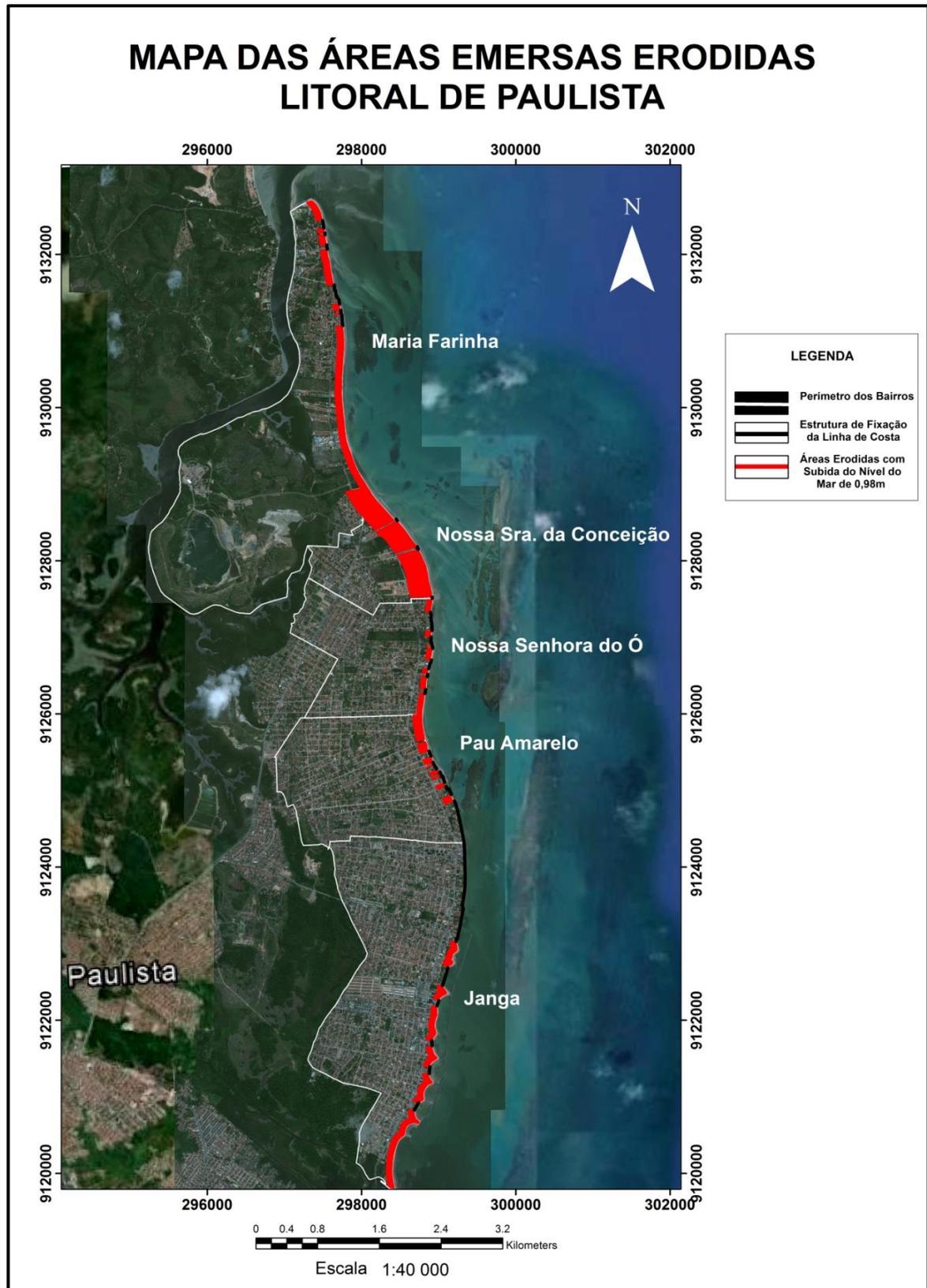


Figura 72 – Mapa da área de recuo da linha de costa de Paulista para elevação de 0,98m do NM.

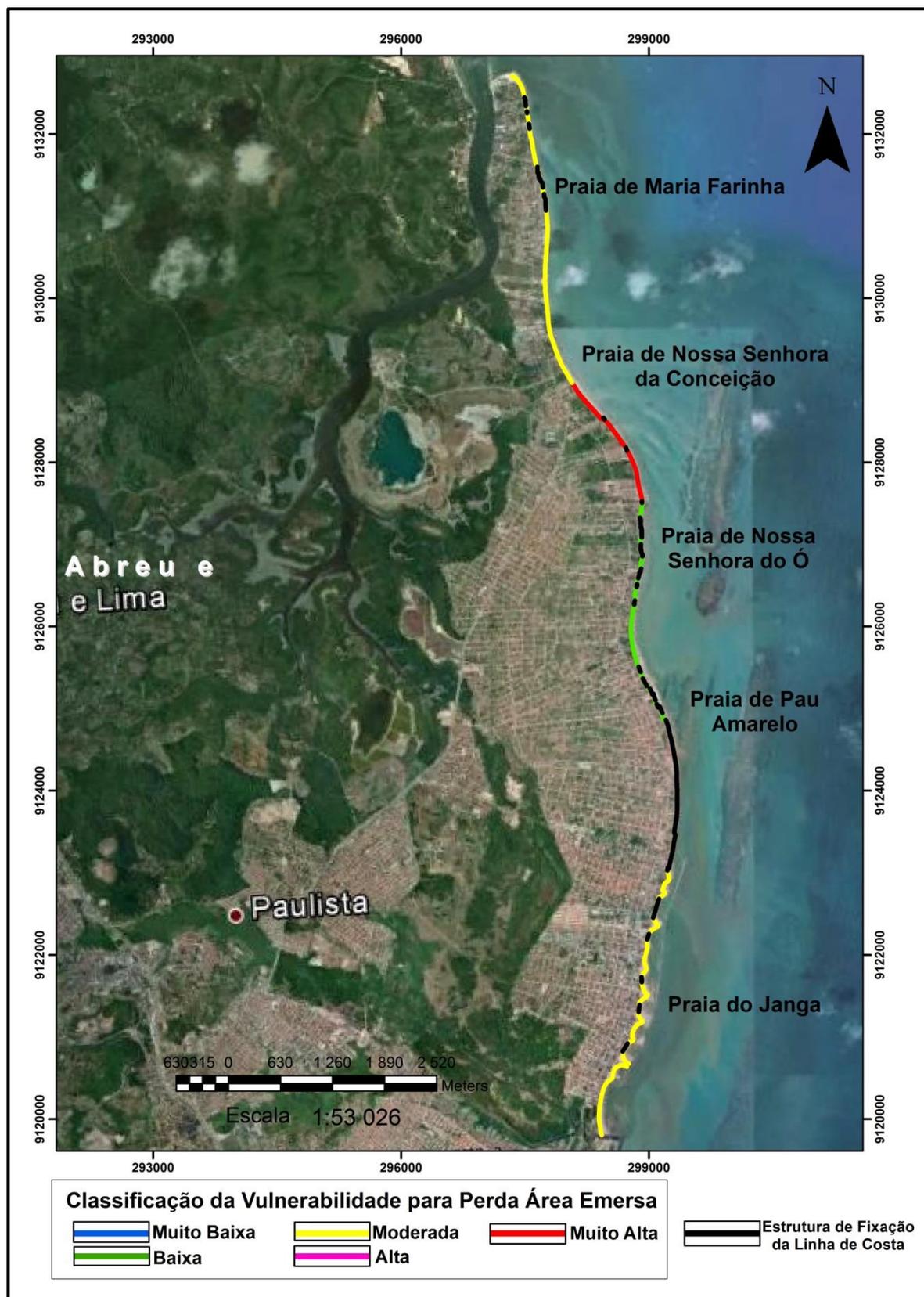


Figura 73 – Mapa da vulnerabilidade para perda de área emersa do litoral de Paulista.

6.3.4 Proteção/Adaptação da Costa

As obras costeiras que serão analisadas neste trabalho para fins de fixação da linha de costa devido da previsão de recuo da linha de costa do litoral de Paulista são enrocamento e o alimentação artificial de praia. A extensão total de linha de costa que sofrerá recuo com a elevação de 0,98m do nível do mar corresponde a 10.308,16 metros. O valor do PIB de Paulista perfaz o total de R\$ 2.475.243,85 (Condepe/Fidem, 2011).

Os enrocamentos consistem em blocos de pedra dimensionados para resistirem à ação dos agentes hidrodinâmicos, os quais são dispostos sobre uma superfície inclinada e revestida por telas geo-têxtil que atuam como filtro sob a estrutura, permitindo a passagem da água. Para a fixação dos 10.308,16 m de linha de costa que podem ser erodidos com a subida do nível do mar, foi utilizado um valor referente ao volume de enrocamento necessário baseado no projeto de engenharia litorânea para implantação do enrocamento do Janga a Pau Amarelo em Paulista (tabela 37). O preço do metro cúbico da obra foi adquirido no site do Departamento de Estradas e Rodagem de Pernambuco (DER/PE).

A alimentação artificial de praias consiste na colocação de sedimento ao longo da linha de costa com o intuito de controlar a ação erosiva, complementar a deriva litorânea e criar reserva de sedimento no ambiente litorâneo para que o mesmo possa desempenhar suas atividades sem que seja desencadeado processo erosivo. Essa alternativa é viável porque a energia desprendida pelas ondas na área estudada é considerada pequena visto que a altura das ondas é baixa. Utilizando o volume maior de sedimento utilizado no projeto de engordamento das praias de Paulista, foi construída a relação entre o volume e a extensão. Assim foi concluído que para a extensão de 10.308,16 m de linha de costa é necessário o volume de 1.829.000,51 m³ para construir uma praia com largura de 25m (tabela 37). O preço do metro cúbico da obra, assim como os quantitativos de referência foram adquiridos no projeto Alternativas de obras de proteção costeira para recuperação da orla marítima e recomposição de praias arenosas dos municípios de Paulista, Olinda, Recife e Jaboatão dos Guararapes, em Pernambuco, além das medidas corretivas necessárias às obras já implantadas na orla, e, em fase posterior, desenvolver o Projeto Básico de Engenharia da alternativa escolhida pelo Poder Público Estadual, realizado pela Coastal Planning e Engineering do Brasil em 2011.

Tabela 37 – Tabela com as informações de volume e valor da obra para todo o litoral.

Obras	Volume	Valor da obra	Valor Total
Enrocamento	131.234,59 m ³	R\$ 95,22 / m ³	R\$ 12.496.157,66
Engordamento	1.829.000,51 m ³	R\$ 25, 00 /m ³	R\$ 45.725.012,79

Como as obras costeiras (enrocamento e alimentação artificial de praia) tem durabilidade média de 5 anos sem manutenção e a relação para encontrar o percentual da vulnerabilidade se refere a valores anuais, o valor do PIB foi calculado para 5 anos.

Tabela 38 – Classificação da vulnerabilidade para a variável proteção/adaptação da costa.

Obras	Valor Total da Obra	% de Vulnerabilidade	Classificação da Vulnerabilidade
Enrocamento	R\$ 12.496.157,66	% 1,01	Muito Alta
Engordamento	R\$ 45.725.012,79	% 3,69	Muito Alta

De acordo com o percentual de vulnerabilidade encontrado para as obras (enrocamento e engordamento) as praias de Paulista foram classificadas com vulnerabilidade muito alta (tabela 38) e que pode ser visualizado no mapa (fig. 74).

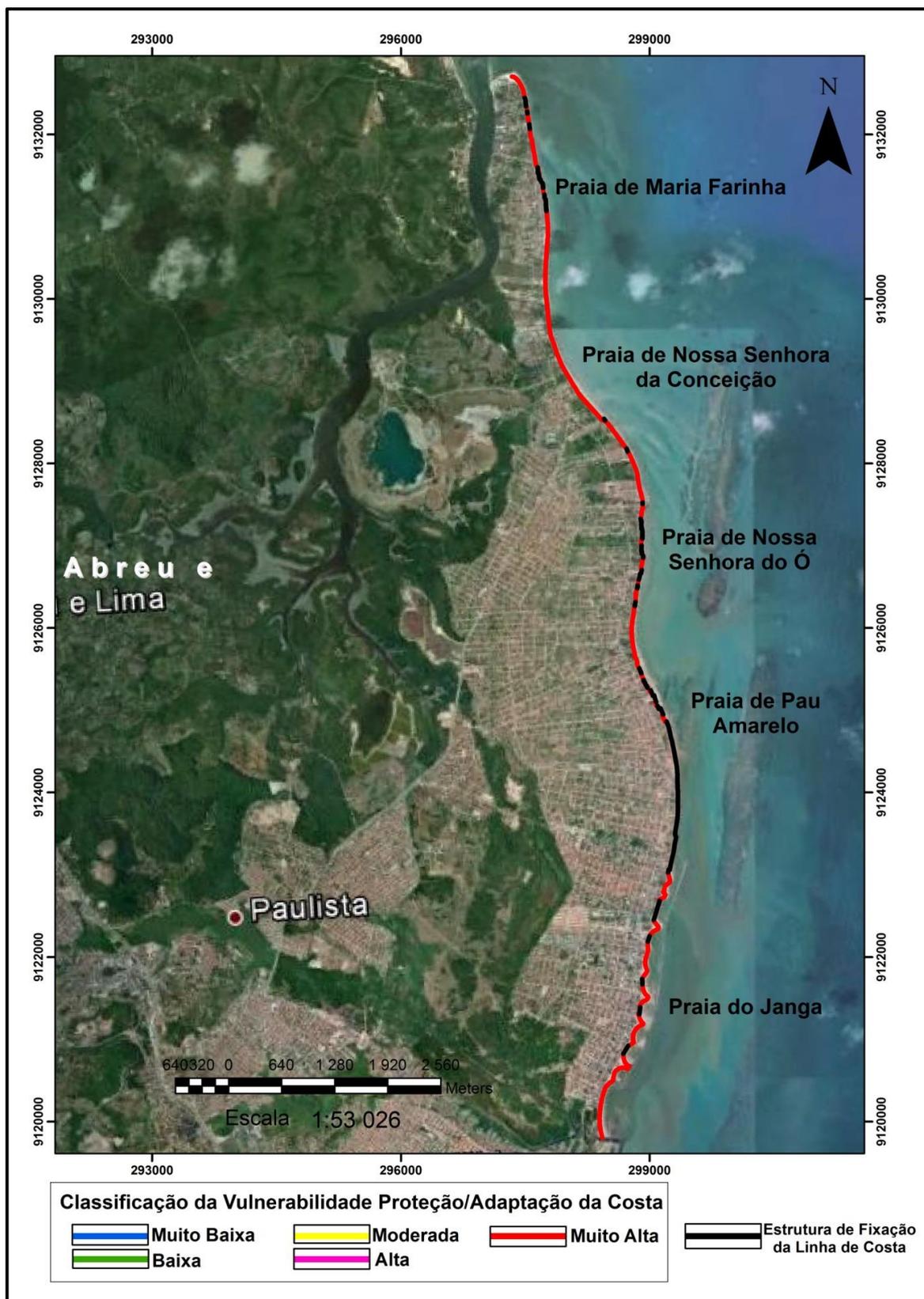


Figura 74 – Mapa da vulnerabilidade para a variável proteção/adaptação da costa.

6.3.5 Cálculo Geral da Vulnerabilidade Costeira

Para obter a classificação geral da vulnerabilidade costeira para o litoral de Paulista (tabela 39) foi utilizado um algoritmo que emprega todos os índices de vulnerabilidade analisados. Para interpretar os resultados adimensionais encontrados com a aplicação do algoritmo, foram calculados os quartis e identificados os valores mínimo e máximo, gerando assim uma nova tabela com intervalos correspondentes aos graus de vulnerabilidade (tabela 40).

Tabela 39 - Valores da Vulnerabilidade Costeira Geral de Paulista.

Praias	Resultado dos Índices de Vulnerabilidade				Classificação Geral da Vulnerabilidade
	Pessoas Afetadas	Perda de Capital de Valor	Perda de Área Emersa	Proteção/ Adaptação da Costa	
Maria Farinha	3	4	2	4	Alta
Nossa Sra. da Conceição	3	4	4	4	Muito Alta
Nossa Sra. do Ó	2	4	1	4	Baixa
Pau Amarelo	2	4	1	4	Baixa
Janga	2	4	2	4	Moderada

A linha de costa de Paulista exhibe a seguinte compartimentação quanto a classificação geral da vulnerabilidade: 11,82% muito alta, 25,01% alta, 22,29% moderada e 12,13% baixa, considerando que 28,75% da linha de costa possui estruturas de fixação. A distribuição da vulnerabilidade geral pode ser visualizada no mapa (fig. 75).

Tabela 40 – Relação entre os intervalos dos valores e os graus de vulnerabilidade.

Intervalos	Grau de Vulnerabilidade Geral
$\leq 3,42$	Baixo
3,43 a 4,45	Moderado
4,46 a 5,90	Alto
$> 5,91$	Muito Alto

Na avaliação da vulnerabilidade foram utilizados descritores que analisam a intensidade dos impactos socioeconômicos decorrente da subida do nível do mar. Para a praia de Maria Farinha o grau de vulnerabilidade encontrado foi alto e as variáveis que colaboraram para este resultado foram a perda de capital de valor e a proteção/adaptação da costa que significam um grande prejuízo financeiro ocasionado pela perda de imóveis de alto valor comercial e também pelo alto custo para proteção da costa. A praia de Nossa Senhora da Conceição obteve o resultado muito alto para a vulnerabilidade geral. Este resultado expressa a enorme perda financeira do bairro decorrente da maior perda de área emersa dentre os bairros e como consequência a perda de imóveis de alto valor comercial e do alto custo para proteção da costa. As praias de Nossa Senhora do Ó e Pau Amarelo obtiveram baixo grau de vulnerabilidade devido ao pequeno número de pessoas afetadas e de área emersa perdida com a elevação do nível do mar. O Janga é o maior bairro em termos de extensão e densidade populacional, entretanto seu grau de vulnerabilidade foi moderado devido também ao número de pessoas afetadas e ao valor de área emersa perdida encontrados ser intermediário em relação ao valor total quantificado.

De forma geral, os itens de maior vulnerabilidade foram proteção/adaptação da costa e perda de capital de valor, significando que o prejuízo econômico deste litoral será alto com a confirmação da elevação do nível do mar.

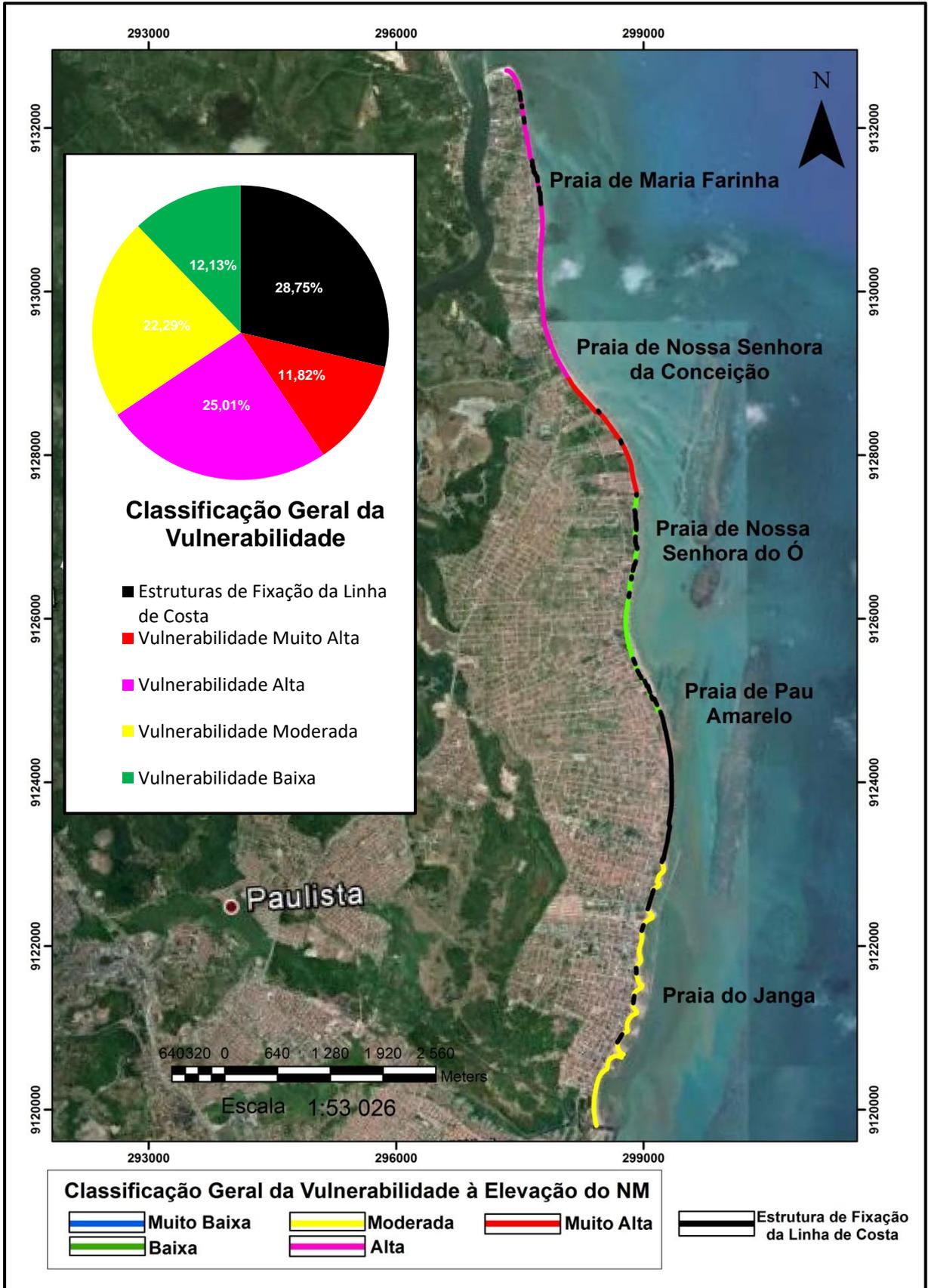


Figura 75 – Mapa da vulnerabilidade geral para o litoral de Paulista.

7 CONCLUSÕES

Neste trabalho foi apresentada uma alternativa metodológica que se utiliza da análise de parâmetros físicos, do dimensionamento do impacto e do diagnóstico de parâmetros socioeconômicos, para a avaliação dos efeitos da elevação do nível do mar sobre uma determinada área costeira.

As ferramentas utilizadas para confecção desta análise foram as seguintes: o cálculo da suscetibilidade utilizando variáveis físicas e hidrodinâmicas integradas através de um algoritmo, todos baseado na proposta de Gornitz (1991). Com este instrumento delineou-se o grau de importância das variáveis na construção do diagnóstico físico da área. Com a confirmação das consequências (erosão e inundação) resultantes do evento foi utilizado o cálculo da retrogradação sugerido por Bruun (1962) para obtenção das dimensões da área impactada pelo evento erosivo. E por fim, foi aplicado o cálculo da vulnerabilidade que empregou variáveis socioeconômicas sugeridas por Nicholls (1995) e agregadas por meio do algoritmo sugerido por Gornitz (1991) para descrever as consequências da retrogradação ocasionada pela subida do nível do mar nas esferas social e econômica da área estudada.

Os métodos utilizados para o diagnóstico do litoral são relativamente fáceis de serem utilizados. No entanto é necessário o conhecimento específico em áreas como geologia, cartografia e oceanografia para a aquisição dos dados e a aplicação da metodologia.

A linha de costa de Paulista apresenta graus de suscetibilidade variados ao longo de sua extensão. Desta forma, 41,75% do comprimento da linha de costa corresponde à suscetibilidade muito alta, 3,07% possui suscetibilidade alta, 4,33% é classificado como moderada e 22,10% do segmento praias tem suscetibilidade muito baixa. Do total de 14.468 metros de comprimento, 28,75% do litoral paulistense possui obras costeiras para fixação da linha de costa. Esta extensão não foi considerada no cálculo da suscetibilidade. Estes resultados mostram que a costa de Paulista tem aptidão para erosão e inundação em níveis diferentes de acordo com a localização espacial dos resultados encontrados através do índice geral de suscetibilidade.

Os fatores que mais contribuíram para a suscetibilidade do litoral diante da elevação do nível do mar foram a geologia, a geomorfologia, variação do nível do mar

e a declividade da costa. Os fatores hidrodinâmicos apresentaram baixa relevância na classificação da suscetibilidade descrita no litoral paulistense.

Utilizando as previsões publicadas pelo IPCC em 2013 foi calculado o recuo da linha de costa para utilizando a regra de Bruun (1962). Para o pior cenário (elevação do nível do mar de 0,98 m e profundidade de fechamento segundo Hallemeier (1981)), foram encontrados recuos de 71m a 279,65m ao longo do litoral estudado. Como o contingente urbano ocupa áreas muito próximas à linha de costa, estes resultados indicam perdas de imóveis residências, comerciais e de lazer.

A análise da vulnerabilidade do litoral indica que as praias de Maria Farinha e Nossa Senhora da Conceição terão os maiores impactos, e estes estão relacionados à perda de capital de valor e proteção/adaptação da costa. As praias de Nossa Senhora do Ó, Pau Amarelo e Janga apresentaram graus de vulnerabilidade baixa e moderada, respectivamente. Os descritores pessoas afetadas e perda de terras emersas apresentaram grau moderado ou baixo para as praias estudadas, exceto para Nossa Senhora da Conceição, onde o grau foi muito alto para a variável perda de terras emersas devido a grande extensão do recuo da linha de costa. De forma geral, os resultados obtidos apontam para grandes prejuízos financeiros. O impacto social será maior devido a perda do espaço de lazer que é a praia.

Diante das respostas encontradas a respeito do panorama que tende a se desenvolver no litoral estudado é necessário manter e ampliar a aquisição de dados para o monitoramento litorâneo, para que através do acompanhamento possam ser definidos os encaminhamentos preventivos e tomadas as medidas necessárias para minimizar o impacto decorrente do evento sobre a população que reside ou frequenta eventualmente a área.

Os resultados obtidos através das análises da suscetibilidade, retrogradação e da vulnerabilidade para o pior cenário mostram um panorama de perdas e prejuízos acentuados para o litoral de Paulista. Este quadro exigirá dos gestores públicos um posicionamento enérgico e eficiente para gerir as necessidades que serão desencadeadas com o passar dos anos e com a confirmação do quadro de previsões acerca da elevação do nível do mar.

REFERÊNCIAS

- Accioly A.C.A., McReath I., Santos E.J., Guimarães I.P., Vannucci R., Bottazzi P. 2000. The Passira meta-anortositic complex and its tectonic implication, Borborema Province, Brazil. *In: International Geological Congress, 31st, Rio de Janeiro, abstracts, CD-Rom*
- Adger, W. N., 2006. Vulnerability. *Global Environmental Change* 16 (2006) 268–281.
- Albertão, G. A., 1993. Abordagem Interdisciplinar e Epistemológica sobre as Evidências do Limite Cretáceo-Terciário, com Base em Leituras Efetuadas no Registro Sedimentar das Bacias da Costa Leste Brasileira. Departamento de Geologia da Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto, MG. Tese de Mestrado 255 p
- Albertão, G. A., Koutsoukos, E. A. M., Regali, M. P. S., Attrep, Jr. M., Martins Jr, P. P. 1994b. The Cretaceous-Tertiary boundary in southern low-latitude regions: preliminary study in Pernambuco, north-eastern Brazil. *Terra Nova*, 6: 366-375.
- Albertão, G. A., Martins Jr., P. P., Koutsoukos, E. A. M. 1994a. O limite Cretáceo-Terciário na Bacia Pernambuco-Paraíba: características que definem um marco estratigráfico relacionado com um evento catastrófico de proporções globais. *Acta Geológica Leopoldensia*, 39(1): 203-219.
- Alcantara-Ayala, I. 2002. Geomorphology, natural hazards, vulnerability and prevention of natural disasters in developing countries. *Geomorphology*, v. 47, p. 107-124.
- Alheiros, M.M.e Lima Filho, M.F– Revisão geológica da faixa sedimentar costeira de Pernambuco, Paraíba e parte do Rio Grande do Norte– Sedimentos do Grupo Paraíba. *Estudos Geológicos. Série B. Recife. v.10. p.77-78, 1991.*
- Amaral, A. J. R., Menor, E. A., Santos, S. A. 1977. Evolução paleogeográfica da seqüência clástica basal da bacia sedimentar costeira Pernambuco-Paraíba. *In: SBG, Simpósio de Geologia do Nordeste, 8, Campina Grande, Atas, 6: 37-63.*
- Assis, H.M.B. Estudo dos Beach Rocks do Litoral sul de Pernambuco com base em evidências petrográficas e isotópicas. 1990. 91f. Dissertação (Mestrado em Geociências) - Departamento de Geologia, Centro de Tecnologia e Geociências, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 1990.
- Barbosa, J. A. 2007. A deposição carbonática na faixa costeira Recife-Natal: aspectos estratigráficos, geoquímicos e paleontológicos. Tese de Doutorado, Centro de Tecnologia e Geociências, Universidade Federal de Pernambuco, 270p.
- Barbosa, J.A. 2004. Evolução da Bacia da Paraíba durante o Maastrichtiano-Paleoceno: formações Gramame e Maria Farinha, NE do Brasil. Dissertação de Mestrado, Centro de Tecnologia e Geociências, Universidade Federal de Pernambuco, 230p.

Barbosa, J.A. 2004. Evolução da Bacia da Paraíba durante o Maastrichtiano-Paleoceno: formações Gramame e Maria Farinha, NE do Brasil. Dissertação de Mestrado, Centro de Tecnologia e Geociências, Universidade Federal de Pernambuco, 230p.

Barbosa, J.A., Souza, E.M., Lima Filho, M.F. & Neumann, V.H. 2003. A estratigrafia da Bacia Paraíba: uma reconsideração. *Estudos Geológicos*, Recife, 13: 89-108.

Barbosa, J.A., Souza, E.M., Lima Filho, M.F. & Neumann, V.H. 2003. A estratigrafia da Bacia Paraíba: uma reconsideração. *Estudos Geológicos*, Recife, 13: 89-108.

Barbosa, J.A., Viana, M.S.S., Neumann, V.H. 2006. Paleoambientes e icnofácies da seqüência carbonática (Cretáceo e Paleogeno) da Bacia da Paraíba, NE do Brasil. *Revista Brasileira de Geociências*, 36(3): 73-90.

Barbosa, J.A., Viana, M.S.S., Neumann, V.H. 2006. Paleoambientes e icnofácies da seqüência carbonática (Cretáceo e Paleogeno) da Bacia da Paraíba, NE do Brasil. *Revista Brasileira de Geociências*, 36(3): 73-90.

Beurlen, K. 1967. Estratigrafia da faixa sedimentar costeira Recife-João Pessoa. Bol. Soc. Bras. Geol., 16(1):43-53.

Beurlen, K., 1967a. Estratigrafia da faixa sedimentar costeira Recife-João Pessoa. Bol. Geol. São Paulo. 16(1): 43-53.

Beurlen, K., 1967a. Estratigrafia da faixa sedimentar costeira Recife-João Pessoa. *Boletim da Sociedade Brasileira de Geologia*, 16(1): 43-53.

Beurlen, K. 1976. A estrutura geológica do Nordeste Brasileiro. *XXI Congresso Brasileiro de Geologia*, Curitiba. 151-158.

Beurlen, K., 1967b. Paleontologia da faixa sedimentar costeira Recife-João Pessoa. *Boletim da Sociedade Brasileira de Geologia*, 16(1): 73-79.

Bird, E. 2008. Coastal geomorphology: an introduction. John Wiley and Sons. ISBN 0470517301.

Birkemeier, W.A. Field data on seaward limit of profile change. J. of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering, ASCE Press, 111(3), 1985, p.598-602.

Bittencourt, A.C.S.P. The marine formations of the State of Bahia, Brazil. In: SUGUIO et al. (Eds.). International Symposium on Coastal Evolution in the Quaternary. Proceedings... São Paulo, 1979. p.232 -253.

Boak, E.H. e Turner, I.L. 2005. Shoreline Definition and Detection: A Review. Journal of Coastal Research, v.21, n. 4, p. 688-703. 2005.

Boruff, B. J; Emrich, C.; Cutter, S. L. Erosion hazard vulnerability of US Coastal Counties. Journal of Coastal Research, West Palm Beach, Florida, v. 21, n. 5, p. 932-42, 2005.

Brandley, R. S. 1999. Paleoclimatology: reconstructing climates of the quaternary. 2 ed. San Diego, California: Academic Press. 614 p.

Brasil. Ministerio das Cidades / Instituto de Pesquisas Tecnologicas – IPT. 2007. Mapeamento de Riscos em Encostas e Margem de Rios / Celso Santos Carvalho, Eduardo Soares de Macedo e Agostinho Tadashi Ogura, organizadores – Brasília: Ministerio das Cidades; Instituto de Pesquisas Tecnologicas – IPT, 178 p.

Brito Neves B.B. 1975. Regionalização geotectônica do Pré-cambriano nordestino. Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, Tese de Doutorado, 198 p.

Brito Neves, B. B., Van Schmus, W. R., Santos, E. J., Campos Neto, M. C., and Kozuch, M. 1995. O evento Carirís Velhos na província Borborema: integração de dados, implicações e perspectivas: *Revista Brasileira de Geociências*, v. 25, p. 279–296.

Brito Neves B.B., Campos Neto M.C., Van Schmus W.R.; Santos E.J. 2001. O “Sistema Pajeú-Paraíba” e o “Maciço” São José do Campestre no leste da Borborema. *Revista Brasileira de Geociências*, 31(2):173-184

Brito Neves B.B., Campos Neto M.C., Van Schmus W.R.; Santos E.J. 2001. O “Sistema Pajeú-Paraíba” e o “Maciço” São José do Campestre no leste da Borborema. *Revista Brasileira de Geociências*, 31(2):173-184.

Brito Neves B.B., dos Santos E.J., Van Schmus W.R., 2000. Tectonic history of the Borborema Province, Northeastern Brazil. *In: Cordani U., Milani E.J., Thomaz Filho A., Campos D.A. (eds.) Tectonic evolution of South America*. International Geological Congress, 31st, Rio de Janeiro, Brazil, p.151- 182.

Bruun, P. 1962. Sea level rise as a cause of shoreline erosion. *Journal of Waterways and Harbor*, 88: 117-130.

Camargo, M. G. 2006. SYSGRAN: um sistema de código aberto para análises granulométricas do sedimento. *Revista Brasileira de Geociências*, 36(2): 371-378.

Camfield, F.E.; Morang, A. 1996. Defining and Interpreting Shoreline Change. *Ocean and Coastal Management*, 32 (3): 129-151. (Costa e Macedo, 1989).

Castro, B. M.; LEE, T. N.. Wind-Forced sea level variability on the southeast Brazilian shelf. *Journal of Geophysical Research*, v. 100, n. C8, p.16, Ago. 15, 1995.

Coastal Planning e Engineering do Brasil. (2011). Alternativas de Obras de Proteção Costeira, para recuperação da orla marítima e recomposição de praias arenosas dos municípios de Paulista, Olinda, Recife e Jaboatão dos Guararapes, em Pernambuco, além das medidas corretivas necessárias às obras já implantadas na orla, e, em fase posterior, desenvolver o Projeto Básico de Engenharia da alternativa escolhida pelo Poder Público Estadual. Considerações Finais sobre as Alternativas de Recuperação da Orla da Região Metropolitana de Recife, Volume 9, 52 p.

Coe, A. L. 2005. The sedimentary Record of sea-level change. Cambridge University Press. 288p.

Cooper, J.A.G. and Pilkey, O.H. 2004. Sea-level rise and shoreline retreat: time to abandon the Bruun Rule. *Global and Planetary Change*, 43, p. 157–171.

Cordani, U.G., et al. 1984. Estudo Preliminar de Integração do Précambriano com os eventos tectônicos das Bacias sedimentares brasileiras. Petrobrás, CENPES, Ciência-Técnica- Petróleo. Seção: Exploração Petróleo, 15: 70p.

Corrêa et al. (1999) – Corrêa, I. C. S.; Toldo Jr, E.E; Ávila, M. D. 1999. Estabilizações do nível do mar na Plataforma Continental Sul Sudeste do Brasil durante a última grande transgressão. In: Congresso LatinoAmericano sobre Ciências Del Mar 8, 1999. Libro de Reaumenes Ampliados..., Trujillo: UNT, 1999. V.2, p. 688-690.

Coutinho, P.N.; Pedrosa, F.J.A.; Medeiros, A.B.; Martins, M.H.A.; Lira, A.R.AA.; Menezes, M.O.B.; Chaves, N.S.; Kater, K.; Oliveira, L.A.; Manso, V.A.; Lima, A.T.O. e Lima Filho, M.F. 1993. Compartimentação geológico-geomorfológica da faixa costeira norte de Pernambuco (Folha Itamaracá) XV Simp. De Geol. Do Nordeste. 59-60.

CPRH – Agência Estadual de meio Ambiente. 1986. Proposta de enquadramento das bacias hidrográficas do Grupo GL-1. Recife, Companhia Pernambucana de Controle da Poluição Ambiental e de Administração dos Recursos Hídricos, 52p.

CPRH– Agência Estadual de meio Ambiente. 2003. Relatório de sistematização das informações levantadas junto aos núcleos de documentação na esfera municipal, estadual e federal e junto às comunidades envolvidas com atividades de apoio ao turismo. Recife, 85 p.

Dantas, E. L., Hackspacher, P. C., Van Schmus, W. R., and Brito Neves, B. B. 1998. Archean accretion in the São José do Campestre massif, Borborema province, northeast Brazil: *Revista Brasileira de Geociências*, v.28, p. 229–242.

Davies, J. L., 1980. *Geographical Variation in Coastal Development*. 2a ed. Longman, Londres, 221p.

Davis, R. A.; Fitzgerald, D. M., 2004. *Beaches and coasts*. Blackwell Publishing. 419 p.

Dean, R. G. e Dalrymple, R. A. *Coastal Process with Engineering Applications*. Cambridge University Press, 2002. 475 p

Delibrias, C. e Laborel, J. 1971. Recent variations of sea-level along the brazilian coast. *Quaternária*, p. 45-49.

Departamento de Estradas e Rodagem de Pernambuco (DER/PE). http://www.der.pe.gov.br/index.php?option=com_content&view=article&id=333&Itemid=100025

Dominguez, J. M.; Bittencourt, A. C. S. P.; Leão, Z. M. A. N. e Azevedo, A. E. G. 1990. Geologia do Quaternário costeiro do estado de Pernambuco. *Revista Brasileira de Geociências*, 20(1-4): 208-215.

Dutrieux, E.; Canovas, J. Denis; Y. Hénocque; J.P. Quod J.; Bigot, L.; 2000. Guide Méthodologique Pour L'élaboration de Cartes de Vulnérabilité des Zones Côtières de l' Ocean Indien. INFREMER/UNESCO. IOC Guides and Manuals 38, 40 p.

Egbert G.D., Bennett A.F., Foreman M.G.G., 1994. *TOPEX/POSEIDON tides estimated using a global inverse model*. Journal of Geophysical Research, 99(C12), 24821- 24852.

Egbert G.D., Erofeeva, S.Y., 2002. *Efficient inverse modeling of barotropic ocean tides*. Journal of Atmospheric and Oceanic Technology, 19, 183-204.

Farias, R. F. de. 2008. Introdução à química do petróleo. Rio de Janeiro: Ciência Moderna.

Ferreira, V. P., Sial, A. N., Jardim De Sá, E. F., 1998. Geochemical And Isotopic Signatures Of Proterozoic Granitoids In Terranes Of The Borborema Structural Province, Northeast Brazil. Journal Of South American Earth Sciences, Vol. 11, p.438-455.

Fetter A.H., Van Schmus W.R., Santos T.J.S., Nogueira Neto J.A., Arthaud M.H. 2000. U-Pb and Sm-Nd geochronological constraints on the crustal evolution of basement architecture of Ceará state NW Borborema Province, NE Brazil: Implications for the existence of the Paleoproterozoic supercontinent Atlântica. *Revista Brasileira de Geociências*, 30:102-106.

FIDEM/CONDEPE – Agência Estadual de Planejamento e Pesquisa de Pernambuco. 1980. Estudo geológico-ambiental do estuário do rio Timbó, município Igarassu. Recife.

FIDEM/CONDEPE – Agência Estadual de Planejamento e Pesquisa de Pernambuco. 1987. Proteção da Orla Marítima de Olinda. Série de Desenvolvimento Urbano e Meio Ambiente – Recife. 61 p.

Folk & Ward (1975). FOLK, R. L.; WARD, W.C. Brazos rives bar: a study in the significance of grain size parameters. Journal of Sedimentary Petrology, Tulsa, v. 27, p. 3-27, 1957.

França, H. P. M. & Capucci, E. B.- CPRM/Compesa. – Diagnóstico preliminar das condições de exploração de água subterrânea do aquífero Beberibe – área Olinda-Paulista-Itamaracá– Recife, 1978.

Franco, A. S.; Kjerfve, B.; Neves, C. F.. The analyse of extremely long tidal series. In: IV Seminário sobre Ondas, Marés e Engenharia Oceânica – IV OMAR, Arraial do Cabo, 2001.

Gallerini, G.; De Donatis, M.; Devoti, S.; Gabellini, M.; Nisi, M.F.; Silenzi, S.; 2003. In: CoastGis'03, V International Symposium on GIS and Computer Cartography for Coastal Zone Management. Proceedings.... Italia, (On line) <http://www.gisig.it/coastgis>

Gibbs, R. J.; Matthews, M. D. & Link, D. A. 1971. The relationship between sphere size and settling velocity. *Journal of Sedimentary Petrology*, 41(1): 7-18.

Gornitz, V.. Global coastal hazards from future sea level rise. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology (Global and Planetary Change Section)*, 89. Amsterdam. p. 379-398. 1991.

Gornitz, V.M.; White, T.W.; Cushman, R.M.. Vulnerability of the US to future sea level rise. Coastal Zone. '91. Proceedings of the 7th Symposium on Coastal and Ocean Management. American Society of Civil Engineers. pp. 1345-1359. 1991.

Hallermeier, 1981. R.J. *A profile zonation for seasonal sand beaches from wave climate. Coastal Eng.* 4 (1981), pp. 253–277.

Harari, J.; Camargo, R.. Tides and mean sea level in Recife (PE). Boletim do Instituto Oceanográfico, Universidade de São Paulo, 1993.

Houghton, J. 1994. Global warming: the complete briefing. Oxford: A Lion Book. 192 p.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão. Censo Demográfico 1970. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br>.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão. Censo Demográfico 1991. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br>.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão. Censo Demográfico 1996. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br>.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão. Censo Demográfico 2000. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br>.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão. Censo Demográfico 2001. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br>.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão. Censo Demográfico 2001. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br>.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão. Censo Demográfico 2007. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br>.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão. Censo Demográfico 2010. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br>.

INMET. 2014. Instituto Nacional de Meteorologia. 3º DISME. Recife. http://www6.cptec.inpe.br/proclima2/balanco_hidrico/balancohidrico.shtml.

Intergovernmental Oceanographic Commission (IOC). Hazard awareness and risk mitigation in integrated coastal area management. United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (UNESCO), Manuals and Guides No 50, ICAM Dossier No 5, 141p. Paris, França. 2010. Disponível em http://www.loicz.org/imperia/md/content/loicz/stormsurges/sessione/3_barbiereetal.pdf

IPCC. Intergovernmental Panel on Climate Change. Climate Change 2001: The Physical Science Basis. Disponível em: < <http://www.ipcc.ch/ipccreports/ar4-wg1.htm>>.

IPCC. Intergovernmental Panel on Climate Change. Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Disponível em: <<http://www.ipcc.ch/ipccreports/ar4-wg1.htm>>.

IPCC. Intergovernmental Panel on Climate Change. Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Disponível em: <<http://www.ipcc.ch/ipccreports/ar4-wg1.htm>>.

International Strategy for Disaster Reduction (ISDR). 2004. Living with Risk: A global review of disaster reduction initiatives. Geneva: World Meteorological Organization and the Asian Disaster Reduction Center. Disponível em: < http://www.unisdr.org/eng/about_isdr/bd-lwr

Jimenez, 2008. Integrated flood risk analysis and management methodologies: Guidelines on coastal flood hazard mapping.

John Grotzinger, Thomas Jordan, 2005. Para entender a Terra. Tradução Rualdo Menegat, 4 ed. – Porto Alegre: bookman, 656 p.: il.

Houghton, J. 1994. Global warming: the complete briefing. Oxford: A Lion Book. 192 p.

Kalil, A. F. D.. Contribuições ao estudo do nível médio do mar no Estado do Rio de Janeiro. Dissertação (COPPE), Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 1999.

Kegel, W., 1955. Geologia do Fosfato de Pernambuco, Brasil, Div. Geol.Min.Bol. 157, Rio de Janeiro.

Kegel, W., 1957. Novo membro fossilífero da Formação Itamaracá (Cretácio superior de Pernambuco). Anais Acad. Bras. Cienc., 29:373-375.1957.

Kegel, W., 1957a. Contribuição ao estudo da Bacia Costeira do Rio Grande do Norte. DNPM, Div. Geol. Min. Bol. 170: 52p.

Kempf, M. A Plataforma Continental de Pernambuco. In: Trabalhos Oceanográficos da UFPE. Recife, 1970. p. 111-124.

Kennett, J. P. 1982. Marine Geology. Englewood Cliffs, N. J.: Prentice-Hall. 813p.

Kiehl, J., e K. Trenberth, 1997: Earth's annual global mean energy budget. Bull. Am. Meteorol. Soc., 78, 197-206.

Klein, A. H. F.; Ferreira, O.; Dias, J. M. A.; Tessler, M. G.; Silveira, L. F.; Benedet, L.; Menezes, J. T. & Abreu, J. G. N. 2009. Morphodynamics of structurally controlled headland-bay beaches in southeastern Brazil: A review. *Coastal Engineering*, 57: 98-111

Klein, R.; Nicholls, R., 1999. Assessment of Coastal Vulnerability to Climate Change. *Ambio* 28 (2): 182-187.

Komar, P.D. Beach Process and Sedimentation. 2nd. ed., New Jersey: Prentice Hall, 1998. 544 p.

Kozuch M., Bittar S.M.B., Van Schmus W.R., Brito Neves B.B. 1997. Late Mesoproterozoic and middle Neoproterozoic magmatism in the zona Transversal of the Borborema Province, Brazil. In: SBG, Simpósio de Geologia do Nordeste, 17, Fortaleza. *Boletim*, v. 15, p.47-50.

Landim, P. M. B. Análise estatística de dados geológicos. 2ª Edição. UNESP, Rio Claro, 2003.

Leite P.R.L.B, Bertrand J.M., Lima E.S., Leterrier J. 2000. Timing of granitic magmatism in the northern Borborema Province, Brazil: A U-Pb study of granitoids from the Alto Pajeú Terrain. *J. South Am. Earth Sci.*, 13:549-559.

Lima Filho, M. F. e Souza, E. M., 2001. Marco estratigráfico em arenitos calcíferos do Campaniano da Bacia Paraíba: estratigrafia e significado paleoambiental. In: SBG, Simpósio de Geologia do Nordeste, 19. *Anais*, 87-88.

Mabesoone, J.M. e Tinoco, I.M. 1971. Geologia da faixa sedimentar costeira Pernambuco-Paraíba, Recife, Universidade Federal Pernambuco, Resumo do II Seminário Departamental (Mimeografado).

Mabesoone, J. M. e Alheiros, M. M. 1993. Evolution of the Pernambuco-Paraíba-Rio Grande do Norte Basin and the problem of the South Atlantic connection. *Geologie en Mijnbouw, Kluwer Academic Publishers*. 71:351-362.

Mabesoone, J. M. e Silva, J.C. 1991. Aspectos geomorfológicos - faixa sedimentar costeira de Pernambuco, Paraíba e parte do Rio Grande do Norte. In: J.M.

Mabesoone, (coord.), Revisão geológica da faixa sedimentar costeira de Pernambuco, Paraíba e parte do Rio Grande do norte. *Estudos Geológicos*, Série B, 10: 117–132.

Mabesoone, J.M e Alheiros, M.M. 1988. Origem da Bacia Sedimentar Costeira Pernambuco/Paraíba. *Revista Brasileira de Geociências*, 18: 476-482.

Mabesoone, J.M., Damasceno, J.M., Oliveira, L.D.D., Oliveira, M.I.M. 1991. Sedimentos cretáceos do litoral leste do Rio Grande do Norte. *In: Mabesoone, J.M. (coord.). Revisão geológica da faixa sedimentar costeira de Pernambuco, Paraíba e parte do Rio Grande do norte. Estudos Geológicos*, Série. B, 10: 73-75.

Martin L, J Bertaux, T Corrège, M-P Ledru, P Mourguiart, A Sifeddine, F Soubiès, K Suguio, B Turcq, D Wirrmann. 1997. Astronomical forcing of rainfall changes in tropical South America between 12,400 and 8800 cal.yr BP. *Quaternary Research* 47: 117-122.

Maury, J.C., 1930. O Cretáceo da Paraíba do Norte. *Serv. Geol. Min., Monogr.* 8, 305p.

Menor, E. A., Dantas, J. R. A., Sobrinho, A. C. P. 1977. A sedimentação fosfática em Pernambuco e Paraíba: revisão de novos estudos. *In: SBG, Simpósio de Geologia do Nordeste*, 8, Campina Grande, *Boletim de Resumos*, 6: 1-27.

Menor, E.A. e Amaral, A.J. R. 1979. O comportamento mineralógico da sedimentação fosfática na Bacia Sedimentar Costeira Pernambuco-Paraíba. *In: SBG, Simpósio de Geologia do Nordeste*, 9, Natal, *Boletim de Resumos*, 7: 271-282.

Mesquita, A. R.. Marés, Circulação e Nível do Mar na Costa Sudeste do Brasil. São Paulo: IOUSP/FUNDESPA, 1997

Mesquita, A.R.; Leite, J.B.A. Sobre a Variabilidade do Nível Médio do Mar na Costa Sudeste do Brasil. 1º ENCONTRO REGIONAL DE GEOFÍSICA. 1985. São Paulo, 1985. Anais do 1º Encontro Regional de Geofísica. Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo. São Paulo, 1985.

Miller, K. G.; Kominz, M. A.; Browning, J. V. 2005. The Phanerozoic record of global sea-level change. *Science*, V. 310, p. 1293-1298.

Ministério da Integração Nacional. Conferência geral sobre desastres: para prefeitos, dirigentes de instituições públicas e privadas e líderes comunitários / Ministério da Integração Nacional. Secretaria Nacional de Defesa Civil. -- Brasília : MI., 2007.

Molion, L. C. B., 2008. Aquecimento Global: uma visão crítica. *Revista Brasileira de Climatologia*. ISSN: 1980-055X. 18p.

Morner, N. A. 1980. Earth rheology, isostasy and eustasy. Londres, John Wiley e Sons. 599 p. *In: Suguio, K.; Martin, L.; Bittencourt, A. C. S. P.; Dominguez, J. M. L.; Flexor, J. M.; Azevedo, A. E. G. 1985. Flutuações do nível relativo do mar durante o Quaternário Superior ao longo do litoral brasileiro e suas implicações na sedimentação costeira. Revista Brasileira de Geociências*, V. 15, n.4, p. 273-286.

Muniz, G. C. B. 1993. *Novos moluscos da Formação Gramame, Cretáceo Superior dos Estados da Paraíba e de Pernambuco, Nordeste do Brasil*. Departamento de Geologia, Universidade Federal de Pernambuco. Publicação Especial 1, 202 p.

Nasa Grace (National Aeronautics and Space Administration - *Gravity Recovery and Climate Change*). Disponível em: <http://earthobservatory.nasa.gov/Library/GRACE_Revised/pag3.html>.

National Research Council. 2006. *Facing Hazards and Disasters: Understanding Human Dimensions*. Committee on Disaster Research in the Social Sciences: Future Challenges and Opportunities, Washington, D. C.: The National Academies Press, 409 p.

NRC - National Research Council. 1990. *Managing Coastal Erosion*. National Academic Press. Washington, p.182.

Neves, S.P., Vauchez, A., Feraud, G. 2000. Tectono-thermal evolution, magma emplacement, and shear zone development in the Caruaru area (Borborema Province, NE Brazil). *Precambrian Research*, 99 -1-32.

Neves, S. P., Bruguier, O., Vauchez, A., Bosch, D., Silva, J. M. R. e Mariano, G. 2006. Timing of crust formation, deposition of supracrustal sequences, and Transamazonian and Brasiliano metamorphism in the East Pernambuco belt (Borborema Province, NE Brazil): implications for western Gondwana assembly. *Precambrian Res.*, 149:197-216.

Neves, C. e Muehe, D. *Vulnerabilidade Impactos e Adaptações às Mudanças do Clima: a Zona Costeira*. Parcerias Estratégicas. Brasília. Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (CGEE), n. 27, 2008.

Nicholls, R. J. e Cazenave, A. 2010. *Sea-Level Rise and Its Impact on Coastal Zones*. *Science* 328, 1517; DOI: 10.1126/science.1185782.

Nicholls, R. J. *Synthesis of vulnerability analysis studies*. In: *Proceedings of World Coast '93*. Holanda: Rijkswaterstaat, 1995. Disponível em: <<http://www.survas.mdx.ac.uk/pdfs/nicholls.pdf>>.

Nicolodi, J. L. ; Petermann, R. M. . *Vulnerability of the Brazilian Coastal Zone in its Environmental, Social, and Technological Aspects*. *Journal of Coastal Research*, v. SI 64, p. 1372-1379, 2011.

NOAA – National Ocean and Atmospheric Administration. *Vulnerability assessment*. 1999. Disponível em: <http://www.csc.noaa.gov/products/nchaz/htm/tut.htm>.

Nóbrega e Alheiros, 1991). Nóbrega V. A. e Alheiros, M. M. 1991. *Petrografia do Arenito Beberibe, Bacia Pernambuco-Paraíba*. In: SBG/Núcleo Nordeste, *Simpósio Geologia do Nordeste*, 14, Recife, Boletim 12, 75-77.

Paiva, A. M.. *Estudo das variações do nível médio do mar em Arraial do Cabo, RJ*. Relatório de Pesquisa. FAPERJ-COPPE/UFRJ: Rio de Janeiro: 1993.

Pendleton, E. A.; Williams, S. J.; Thieler, E. R. 2004. Coastal vulnerability assessment of Assateague Island National Seashore (ASIS) to sea-level rise. U.S. Geological Survey Open-File Report 2004-1020, Electronic Book. 20 p. Disponível em: <<http://woodshole.er.usgs.gov/project-pages/nps-cvi/>>

Pilkey, O. H.; Cooper, J. A. G. 2004. Society and sea level rise. *Science*, V. 303, p. 1781-1782.

Pirazzoli, P. A. 1994. Tectonic shorelines. In: Carter, R. W. G; Woodroffe, C. D. (eds), *Coastal evolution*. Cambridge: University, Press, p. 451-476.

Projeto Monitoramento Ambiental Integrado (MAI). 2008. Avaliação dos Processos de Erosão Costeira nos Municípios de Paulista, Olinda, Recife e Jaboatão Dos Guararapes. Relatório Final Volume I, II e III. FINEP/FADE.

Ranasinghe, R., Watson, P., Lord, D., Hanslow, D. and Cowell, P. (2007). Sea Level Rise, Coastal Recession and the Bruun Rule, Proceedings of the 18th Australasian Coastal and Ocean Engineering Conference.

Read, J. F.; Kerans, C.; Weber, L. J.; Sarg, J. F.; Wright F. W. 1995. Milankovitch sea level changes, cycles and reservoirs on carbonate platforms in green-house and ice-house worlds. Tulsa, Okla.: Sepm, 1995. 81 p. (Short course notes: v. 35)

Rodrigues, F.F. Estudo faciológico do calcário Gramame na ilha de Itamaracá (PE). Dissertação de Mestrado. 1983.

Roscoe, Renato. Rediscutindo o papel dos ecossistemas terrestres no seqüestro de carbono. *Cardernos de Ciência & Tecnologia*, Brasília, v. 20, n.2, p. 209-223, 2003.

Rosen, P. S., 1978. A regional test of the Bruun Rule on shoreline erosion. *Marine Geology*, 26, M7-M16.

Ruddiman, W. F. 2001. *Earth's climate: past and future*. New York: W. H. Freeman, 2001. 465 p.

Sá J.M. McReath I., Leterrier J. 1995. Petrology, Geochemistry and geodynamic setting of Proterozoic igneous suites of the Orós fold belt (Borborema Province, northeast Brazil). *J. South Am. Earth Sci.*, 8:299-314.

Sá J.M., Bertrand J.M., Leterrier J. 1997. Geocronologia U-Pb e geoquímica de ortognaisses paleo e mesoproterozóicos da região de Taquaritinga – PE. *In: Simpósio de Geologia do Nordeste*, 17, Fortaleza, *Resumos*, Boletim 17:108-112

Sá J.M., Bertrand J.M., Leterrier J., Macedo M.H.F. 2002. Geochemistry and geochronology of pre-Brasiliano rocks from the transversal zone, Borborema Province, northeast Brazil. *J. South Am. Earth Sci.*, 14:851-866.

Santos E.J. 1995. *O Complexo Granítico Lagoa das Pedras: Acresção e colisão na região de Floresta (Pernambuco) Província Borborema*. Tese de Doutorado, Universidade de São Paulo, 220p.

Santos E.J. dos. 1996. Ensaio preliminar sobre terrenos e tectônica acrescionária na Província Borborema. *In: SBG, Congresso Brasileiro de Geologia, 39, Salvador, Anais, 6:47-50.*

Santos E.J. 1998. Programa levantamentos Geológicos Básicos do Brasil: carta Geológica. Escala 1:250.000 (Folha SC.24-X-A – Belém do São Francisco). Brasília, CPRM.

Santos, E.J. dos e Medeiros, W.C. 1999. Constraints from granitic plutonism on Proterozoical crust growth of the zone Transversal Domain Borborema Province, NE Brazil. *Rev. Bras. Geoc. 29(1)73-84.*

Santos E.J., Brito Neves B.B., Van Schmus W.R., Oliveira R.G. & Medeiros V.C. 2000. An overall view on the displaced terrane arrangement of the Borborema Province, NE Brazil. *In: International Geological Congress, 31th, Rio de Janeiro, Brazil, General Symposia, Tectonic Evolution of South American Platform, 9-5, 1 cd-rom.*

Santos E.J., Nutman A.P., Brito Neves B.B. 2004. Idades SHRIMP U-Pb do Complexo Sertânia: implicações sobre a evolução tectônica da Zona Transversal, Província Borborema. *Revista do Instituto de Geociências – USP, Série Científica, 4:1-12.*

Schlesinger, W.H. 1997. *Biogeochemistry: An analysis of global change. 2nd edition. Academic Press, San Diego. 558 p. (Eighth printing, 2005; Spanish edition, 2000).*

Schlicht, P., Bengtson, P., Hambach, U., Krumsiek, K., Koutsoukos, E. 1999. Ciclos de Calcário e Marga do Maastrichtiano da Bacia Pernambuco-Paraíba (NE Brasil) – Evidências de Imposição Orbital?. *V Simpósio Sobre o Cretáceo do Brasil e I Simpósio sobre o Cretáceo da América do Sul. Serra Negra, SP. Boletim de resumos, (1): 121-124.*

Shand, Tom; Shand, Roger; Reinen-Hamill, Richard; Carley, James and Cox, Ron. A review of shoreline response models to changes in sea level [online]. *In: Australasian Port and Harbour Conference (14th : 2013 : Sydney, N.S.W.). Coasts and Ports 2013: 21st Australasian Coastal and Ocean Engineering Conference and the 14th Australasian Port and Harbour Conference. Barton, A.C.T.: Engineers Australia, 2013: 676-684.*

Sharples, C. 2006. *Indicative Mapping of Tasmanian Coastal Vulnerability to Climate Change and Sea-Level Rise: Explanatory Report (Second Edition); Consultant Report to Department of Primary Industries & Water, Tasmania, 173p. 2006.*

Silva, G. N.. *Variação de longo período do nível do mar: causas, conseqüências e metodologia de análise. 1992. Dissertação (COPPE), Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 1992.*

Silva, G. N.; Neves, C. F.. *Preenchimento de Lacunas em Registros de Maré. Revista Brasileira de Engenharia, v. 11, n. 1, p. 39-53, 1993.*

Silva, J.S.V. da; Santos, R.F. dos. Zoneamento para planejamento Ambiental: vantagens e restrições de métodos e técnicas. *Cadernos de Ciência & Tecnologia*, Brasília, v. 21, n. 2, p. 221-263, 2004.

Snoussi, M., Ouchani, T e Niazi, S. 2008. Vulnerability assesment of the impact of sea-level rise and flooding on the Moroccan coast: The case of the Mediterranean eastern zone. *Estuarine Coastal and Shelf Science*. 77: 206-213.

Souza , C.R.de et. al. Quaternário do Brasil. Ribeirão Preto: Holos, 2005. 382p.

Souza, C. R. G. 2009. Erosão Costeira e os Desafios da Gestão Costeira no Brasil. *Revista Gestão Costeira Integrada*. V.9(1): 17-37.

Souza, C.R. de G. 2009a. *A Erosão nas Praias do Estado São Paulo: Causas, Conseqüências, Indicadores de Monitoramento e Risco*. In: Bononi, V.L.R.,

Santos Junior, N.A. (Org.), *Memórias do Conselho Cientifico da Secretaria do Meio Ambiente: A Síntese de Um Ano de Conhecimento Acumulado*, pp.48-69, Instituto de Botânica – Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo, São Paulo, SP, Brasil. (ISBN 978-85-7523- 025-1).

Souza, E. M. 1998. Levantamento radiométrico das unidades estratigráficas da Bacia Paraíba. Dissertação de Mestrado, Centro de Tecnologia e Geociências, Universidades Federal de Pernambuco. 152 p.

Souza, E. M. 1999. Levantamento radiométrico das unidades estratigráficas da Bacia Paraíba. Centro de Tecnologia e Geociências, Universidades Federal de Pernambuco. Dissertação de Mestrado, 152 p.

Souza, E. M., 1999. Levantamento radiométrico das unidades estratigráficas da Bacia Paraíba. Dissertação de Mestrado, UFPE/CTG, 152p.

Souza, E. M., 1999. Levantamento radiométrico das unidades estratigráficas da Bacia Paraíba. Dissertação de Mestrado, UFPE/CTG, 152p.

Souza, E.M. 2006. Estratigrafia da seqüência clástica inferior (andares Coniaciano-Maastrichtiano Inferior) da Bacia da Paraíba, e suas implicações paleogeográficas. Tese de Doutorado, Centro de Tecnologia e Geociências, Universidade Federal de Pernambuco, 350p.

Stinnesbeck, W. & Keller, G. 1996. Environmental changes across the Cretaceous-Tertiary Boundary in Northeastern Brazil. *In: N. MacLeod & G. Keller (eds), Cretaceous-Tertiary mass extinctions: biotic and environmental changes..* W.W. Norton & Company, New York, 575 pp.

Stinnesbeck, W. 1989. Fauna y microflora en el limitem Cretácico-Terciário en el Estado de Pernambuco, Noreste de Brasil. *Simposios sobre el Cretácico del América Latina, Parte A: Eventos y registro sedimentario*. Centro de Investigaciones Geológicas, Facultad de Ciencias Naturales y Museo, Universidad de La Plata. Buenos

Suguio, K., et al, 1985. Flutuações do nível relativo do mar durante o Quaternário Superior ao longo do litoral brasileiro e suas implicações na sedimentação costeira. *Rev. Bras. Geoc.*, 15 : 273-286.

Suguio, K.; Suzuki, U. 2003. A evolução geológica da Terra e a fragilidade da vida. São Paulo: Edgard Blucher. 152 p.

Távora, V.A & Miranda, M.C.C. 2004. Sistemática e tafonomia de uma fáunula de crustáceos decápodes da Formação Maria Farinha (Paleoceno), Estado de Pernambuco, Brasil. *Revista Brasileira de Paleontologia*, 7(1): 45-52.

Tinoco, I. M. & Siqueira, L. P. 1976. Aplicação da micropaleontologia na prospecção de fosfato sedimentar. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 48(1): 47-55.

Tinoco, I. M. 1967. Micropaleontologia da Faixa Sedimentar Costeira Recife-João Pessoa. *Boletim da Sociedade Brasileira de Geologia*, 16(1): 81-85.

Tinoco, I. M., 1962 – Contribuição ao conhecimento da microfauna do fosfato de Pernambuco. Parte I. Foraminíferos: O gênero *Fascipira*. *Arquivos de Geologia – Escola de Geologia*. Recife, 2:59-73.

Tinoco, I. M., 1971. Foraminíferos e a passagem entre o Cretáceo e o Terciário em Pernambuco. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo. 147 p.

Titus, J. G. 1993. Climate and sea level change: a synthesis. In: Warrick, R. A.; Barrow, E. M.; Wigley, T. M. L. 1993. Climate and sea level change: observations, projections and implications. Cambridge: University of Cambridge, 1993. 424 p.

Tolman, H. L., 1999. *User manual and system documentation of WAVEWATCH-III version 1.18*. NOAA / NWS / NCEP / OMB Technical Note 166, 110 pp. (0.76Mb pdf

Tolman, H. L. 1997. *User manual and system documentation of WAVEWATCH-III version 1.15*. NOAA / NWS / NCEP / OMB Technical Note 151, 97 pp.

UNDP. United Nations Development Programme. Reducing Disaster Risk: A Challenge for Development. UNDP, 2004. Disponível em: <http://www.undp.org/bcpr>.

Van Schums W.R. Brito Neves B.B., Hackspacher P.C., Babinsky M. 1995. U/Pb and Sm/Nd geochronologic studies of the eastern Borborema Province, NE Brazil. *J. South Amer. Earth Sci*; 8:267-288.

Van Schmus W.R., Brito Neves B.B., Hackspacher P.C. Babinsky M., Fetter A.H., Dantas E.L. 1996. Precambrian history of West Gondwana: The Borborema Province, NE Brazil. In: Annual Meeting, Geological Society of America, Denver, *Abstract with Programs*, p. A-494.

Van Schmus W.R., Oliveira E.P., Silva Filho A.F., Toteu S.F., Penaye J., Guimarães I.P. 2008. Proterozoic links between the Borborema Province, NE Brazil, and the

Central African Fold Belt. *In*: Pankhurst R.J., Trouw R.A.J., Brito Neves B.B & De Wit M.J. (eds.) *West Gondwana: Pre-Cenozoic correlations across the South Atlantic region*. Geological Society, London, Special Publication, 294:69-99.

Varnes, D.J. 1984. *Landslide Hazard Zonation: Review of Principles and Practice*. UNESCO Press, Paris. 56p.

Watson, R., Noble, I., Bolin, B. and 32 co-authors (2000) Summary for policymakers: land-use, land-use change and forestry. *In*: A special report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, 377 pp.

Warrick, R. A.; Barrow, E. M.; Wigley, T. M. L. 1993. *Climate and sea level change: observations, projections and implications*. Cambridge: University of Cambridge, 1993. 424 p.

Wigley, T.M.L. e Schimel, D.S. 2000. *The Carbon Cycle*. xvii+292 pp. Cambridge, New York, Melbourne: Cambridge University Press. ISBN 0 521 58337 3.

Wind, H. G.; Peeterbolte, E. B. 1993. *Climate and sea level change: a synthesis*. *In*: Warrick, R. A.; Barrow, E. M.; Wigley, T. M. L. 1993. *Climate and sea level change: observations, projections and implications*. Cambridge: University of Cambridge, 1993. 424 p.