



CAPÍTULO XVI

CONSEQUÊNCIAS DE UMA POSSÍVEL SUBIDA DO NÍVEL DO MAR EM MANGARATIBA – RJ

CONSEQUÊNCIAS DE UMA POSSÍVEL SUBIDA DO NÍVEL DO MAR EM MANGARATIBA – RJ

A. S. Passos¹; F. F. Dias²; S. R. Barros³; P. R. A. Santos³ e T. F. Rodrigues⁴

¹Programa de pós-graduação em Biologia Marinha e Ambientes Costeiros, bolsista CAPES, Niterói-RJ, Brasil. passosads@live.com

²Programa de pós-graduação em Biologia Marinha e Ambientes Costeiros e Departamento de Análise Geoambiental / Instituto de Geociências, CEP 24210-346, Niterói-RJ, Brasil. fabiofgeo@yahoo.com.br

³Departamento de Análise Geoambiental / Instituto de Geociências, CEP 24210-346, Niterói-RJ, Brasil. sergiobarros@id.uff.br; paulorobertoalvess@gmail.com

⁴Graduação Ciência Ambiental – Universidade Federal Fluminense – UFF, Campus da Praia Vermelha, CEP 24210-346, Niterói-RJ, Brasil. thalitarodrigues@id.uff.br

RESUMO

Mangaratiba é um dos municípios da Costa Verde, litoral do estado do Rio de Janeiro. Ocupa uma área de aproximadamente 34.000 hectares e limita-se a leste com o município de Itaguaí, ao norte com o município de Rio Claro e a oeste com o município de Angra dos Reis, sendo banhado ao sul pela Baía de Sepetiba. O município segue a tendência mundial de crescimento da população em cidades na zona costeira, e apresenta em seu entorno grandes condomínios e incipiente comércio local. A zona costeira é influenciada por agentes oceânicos, atmosféricos e continentais, motivo pelo qual ela é particularmente sensível e que a ocupação urbana inadequada pode provocar uma série de impactos que vão desde a desregulação dos serviços e infraestrutura urbana até a alteração das propriedades físicas e naturais do meio ambiente em questão, tais como as mudanças climáticas e a degradação ambiental dos ecossistemas costeiros. As praias sofrem além de pressões oriundas de atividades e intervenções antrópicas, também pressões naturais importantes, como a elevação do nível relativo do mar e os reflexos das mudanças climáticas. O Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) estima que, se o

nível do mar aumentar 60 cm nos próximos 100 anos, será o suficiente para inundar grandes áreas e causar diversos impactos ambientais. Objetivando analisar a relação entre o comportamento costeiro passado e futuro, foram determinadas paleotaxas de elevação do nível do mar em comparação com taxas propostas por diversos autores. Já a simulação de uma provável subida do nível relativo do mar em Mangaratiba, foi construída através do software ArcGIS – um Modelo Digital de Elevação simulou as zonas de inundação, utilizando o valor de 2,15 m. Assim, foi possível identificar as áreas inundadas pela transgressão marinha, além das classes de uso do solo – através da sobreposição das zonas de inundação com o mapa temático. O resultado mostrou que a subida do nível do mar na área de estudo terá consequências como processos de erosão costeira, inundações, danos às áreas de ocupação urbana, danos às dunas, caracterizando não só impactos naturais, mas também socioeconômicos, que poderão interferir diretamente na infraestrutura, no parque habitacional e no turismo local.

Palavras-chave: Subida do nível do mar; mudanças climáticas; zona costeira; cenários futuros.

ABSTRACT

Mangaratiba is one of the municipalities of Costa Verde, coast of the state of Rio de Janeiro. It occupies an area of approximately 34,000 hectares and is limited to the east with the municipality of Itaguaí, to the north with the municipality of Rio Claro and to the west with the municipality of Angra dos Reis, being bathed to the south by the Bay of Sepetiba. The municipality follows the worldwide trend of population growth in cities in the coastal zone, and presents in its surroundings large condominiums and incipient local commerce. The coastal zone is influenced by oceanic, atmospheric and continental agents, which is why it is particularly sensitive and that inadequate urbanization can lead to a series of impacts ranging from the deregulation of services and urban infrastructure to the alteration of physical and the environment, such as climate change and the environmental degradation of coastal ecosystems. Beaches suffer in addition the pressure of anthropic activities and interventions, as well as important natural pressures, such as the relative sea level rise and the effects of climate change. The Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) estimates that if the sea level rises by 60 cm in the next 100 years, it will be enough to flood large areas and cause diverse environmental impacts. Aiming to analyze the relationship between past and future coastal behavior, paleotaxes of sea level rise were determined in comparison with rates proposed by several authors. The simulation of a probable rise in relative sea level in Mangaratiba was built using ArcGIS software – a Digital Elevation Model simulated the flood zones, using a value of 2.15 m. Thus, it was possible to identify the areas flooded by the marine transgression, besides the classes of land use - through the overlapping of the flood zones with the thematic map. The result showed that sea level rise in the study area will have consequences such as coastal erosion, flooding, damage to areas of urban occupation, damage to dunes, characterizing not only natural

but also socioeconomic impacts, which may directly interfere in the Infrastructure, housing stock and local tourism.

Keywords: Sea level rise; climate change; coastal zone; future scenarios.

INTRODUÇÃO

As planícies costeiras são superfícies relativamente planas e baixas, localizadas junto ao mar, cuja formação resulta da deposição de sedimentos marinhos e fluviais, tendo configuração associada diretamente às oscilações do nível relativo do mar, isto é, processos de ajustamento morfológico ao nível do mar pós-glacial (MUEHE, 2009). No Brasil, a evolução das planícies costeiras deve-se às flutuações do nível relativo do mar durante o Quaternário (SUGUIO *et al.*, 2005; ANGULO *et al.*, 2006). Buscar referências atualizadas que discutam o balanço entre aporte sedimentar e variação eustática

As variações do nível do mar são causadas por: mudanças nos volumes das águas oceânicas, representadas pelo aumento ou redução de volume de água através dos processos de glaciação e deglaciação; mudanças isostáticas, interpretadas com base no princípio do equilíbrio (isostasia); e mudanças geoidais, relacionadas à distribuição da força gravitacional (SUGUIO, 1999).

De acordo com Suguio *et al.* (1985), evidências sedimentológicas (terraços arenosos de origem marinha e as rochas praias), biológicas (incrustações de vermetídeos, ostras e marcas de ouriços) e pré-históricas (sambaquis) das variações do nível do mar, são comumente encontradas na costa brasileira. A partir da definição da posição desses testemunhos em relação ao nível do mar junto à época de sua formação (através de métodos de datação), é possível evidenciar uma flutuação espaço-temporal, permitindo a reconstrução de uma antiga posição do nível relativo do mar.

Em tempos de grande inquietação com os efeitos do aquecimento global, muitos estudos

têm sido motivados pela necessidade de se compreender o clima durante o Quaternário como um guia para prognósticos de mudanças climáticas futuras (ZERFASS *et al.*, 2011).

Em função do possível aumento da temperatura global da Terra em consequência do efeito estufa, existem previsões de uma elevação do nível absoluto do mar decorrente, não só do derretimento parcial das massas de gelo armazenadas sobre os continentes, como também da expansão térmica dos oceanos (MARTIN *et al.*, 1996).

O Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC, 2013) afirma que a expansão térmica dos oceanos e o derretimento das geleiras foram fatores dominantes que contribuíram na subida do nível médio do mar global no século XX. Estudos desde 1971 indicam que a expansão térmica e geleiras explica 75% da subida observada.

Para o estado do Rio de Janeiro, o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) confirma que os registros de medição do nível do mar no município de Macaé, litoral norte do fluminense em um período de 5 anos (2002 a 2006) aumentou 15 cm, tornando-se a situação mais grave no referido Estado. A *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA), que disponibiliza em sua página eletrônica dados de variação do nível do mar no litoral do Rio de Janeiro, com base em informações fornecidas pela Marinha do Brasil. A tendência média do nível do mar é de 2,18 mm / ano com um intervalo de confiança de 95% de +/- 1,3 mm / ano com base nos dados mensais do nível do mar de 1963 a 2011, o que equivale a uma alteração de 0,72 pés em 100 anos – tal variação que indica uma tendência de aumento do nível do mar em um futuro próximo.

Segundo IBGE (2011), o território do município de Mangaratiba vem sendo afetado pela expansão metropolitana na orla da Baía de Sepetiba, e trata-se de um “município-fronteira”, objeto de disputa entre a expansão urbano-industrial-portuária e as atividades de turismo e

pesca historicamente associadas ao patrimônio natural que ainda abriga.

Desta forma, o desenvolvimento deste trabalho buscou verificar as variações do nível relativo do mar no município de Mangaratiba, litoral sul do estado do Rio de Janeiro. Para entender a relação entre o comportamento costeiro no passado e futuro, foi determinada uma paleotaxa, e assim, feito uma comparação às taxas propostas por diversos autores. Além disso, uma simulação de cenários futuros com o nível do mar acima do atual foi construída, sendo possível identificar as áreas inundadas pela transgressão marinha, além das classes de uso do solo – através da sobreposição das zonas de inundação com o mapa temático.

ÁREA DE ESTUDO

Mangaratiba (Figura 1) é um dos municípios que compõem a região da Costa Verde, no litoral do estado do Rio de Janeiro. Ocupa uma área de 347,68 km² e sua população foi estimada em 39.210 habitantes, pelo IBGE (2011). Limita-se a leste com o município de Itaguaí, ao norte com o município de Rio Claro e a oeste com o município de Angra dos Reis, sendo banhado ao sul pela Baía de Sepetiba. O município conta com mais de 34 praias ao longo de sua faixa litorânea com grandes condomínios e incipiente comércio local, além de grande potencial turístico e uma tendência de crescimento da população.

Geologia da área

Mangaratiba está inserida no Complexo Costeiro do Cinturão Móvel Ribeira (CORDANI & BRITO NEVES, 1982). As rochas intrusivas da área de pesquisa estudada, que compõem o Complexo Granítico Mangaratiba - Conceição de Jacaréi ocorrem em uma mesma região, onde o relevo atual, a intensa alteração e a presença de falhas isolaram corpos graníticos e obliteraram suas formas originais e relações de contato. Apresenta, entretanto, uma aparente forma circunscrita, com uma área aproximada de 200 km², sendo dividido em três domínios litológicos

principais: granito Mangaratiba (grM); granito porfirítico (grJ) e granodiorito (gdG). Os domínios mais representativos são o primeiro e o terceiro. O granodiorito aparentemente constitui a parte interna do complexo.

Geomorfologia da área

A Região Hidrográfica (RH) II – Guandu constitui uma área com predomínio de planícies fluviais (até 20 m) na porção leste da região, onde se inicia a baixada da Guanabara,

abrangendo os rios Guandu, Santana e Ribeirão das Lajes. Observa-se também a presença de serras isoladas e serras locais de transição entre amplitudes altimétricas diferentes (200 – 400 m) na vertente voltada para a Baía de Sepetiba. Na Restinga de Marambaia observa-se a ocorrência de feições geomorfológicas costeiras, classificadas como cordões arenosos, dunas e restingas (Bastos & Napoleão, 2010). A Figura 2 representa a geomorfologia de Mangaratiba.

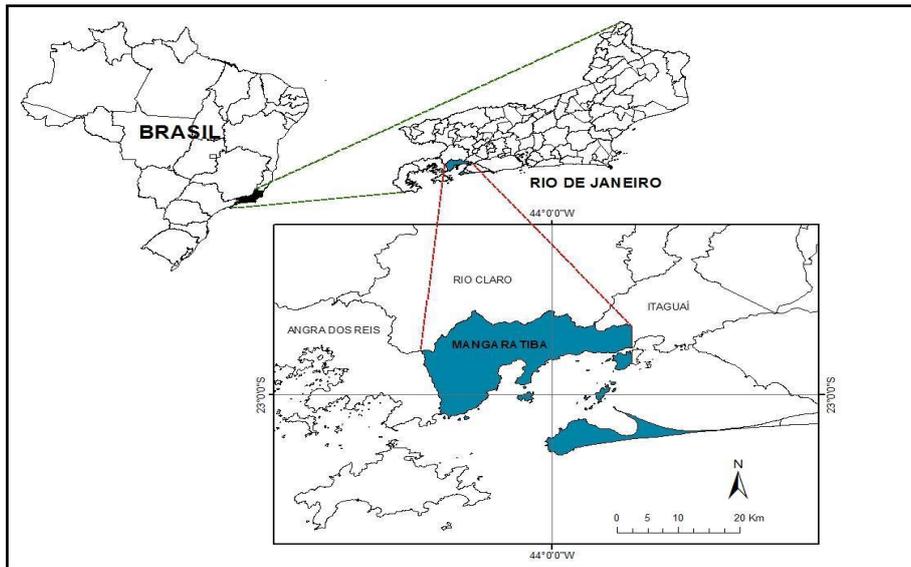


Figura 1 – Localização da área de estudo no litoral do município de Mangaratiba.

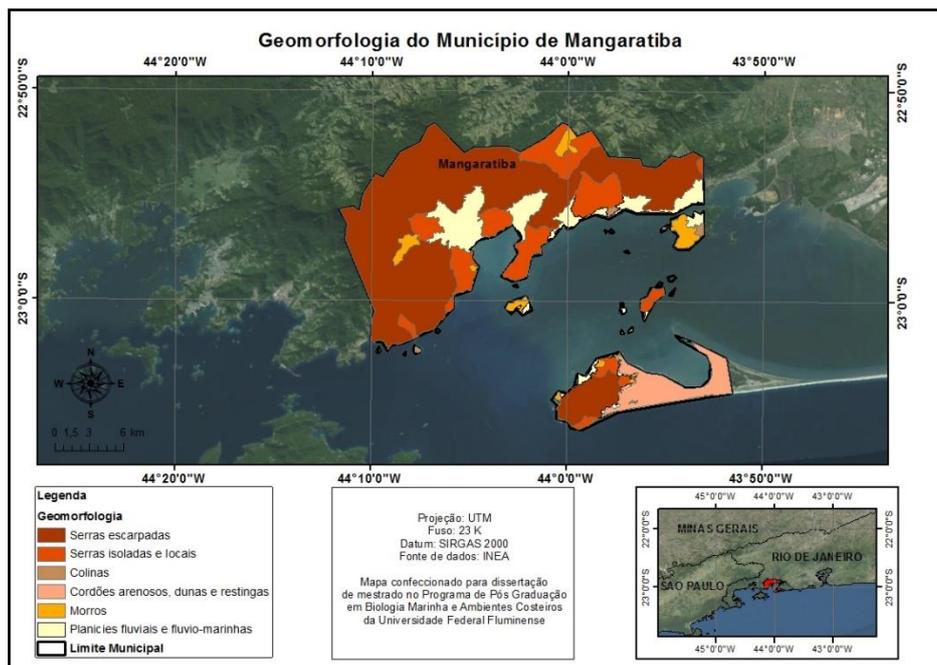


Figura 2 – Mapa de geomorfologia do município de Mangaratiba.

Clima Local

O clima da região enquadra-se no macroclima Aw - Clima Tropical Chuvoso, segundo (KÖPPEN, 1948). As temperaturas do ar da região são típicas das áreas litorâneas tropicais. As médias mensais situam-se sempre acima de 20,0°C e a média anual alcança 23,7°C. Em fevereiro ocorre a maior temperatura média mensal (26,8°C) e em agosto a menor (20,9°C). A precipitação média anual é de 1239,7 mm, sendo 37% ocorrendo no verão durante a estação de chuvas e 15% no inverno, durante a estação mais seca. Em julho e agosto a altura da precipitação média mensal situa-se entre 40 e 55 mm e em novembro e março os índices pluviométricos são sempre superiores a 100 mm (MATTOS, 2005).

MATERIAL E MÉTODOS

Definição da paleotaxa de variação do nível relativo do mar

Para o cumprimento da etapa, foi utilizada a curva de variação do nível relativo do mar proposta por Jesus (2015), de onde foram extraídos pontos mínimo e máximo de altura e suas respectivas idades, permitindo posteriormente, o cálculo da paleotaxa de variação do nível do mar.

Cálculo da paleotaxa de variação do nível relativo do mar

O cálculo da paleotaxa de variação do nível relativo do mar se deu através da interseção das informações de altitude e idade dos indicadores obtidas, utilizando a seguinte fórmula:

$$Pt = \Delta h / \Delta t$$

Onde:

Δh = diferença entre as alturas (em mm) de dois indicadores, obtidas através do levantamento altimétrico; e

Δt = diferença entre as idades (em anos) dos mesmos, obtidas através da datação radiocarbônica.

O valor obtido através do cálculo foi confrontado com taxas de subidas estimadas –

entre os séculos XIX e XX, e para cenários futuros, nos próximos 100 anos – por diversos autores, relacionando possíveis similaridades à proposta científica de Martin *et al.* (1996).

Simulação de cenários futuros com o nível do mar acima do atual

Essa etapa foi desenvolvida no Departamento de Análise Geoambiental da Universidade Federal Fluminense (UFF) e, para a visualização dos níveis marinhos pretéritos, foi utilizado o Modelo SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*); ortofotos do IBGE na escala 1:25.000; *shapefile* de uso do solo na escala 1:25.000, município de Mangaratiba; e *shapefile* de Unidades de Conservação estaduais na escala 1:25.000 (versão: setembro/2014) – disponibilizados pela Gerência de Geoprocessamento e Estudos Ambientais (GEOPEA) – INEA.

A partir do Modelo Digital de Elevação (MDE) foi possível realizar a simulação do nível marinho, baseado na taxa proposta por Grinsted *et al.* (2009), onde a reconstrução das modificações da paisagem foi elaborada. Para tais simulações, foram utilizados os programas ArcMap 10.2 e ArcScene 10.2. O *shapefile* de uso do solo foi sobreposto ao modelo e a área inundada foi representada, permitindo também, verificar as áreas impactadas.

RESULTADOS

Definição e cálculo da paleotaxa de variação do nível relativo do mar

Os valores obtidos através da curva de variação de nível do mar proposta por Jesus (2015) foram (Figura 3):

– pontos mínimo de altura = - 100 mm /
Idade = 6.320 AP

– pontos máximo de altura = 2.400 mm /
Idade = 4.600 AP

De acordo com a fórmula proposta, temos:

$Pt = \Delta h / \Delta t$ Onde: $Pt = 2500 / 1720 = 1,45$ mm/ano.

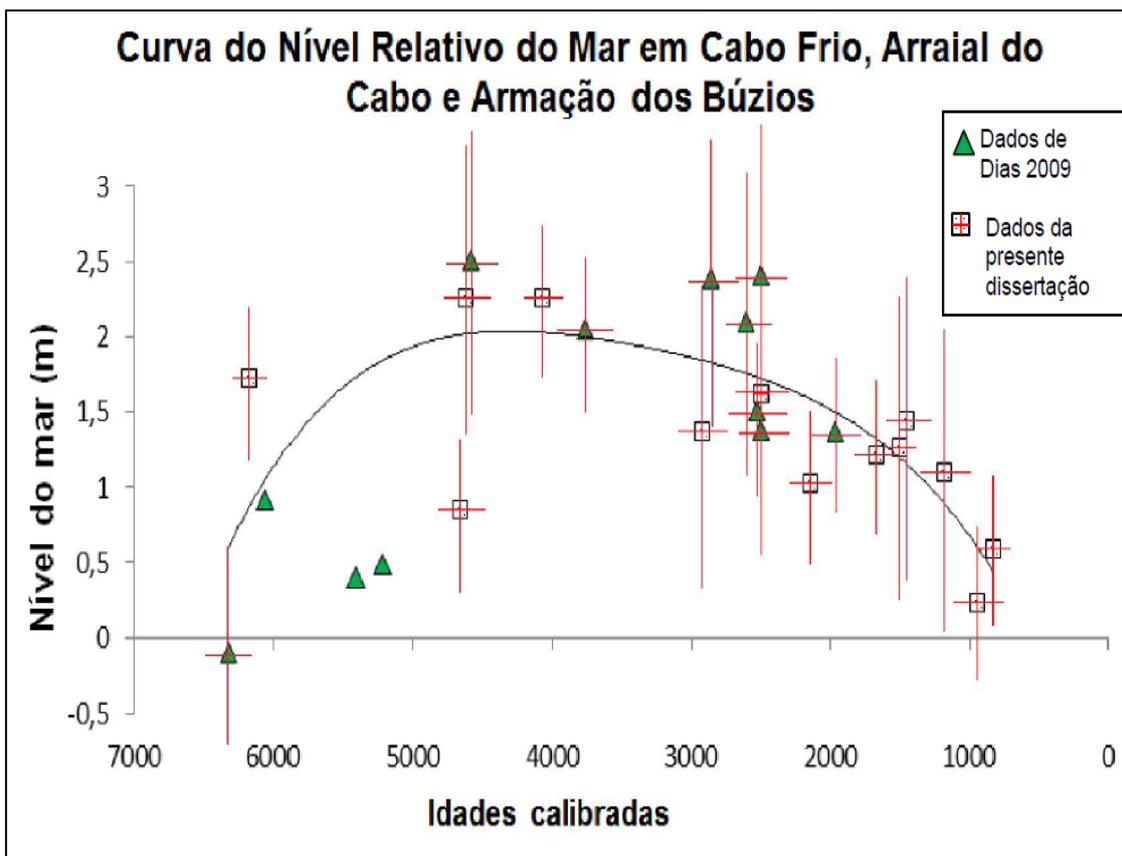


Figura 3 – Curva de variação de nível relativo do mar em Cabo Frio, Arraial do Cabo e Armação dos Búzios, proposta por Jesus (2015).

Simulação de cenários futuros com o nível do mar acima do atual

Através da simulação representando uma possível elevação do nível marinho equivalente a 2,15 m acima do nível do mar atual, taxa proposta pelo estudo de Grinsted *et al.* (2009), foi possível gerar um mapa evidenciando as áreas inundadas e a linha de costa atual (Figura 4).



Figura 4 – Modelo Digital de Elevação com ortofoto do IBGE, representando a linha de costa

atual (em azul), com simulação de elevação de 2,15 m do nível do mar.

Levantamento das áreas inundadas

As áreas inundadas (Figura 5) foram quantificadas em hectares (ha): onde foi verificada na área total do município (34.768,61 ha) uma área de inundação equivalente a 2.573,51 ha (7,40%). Através do mapa de uso do solo foi possível quantificar a área total e área de inundação por classe, assim como seus percentuais em relação à área total inundada (Tabela 1). Foi elaborado, então, um mapa evidenciando as áreas inundadas para cada classe de uso do solo (Figura 6).

Tabela 1 – Levantamento (área e percentual) da inundação no município de Mangaratiba por classe de uso do solo – simulação de 2,15m acima do nível do mar.

Classe	Área total (ha)	Área inundada (ha)	Percentual de inundação (%)
Afloramento Rochoso	61,99	4,86	0,18
Água	158,67	101,57	3,94
Áreas úmidas	246,59	89,78	3,48
Cordões arenosos	78,54	65,56	2,54
Floresta	27.837,19	338,63	13,15
Mangue	134,50	86,112	3,34
Ocupação Urbana de Alta Densidade	0,10	0,10	0,004
Ocupação Urbana de Baixa Densidade	185,59	20,05	0,77
Ocupação Urbana de Média Densidade	692,29	224,16	8,71
Pastagem	2.208,82	339,58	13,19
Pastagem em Várzea	1.147,92	809,80	31,46
Restinga	1.980,20	487,03	18,92
Vegetação Secundária em Estágio Inicial	36,15	6,23	0,24
Total	34.768,61	2.573,51	100



Figura 5 – Representação da área inundada no município de Mangaratiba – simulação de 2,15m acima do nível do mar.

DISCUSSÃO

Definição e cálculo da paleotaxa de variação do nível relativo do mar

A curva de variação utilizada neste trabalho, período entre 4.600 e 6.320 AP, indica uma paleotaxa com média de elevação do nível do mar equivalente a 1,45 mm por ano. Tal resultado foi confrontado com taxas estimadas entre os séculos XIX e XX (Tabela 2) e taxas estimadas para cenários futuros – próximos 100

anos (Tabela 3), buscando verificar se há aproximação entre os valores.

Tabela 2 – Taxas de subida do nível do mar estimadas entre os séculos XIX e XX

Autores	Taxa de subida do nível do mar
Gornitz & Lebedeff (1987)	1,5 a 1,7 mm por ano, entre 1890 e 1990.
Shrivastava & Levacher (2004)	1 a 2 mm por ano, entre 1880 e 2009.
Church & White (2011)	1,6 mm por ano, durante o século XX.

Sobre as estimativas entre os séculos XIX e XX, verificou-se que existe similaridade entre as taxas de subida de Gornitz & Lebedeff (1987), Church & White (2011) e Shrivastava & Levacher

(2004) com a média proposta por Jesus (2015). Em concordância, o estudo de Martin *et al.* (1996) propõe que é essencial conhecer a evolução passada do nível do mar, a fim de determinar a tendência evolutiva da região considerada. De acordo com os apontamentos para cenários futuros, não há aproximação à taxa de elevação de 1,45 mm por ano, obtida pela curva de Jesus (2015) – apresentando disparidade quando comparados, como a taxa de Grinsted *et al.* (2009) de 21,5 mm por ano. Entretanto, seguindo ainda a lógica de Martin *et al.* (1996), dois eventos permitem uma relação

com as taxas estimadas para os próximos 100 anos:

- Transgressão Flandriana (FAIRBRIDGE, 1962), 10.000 e 8.000 AP – ocorreu aumento da temperatura global e taxa de elevação o nível do mar de 7,5 mm por ano; e

- Ótimo Climático, 8.000 a 7.000 anos A.C. (Antes de Cristo) – após o final do período glacial a Terra passou por um aquecimento, no qual ocorreu a subida dos níveis oceânicos em escala mundial devida às águas de fusão de geleiras (SUGUIO, 2008).

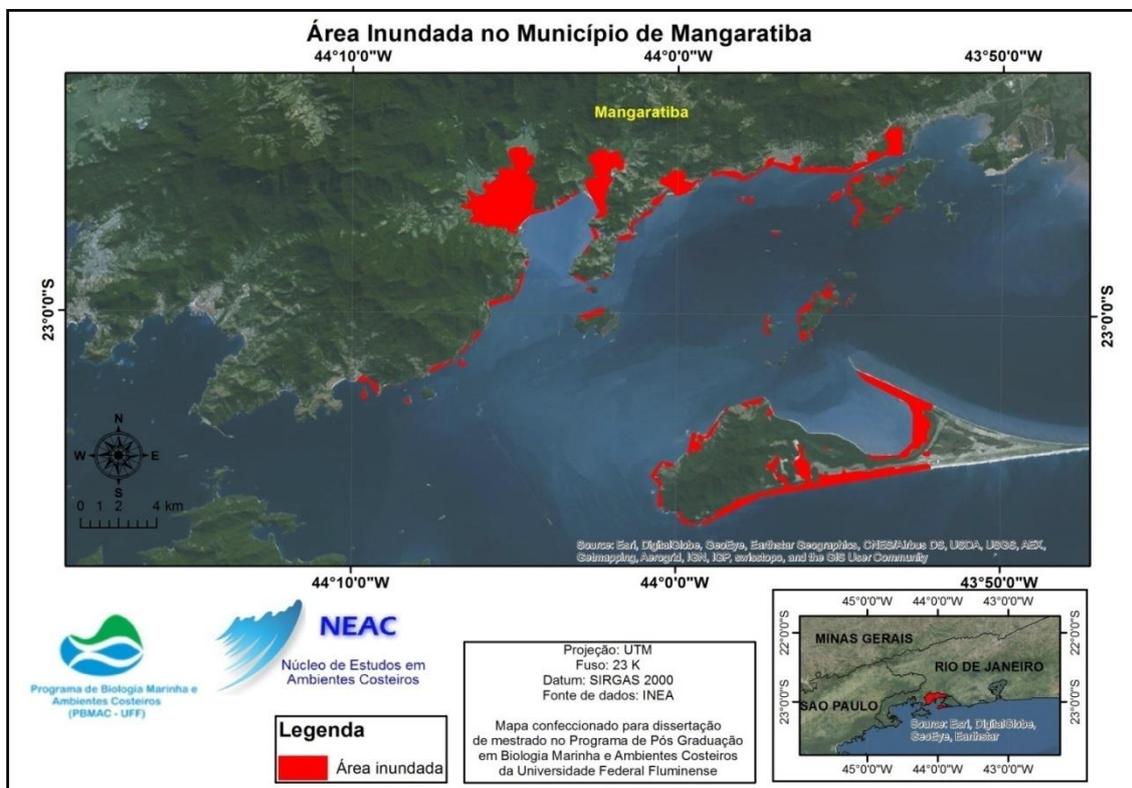


Figura 6 – Representação da área inundada no Município de Mangaratiba, com sobreposição do *shapefile* de classes de uso do solo – simulação de 2,15m acima do nível do mar.

Ainda para efeito de discussão, importante salientar que os estudos de IPCC (2013), Bessat (2003), Horton *et al.* (2008), Rohling *et al.* (2008), Vermeer & Rahmstorf (2009) e Grinsted *et al.* (2009) inserem o fator antrópico como principal

determinante na dinâmica climática. Esta consideração se torna relevante, pois comparando com períodos passados (como 4.600 a 6.320 AP), estaria descartado tal fator.

Tabela 3 – Taxas de subida do nível do mar para cenários futuros (próximos 100 anos).

Autor(es)	Taxa de subida do nível do mar
Bessat (2003)	5 a 8 mm por ano.
Horton <i>et al.</i> (2008)	4,8 a 9,4 mm por ano.
Rohling <i>et al.</i> (2008)	6 a 16 mm por ano.
Vermeer & Rahmstorf (2009)	7,5 a 19 mm por ano.
Grinsted <i>et al.</i> (2009)	3 a 21,5 mm por ano.
IPCC (2013)	8 a 16 mm por ano, entre 2081 e 2100.

Simulação de cenários futuros e levantamento das áreas inundadas

Em relação à área total inundada, apresentou o percentual de inundação equivalente a 7,40%. É importante ressaltar que Mangaratiba possui uma geomorfologia predominante de serras escarpadas, serras isoladas, colinas e morros (BASTOS & NAPOLEÃO, 2010). Em concordância com tal fato, os resultados apontaram como as classes de uso do solo com maior percentual de inundação as pastagens, restingas, florestas e áreas de ocupação urbana de média densidade – todas presentes em áreas com relevo mais plano e baixo.

A simulação de subida do nível do mar na ordem de 2,15 m, confrontando com o mapa de geomorfologia, destaca inundação predominante nas planícies fluviais e fluviomarinhas, e nas áreas de cordões arenosos, dunas e restingas (Figura 7).

Assim como nas planícies de Mangaratiba, as áreas baixas apresentam risco maior em relação ao aumento dos níveis do mar – conforme descrito por Zhang *et al.* (2011).

A simulação de Zhang *et al.* (2011), com 1,5 m de elevação do nível do mar, até o final deste século, em Florida Keys aponta um total de inundação direta equivalente a 91% da área da ilha – comparando com Mangaratiba, o impacto de inundação é muito superior. Entretanto, é importante citar também o aspecto geomorfológico (a geomorfologia da ilha de Florida Keys assemelha-se com as áreas baixas de Mangaratiba).

O trabalho de Bosello *et al.* (2012) aponta para final do século perda de terras em Malta totalizando 12% e na Grécia 3,5% (subida de 0,88 m). Mesmo utilizando valor de elevação abaixo do proposto na simulação para Mangaratiba, é possível perceber semelhança, já que a inundação tem grande impacto nas planícies dos países supracitados, assim como ocorre em Florida Keys.

Ao categorizar a área de inundação pelo uso do solo, são identificadas classes impactadas comuns a trabalhos de diversos autores: Al-Buloshi *et al.* (2014) determinaram que uma do nível do mar em Omã, traria danos a assentamentos urbanos. É possível perceber tal efeito em áreas de ocupação de baixa e média densidade, que somadas, perfazem um total de 9,48% de toda área inundada.

Também sobre as classes de uso do solo, é possível apontar semelhança no trabalho de Akumu *et al.* (2010) na Austrália e, Peric & Zvonimira (2015), na Croácia – são evidenciados impactos nas zonas de manguezais, restingas e áreas úmidas, que também são encontradas em Mangaratiba, totalizando 25,74% da área inundada.

Para Natesan & Parthasarathy (2010), a elevação de 1 m do nível do mar ao longo da zona costeira do Distrito de Kanyakumari em Tamilnadu, na Índia, resultaria em 35% das praias sendo inundadas. Em concordância, a simulação destaca a inundação de praias e avanço da linha de costa em relação à posição atual.

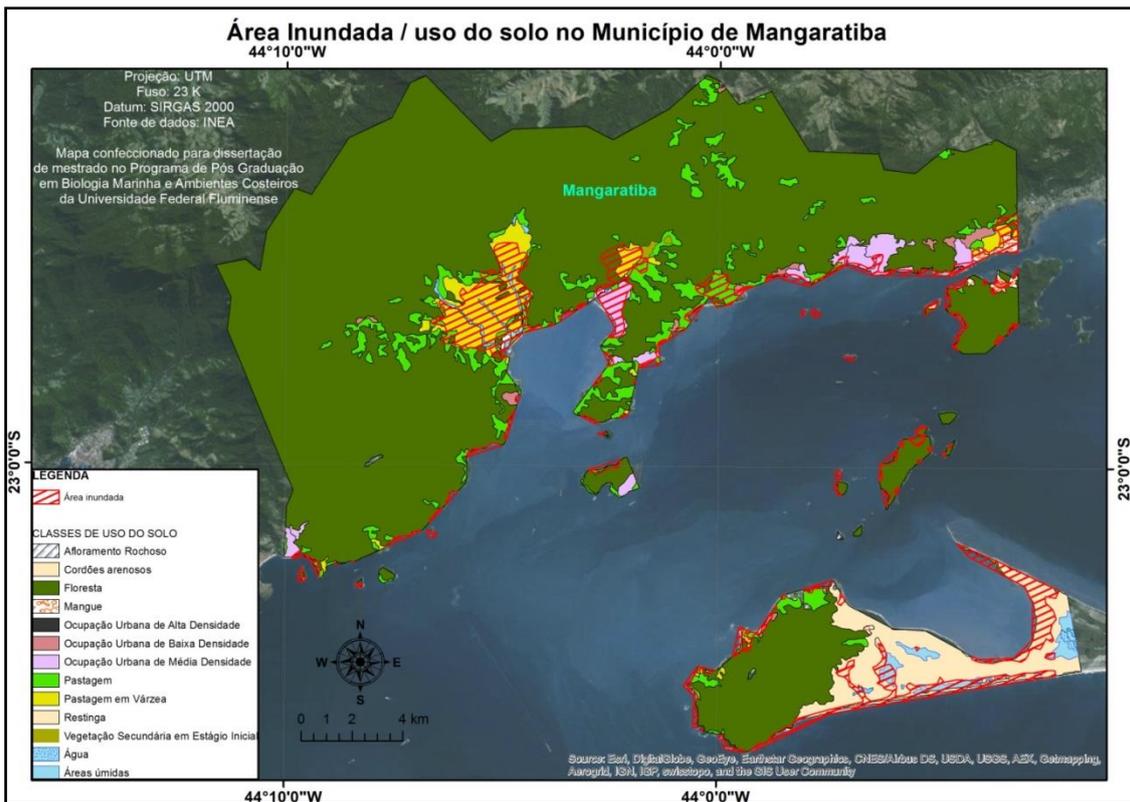


Figura 7 – A simulação de subida do nível do mar na ordem de 2,15 m, confrontando com o mapa de geomorfologia do Município.

A erosão costeira e a inundação, assim como citada por Oliveira *et al.* (2006), Ribeiro (2007) e Castro *et al.* (2011), causa desequilíbrio na dinâmica costeira da Baía de Sepetiba, conforme salientado nos trabalhos de Moura *et al.* (1982) e Muehe (2006). Consequências de elevações do nível relativo do mar já são decorrentes em Mangaratiba e suscitam atenção: como a erosão citada por Oliveira *et al.* (2006) e Fanzeres (2005). Além disso, os efeitos de ressaca evidenciados em O Globo (2016) na praia de Muriqui e a ressaca na Praia do Saco – verificada em campo realizado em novembro de 2016, onde foram constatadas quebras na proteção do calçadão, avanço da areia sobre o calçadão, avenida e canal (Figura 8).

A evolução de manguezais, de acordo com os trabalhos de Lara *et al.* (2002), Neves & Muehe (2008), Nicholls & Cazenave (2010), Bezerra *et al.* (2014), Di Nitto *et al.* (2014) e Godoy & Lacerda (2015), depende de relevo baixo e plano. O município de Mangaratiba

possui diversos manguezais, porém, a geomorfologia da área pode ser incompatível com a migração dos mesmos, já que é composta de serras escarpadas, serras isoladas, colinas e morros bem próximas às áreas mais baixas.

No que diz respeito às dunas, sua ocorrência se dá na Restinga da Marambaia. Após uma ocorrência de mar agitado, devido a eventos de tempestades, a base da duna pode ser escavada, sendo os seus sedimentos erodidos pelas ondas, resultando nos leques de sobrelavagem (OLIVEIRA *et al.*, 2006; PARK & EDGE, 2011). Com a elevação do nível do mar, é possível ocorrer o rompimento da barreira e / ou migração das dunas, e, no caso de intensificação do processo, poderá ocorrer também a migração da barreira para o interior da Baía de Sepetiba (SANTOS, 2016).

CONCLUSÕES

Através do uso da curva de variação proposta por Jesus (2015) foi verificada concordância com

os valores propostos por Gornitz & Lebedeff (1987), Church & White (2011) e Shrivastava & Levacher (2004); semelhança entre as taxas do IPCC (2013), Bessat (2003), Horton *et al.* (2008), Rohling *et al.* (2008), Vermeer & Rahmstorf (2009) e Grinsted *et al.* (2009) com taxas de eventos extremos em épocas passadas

(Transgressão Flandriana e o Ótimo Climático). Assim, foi possível comprovar o que foi proposto por Martin *et al.* (1996), que afirmou que é essencial conhecer a evolução passada do nível do mar, a fim de determinar a tendência evolutiva da região considerada.

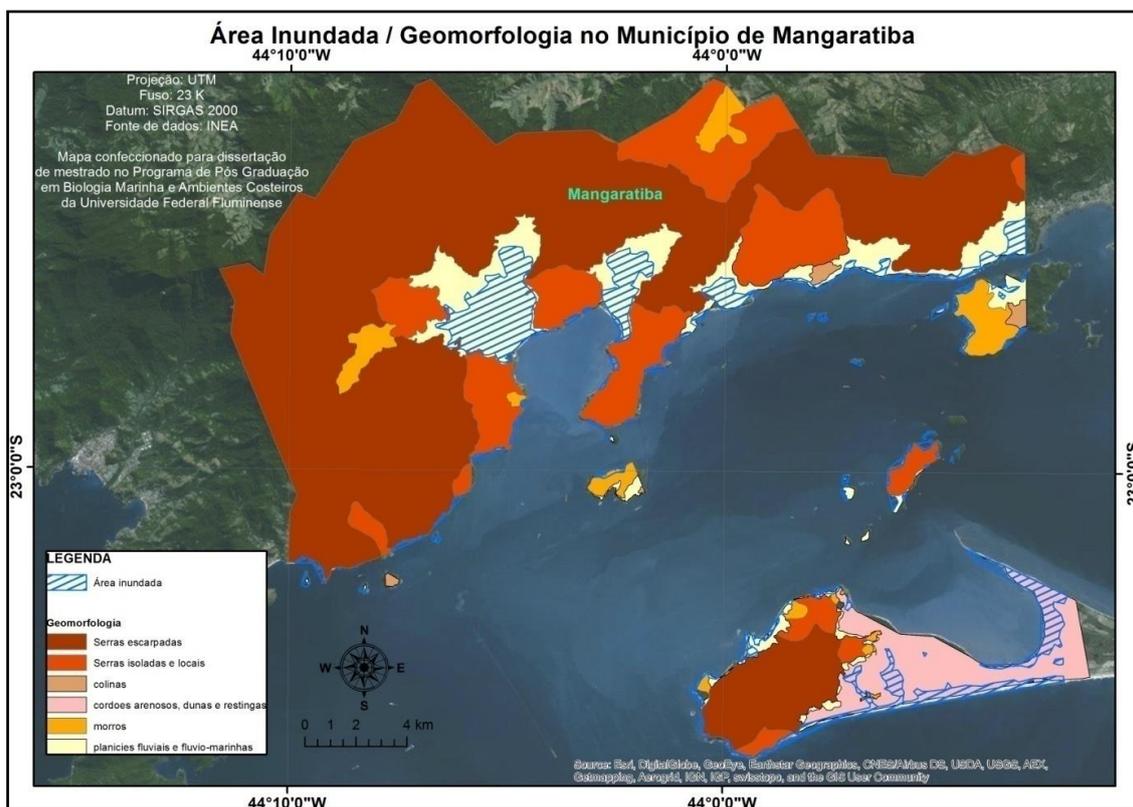


Figura 8 – Efeitos da ressaca na Praia do Saco – Mangaratiba: A) Quebra de parte da proteção do calçadão; B, C e D) Avanço da areia sobre o calçadão, canal e avenida.

A simulação de subida do nível do mar baseada na taxa de Grinsted *et al.* (2009), permitiu constatar o percentual de inundação em Mangaratiba, mesmo expressando um percentual baixo (devido a sua geomorfologia com predominância de serras, colinas e morros), terá um efeito devastador. De acordo com o mapa de uso do solo, existe intensa concentração urbana nas áreas de planície, além da presença de pastagens, restingas, dunas, florestas e manguezais, nas áreas de planície fluvio-marinha e cordões arenosos.

Comparando a simulação elaborada neste trabalho e seus resultados, com as propostas por

Zhang *et al.* (2011), Bosello *et al.* (2012), Al-Buloshi *et al.* (2014), Akumu *et al.* (2010), Peric & Zvonimira (2015) e Natesan & Parthasarathy (2010), foi possível constatar que, o uso de SIG's junto a MDE's, *shapefiles* e ortofotos, permite quantificar áreas impactadas pela subida do nível do mar.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pelo incentivo e suporte financeiro e ao Núcleo de Estudos em Ambientes Costeiros

(NEAC) pelo incentivo e suporte para execução deste trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AKUMU, C.E.; PATHIRANA, S.; BABAN, S.; BUCHER, D. 2010. Examining the potential impacts of sea level rise on coastal wetlands in north-eastern NSW, Australia. *Journal of Coastal Conservation*, **15** (1): 15-22.
- AL-BULOSHI, A.; AL-HATRUSHI, S.; CHARABI, Y. 2014. GIS-based framework for the simulation of the impacts of sea level rise and coastal flooding on Oman. *Journal of Earth Science & Climatic Change*, **5** (10): 238. doi:10.4172/2157-7617.1000238
- ANGULO, R.J.; LESSA, G.C.; SOUZA, M.C. 2006. A critical review of mid-to late-Holocene sea-level fluctuations on the eastern Brazilian coastline. *Quaternary science reviews*, **25** (5): 486-506.
- BASTOS, J.; NAPOLEÃO, P. 2010. *O estado do ambiente: indicadores ambientais do Rio de Janeiro*. Rio de Janeiro: SEA, INEA. 160 pp.
- BESSAT, F. 2003. A mudança climática entre ciência, desafios e decisões: olhar geográfico. *Terra Livre*, **1**(20): 11-26.
- BEZERRA, D.S.; AMARAL, S.; KAMPEL, M.; ANDRADE, P.R. 2014. Simulating sea-level rise impacts on mangrove ecosystem adjacent to anthropic areas: the case of Maranhão Island, Brazilian Northeast. *Pan-American Journal of Aquatic Sciences*, **9**(3): 188-198.
- BOSELLO, F.; NICHOLLS, R.J.; RICHARDS, J.; ROSON, R.; TOL, R.S. 2012. Economic impacts of climate change in Europe: sea-level rise. *Climatic change*, **112**(1): 63-81.
- CASTRO, J.W.; FERNANDES, D.; DIAS, F. 2011. Monitoramento do processo de erosão costeira na Praia das Tartarugas, Rio das Ostras-Estado do Rio de Janeiro/Brasil: Aplicação de metodologia quantitativa. *Revista da Gestão Costeira Integrada*, **11**(3): 355-368.
- CHURCH, J. A.; WHITE, N.J. 2011. Sea-level rise from the late 19th to the early 21st century. *Surveys in Geophysics*, **32**(4-5): 585-602.
- CORDANI, U.G.; BRITO NEVES, B. B. 1982. The Geologic evolution of South America during the Archean and early Proterozoic. *Revista Brasileira de Geociências*, **12**(1/3): 78-88.
- DI NITTO, D.; NEUKERMANS, G.; KOEDAM, N.; DEFEVER, H.; PATTYN, F.; KAIRO, J.G.; DAHDOUH-GUEBAS, F. 2014. Mangroves facing climate change: landward migration potential in response to projected scenarios of sea level rise. *Biogeosciences*, **11**(3): 857-871.
- FAIRBRIDGE, R.W. 1962. World sea-level and climatic changes. *Quaternaria*, **6**: 111-134.
- FANZERES, A. 2005. A descoberta da Marambaia. O eco. (Disponível em: http://www.oeco.org.br/reportagens/1440-oeco_15077/) Acessado em 30 de Agosto de 2017.
- GODOY, M.D.; LACERDA, L.D. 2015. Mangroves response to climate change: a review of recent findings on mangrove extension and distribution. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, **87**(2): 651-667.
- GORNITZ, V.; LEBEDEFF, S. 1987. Global sea-level changes during the past century. In: Dag Nummedal; Orrin H. Piçkey e James D. Howard (eds.) *Sea-level fluctuation and coastal evolution*. Soc. of Econ. Paleontol. Mineral. Spec. Publ. 41: 3-16.
- GRINSTED, A.; MOORE, J.C.; JEVREJEVA, S. 2009. Reconstructing sea level from paleo and projected temperatures 200 to 2100 AD. *Climate Dynamics*, **34**(4): 461-472.
- HORTON, R.; HERWEIJER C.; ROSENZWEIG, C.; LIU, J.; GORNITZ, V.; RUANE, A.C. 2008. Sea level rise projections for current generation CGCMs based on the semi-

- empirical method. *Geophysical Research Letters*, **35**(2): L02715, doi:10.1029/2007GL032486
- IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística) 2011. *Sinopse do Censo Demográfico 2010*. Rio de Janeiro: Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) 2013. *Climate Change 2013: The Physical Science Basis*.
- JESUS, P.B. 2015. *Variações Do Nível Do Mar Em Armação Dos Búzios (RJ, Brasil): Uma Contribuição Aos Estudos Do Quaternário Costeiro*. Dissertação. Programa de Pós-Graduação em Biologia Marinha, Universidade Federal Fluminense, Rio de Janeiro.
- KÖPPEN, W. 1948. *Climatologia: con uno estudio de los climas de la Tierra*. México: Fondo de Cultura Económica, 488 pp.
- LARA, R.; SZLAFSZTEIN, C.; COHEN, M.; BERGER, U.; GLASER, M. 2002. Implications of mangrove dynamics for private land use in Bragança, North Brazil: a case study. *Journal of Coastal Conservation*, **8**(1): 97-102.
- MARTIN, L.; DOMINGUEZ, J. M. L.; BITTENCOURT, A. C. S. P.; FLEXOR, J. M.; SUGUIO, K.. 1996. Quais seriam as conseqüências de uma eventual subida rápida do nível do mar? Considerações a partir da análise de exemplos pretéritos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA. 34. Anais. Salvador: UFBA, 1996, pp. 275-277.
- MATTOS, C. C. L. V. 2005. Caracterização climática da restinga da Marambaia. pp. 55-66. In: MENEZES, L. F. T.; PEIXOTO, A. L.; ARAUJO, D. S. D. (eds.) *História Natural da Marambaia*. Seropédica: Editora da Universidade Rural, pp. 55-66.
- MOURA, J. A.; DIAS-BRITO, D.; BRÖNNIMANN, P. 1982. Modelo ambiental de laguna costeira clástica-Baía de Sepetiba, RJ. Atas do IV Simpósio do Quaternário no Brasil, pp. 135-152.
- MUEHE, D. 2006. *Erosão e progradação do litoral brasileiro*. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 476 pp.
- MUEHE, D. 2009. Geomorfologia Costeira. In: Antonio J. Teixeira Guerra e Sandra B. Cunha. *Geomorfologia – Uma Atualização de Bases e Conceitos*. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, pp. 253-308.
- NATESAN, U.; PARTHASARATHY, A. 2010. The potential impacts of sea level rise along the coastal zone of Kanyakumari District in Tamilnadu, India. *Journal of Coastal Conservation*, **14**(3): 207-214.
- NEVES, C. F.; MUEHE, D. 2008. Vulnerabilidade, impactos e adaptação a mudanças do clima: a zona costeira. *Parcerias estratégicas*, **13**(27): 217-296.
- NICHOLLS, R.J. 2010. Impacts of and responses to sea-level rise. In: John A. Church, Philip L. Woodworth, Thorkild Aarup e W. Stanley (Eds.) *Understanding sea-level rise and variability*. London: Wiley-Blackwell, pp. 17-51.
- O GLOBO. Barco pescador encalha após ser arrastado pela ressaca em Mangaratiba. Disponível em: <<http://oglobo.globo.com/rio/barco-pesqueiro-encalha-apos-ser-arrastado-pela-ressaca-em-mangaratiba-19184837>>. Acesso em: 10.11.16.
- OLIVEIRA, F. S. C.; KAMPEL, M.; AMARAL, S. 2006. Avaliação multi-temporal da evolução geomorfológica da Restinga da Marambaia, Rio de Janeiro - Brasil. In: XII Simposio Internacional en Percepción Remota y Sistemas de Información Geográfica, 2006, Cartagena. Proceedings, pp. 1-7.
- PARK, Y. H.; EDGE, B. L. 2011. Beach erosion along the northeast Texas coast. *Journal of Coastal Research*, **27**(3): 502-514.
- PERIC, J.; GRDIC, Z. S. 2015. Economic impacts of sea level rise caused by climate

- change. In: 3rd International Scientific Conference Tourism in Southern and Eastern Europe, Vol. 3, pp. 285-294.
- RIBEIRO, G. P. 2007. *Avaliação da dinâmica do campo de dunas em Atafona, São João da Barra (RJ), como requisito para interpretação do processo de erosão costeira*. Monografia. Programa de Pós-Graduação em Geologia do Quaternário, Museu Nacional, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 139 pp.
- ROHLING, E. J.; GRANT, K.; HEMLEBEN, C.; SIDDALL, M.; HOOGAKKER, B. A. A.; BOLSHAW, M.; KUCERA, M. 2008. High rates of sea-level rise during the last interglacial period. *Nature Geoscience*, **1**(1): 38-42.
- SANTOS, C.S.C. 2016. *Vulnerabilidade dos ecossistemas da Baía de Sepetiba-RJ no contexto das mudanças climáticas*. Dissertação. Programa de Pós-Graduação em Biologia Marinha e Ambientes Costeiros, Universidade Federal Fluminense, Rio de Janeiro.
- SHRIVASTAVA, A. K.; LEVACHER, D. R. 2004. Sea level rise and its consequences on coastal environment. In: VII Ièmes Journées Nationales Génie Civil - Génie Côtier, Compiègne.
- SOUZA, C. R. G. 2005. Um sistema geográfico de informações para o litoral de São Paulo. In: XI Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada, São Paulo. Anais... CD-ROM (trabalho completo).
- SUGUIO, K. 1999. *Geologia do quaternário e mudanças ambientais. Passado+ Presente = Futuro?* São Paulo: Paulo's Comunicação e Artes Gráficas. 366 pp.
- SUGUIO, K. 2008. Movimentos verticais dos níveis oceânicos em consequência de mudanças climáticas. In: Kenitiro Suguió. *Mudanças ambientais da Terra*. São Paulo: Instituto Geológico, pp.107-111.
- SUGUIO, K.; MARTIN, L.; BITTENCOURT, A. C. S. P. 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*, **15**(4): 273-286.
- SUGUIO, K.; ANGULO R. J.; CARVALHO, A. M.; CORRÊA, I. C. S.; TOMAZELLI, L. J.; WILLWOCK, J. A.; VITAL, H. 2005. Paleoníveis do mar e paleolinhas de costa. Quaternário do Brasil. In: Celia Regina de Gouveia Souza, Kenitiro Suguió, Antonio Manoel dos Santos Oliveira e Paulo Eduardo Oliveira (eds.) *Quaternário do Brasil*. Ribeirão Preto: Holos Editora, pp. 114-129.
- VERMEER, M.; RAHMSTORF, S. 2009. Global sea level linked to global temperature. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, **106**(51): 21527-21532.
- ZERFASS, G.S.A.; SÁNCHEZ, F.J.S.; CHEMALE Jr., F. 2011. Aplicação de métodos isotópicos e numéricos em paleoceanografia com base em foraminíferos planctônicos. *Terrae Didática*, **7**(1): 4-17.
- ZHANG, K.; DITTMAR, J.; ROSS, M.; BERGH, C. 2011. Assessment of sea level rise impacts on human population and real property in the Florida Keys. *Climatic Change*, **107**(1): 129-146.