Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: www.ufpe.br/rbgfe

Indicadores de antigos níveis do mar nas ilhas maricás: uma contribuição ao planejamento costeiro do município de Maricá

Thalita da Fonseca Rodrigues¹, Fabio Ferreira Dias², Alberto Luis da Silva³, Ruan Vargas¹, Laiana Lopes do Nascimento¹ Paulo Roberto Alves dos Santos⁴, Anderson dos Santos Passos²

¹Bacharel em Ciência Ambiental pela Universidade Federal Fluminense (UFF) - Instituto de Geociências. E-mail do autor correspondente: thalitarodrigues@id.uff.br; E-mail: laiana_lopes@id.uff.br; ruanvargas@id.uff.br; ²Programa de pós-graduação em Biologia Marinha e Ambientes Costeiros e Departamento de Análise Geoambiental – Instituto de Geociências – UFF. E-mail: fabioferreiradias@id.uff.br; passosads@live.com; ³Departamento de Análise Geoambiental – Instituto de Geociências – UFF. E-mail: albertosilva@vm.uff.br. ⁴ Departamento de análise Geoambiental-UFF. E-mail: paulorobertoalvess@gmail.com

Artigo recebido em 10/11/2016 e aceito em 03/12/2016

RESUMO

O município de Maricá está situado no litoral do Rio de Janeiro e possui um arquipélago composto por 5 (cinco) ilhas oceânicas que são as Ilhas Maricás. A elevação do nível do mar pode causar problemas irreversíveis às populações instaladas em áreas costeiras, sendo assim este artigo buscou estudar os registros que as oscilações da superfície marinha têm deixado no passado, através de ferramentas de reconstrução de níveis pretéritos do mar como os indicadores biológicos e geomorfológicos para que assim, possa ser determinada a evolução futura da área estudada. Criou-se uma referência de nível, sendo depois os dados pós-processados. Realizou-se levantamento topográfico dos indicadores e as altitudes ortométricas foram determinadas com uso do programa MAPGEO. Foram coletadas as altitudes dos indicadores através de GPS, houve uma simulação do nível do mar no município de Maricá. Para a simulação dos paleoníveis marinhos utilizou-se o modelo digital disponibilizado pelo IBGE. Foram encontrados indicadores com as alturas de 2,05 m e 2,11 m (vermetídeos) e 0,41 m (locas de ouriço) acima do nível atual do mar; além de uma plataforma de abrasão com altitudes oscilando entre 1,70 m, 2,19 m, 2,62 m e 2,99 m. Caso as taxas indicadas pelos paleoníveis se confirmem futuramente com as cotas semelhantes aos indicies de estudos publicados e as oscilações marinhas atinjam níveis parecidos com os que são apresentados pelos indicadores, isto poderá acarretar a mudança do cenário de elevação do nível do mar no local.

Palavras-chave: variação no nível do mar; paleonível marinho; vermetídeo; Holoceno; município de Maricá.

Indicators of ancient sea levels in Maricás islands: a contribution to coastal planning of the city of Maricá

ABSTRACT

The city of Maricá is situated on the coast of Rio de Janeiro and has an archipelago composed of five (5) oceanic islands that are Maricás Islands. The rising sea level can cause irreversible problems to the population living in coastal areas, therefore we aimed to study the records that the oscillations of sea surface have left in the past, through reconstruction tools tenses sea levels as biological indicators and geomorphological so that, it can be determined the future development of the area studied. It created a reference level after being post data - processed. We conducted survey of indicators and orthometric heights were determined with use of MAPGEO program. The altitude of the indicators were collected through GPS, there was a simulation of the sea level in the city of Maricá. For the simulation of marine paleolevels we used the digital model provided by the IBGE. Indicators were found with the heights of 2,05 m and 2,11 m (vermetid) and 0,41 m (hedgehog dens) above current sea level; plus an abrasion platform with altitudes ranging from 1,70 m, 2,19 m, 2,62 m and 2,99 m. If the rates indicated by paleolevels future is confirmed with dimensions similar to those indicies of published studies and marine oscillations reach levels similar to those shown by the indicators, it may cause a change in the elevation of the sea level setting on site.

Keywords: variation in sea level; marine paleolevel; vermetid; Holocene; city of Maricá.

Introdução

O município de Maricá faz divisa litorânea com Niterói, tem aproximadamente 362,6 km² de extensão e conta com a população de 127.461 mil habitantes, desde o último censo feito pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2010). A cidade tem feito investimentos para receber mais moradores, consequentemente as zonas costeiras da região serão mais ocupadas e sem um planejamento com limites de proteção da orla adequados, ocorre a ocupação desordenada ao longo de praticamente todo o arco praial, com construções posicionadas próximas ao perfil ativo da praia (Lins-de-Barros, 2005).

Em função da previsão das Mudanças Climáticas que ocasionaria um possível aumento da temperatura da Terra, que em consequência ocasionaria aquecimento global, é possível fazer previsões de elevação do nível médio do mar decorrente, não só pelo derretimento dos gelos armazenadas sobre os continentes e pelas calotas polares, como também da expansão térmica dos oceanos (Martin et al., 1996), assim ambientes costeiros poderão sofrer tanto pressões antrópicas e naturais resultando na elevação do nível relativo do mar em resposta às mudanças climáticas.

O nível do mar refere-se à superfície do mar próxima à praia, resultante de interações entre a superfície do continente e do oceano, estando sujeita a flutuações devido a diversos fatores, provocando subidas e descidas do nível marinho, deixando registros que são utilizados por muitos pesquisadores em estudos dessas oscilações (Martin et al., 1996), sendo inclusive a medida da posição da superfície do mar em um determinado local. Já nível médio do mar é a medida da posição da superfície do mar em um determinado ponto (Angulo e Souza, 2014).

De acordo com Martin (1996) parece interessante procurar nos registros passados exemplos de elevações do nível do mar com amplitudes e velocidades equivalentes e analisar quais foram as suas consequências nas zonas costeiras.

Há imprevisibilidade do quanto vai subir, já que existem diversas pesquisas e por não terem um estudo local, aumentam as dúvidas do que poderá acontecer (Lins-de-Barros e Muehe (2010) e caso este fenômeno ocorra, a paisagem do município de Maricá será alterada, logo necessitará de um plano de gestão para atender a essa eventual subida.

Segundo o proposto por Martin et al. (1996) para se entender o futuro é necessário entender as transformações ocorridas no passado, este trabalho elaborou um levantamento de informações a respeito de antigos níveis do mar, além do

mapeamento de indicadores de paleoníveis marinhos, com base no trabalho de Angulo e Souza (2014), nas Ilhas Maricás.

As ilhas são um local com forte potencial de presença de paleoníveis marinhos, por serem locais isoladas, distantes do continente, das correntes marítimas e da temperatura, esses ambientes preservam as áreas abrigadas (voltadas para o continente), tornando os organismos que se abrigam nos costões, preservados. Consequentemente os dados encontrados nas ilhas ajudaram a simular variações do nível do mar no continente.

Os indicadores biológicos utilizados neste estudo foram à loca de ouriço e os vermetídeos juntamente com uma plataforma de abrasão, que é um indicador geomorfológico.

As Locas de Ouriço são consideradas indicadores biológicos associados a costões rochosos, simples e confiáveis em relação à posição do nível do mar. As espécies se distribuem em faixas horizontais nos costões rochosos assim permitem a reconstrução na costa brasileira, através da posição vertical das mesmas (Angulo e Souza, 2014).

Usados como ferramentas para reconstrução de paleonível do mar, no Holoceno, os vermetídeos são importantes indicadores, pois eles possuem ampla distribuição, abundância e estreita faixa vertical de ocorrência, sendo assim possíveis de serem analisados (Laborel, 1964, 1969, 1986; Angulo et al., 1997, 2006 apud Angulo e Souza, 2014). Estes são considerados gastrópodes marinhos, com concha regular ou irregularmente espiralada, aderida a substratos duros de mares tropicais ou subtropicais e são encontrados em diversas regiões do Brasil (Keen, 1961 apud Dias et al., 2011).

Considerado um indicador espacial do nível do mar, geomorfológico e erosivo, as plataformas de abrasão, são rochas que podem ser esculpidas em diversos níveis marinhos, como com o aumento de sedimentos, subida do nível do mar, regime de ondas, marés ou ondas de tempestades (Angulo e Souza, 2014) e mostram importantes indicadores de variação marinha.

Os indicadores pretéritos encontrados forneceram altitudes maiores do que o nível atual do mar, assim como as estimativas propostas por diversos trabalhos (Rahmstorf, 2010; IPCC, 2013), logo se pode dizer que a paisagem da região poderá voltar a ter o nível marinho mais elevado do que atual e as áreas poderão voltar a ser inundadas.

Esse cenário é representado com o auxílio de modelos digitais de terreno e características

geológicas da área. Houve um levantamento das classes impactadas com a possível elevação do nível relativo do mar e logo, compreenderemos possíveis mudanças no Holoceno e propomos possíveis cenários futuros.

Material e métodos

A área de estudo

O município de Maricá (figura 1) está situado no litoral do Rio de Janeiro, entre os municípios de Niterói e Saquarema, a leste da Baía de Guanabara, com aproximadamente 362,6 km² de extensão e um arquipélago composto por 5 ilhas no oceano atlântico, as Ilhas Maricás, localizadas a 4,5 km da praia de Itaipuaçu – Maricá.

Figura 1. Localização da área de estudo, Município de Maricá- RJ e as Ilhas Maricás. Fonte: Elaborado pelos autores.

Busca e levantamento altimétrico de indicadores

Com intuito de localização de paleoníveis marinhos, foram escolhidos os pontos de maior probabilidade de presença de indicadores com mais fácil acesso na ilha e locais onde se encontravam mais abrigados (voltados para o continente), logo foi possível localizá-los e suas alturas serem verificadas através da utilização de rastreadores GPS (Sistema de Posicionamento Global) no método estático) onde foi realizado o levantamento altimétrico, para determinação de suas cotas altimétricas.

Para tal fim, foram utilizados dois rastreadores, um foi posicionado base de Referência de Nível (RN) (figura 2), e o outro,

utilizado no local de ocorrência dos indicadores, tendo as distâncias entre os aparelhos não excedido 5 km. A criação da base local foi necessária, pois a base do nivelamento do IBGE mais próxima se localizava no continente (IBGE- RN95159), então se decidiu construir uma base na própria ilha por questões logísticas, sendo necessário para sua construção que o receptor GPS ficasse rastreando durante 4 horas no ponto escolhido.

A criação da base só foi possível, pois, o método relativo disponibiliza dados de redes ativas e com esses dados é possível fazer o posicionamento relativo com a base criada e apenas um receptor (Alves et al., 2013).

Figura 2. Criação da estação utilizada como base no campo, nas Ilhas Maricás (RJ). A imagem 1 mostra o marco (localização) aonde foi criada a base para referência dos dados e a imagem 2 mostra o GPS utilizado na base para a aquisição dos dados altimétricos dos indicadores.

A visita na área de estudo, ocorreu no mês de fevereiro de 2016, com o tempo bom, sem chuva e com maré baixa, condições essas ideais para o levantamento dos pontos de ocorrência dos paleoindicadores e de suas cotas altimétricas. Em todos os pontos encontrados, foi utilizado os dois o GPS para o levantamento das cotas, um rastreando continuamente na base criada e outro no ponto da ocorrência da evidência.

Transformação das altitudes elipsoidais em ortométricas

Devido à diferença entre a superfície do geóide e a do elipsóide (ondulação geoidal), surge a necessidade de transformar a altitude geométrica, obtida do GPS, em altitude ortométrica.

A expressão matemática utilizada para essa transformação é: $H = h - N$, onde h é a altura elipsoidal; H é a altura ortométrica obtida da RN do IBGE; e N , a ondulação geoidal, constituindo assim uma operação matemática simples, que envolve a altitude geométrica e a altura geoidal no ponto. Todos os indicadores mapeados fazem parte de um mapa de indicadores de paleoníveis marinhos que mostram a disponibilidade espacial ao longo das Ilhas Maricás.

As alturas elipsoidais foram processadas no programa MAPGEO 2015 (versão 1.0) fornecido pelo IBGE, onde foi possível obter a ondulação geoidal. O sistema de referência do trabalho foi as SIRGAS 2000 (Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas).

Coleta dos indicadores

Com a identificação dos pontos de interesse e o uso de instrumentos (martelo e ponteira), foi possível realizar a coleta de subfósseis, de cada ponto amostral, no período de fevereiro de 2016. Essas amostras foram acondicionadas em sacos plásticos, identificadas e logo após a coleta dos seus dados altimétricos, levadas ao Departamento de Análise Geoambiental (GAG) da Universidade Federal Fluminense (UFF), onde foram armazenadas.

Desenvolvimento do modelo 3D

Para a geração do Modelo Digital de Terreno (MDT), utilizou-se curvas de nível referentes ao município de Maricá na escala de 1:25.000, com projeção Universal Transversa de Mercator UTM, fuso 23, Datum SIRGAS 2000 e dados batimétricos da Carta Náutica 1506, da Diretoria de hidrografia e navegação (DHN) disponível no site do IBGE e da Marinha. Utilizou-se o programa ArcGis 10.2 e ArcScene 10.2. Posteriormente, elaborou-se o modelo 3D para que fossem realizadas simulações no paleoambiente ao longo do Holoceno e para futuras previsões. O MDT foi elaborado no formato vetorial, pela rotina: 3D Analyst Tools, TIN Management, Create TIN.

Representação dos níveis marinhos acima do atual

Para a criação dos modelos de representação de níveis acima do atual, o foco das representações foi a topografia da área estudada.

Reconstituição da paisagem durante o Holoceno

A partir do MDT gerado, foi possível realizar simulações dos diferentes níveis marinhos.

Para as simulações utilizou-se o programa ArcScene 10.2 e o Global Mapper 9, onde a reconstrução das modificações da paisagem ao longo do Holoceno foi realizada. Para a demonstração do posicionamento do nível médio do mar no passado utilizou-se a relação entre os dados altimétricos dos indicadores biológicos (vermetídeos e loca de ouriço) de variação do nível marinho encontrados no campo.

Simulação de níveis marinhos e cenários futuros

Para esta etapa foi utilizado o MDT da etapa anterior e a taxa com a maior variação do nível do mar de Grinsted et al. (2009 apud Rahmstorf, 2010) como mostra a figura 3 e taxa proposta pelo IPCC (2013), de 94 cm.

Figura 3. Coletânea de dados na literatura internacional sobre variação do nível do mar, em evidência a altura utilizada para a realização da simulação do nível do mar, neste estudo. Fonte: Rahmstorf (2010).

Levantamento das áreas inundadas

Com base na simulação do nível do mar, com a projeção do cenário futuro da etapa anterior, utilizou-se o mapa de uso do solo do Instituto Estadual do Ambiente (INEA) para verificação das áreas a serem inundadas e as classes impactadas.

Resultados e discussão

Busca e levantamento altimétrico dos indicadores

Após a criação da base nas Ilhas Maricás foi possível coletar as alturas dos paleoindicadores.

Foram visitadas algumas localidades (figura 4) nas Ilhas Maricás, onde foi possível observar a ocorrência de vermetídeos, Loca de Ouriço e Plataforma de Abrasão, acima do nível atual do mar. As alturas ortométricas desses indicadores eram respectivamente de 2,1178 m (1º vermetídeo encontrado), 2,0458 m (2º vermetídeo encontrado) e 0,41 m (loca de ouriço) acima do nível atual do mar, além de uma plataforma de abrasão onde sua altura se correlaciona com as alturas dos vermetídeos, onde suas altitudes oscilavam entre 1,70 m, 2,19 m, 2,62 m e 2,99 m.

A tabela a seguir (tabela 1) representa as alturas dos indicadores com suas respectivas coordenadas, alturas elipsoidais e ortométricas.

Figura 4. Localização dos pontos de ocorrência dos indicadores de níveis pretéritos estudados nas ilhas maricás. Fonte: Elaborado pelos autores.

Tabela 1. Informações sobre as coordenadas e as alturas dos indicadores do nível do mar localizados nas Ilhas Maricás.

Local	Coordenadas geográficas	Altura elipsoidal(m)	Altura ortométrica (m)
Bas-Ilhas Maricás	23°0'38.45066"S 42°55'03.28325"O	-4.045	-
Loca de Ouriço	23°0'38.93"S 42°55'4.09"O	-5, 556	0, 4118
Vermetídeo 1	23°0'27.88"S 42°54'48.95"O	-3, 860	2, 1178
Vermetídeo 2	23°0'28.80"S 42°54'51.56"O	-3, 932	2, 0458
Plataforma de Abrasão	23°0'28.18"S 42°54'48.31"O	-2, 984/ -3, 787 /-4, 268	1,70 / 2,19 / 2,62 /2,99

et al.

Neste trabalho foi possível fazer o levantamento das alturas dos indicadores, entretanto as idades destes não puderam ser verificadas, logo se adotou uma curva (figura 5) onde foi possível propor idades para as amostras encontradas a partir das alturas dos indicadores. As alturas encontradas foram sobrepostas na curva de Jesus (2015). O formato da curva não sugere oscilações da mesma forma que o estudo de Angulo

(2002), onde o nível médio do mar não oscila. Em um determinado momento da curva ele ultrapassa o zero atual, atinge um máximo e depois desce. Diferentemente da curva adotada por Suguio et al. (1985), onde propõe para o litoral brasileiro, em suas curvas de variação do nível do mar, oscilações do nível marinho através do indicadores pretéritos.

Figura 5. Curva do nível relativo do mar para Cabo Frio, Arraial do Cabo e Armação dos Búzios, utilizando paleoníveis do estudo de Jesus (2015), onde foram propostos aos paleoníveis deste estudo, idades de acordo com esta curva utilizada, ou seja, as alturas dos indicadores deste trabalho foram plotadas nesta curva, a fim de fornecer possíveis idades aos indicadores encontrados nas Ilhas Maricás. Fonte: Jesus (2015).

Paras as locas de ouriços, foi acrescida a altura de 0,69 cm acima, pois essa é a diferença entre o nível médio do mar e as alturas dos ouriços vivos, como verificado por Cunha e Andrade (1971/1972). Usou-se esta medida, pois este estudo não levantou essa diferenciação.

As locas de ouriço têm sua altitude, associada a dois momentos da curva de Jesus (2015), sugerindo a idade de 1.000 e 6.000 anos Antes do presente (A.P). Porém, como logo abaixo existe uma linha de homólogos vivos, sugere-se que estes tenham uma idade mais recente, constituindo uma fase anterior a atual.

Já aos vermetídeos, foi assumida a sua altura a margem de erro de 1,0 m de acordo com Jesus (2015), pois esses gastrópodes podem sofrer influência de amplitude de maré e influência das ondas, sendo preciso assumir essa oscilação para obter a altura correta do paleoindicador. Os valores altimétricos dos vermetídeos permitem associá-los com a parte da curva que registra o máximo transgressivo entre 4.000 – 5.000 anos A.P.

As plataformas de abrasão são utilizadas como indicadores de antigos níveis marinhos quando o substrato da rocha é homogêneo ou a plataforma corta estruturas, sendo necessário verificar se sua altura está ou não condicionada pela estrutura ou pela composição das rochas (Angulo e Souza, 2014), entretanto neste estudo foi verificada

apenas a feição da rocha e não se atentou pela estrutura e nem composição da estrutura da rocha da plataforma.

O nível mais elevado das alturas dos indicadores, correspondente à plataforma de abrasão e se encontra em 2,99 m e está relacionado com o “Máximo Holocênico” e o mais baixo de 0,41 m, altura da loca de ouriço, relaciona-se com a descida do nível do mar posterior aos 1.976 anos cal A.P. encontrados na evidência mais recente.

Embora as amostras não tenham sido datadas, elas apresentam alturas de acordo com as curvas feitas para Cabo Frio, Arraial do Cabo e Armação dos Búzios (Dias, 2009; Jesus, 2015).

Indicadores de variação do nível do mar biológicos e geomorfológicos

Locas de ouriço

Nas Ilhas Maricás, foram verificadas as ocorrências de locas de ouriço no infralitoral (figura 7) e por se encontrarem nesta região, elas ficam abaixo do nível médio do mar, logo para fornecerem informações de antigos níveis marinhos, é preciso que a altura deste indicador seja calibrada com a altura de seus homólogos vivos (Cunha e Andrade, 1971/1972; Dias, 2009).

Figura 6. Presença de Locas de ouriço vazias e com espécies, nas Ilhas Maricás (1- locas com ouriço e locas – buracos – deixadas pela espécie, ponto da coleta da altura do indicador; 2- aproximação da imagem, mostrando o ponto de coletada à altura do indicador).

A loca de ouriço, diferentemente dos vermetídeos, não pode ser datada, logo a idade desses indicadores não são precisas, porém constituem um importante indicador de variação do nível do mar, como proposto no trabalho de Angulo e Souza (2014), pois estas reafirmam as alturas do vermetídeos encontrados, fortalecendo as informações de altimetria, por se localizarem em faixas de altura próximas.

Vermetídeos (gastrópodes sésseis)

Incrustações de vermetídeos fixadas às rochas foram encontradas (figuras 7 e 8), nas Ilhas Maricás, acima da faixa de vida atual destes organismos, e distintos locais.

Figura 7. Ponto 1- Fragmentos de recife de vermetídeos fósseis encontrados nas Ilhas Maricás. Ao lado da foto, podemos verificar a ampliação dos fósseis dos vermetídeos, para dar evidência ao fragmento.

Figura 8. Ponto 2- Fragmentos de recife de vermetídeos fósseis encontrados nas Ilhas Maricás. Ao lado da foto, podemos verificar a ampliação dos fósseis dos vermetídeos, para dar evidência ao fragmento.

Os vermetídeos por viverem em costões, sofrem influência da zona de inter maré e de ondas, assim como seus homólogos vivos, logo para este indicador determinar antigos níveis marinhos é preciso calibrar a sua altura para +0,5 m ou 1 m, pois esta medida está relacionada ao grau de exposição do indicador (Dias, 2009), entretanto este trabalho adotou a medida de 1 m para as amostras de acordo com o trabalho de Jesus (2015) devido à disposição dos indicadores encontrados neste estudo.

Corroborando com os trabalhos encontrados (Laborel, 1964, 1969, 1986, Angulo et al., 1997, 2006 apud Angulo e Souza, 2014) e como visto nas imagens acima, estes indicadores possuem ampla distribuição, abundância e estreita faixa vertical de ocorrência, o que facilita na

análise destes, como ao fazer uma datação do fóssil. Devido a sua composição e estrutura, esses gastrópodes marinhos são encontrados em diversas regiões do Brasil (Keen, 1961 apud Dias et al., 2011), como foi apresentado neste trabalho, onde foi possível verificar a ocorrência desse indicador nas Ilhas Maricás.

Plataforma de Abrasão

Neste trabalho, pode ser observada uma Plataforma de abrasão (figura 9), onde sua altura se correlaciona com as alturas dos vermetídeos.

Figura 9. Plataforma de abrasão, localizada nas Ilhas Maricás. A reta em vermelho indica a parte plana da rocha.

O perfil topográfico da plataforma de abrasão foi criado a partir de equipamentos GNSS.

Onde é observada a altura desde sua base até a parte inferior (figura 10).

Figura 10. Perfil topográfico da plataforma de abrasão. Fonte: Elaborado pelos autores.

Confirmando com o estudo de Angulo e Souza (2014), onde reconhece que as plataformas de abrasão são consideradas um indicador espacial do nível do mar, geomorfológico e erosivo, podendo ser esculpidas em diversos níveis, foi possível observar em campo uma plataforma de abrasão e que esta pode estar relacionada ao aumento do nível do mar.

Níveis marinhos acima do atual

Desenvolvimento do modelo 3-D

As simulações foram realizadas com as alturas aproximadas dos indicadores encontrados na ilha, para depois com essas informações, representar as modificações ambientais que ocorrerão na região. Os modelos representam às taxas onde o mar já esteve posicionado antes e previsões de alturas do nível do mar para o próximo

século. Entretanto os modelos não são capazes de quantificar todas as variáveis atuantes no processo de aumento do nível do mar (Muryama, 2009) e as simulações propostas neste estudo não podem admitir como será a nova geomorfologia do município de Maricá, mas representam áreas mais baixas do litoral do município que poderão vir a ser inundadas, assim como proposto no estudo de Osiliere (2016).

Assim, a taxa de 2 m acima do nível atual do mar obtida a partir dos paleoindicadores deste estudo se certificam com as previsões para o próximo século, propostas pelo estudo de Grinsted et al. (2009 apud Rahmstorf, 2010), em termos de altura do nível do mar acima do atual, portanto optou-se pela criação de apenas um modelo (figura 11) para a representação da taxa e devido a precisão do modelo, alguns centímetros não modificam a resposta do mesmo.

Figura 11. Visão oblíqua do Modelo 3D do Município de Maricá com exagero de 2x, simulando a subida do nível do mar em 2 m, de acordo com os indicadores encontrados em campo (vermetídeos) e a taxa proposta por Grinsted et al. (2009). A parte da imagem que está indicada na cor azul representa a posição da linha de costa atual e em vermelho é a representação da subida do nível do mar em 2 m acima o atual. Fonte: Elaborado pelos autores.

Para a altura da loca de ouriço, foi adotada a altura de 1 m, pois se se somou 69 cm, na simulação desses paleonível no modelo 3D. A loca se encontra abaixo do nível médio do mar (infralitoral) e o intuito foi de igualar a simulação

ao nível médio do mar. À altura da loca foi calibrada, como proposto no trabalho de Cunha e Andrade (1971/1972), pois neste estudo, não houve a medição de seus homólogos vivos.

A taxa da loca de ouriço se assemelha a taxa pessimista do IPCC (2013), de 94 cm de aumento do nível do mar para o próximo século, logo se optou por apenas uma representação da

altura de 1 m acima do nível atual do mar (figura 12), levando em consideração apenas a altura da elevação do mesmo nos modelos.

Figura 12. Visão oblíqua do Modelo 3D do Município de Maricá com exagero de 2x, simulando a subida do nível do mar em 1 m, de acordo com os indicadores encontrados em campo (loca de ouriço) e as taxas do IPCC (2013). A parte da imagem que está indicando a cor azul representa a posição da linha de costa atual e em vermelho indica a subida do nível do mar em 1 m acima do atual. Fonte: Elaborado pelos autores.

A taxa proposta pela bibliografia internacional (Rahmstorf, 2010) de 2 m acima do nível atual do mar, taxa utilizada de Grinsted et al. (2009 apud Rahmstorf, 2010) no modelo, supera as taxas propostas pelo IPCC (2013) para diferentes cenários de subida do nível do mar, pois nos modelos do IPCC não são consideradas algumas variáveis, como não quantificar o derretimento de gelo ao aumento do nível do mar (Lins-de-Barros e Muehe, 2010; Osiliere, 2016), então este trabalho assume também outras alturas para um cenário de elevação do mar na representação dos modelos.

Levantamento das áreas inundadas

A partir do mapa de uso do solo e com a simulação de 2 metros acima do nível do mar atual, proposta pelo estudo de Rahmstorf (2010), taxa essa mais elevada adotada nesse estudo para representar uma possível elevação do nível marinho, foi possível gerar um mapa que representa as áreas impactadas com um possível cenário de elevação (figura 13).

Figura 13. Mapa de uso do solo do Município de Maricá de 2010. Como observado neste mapa, é possível ver as classes e as áreas que serão atingidas com a simulação do nível do mar para 2 metros de elevação. Fonte: INEA (2010).

Podemos observar no mapa, as classes que foram inundadas pela eventual subida do nível do mar, sendo assim informadas para uma futura elaboração de um plano de gerenciamento costeiro para a região, que são elas: área urbana baixa e média, restinga, cordões arenosos, áreas úmidas, afloramento rochoso, agricultura.

Os gráficos ilustrados abaixo (figura 14) representam, de acordo com o INEA (2010), as porcentagens das classes impactadas com a possível subida do nível do mar no Município de Maricá.

Figura 14. Gráficos criados a partir do uso do solo do INEA (2010), no município de Maricá. O gráfico 1 representa a área total do município dividida em classes por porcentagens. O gráfico 2 exibe a porcentagem de cada classe inundada, com uma possível subida do nível do mar em 2 metros acima do atual. Fonte: Elaborado pelos autores.

De acordo com o gráfico criado a partir do uso do solo, observamos a porcentagem das classes que sofrem influência direta de uma possível intrusão de água salina. É possível observar que 41% da área urbana será atingida com a possível subida do nível do mar. Essa é a porcentagem de maior representação no gráfico.

A partir do mapeamento da área estudada, foi possível constatar que com a simulação de 2 metros acima do nível médio do mar, 20% da área total do município será inundada e a classe mais afetada será a área urbana média.

Como observado, as lagunas sofrem alteração de tamanho e os canais são visivelmente modificados.

Conclusões

Através da visita ao local de estudo, foi possível identificar os paleoindicadores de variação do nível do mar, assim como estes foram mapeados para uma melhor visualização destes na área de estudo.

Os indicadores encontrados revelam alturas superiores ao nível médio do mar, e colaboram com a curva de Jesus (2015) para o litoral brasileiro.

A técnica do uso de GPS permitiu o levantamento das altitudes das evidências, os

fósseis dos indicadores encontrados. Tal fato deve-se a eficiência dos rastreadores associada ao processamento das informações passando a assumir como referência o zero atual (nível médio do mar).

A utilização de vermetídeos e loca de ouriço somado à correção das margens de erro através de medições de campo e da localização geográfica dos mesmos, permitiu determinar paleoníveis bastante precisos. A precisão do modelo para representação dos paleoambientes foi resultado do tipo e qualidade dos dados utilizados para sua geração. As precisões das informações nos modelos construídos para esse estudo possibilitaram a visualização dos efeitos causados pela possível elevação do nível relativo do mar.

A partir dos modelos digitais de terreno gerados foi possível visualizar as áreas que mais seriam impactadas, caso o nível do mar suba, que são: áreas urbanas, Área de Proteção Ambiental (APA) da restinga de Maricá e seus complexos lagunares (Lagoas Brava, de Maricá, da Barra, do Padre e Guaripina).

Agradecimentos

Os autores agradecem a Capes pelo apoio financeiro recebido para o desenvolvimento deste trabalho.

Referências

- Alves, D.B.M., Abreu, P.A.G., Souza, J.S., 2013. GNSS: status, modelagem atmosférica e métodos de posicionamento. *Revista Brasileira de Geomorfologia*.v.1, n.1,8-13. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, PR, Brasil. Disponível:<http://revistas.utfpr.edu.br/pb/index.php/RBGeo/article/viewFile/1612/1044>. Acesso: 04 jun.2016.
- Angulo, R.J., Pessenda, L.C.R., Souza, M.C., 2002. O Significado das Datações ao ¹⁴C na Reconstrução de Paleoníveis Marinhos e na Evolução das Barreiras Quaternárias do Litoral Paranaense. *Revista Brasileira de Geociências*, v.32(1): 95-106.
- Angulo, R.J., Souza, M.C., 2014. Revisão conceitual de indicadores costeiros de paleoníveis marinhos quaternários no Brasil. *Quaternary and Environmental Geosciences*, v.05(2):01-32.
- Cunha, F.L.S., Andrade, A.B., 1971/1972. Evidências glacio-eustáticas no litoral de Niterói, RJ. *Delfos*, Rio de Janeiro, (11/12): 32-39.
- Dias, F.F., 2009. Variações do Nível Relativo do Mar na Planície Costeira de Cabo Frio e Armação dos Búzios - RJ: Reconstrução Paleoambiental Holocênica e Cenários Futuros. Tese (Doutorado). Programa de Pós-Graduação em Geologia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 145 p.
- Dias, F.F., Breves-Ramos, A., Pimenta, A.D., Junqueira, A.O.R., Seoane, J.C.S., Castro, J.W.A., Ramos, R.R.C., 2011. Ocorrência de agregados de vermetídeos vivos e fósseis em costões rochosos no Atlântico Sul. XIII Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário – ABEQUA. Armação dos Búzios, RJ, 6p.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2010. Sinopse do Censo Demográfico 2010. Maricá – Rio de Janeiro. Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão. Disponível:http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/censo2010/default_sinopse.shtm. Acesso: 24 abril.2015.
- IPCC. Intergovernmental Panel on Climate Change, 2013. *Climate Change 2013: The Physical Science Basis*. Sea Level Change. Capítulo 13, Estocolmo. Disponível: https://ipcc.ch/pdf/assessmentreport/ar5/wg1/WG1AR5_Frontmatter_FINAL.pdf Acesso: 14 abril.2015.
- INEA. Instituto Nacional do Meio Ambiente. 2010.O estado do Ambiente: Ambientais do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro: SEA; INEA, 160p. Disponível: <http://www.inea.rj.gov.br/cs/groups/public/documents/document/zwew/mde1/~edisp/inea0015448.pdf>. Acesso: 02 ago.2015.
- Jesus, P.B., 2015. Variações do nível do mar em Armação dos Búzios (RJ, Brasil): Uma contribuição aos estudos do quaternário costeiro. Tese (mestrado). Programa de Pós-Graduação em Biologia Marinha, Universidade Federal Fluminense.
- Lins-de-Barros, F.M., 2005. Risco, vulnerabilidade física à erosão e impactos socioeconômicos na orla urbanizada do município de Maricá, Rio de Janeiro. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, 6(2): 83-90.
- Lins-de-Barros, F.M., Muehe, D., 2010. Avaliação local da vulnerabilidade e riscos de inundação na zona costeira da Região dos Lagos, Rio de Janeiro. *Revista Quaternary and Environmental Geosciences* 02(1): 55-66.
- Martin, L., Dominguez, J.M.L., Bittencourt, A.C.S.P., Flexor, J.M., Suguio, K., 1996. Quais seriam as consequências de uma eventual subida rápida do nível do mar? Considerações a partir da análise de exemplos pretéritos. XXXIX Congresso Brasileiro de Geologia. Sergipe, volume 5.
- Muryama, S., 2009. Aquecimento Global? São Paulo, Oficina de Textos. 125p. Disponível:http://www.resistir.info/climatologia/impostura_cientifica.html. Acesso:15 jun.2015.
- Osiliere, P.R.G. 2016. Vulnerabilidade costeira do arco praial de maricá (RJ): Itaipuaçu – ponta negra.113p. Tese (Mestrado). Universidade Federal do Rio de Janeiro.
- Rahmstorf, S. 2010. A new view on sea level rise. *Nature Reports Climate Change*, 44–45. Disponível: <http://www.nature.com/climate/2010/1004/full/climate.2010.29.html>. Acesso: 12 set.2015.