



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO
CENTRO DE CIÊNCIAS MATEMÁTICAS E DA NATUREZA
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA**

**TRANSIÇÃO PLEISTOCENO – HOLOCENO NA ENSEADA
DOS ANJOS, ARRAIAL DO CABO / RIO DE JANEIRO:
RECONSTITUIÇÃO PALEOAMBIENTAL 3D**

Luiz Felipe Lopes Dias

UFRJ
Rio de Janeiro
2011



UFRJ

Luiz Felipe Lopes Dias

**TRANSIÇÃO PLEISTOCENO – HOLOCENO NA ENSEADA DOS
ANJOS, ARRAIAL DO CABO / RIO DE JANEIRO:
RECONSTITUIÇÃO PALEOAMBIENTAL 3D**

Trabalho Final de Curso de Graduação em Geologia do Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ, apresentado como requisito necessário para obtenção do grau de Geólogo.

Orientadores:

João Wagner de Alencar Castro
José Carlos Sícoli Seoane

Rio de Janeiro
Dezembro de 2011

DIAS, LUIZ FELIPE LOPES

Transição Pleistoceno – Holoceno na Enseada dos Anjos – Arraial do Cabo / Rio de Janeiro: Reconstituição Paleoambiental 3D / Dias, Luiz Felipe Lopes - Rio de Janeiro: UFRJ / IGeo, 2011.

XXI, 76 p.: il.; 30cm

Trabalho Final de Curso (Geologia) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Geociências, Departamento de Geologia, 2011.

Orientadores: João Wagner de Alencar Castro, José Carlos Sícoli Seoane

1. Geologia. 2. Geologia Marinha – Trabalho de Conclusão de Curso. I. João Wagner de Alencar Castro. II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Geociências, Departamento de Geologia. III. Título.

Luiz Felipe Lopes Dias

TRANSIÇÃO PLEISTOCENO – HOLOCENO NA ENSEADA DOS ANJOS, ARRAIAL
DO CABO / RIO DE JANEIRO: RECONSTITUIÇÃO PALEOAMBIENTAL 3D

Trabalho Final de Curso de Graduação em
Geologia do Instituto de Geociências,
Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ,
apresentado como requisito necessário para
obtenção do grau de Geólogo.

Orientadores:

João Wagner de Alencar Castro
José Carlos Sícoli Seoane

Aprovada em:

Por:

Prof. Dr. João Wagner de Alencar Castro (UFRJ)

Prof. Dr. José Carlos Sícoli Seoane (UFRJ)

Prof. Dr. Agenor Cunha da Silva (Marinha do Brasil)

Aos meus pais, Luiz Felipe “Ovelha” Vianna Dias e Ana Luciana de Brito Lopes pela atenção, dedicação e apoio em todos os momentos da minha vida, aos meus irmãos Matheus Bonadio e Lucas Araújo, pela inspiração para tornar-me um bom exemplo, e aos meus amigos, pelo suporte sempre que necessário.

**“Don’t worry, be happy.”
(Bobby McFerrin)**

Agradecimentos

Ao meu orientador, Prof. Dr. João Wagner de Alencar Castro, pela atenção e auxílio prestados na elaboração deste trabalho e pelo acompanhamento em diversos momentos de minha graduação, principalmente durante o desenvolvimento dos trabalhos de iniciação científica, e por ter me inserido no ramo da Geologia Marinha, pela qual me identifiquei desde o início.

Ao meu orientador, Prof. Dr. José Carlos Sícoli Seoane (Cainho), pela atenção e auxílio prestados e pela disponibilização da Imagem *ALOS* utilizada na elaboração deste trabalho, e por todo o conhecimento transmitido na área de geoprocessamento, além de servir-me como espelho para minha vida profissional e pessoal.

Ao Prof. Dr. Agenor Cunha da Silva, pela disponibilização da Folha de Bordo utilizada para a elaboração deste trabalho.

Aos amigos Eduardo Gonçalves e João Pedro, pelo auxílio na digitalização da Folha de Bordo.

Aos meus professores do curso de Geologia, que transmitiram seus conhecimentos valiosos durante toda minha graduação.

Aos meus amigos, pelos ótimos momentos vividos durante o curso e pelas trocas de conhecimentos, que formaram grande parte do que sei hoje.

À equipe da EPE, principalmente ao Reneu Rodrigues da Silva, que foi meu supervisor enquanto eu estagiei na Empresa, por todo auxílio e conhecimento transmitido durante o estágio e pela disponibilização do *software* ArcGis v.10 para desenvolvimento do trabalho.

A todos que, direta ou indiretamente, ajudaram na realização e conclusão deste estudo.

Resumo

DIAS, L. F. L. **Transição Pleistoceno – Holoceno na Enseada dos Anjos – Arraial do Cabo / Rio de Janeiro: Reconstituição Paleoambiental 3D**. 2011. XXI, 000 f. Trabalho Final de Curso (Geologia) – Departamento de Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

No domínio de praia e antepraia da Ilha do Cabo Frio (Enseada dos Anjos), Arraial do Cabo, foram identificados 4 (quatro) alinhamentos pouco expressivos de rochas de praia (*beachrocks*) muito próximos uns aos outros. Os dois primeiros encontram-se emersos, entre o zero atual (nível médio do mar) e a altitude de 1,5 m, enquanto os outros dois apresentam-se submersos nas isóbatas de -3,0 e -4,5 metros. O presente trabalho tem como objetivo desenvolver reconstituições paleoambientais em três dimensões (3D) da Enseada dos Anjos durante quatro momentos entre o final do Pleistoceno e início do Holoceno. A metodologia consistiu na digitalização da Folha de Bordo 1:10.000 da Diretoria de Hidrografia e Navegação - Marinha do Brasil - referente ao ano de 1987, seguida pelo georreferenciamento da mesma através de Imagem ortorretificada *ALOS* (Advanced Land Observing Satellite) em coordenadas projetadas no datum horizontal Córrego Alegre Zona 24 S. O Modelo Digital de Elevação (MDE) da batimetria foi gerado a partir da exportação de *shapefile* das curvas batimétricas e pontos cotados. Por meio dos *shapefiles* criados, gerou-se uma Rede de Triângulos Irregulares (TIN *Triangular Irregular Network* em inglês) com atributos que aproximassem os modelos à realidade. Finalizado o geoprocessamento, iniciou-se a análise interpretativa dos modelos característicos da transição Pleistoceno-Holoceno. A reconstituição paleoambiental contou com datações radiométricas referentes aos períodos de 11.940 - 11.240, 11.149 - 11.337, 12.910 - 12.690 e 13.130 - 12.860 cal A.P (Antes do Presente) associados a níveis marinhos de -4,5 m, -3,0 m, 0,0 m e 1,5 m, respectivamente. Criaram-se dois modelos para os períodos de 11.940 - 11.240 e 11.149 - 11.337 cal AP: um com o simples aumento ou diminuição da linha d'água, gerado automaticamente pelo *software* (Modelo Vigente) e um interpretado (Modelo Proposto), com destaque para a manutenção do modelo automatizado na região dos corpos rochosos e modelado para a provável mobilidade do *sandbar* próximo ao Canal do Boqueirão. Resultados obtidos apresentam diversas fases de variações do nível marinho apontando paleoambientes de rebaixamento de -4,5 m e -3,0 m, e níveis marinhos acima do atual de 1,5 m e de 0,0 m correspondente ao nível atual.

Palavras-chave: reconstituição paleoambiental, nível do mar, batimetria.

Abstract

Dias, L. F. L. **Pleistocene - Holocene transition in the Anjos Cove, Arraial do Cabo - Rio de Janeiro: Paleoenvironmental 3D Reconstruction.** 2011. End-of-Course Work - Federal University of Rio de Janeiro / RJ.

At the beach (foreshore and backshore) of Cabo Frio Island (Anjos Cove), Arraial do Cabo town / RJ, were identified 4 (four) less expressive alignments of close beachrocks. The first two are emerged, between the actual zero level (mean sea level) and the height of 1.5m. And the two others are submerged on the isobaths of -3.0 and -4.5 m. The goal of this work is develop 3D paleoenvironmental reconstructions of Anjos Cove during four moments between the final of Pleistocene and the beginning of the Holocene. The methodology consisted of scanning the Board Leaf 1:10,000 from the Directorate of Hydrograph and Navigation – Navy of Brazil – of 1987, followed by the georeferencing of this through a ortho-retificated *ALOS* (Advanced Land Observing Satellite) Image at projected coordinates into the horizontal datum Córrego Alegre Zone 24 S. The Digital Elevation Model (DEM) of the bathymetry was created by the exportation of bathymetric curves and elevation points shapefiles. Through the shapefiles created, a Triangular Irregular Network (TIN) was generated with attributes that approached the models of the reality. Finalized the geoprocessing, the interpretative analysis of the characteristic models of the Pleistocene - Holocene transition was initialized. The paleoenvironmental reconstruction had counted with radiometric dating related with the periods of 11,940 - 11,240, 11,149 - 11,337, 12,910 - 12,690 e 13,130 - 12,860 cal BP (Before Present) associated with sea levels of -4.5 m; -3.0 m; 0.0 m and 1.5 m, respectively. Two models for 11,940 - 11,240 and 11,149 - 11,337 BP were created: one with the simple increase or decrease of the water line, automatically generated by the software (Current Model) and a interpreted (Proposed Model) with emphasis for the rocky bodies region automated models and modeled for the probable mobility of the sandbar near Boqueirão Channel. Obtained results show several phases of sea level variations pointing lowering paleoenvironments of -4.5 m and -3.0 m, and sea levels above the actual of 1.5 m and of 0,0 m corresponding to the actual level.

Key words: paleoenvironmental reconstruction, sea level, bathymetry.

Lista de quadros

Quadro I - Resultados das Datações dos <i>beachrocks</i>	36
---	----

Lista de figuras

Figura 1 - Localização geográfica da Enseada dos Anjos	3
Figura 2 - Vista aérea da Enseada dos Anjos, Arraial do Cabo / RJ	4
Figura 3 - <i>Beachrock</i> aflorando na zona intermarés da Praia do Farol – Arraial do Cabo	7
Figura 4 - Interpolação por triangulação Delaunay	11
Figura 5 - Mapa geológico simplificado de Arraial do Cabo	16
Figura 6 - Ilha do Cabo Frio (Ilha do Farol) e o Canal do Boqueirão	18
Figura 7 - Mosaico das Imagens SRTM, com zoom na Enseada dos Anjos	20
Figura 8 - Folha de Bordo (DHN, 1987)	21
Figura 9 - Imagem <i>ALOS</i>	22
Figura 10 - Equipe do LAGECOST trabalhando com o <i>DGPS Pro Mark 2.0</i> , em destaque à direita	23
Figura 11 - Tabela dos pontos de controle utilizados no georreferenciamento da Folha de Bordo	25
Figura 12 - <i>Shapes</i> de pontos e curvas batimétricas digitalizados na Folha de Bordo	26
Figura 13 - Criação do TIN para a batimetria	28
Figura 14 - Batimetria reproduzida sobre a Imagem <i>ALOS</i>	29
Figura 15 - Paleolinhas de costa	30
Figura 16 - Curvas de contorno criadas a partir do MDE	32
Figura 17 - Linhas editadas para prolongar a topografia	33
Figura 18 - Criação do TIN para a topografia	34

Figura 19 - Topografia reproduzida com a batimetria	34
Figura 20 - Variações do NRM durante a transição Pleistoceno-Holoceno	37
Figura 21 - <i>Beachrock</i> 1,5 m acima do NRM atual	37
Figura 22 - <i>Beachrock</i> submerso referente à batimétrica de -3,0 m	37
Figura 23 - <i>Beachrock</i> submerso referente à batimétrica de -4,5m	38
Figura 24 - Localização dos <i>beachrocks</i>	39
Figura 25 - Reconstituição geográfica da Enseada dos Anjos em 3D	40
Figura 26 - Tabela de classificação da simbologia para a batimetria reproduzida 1,5 m acima da atual	41
Figura 27 - Comparação das superfícies batimétricas produzidas por diferentes métodos de interpolação	42
Figura 28 - Modelo Vigente de 13.000 AP, referente ao período de 13.130 – 12.860 cal AP (NRM 1,5 metros acima do atual)	43
Figura 29 - Modelo Vigente de 12.500 AP, referente ao período de 12.910 - 12.690 cal AP (NRM semelhante ao atual)	44
Figura 30 - Modelo Vigente de 11.500 AP, referente ao período de 11.940 - 11.240 cal AP (NRM 4,5 m abaixo do atual)	45
Figura 31 - Modelo Vigente de 11.000 AP, referente ao período de 11.149 - 11.337 cal AP (NRM 3 m abaixo do atual)	46
Figura 32 - Reconstituição paleoambiental (vigente) referente ao período de 13.130 - 12.860 cal AP	47
Figura 33 - Reconstituição paleoambiental (vigente) referente ao período de 12.910 - 12.690 cal AP	47
Figura 34 - Reconstituição paleoambiental (vigente) referente ao período de 11.940 - 11.240 cal AP	48

Figura 35 - Reconstituição paleoambiental (vigente) referente ao período de 11.149 - 11.337 cal AP	48
Figura 36 - Mapa geológico de Armação de Búzios	50
Figura 37 - Modelo Proposto para a área sedimentar emersa no período de 11.149 - 11.337 cal AP (11.000 AP)	51
Figura 38 - Modelo Proposto para a área sedimentar emersa no período de 12.910 – 12.690 cal AP (11.500 AP).....	52
Figura 39 - Modelo Proposto para a reconstituição de 11.000 anos AP (-3 m)	53
Figura 40 - Modelo Proposto para a reconstituição de 11.500 anos AP (-4,5 m)	54

Abreviaturas e siglas

ALOS	Advanced Land Observing Satellite
AP	Antes do Presente
CHM	Centro de Hidrografia da Marinha
DHN	Diretoria de Hidrografia e Navegação
DPI	Dots Per Inch
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IDW	Inverse Distance Weighted
LAGECOST	Laboratório de Geologia Costeira, Sedimentologia & Meio Ambiente
MDE	Modelo Digital de Elevação
NASA	National Aeronautics and Space Administration
NGA	National Geospatial-Intelligence Agency
NRM	Nível Relativo do Mar
RMS	Root Mean Square
SRTM	Shuttle Radar Topography Mission
TIN	Triangulated Irregular Network
UFRJ	Universidade Federal do Rio de Janeiro

SUMÁRIO

Agradecimento	vi
Resumo	vii
Abstract	viii
Lista de quadros	ix
Lista de figuras	x
Abreviaturas e siglas	xiii
1- INTRODUÇÃO	1
1.1 - Localização da área de estudo	3
2- OBJETIVOS	5
2.1 Objetivo geral	5
2.2 Objetivos específicos	5
3- FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	6
3.1 <i>Beachrocks</i>	6
3.2 Datação Radiométrica Carbono-14	8
3.3 Oscilações do Nível Relativo do Mar	9
3.4 Reconstituições Paleoambientais	9
3.5 TIN - Triangulated Irregular Network	10
4- DIAGNÓSTICO AMBIENTAL	12
4.1 Aspectos Climáticos	12
4.1.1 Regime de ventos	12
4.2 Aspectos Oceanográficos	13
4.2.1 Ondas e Correntes	13
4.2.2 Marés	14

4.3 Geologia Regional	15
4.4 Geomorfologia	17
5- MATERIAIS E MÉTODOS	19
5.1 Levantamento bibliográfico	19
5.2 Material utilizado	19
5.2.1 Modelo Digital de Elevação (MDE)	20
5.2.2 Folha de Bordo	21
5.2.3 Imagem <i>ALOS</i>	22
5.3 Metodologia	23
5.3.1 Coleta, análise e datação dos <i>beachrocks</i>	23
5.3.2 Digitalização e Georreferenciamento da Folha de Bordo	24
5.3.3 Reprodução da Batimetria	27
5.3.4 Criação das paleolinhas de costa	29
5.3.5 Reprodução da Topografia	30
6- RESULTADOS e DISCUSSÕES	34
6.1 Correlação dos <i>beachrocks</i> com as paleolinhas de costa	34
6.2 Reconstituições Paleoambientais	38
6.2.1 Modelos Vigentes	42
6.2.2 Interpretação e construção dos Modelos Propostos	48
7- CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	54
8- REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA	56
8.1 Bibliografia citada	56
8.2 Bibliografia consultada	59

ANEXOS

1 INTRODUÇÃO

O litoral brasileiro possui uma extensão de aproximadamente 8.500 km, ao longo da qual ocorrem unidades fisiográficas variadas, caracterizadas, de modo geral, por uma sucessão de planícies costeiras alternando-se com falésias e costões rochosos, sendo as primeiras constituídas por sedimentos quaternários acumulados em ambientes continentais, transicionais (mistos) e marinhos (Brandão, 2008).

Segundo esse autor, o episódio mais antigo de nível marinho acima do atual, reconhecido e datado no litoral brasileiro, ocorreu por volta de 123.000 anos AP (Antes do Presente), com o mar se estabilizando em torno de 8 a 10 m acima do nível atual. Os registros das variações nos últimos 7.000 anos são mais bem conhecidos no litoral leste-nordeste do Brasil, onde foram realizadas mais de 700 datações de radiocarbono, permitindo construir curvas de flutuações do nível do mar para diversos setores costeiros.

Estudos realizados através de geoindicadores (rochas de praia) e bioindicadores (conchas de moluscos e vermetídeos) na região de Cabo Frio, no litoral do Estado do Rio de Janeiro, sugerem oscilações negativas de - 4,5 m e positivas de + 3,0 m do nível relativo do mar para os últimos 13.000 anos AP (Castro & Suguio, 2010).

O presente trabalho objetivou a construção de modelos paleogeográficos e ambientais para o período compreendido entre o final do Pleistoceno e o início do Holoceno na Enseada dos Anjos, Arraial do Cabo / RJ, e sua metodologia consistiu na coleta e análise de amostras de rochas de praia (*beachrock*) situados na Ilha do Cabo Frio (realizadas pelo LAGECOST – Laboratório de Geologia Costeira, Sedimentologia

e Meio Ambiente), na datação das amostras das rochas de praia pelo Laboratório Beta Analytic Radiocarbon Dating, em Miami / Estados Unidos, na digitalização e georreferenciamento da Folha de Bordo remetida à DHN (Diretoria de Hidrografia e Navegação) em 1987, e na reprodução e interpretação dos modelos paleogeográficos tridimensionais, que constam da batimetria e da topografia, realizados através do *software* de geoprocessamento ArcGis versão 10.0.

Os resultados mostram que, para o período definido entre 11.149 e 13.130 cal AP, o nível do mar na região da Enseada dos Anjos oscilou entre + 1,5 m e - 4,5 m em relação ao atual, produzindo alterações significativas na linha de costa, comportamento bem representado nos modelos 3D aqui desenvolvidos. Além de reconstituições em que são desconsideradas mudanças na morfologia do fundo da enseada, o presente trabalho também mostra resultados interpretados e manipulados, com base na possível mobilização dos sedimentos que atapetam a plataforma continental na região, a fim de tornar os modelos mais próximos à realidade.

1.1 Localização da Área de Estudo

A Enseada dos Anjos, área de interesse para este trabalho, localiza-se entre as latitudes 22°57'0''S e 23°0'0''S, e as longitudes 41°58'0''W e 42°2'0''W (Fig. 1), na cidade de Arraial do Cabo / RJ (Fig. 2), 165 km a leste da cidade do Rio de Janeiro. O foco deste estudo é a região próxima à Praia do Farol, na Ilha do Cabo Frio, que além de apresentar grande importância turística e ambiental (eleita, em 2000, a praia mais perfeita do Brasil pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE), nela, afloram *beachrocks* a diferentes cotas que possuem grande interesse para o estudo paleoambiental da região.

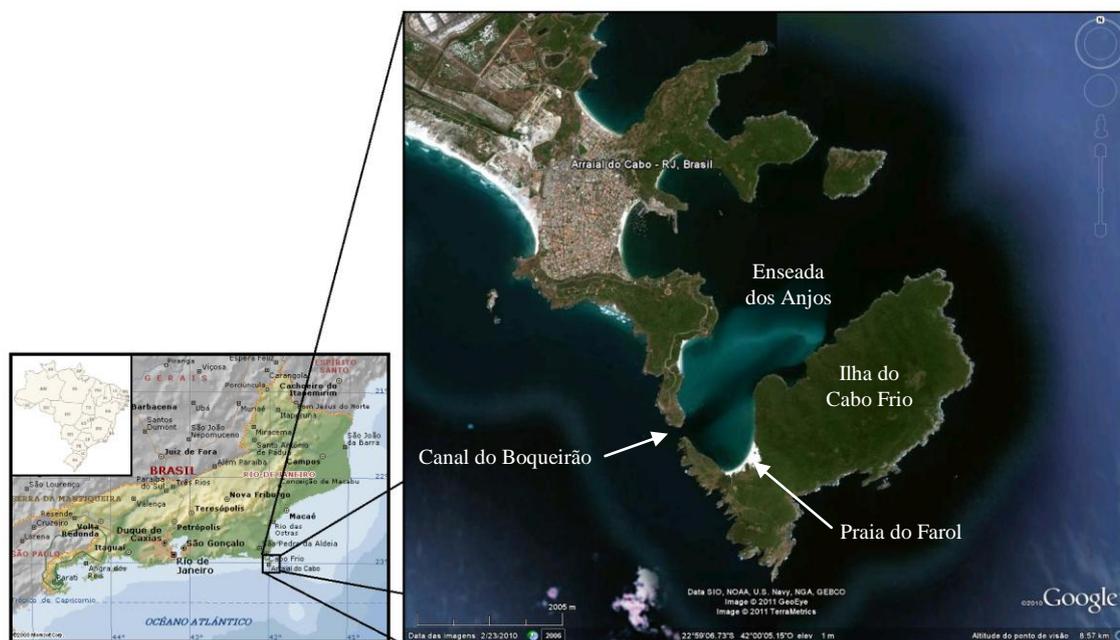


Fig. 1 - Localização geográfica da Enseada dos Anjos. Imagem do satélite Ikonos (Geo Eye), datada de 23/02/2010, obtida do Google Earth.



Fig. 2 - Vista aérea da Enseada dos Anjos, Arraial do Cabo / RJ. Foto tirada por Denilson Tassinari.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

O presente trabalho tem como principal objetivo reconstituir, em três dimensões, a paleogeografia da Enseada dos Anjos em quatro períodos do final do Pleistoceno e início do Holoceno: 13.130 a 12.860, 12.910 a 12.690, 11.940 a 11.240 e 11.149 a 11.337 cal AP, definidos a partir da datação radiométrica de quatro *beachrocks* que afloram na Praia do Farol, em locais e cotas diferentes, marcando antigas posições da linha de costa (Castro & Suguio, 2010).

2.2 Objetivos Específicos

Os modelos paleogeográficos foram elaborados a fim de reproduzir a topografia, a batimetria e as possíveis paleolinhas de costa, tanto nos arcos praias como nos limites rochosos, simulando as oscilações do nível do mar local durante a transição Pleistoceno-Holoceno.

Dentre os objetivos específicos, destaca-se ainda a interpretação dos modelos criados pelo *software* ArcGis referentes aos períodos de 11.940 a 11.240 e 11.149 a 11.337 cal AP (paleoníveis do mar abaixo do atual), com a finalidade de torná-los o mais próximo possível da realidade, concretizando uma união entre os modelos numéricos e a interpretação geomorfológica e sedimentar baseada em conhecimentos adquiridos e em pesquisas bibliográficas.

3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 *Beachrocks*

Rochas de praia (*beachrocks*) são definidas por Scoffin e Stoddart (1987), *apud* Castro & Suguio, 2011, como depósitos consolidados entre a zona de intermarés e a zona de surfe, resultados da litificação por carbonato de cálcio desses sedimentos, e ocorrem, principalmente, em costas tropicais e subtropicais (entre 35°N e 35°S, segundo Russel, 1962 *apud* Castro & Suguio, 2011). Em geral, os *beachrocks* registram posições de antigas linhas de costa e a constituição sedimentar de paleopraias. Em ambientes de micro-marés, definem com precisão a posição do nível médio do mar na ocasião do processo deposicional (Castro & Suguio, 2011).

O processo de litificação dos *beachrocks* ocorre a partir do contato das águas do lençol freático com a água do mar, dissolvendo o carbonato das areias e precipitando-o em forma de calcita (Mabesoone, 1964 *apud* Castro & Suguio, 2010). Porém, apesar dos diversos estudos petrográficos de cimentos de rochas de praia, seus processos de formação permanecem pouco compreendidos (Turner, 2005).

Segundo comunicação oral de Castro (2011), *beachrocks* são formados em ambientes costeiros tanto de baixa, quanto de alta energia. Quando expostos pela erosão, apresentam grande importância para a sedimentologia costeira, por influenciarem na dinâmica deposicional da praia, servindo de anteparo para a ação de ondas, ao mesmo tempo em que retardam o acúmulo de areia no local e dificultam a prática de atividades recreativas (Turner, 2005).

Na Praia do Farol, localizada na Ilha do Cabo Frio / Arraial do Cabo, quatro *beachrocks* foram identificados, sendo dois emersos (um na zona intermarés, registrando uma paleolinha de costa semelhante à atual - Fig. 3 - e o outro na cota 1,5 m) e dois submersos (entre 3,0 e 4,5 metros de profundidade).

Os *beachrocks* que afloram na Praia do Farol são pouco expressivos (90 a 170 metros de extensão) e ocorrem paralelos à praia, com geometria tabular característica desse tipo de rocha.

A presença de fósseis carbonáticos remanescentes (conchas de moluscos) possibilitou a realização da datação radiométrica desses *beachrocks* através do método ^{14}C , tornando possível a correlação das posições das paleolinhas de costa com o período em que elas ocorreram.



Fig. 3 - *Beachrock* aflorando na zona intermarés da Praia do Farol – Arraial do Cabo.

(Foto: Castro, J. W.A.)

3.2 Datação Radiométrica Carbono-14

A composição de carbono-14 em um ser vivo é a mesma que existe em equilíbrio na atmosfera, e só começa a mudar a partir do momento em que ele morre. Para saber a quanto tempo a morte ocorreu, mede-se quanto de ^{14}C está em seu corpo, ou em parte dele (Pezzo, 2002). Essa datação correlaciona-se ao período em que os sedimentos foram depositados, possibilitando o conhecimento das épocas em que as zonas intermarés, relativas a cada *beachrock*, ocorreram.

Esse método de datação revela uma idade convencional escrita na forma de anos AP (antes do presente), do inglês, BP (*before present*), que segue acompanhada de uma margem de erro para mais e para menos. Devem ser, portanto, calibradas para uma maior precisão.

As datações dos *beachrocks* da Praia do Farol foram realizadas pelo Laboratório Beta Analytic Radiocarbon Dating, em Miami (Estados Unidos), através do método radiométrico carbono-14, em conchas de moluscos presentes nessas rochas. Os resultados obtidos sugerem que entre 13.130 a 11.149 cal AP, ocorreu rápida mudança do nível relativo do mar em torno de 6,0 m com oscilação negativa de - 4,5 m e positivas de + 1,5 m (Castro & Suguio, 2011).

3.3 Oscilações do Nível Relativo do Mar

A medição do nível do mar sintetiza as influências de vários processos oceânicos, incluindo efeitos devidos às correntes marinhas, efeitos devidos ao campo de massa, (densidade), efeitos meteorológicos, efeitos devidos ao geopotencial terrestre (geóide, superfície de mesmo valor da aceleração da gravidade), efeitos dos contornos oceânicos, bem como efeitos das forçantes das marés de natureza astronômica (Mesquita, 1997).

As flutuações do nível relativo do mar (NRM), sobretudo no decorrer do Quaternário, são um dos principais fatores controladores dos padrões de sedimentação e erosão, responsáveis pela elaboração das planícies costeiras brasileiras (Brandão, 2008).

O estudo de registros de NRM pretéritos reveste-se de especial interesse hoje em dia, quando se discutem os impactos de uma possível elevação do nível do mar causada pelo aumento da temperatura global da Terra. Antes de se fazer qualquer previsão sobre as conseqüências de uma eventual subida do nível do marinho, para os próximos 50-100 anos, deve-se conhecer a evolução passada a fim de se determinar a tendência da região considerada (Brandão, 2008).

3.4 Reconstituições Paleoambientais

A definição de paleogeografia pode ser encontrada em diversas fontes (dicionários, enciclopédias e glossários), e consiste no estudo e descrição da geografia física do passado geológico (como, por exemplo, a reconstituição da distribuição dos antigos continentes e mares, das modificações do relevo, e da variação das condições

ambientais), tal como a reconstrução histórica do padrão da superfície terrestre ou de uma dada área num determinado intervalo do tempo geológico.

As reconstituições paleoambientais tratadas no presente trabalho objetivam reproduzir, em três dimensões, os possíveis ambientes geomorfológicos e oceanográficos do período de transição entre o Pleistoceno e o Holoceno na Enseada dos Anjos, destacando as variações do NRM e as posições das paleolinhas de costa associadas à ocorrência dos *beachrocks* identificados na Ilha do Cabo Frio.

3.5 TIN - Triangulated Irregular Network

Para gerar Modelos Digitais de Elevação (MDE) a partir de pontos e contornos, é necessária a utilização de um método de interpolação, que pode ser: triangulação, *local surface patches* (LSP) ou *locally adaptive gridding* (Wilson & Gallant, 2000).

O *software* ArcGis v.10 disponibiliza diversos métodos para gerar superfícies, incluindo krigagem, inverso ponderado da distância (IDW), *Topo to Raster*, vizinho natural, TIN, dentre outros, onde cada qual resulta em uma superfície interpolada através de algoritmos matemáticos distintos. O TIN é um método de interpolação por triangulação de Delauney (Fig. 4) e consiste na construção de triângulos, cujos vértices correspondem aos pontos de dados e, posteriormente, uma função polinomial é aplicada em cada triângulo (Sambridge *et al.*, 1995 *apud* Wilson & Gallant, 2000). A triangulação mostra-se mais eficiente em casos onde a malha de pontos apresenta-se de forma regular ao longo do domínio (Mazzini & Schettini, 2009) e pode adaptar-se a diversos terrenos usando um número mínimo de medidas (McCullagh, 1988 *apud* Wilson & Gallant, 2000), porém, encontra dificuldades ao interpolar linhas de contorno,

o que pode ser corrigido através de pontos adicionais (Clarke, 1990 *apud* Wilson & Gallant, 2000).

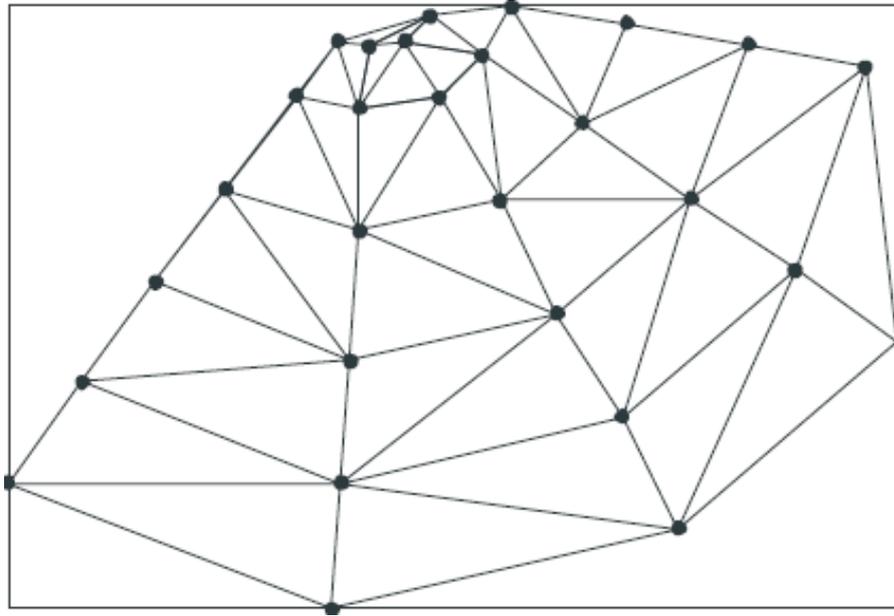


Fig. 4 - Interpolação por triangulação de Delaunay. (Mazzini & Schettini, 2009)

4. DIAGNÓSTICO AMBIENTAL

4.1 Aspectos Climáticos

A região de Arraial do Cabo e Cabo Frio distingue-se de toda a orla costeira fluminense pela baixa pluviosidade, constância dos ventos e pela alta evaporação, fatores que ratificam a condição de microclima semiárido quente para essa região (Barbieri, 1975 *apud* Silva, 2009). As precipitações anuais são inferiores a 800 mm/ano, impondo a formação de solos pouco espessos e pedregosos (Cambissolos e Argissolos Vermelhos) associados a uma vegetação nativa transicional entre floresta caducifólia e caatinga hipoxerófila, ambiente peculiar decorrente do clima mais seco desta região (Dantas *et al.*, 2000).

A região é considerada testemunho paleoclimático do clima seco e frio do último Período do Quaternário, tendo sido postulado que a área de caatinga antes ocupava um espaço muito maior (Ab'Saber, 1977 *apud* Silva, 2009). Martin *et al.* (1996) atribuem essa anomalia climática ao fenômeno da ressurgência e ao regime eólico, que será caracterizado a seguir.

4.1.1. Regime de ventos

A Enseada dos Anjos está inserida no macrocompartimento Bacia de Campos (Muehe, 1998 *apud* Savi, 2007), subdivisão da região leste do litoral brasileiro, onde predominam, durante todo o ano, ventos de Nordeste (oriundos do Anticiclone Semi-

Permanente do Atlântico Sul), sendo interrompidos, na passagem de sistemas frontais (frentes frias), por ventos do quadrante sul (Torres Jr, 1995 *apud* Silva, 2009), os quais relacionam-se ao clima seco e frio da região.

Com alta frequência e intensidade média de 4,6 m/s, o vento de NE é constante durante todo o ano, sendo meses de maior incidência os de Janeiro e Agosto, e a menor frequência nos meses de Abril e Maio. Inclui-se o conceito de "corredor eólico", como aspecto ligado à morfologia da área, onde elevações e depressões do relevo submarino e continental associam-se e passam a "canalizar" o transporte dos sedimentos, nesse caso, no sentido NE-SW (Silva, 2009).

4.2 Aspectos Oceanográficos

Segundo Silva (2009), o fenômeno de ressurgência talvez seja responsável pela maior expressão da oceanografia da região de Arraial do Cabo. Esse fenômeno é resultado do deslocamento vertical das massas de água de menores temperaturas (10 °C) para a superfície, e consiste no afloramento, próximo à costa, da corrente fria das Malvinas (Dau, 1960 *apud* Silva, 2009). Segundo esse autor, a conjunção de fatores físicos ambientais que se associam para que a ressurgência ocorra, faz de Arraial do Cabo uma das áreas mais importantes da costa brasileira.

4.2.1 Ondas e Correntes

A determinação dos processos deposicionais na região costeira pressupõe conhecer o regime de ondas e correntes, bem como as formas, pelas quais ocorre o transporte de sedimentos ao longo da costa (Silva, 2009).

Segundo observações feitas pelo CHM (Centro de Hidrografia da Marinha), o clima de ondas na região é predominante de Sul e Sudeste, que detêm o maior percentual das ondas de 2 a 3 m. As ondas menores (até 1 m) provêm, principalmente, de Nordeste, com menor frequência de Leste, Sudeste e Sul. Neste trecho da costa brasileira, ondas do quadrante Sul são mais altas, incluindo ondas características de ressaca, com alturas superiores a 3 m. Os períodos das ondas para a área estão em torno de 5 a 8 segundos, sendo os períodos maiores (acima de 10 segundos) que caracterizam ondas com maior capacidade de transporte, menos freqüentes (Silva, 2009).

O comportamento das correntes na Enseada dos Anjos apresenta fluxos unidirecionais, que se alternam com as marés, entre Nordeste (45°) e Sudoeste (225°). Esses fluxos podem acentuar-se, principalmente quando somados a ação dos ventos do quadrante sul com frentes frias ou quando ventos de NE mais freqüentes e mais intensos atuam por maiores períodos (Silva, 2009).

4.2.2 Marés

Segundo o CHM/DHN, as marés na região, por definição, são assimétricas, semidiurnas com desigualdades, e previsões das marés no Porto do Forno, na Enseada dos Anjos, revelam um nível médio de 66 cm (Silva, 2009). Segundo Mesquita (1997),

o sentido predominante de giro da circulação de maré na região Sudeste é o sentido anticiclônico (anti-horário).

4.3 Geologia Regional

As unidades do embasamento da área de estudo estão inseridas no Domínio Tectônico Cabo Frio, e são representadas por biotita-plagioclásio-microclina ortognaisses e ortoanfibolitos, de idades paleoproterozóicas, com variações locais que incluem a hornblenda, e constituem o chamado Complexo Região dos Lagos. São porfiróides, foliados, metamorfizados na fácies anfibolito, com venulações leucossomáticas de leucogranitos anatóxicos sintangencias. (Viana, 2003 *apud* Silva, 2009). São identificadas intrusões de diques máficos (140-120Ma) com alinhamentos estruturais NE-SW, e ângulo de mergulho de alto a moderado para Leste (Motoki *et al.*, 2008 *apud* Silva, 2009).

A Ilha do Cabo Frio é formada por intrusões alcalinas félsicas, instauradas (nefelina sienito) a supersaturadas (quartzo sienito), com predomínio de diques félsicos, traquitos e fonolíticos, que incluem tipos menos evoluídos, como lamprófiros e basalto alcalino (Ferrari, 2001 *apud* Silva, 2009). Brechas intrusivas ocorrem nas áreas de contato, ou nos contatos, da suíte alcalina e englobam xenólitos mais antigos de traquito, nefelina sienito e outras rochas associadas, sugerindo recorrência de pulsos magmáticos durante a formação da suíte. Rochas encaixantes do embasamento são granitóides e migmatitos, com metabasitos, e foliação na direção NE-SW (Valença, 1975 *apud* Silva, 2009).

O mais atual modelo que explica a evolução tectônica da região de Arraial do Cabo e Búzios relaciona o domínio tectônico Cabo Frio com a formação do Gondwana, domínio que não se insere na faixa móvel Ribeira (Schmitt, 2001 *apud* Silva, 2009).

As formações costeiras, como a plataforma continental interna, têm seu desenvolvimento no Quaternário (Silva, 2009). A partir do Terciário Superior e Pleistoceno, a evolução da área associa-se a eventos transgressivos-regressivos. Variações do nível do mar associadas às mudanças paleoclimáticas no Quaternário foram as principais causas de formação, modelagem e evolução das planícies costeiras da região, assim como na maior parte do Brasil (Huntley, 1990 *apud* Silva, 2009).

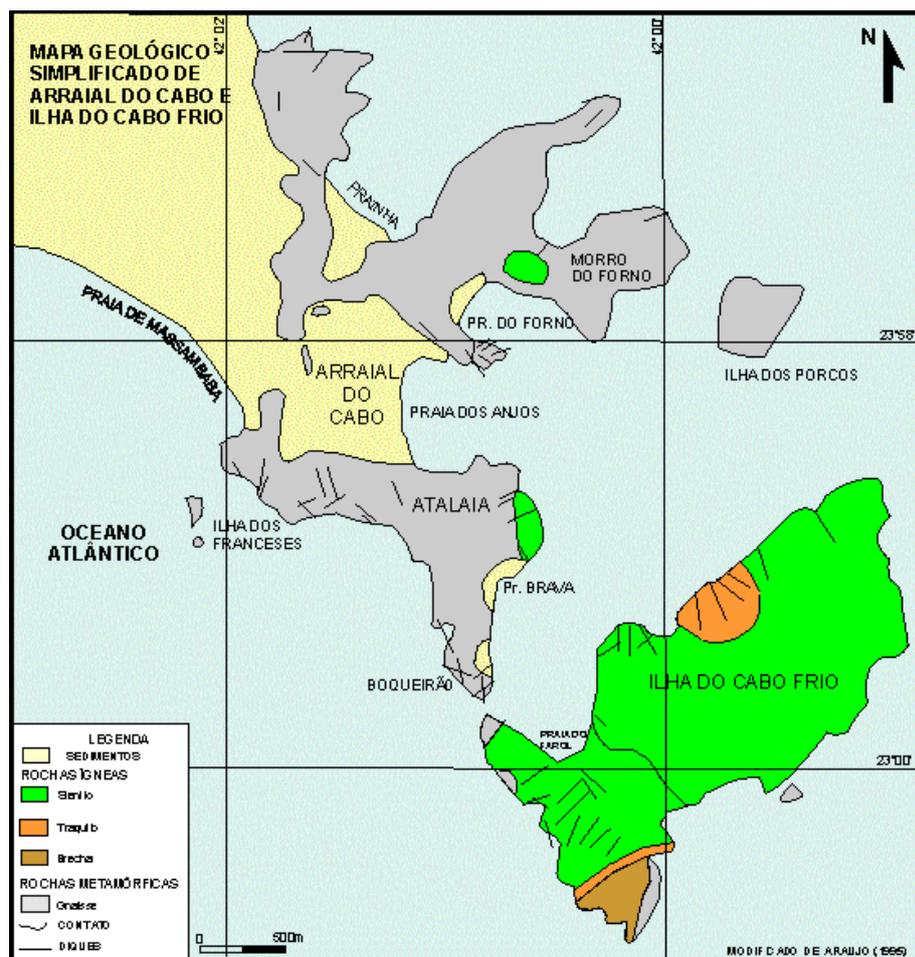


Fig. 5 - Mapa geológico simplificado de Arraial do Cabo. (Sichel *et al.*, 2008)

4.4 Geomorfologia

A origem da geomorfologia da região está relacionada às variações do nível relativo do mar (Bruun, 1962 *apud* Silva, 2009), que durante o Quaternário afetaram a evolução das planícies costeiras, sua formação e processos deposicionais, bem como controle do regime sedimentar das lagoas (Coe, 2007 *apud* Silva, 2009).

Identificam-se feições arenosas, como o banco de areia (*sandbar*) na parte central da Enseada dos Anjos, com geometrias alongadas, que, periodicamente, se alteram em função de variações na intensidade dos processos deposicionais (Silva, 2009). Na região, destacam-se a Ilha do Cabo Frio (também conhecida como Ilha do Farol) com altitude máxima de 370 m, e o Canal do Boqueirão (Fig. 6), que a separa do Pontal do Atalaia (extremidade Sudeste do continente), com 130 m de largura e cerca de 20 m de profundidade, representando a única comunicação da enseada com o oceano pelo quadrante Sul.

A Enseada dos Anjos está inserida na Plataforma Continental Brasileira, que apresenta grande extensão recoberta por areias quartzosas com pouco mais ou pouco menos feldspatos (Amaral, 1979 *apud* Silva, 2009).



Fig. 6 – Ilha do Cabo Frio (Ilha do Farol) e o Canal do Boqueirão. Foto disponível em:
<http://www.skyscrapercity.com>.

5. MATERIAIS E MÉTODOS

5.1 Levantamento Bibliográfico

Para o desenvolvimento deste trabalho, a etapa de pesquisa bibliográfica foi de extrema importância, porém, o tema “reconstituição paleoambiental” mostrou-se pouco desenvolvido em trabalhos anteriores.

Os diversos trabalhos de Castro, Suguio e Silva foram os principais utilizados para a aquisição de informações específicas da área de estudo, incluindo os temas relacionados às oscilações do NRM e às variações na batimetria da região. Silva (2009) descreveu de forma completa os aspectos climáticos e oceanográficos da Enseada dos Anjos, sendo a principal bibliografia utilizada para o desenvolvimento desses tópicos.

Quanto às etapas de geoprocessamento, diversas fontes foram utilizadas para auxiliar na realização dos procedimentos adotados neste trabalho, sendo a principal delas, a biblioteca de ajuda do ArcGis v10.

5.2 Material Utilizado

Destaca-se, nesta fase do trabalho, a aquisição do material de alta precisão e ótima resolução: a Imagem *ALOS* e a Folha de Bordo, que foram essenciais para a elaboração de reconstituições de boa qualidade, e a Imagem *SRTM*, que não apresenta precisão tão boa, mas possibilitou um bom resultado.

5.2.1 Modelo Digital de Elevação (MDE)

O MDE utilizado para gerar a topografia apresentada nas reconstituições paleoambientais consiste em um mosaico criado no ArcGis v.10 a partir de quatro Imagens SRTM (“SF-23-Z-B”, “SF-24-Y-A”, “SF-23-Z-D” e “SF-24-Y-C”) (Fig. 7) adquiridas gratuitamente no site da EMBRAPA, distribuídas em mosaicos na escala 1:250.000, Sistema de Coordenadas Geográficas e Datum WGS 84, formato TIFF e *pixel* de 90 x 90 metros.

As imagens originais foram geradas por interferometria de radar, onde o sinal emitido é recebido por duas antenas separadas por uma distância fixa (60 m), permitindo assim o cálculo da elevação da superfície, com uma acurácia vertical absoluta de 16 metros (90% confiança) (EMBRAPA). As imagens foram originárias da missão de mapeamento do relevo terrestre SRTM (Shuttle Radar Topography Mission), desenvolvido pela NASA (National Aeronautics and Space Administration) e pela NGA (National Geospatial-Intelligence Agency) dos Estados Unidos no ano 2000.

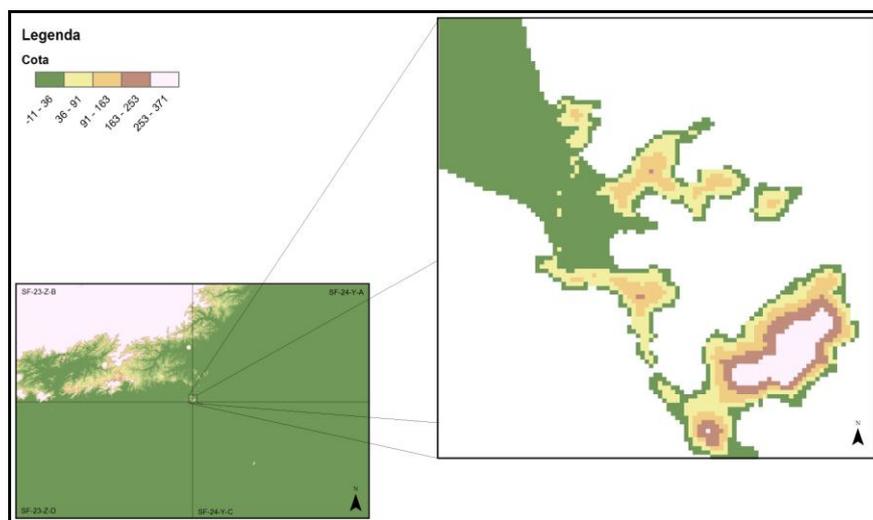


Fig. 7 - Mosaico das Imagens SRTM (EMBRAPA), com zoom na Enseada dos Anjos.

5.2.2 Folha de Bordo

Remetida à DHN em 1987, a Folha de Bordo FB-1503-001/85 (Fig. 8) da Enseada dos Anjos (antes denominada Enseada do Cabo Frio) foi adquirida impressa, pelo LAGECOST, na escala 1:10.000, com *grids* em coordenadas UTM em projeção de GAUSS e em coordenadas geográficas no *datum* horizontal Córrego Alegre Zona 24°S. Após ser digitalizada em *Scanner* com compactação LZW (Lempel Ziv Welch), resultou em uma imagem TIFF com resolução de 200 *dpi* e dimensões 6453 x 5937 *pixels*.

O levantamento batimétrico foi realizado em 1985 e produziu milhares de pontos com valores de até uma casa decimal, além de curvas batimétricas de 3, 10, 15, 20, 40, 50 e 60 metros de profundidade, o que contribuiu para uma alta precisão na reconstituição da batimetria utilizada no trabalho.

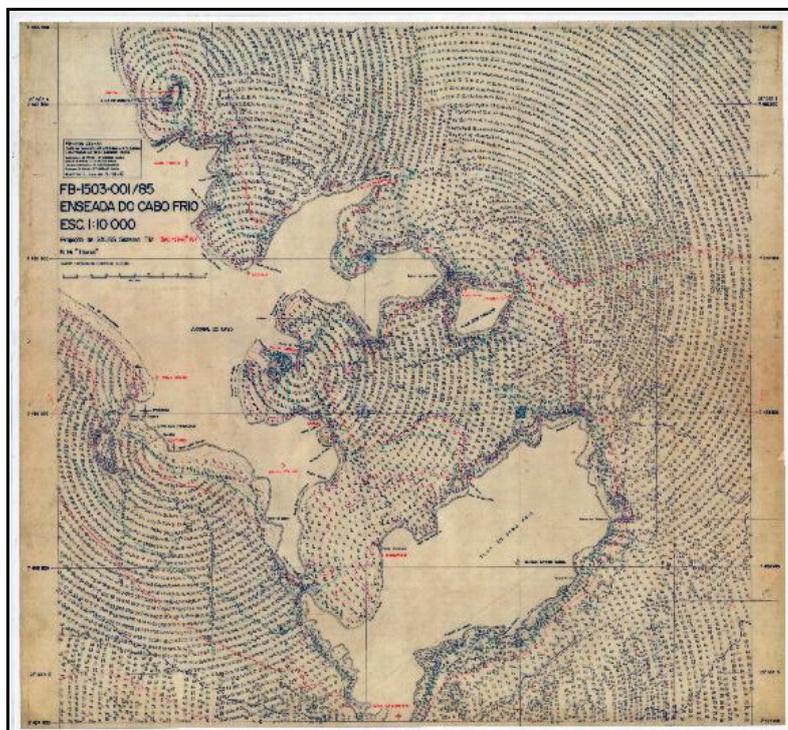


Fig. 8 - Folha de Bordo (DHN, 1987).

5.2.3 Imagem *ALOS*

O satélite *ALOS* (Advanced Land Observing Satellite), lançado em 24 de janeiro de 2006 pela JAXA (Japan Aerospace Exploration Agency), foi desenvolvido prioritariamente para fomentar pesquisas científicas e aplicadas na área de sensoriamento remoto e prover o Japão e países da Ásia do Pacífico com dados cartográficos que pudessem oferecer subsídios ao estudo de temas ligados ao desenvolvimento sustentável, monitoramento de desastres naturais e recursos naturais (EMBRAPA).

Devido à alta resolução (pixels de 2,5 x 2,5 m) e ao fato de ter sido adquirida já georreferenciada (em coordenadas UTM Córrego Alegre Zona 24°S), a Imagem *ALOS* (Fig. 9), captada às 21:40 h do dia 28 de Fevereiro de 2008, foi fundamental para a realização do trabalho, sendo utilizada para o georreferenciamento da Folha de Bordo, e como textura para as reconstituições paleoambientais.

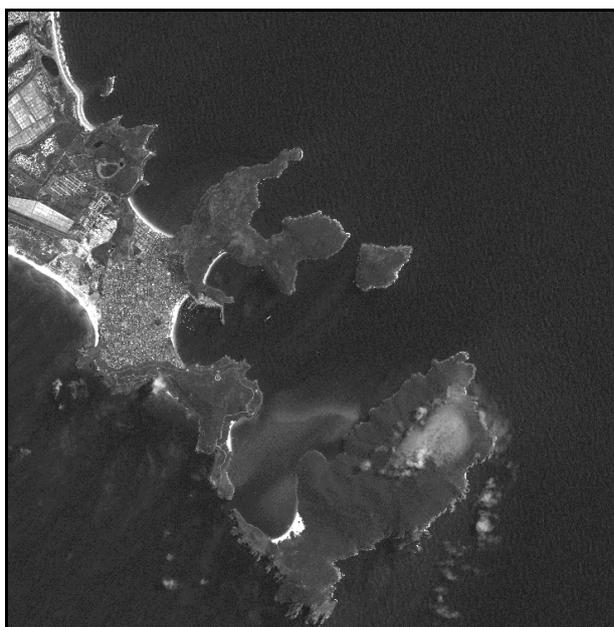


Fig. 9 - Imagem *ALOS*. Arraial do Cabo / RJ (IBGE).

5.3 Metodologia

5.3.1 Coleta, análise e datação dos *beachrocks*

Foram identificados quatro afloramentos de rochas de praia nas proximidades da Praia do Farol / Ilha do Cabo Frio, sendo dois emersos (um no atual nível intermarés e o outro 1,5 m acima deste) e dois submersos (entre 4,5 e 3,0 m de profundidade). A coleta das amostras dos *beachrocks* foi realizada pelo LAGECOST, sendo as submersas coletadas através de mergulho autônomo, e a posição geográfica dos afloramentos foi definida através de rastreador geodésico *DGPS Pro Mark 2.0* de precisão milimétrica (Fig. 10), através do método estático de obtenção de coordenadas (Castro & Suguio, 2011).



Fig. 10 - Equipe do LAGECOST trabalhando com o *DGPS Pro Mark 2.0*, em destaque à direita. Foto: Castro, J.W.A.

As amostras foram analisadas em microscópio petrográfico, pelo LAGECOST, mostrando que os *beachrocks* emersos apresentam seleção granulométrica muito maior

em relação aos submersos, e a composição de ambos é basicamente carbonática, constituída de 80% de bioclastos (entre estes, fragmentos de algas vermelhas *Rhodophitas* e bivalves) e 20% de litoclastos de sienito e cristaloclastos de quartzo, anfibólio, piroxênio e feldspato, que refletem, de certa forma, as rochas alcalinas presentes na Ilha do Cabo Frio (Castro & Suguio, 2011).

As datações das amostras foram realizadas pelo Laboratório Beta Analytic Radiocarbon Dating, em Miami / Estados Unidos, através do método radiométrico carbono-14, em conchas de moluscos presentes nessas rochas, e produziu resultados que indicam deposição dos sedimentos, que constituem os *beachrocks*, entre 13.130 e 11.149 cal AP.

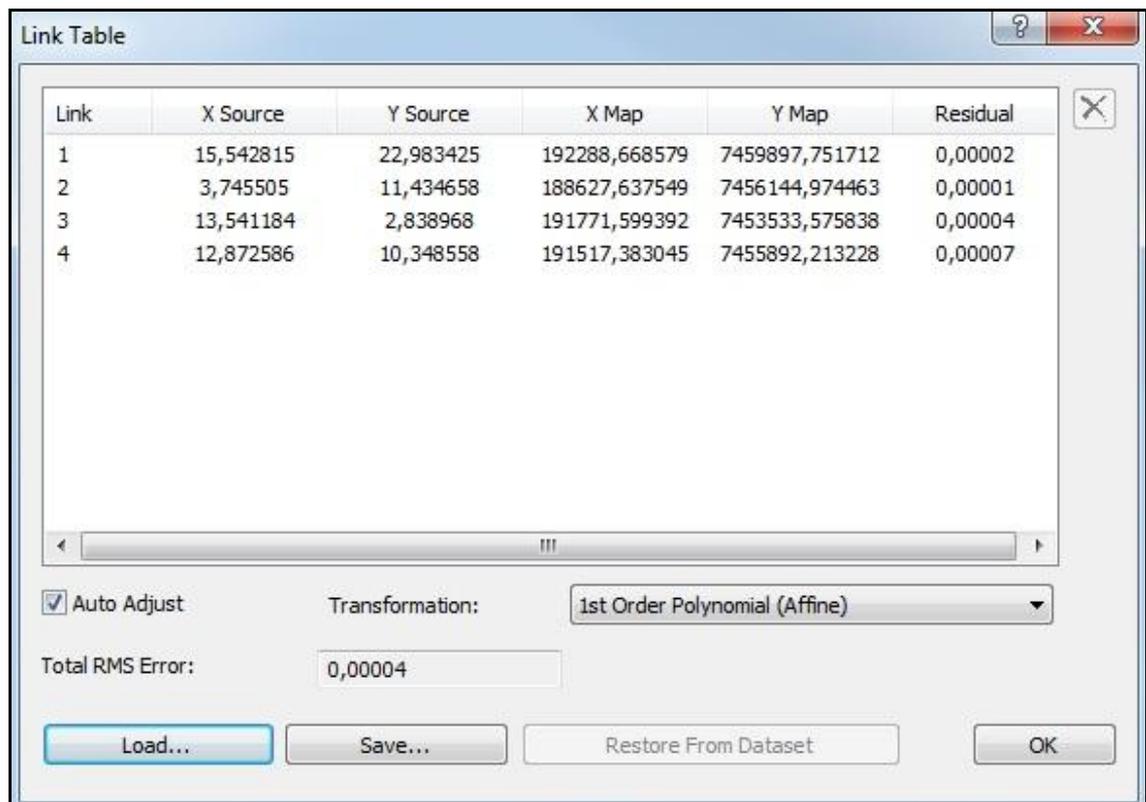
5.3.2 Digitalização e Georreferenciamento da Folha de Bordo

Esta etapa consistiu na primeira e mais importante atividade prática do trabalho, uma vez que os dados tiveram que ser digitalizados e georreferenciados com uma boa precisão para que houvesse validade nas reconstituições.

Dentre as imagens utilizadas para a elaboração das reconstituições, duas já foram adquiridas digitalizadas e com Sistema de Coordenadas definido: a Imagem SRTM e a Imagem *ALOS*. Em contrapartida, a Folha de Bordo (Fig. 8) necessitou grande demanda nesta fase, devido à enorme quantidade de dados obtidos pelo levantamento batimétrico realizado na área.

O georreferenciamento da Folha de Bordo foi realizado a partir de pontos de controle fixados na Imagem *ALOS*, já georreferenciada em Coordenadas Projetadas, no *datum* horizontal Córrego Alegre Zona 24S.

Foram utilizados 4 (quatro) pontos de controle, com transformação polinomial de primeira ordem, computando um erro total RMS de 0,00004 metros (Fig. 11), considerado aceitável, uma vez que é inferior ao tamanho de um *pixel* da Folha de Bordo, que tem dimensões 1,606 x 1,628 m.



Link	X Source	Y Source	X Map	Y Map	Residual
1	15,542815	22,983425	192288,668579	7459897,751712	0,00002
2	3,745505	11,434658	188627,637549	7456144,974463	0,00001
3	13,541184	2,838968	191771,599392	7453533,575838	0,00004
4	12,872586	10,348558	191517,383045	7455892,213228	0,00007

Auto Adjust: Transformation: 1st Order Polynomial (Affine)
Total RMS Error: 0,00004
Buttons: Load... Save... Restore From Dataset OK

Fig. 11 - Tabela dos pontos de controle utilizados no georreferenciamento da Folha de Bordo.

Foram digitalizados, a partir da Folha de Bordo, 5.401 pontos contendo valores batimétricos e 9 linhas isobatimétricas (Fig. 12), os quais foram utilizados para criar o modelo digital de elevação referente à batimetria. Os pontos constam em um *shapefile* (Tipo: *Point*), em que foi criado um novo campo (*field*), nomeado “Profund”, do tipo numérico *Double* (para que fossem aceitos os valores batimétricos contidos na Folha de Bordo, expressos em números com uma casa decimal). Após preencher todos os valores

de profundidade, um novo campo (“COTA”) foi criado e calculado através da ferramenta *Field Calculator* [“COTA” = “Profund” * (-1)] para tornar os valores negativos, no formato que seria utilizado para a geração do MDE da batimetria, posteriormente. O mesmo procedimento foi realizado na digitalização das curvas batimétricas (Tipo: *Polyline*) contidas na Folha de Bordo.

É importante lembrar que não houve necessidade de digitalizar todos os pontos com valores maiores do que 30 m de profundidade, pois a área de maior interesse para as reconstituições abrange profundidades menores, mais próximas à costa, além de ter sido observado que não há grandes variações naquela porção da plataforma, tornando desprezível a diminuição da precisão dos modelos.

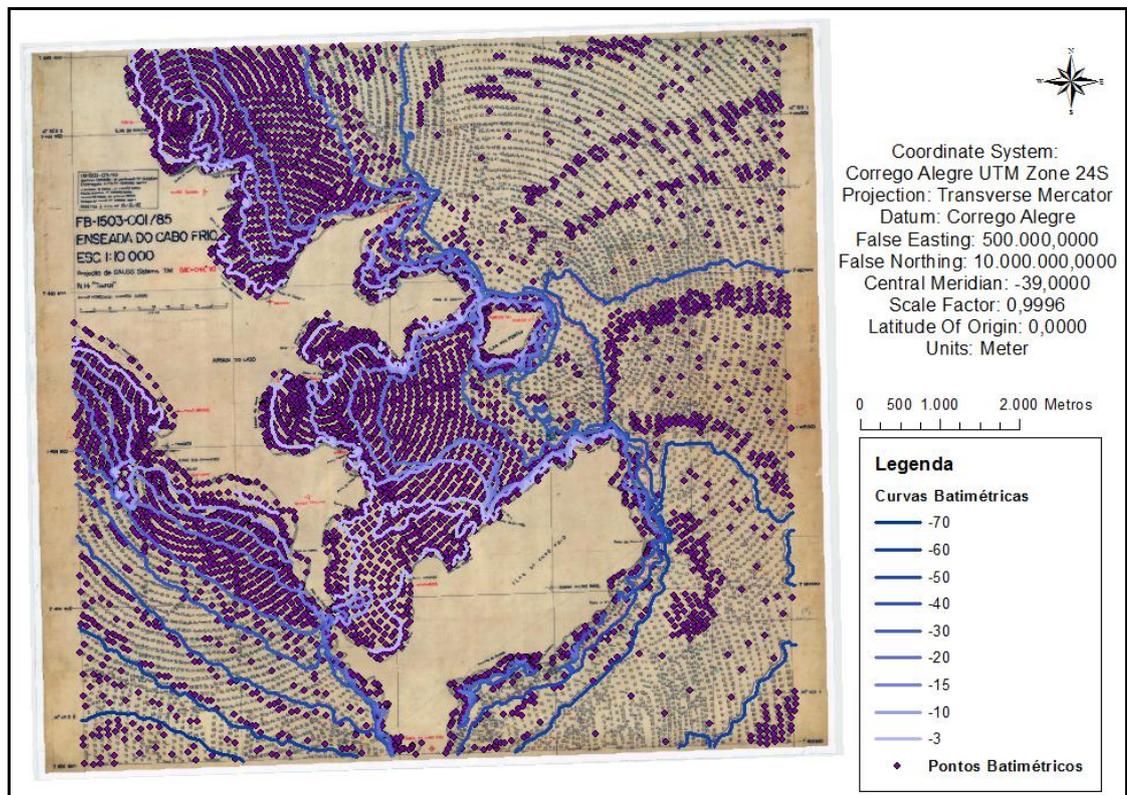


Fig. 12 - *Shapes* de pontos e curvas batimétricas digitalizados na Folha de Bordo.

5.3.3 Reprodução da Batimetria

O principal atributo das reconstituições, e também o que necessitou de maior atenção para ser reproduzido, foi a batimetria, uma vez que os paleoníveis do mar abaixo do atual seriam, posteriormente, projetados na superfície batimétrica gerada.

Devido à precisão e grande quantidade de medidas digitalizadas a partir da Folha de Bordo (5.401 pontos e 9 linhas), a reconstituição da batimetria pôde aproximar-se bastante à realidade. Porém, a projeção do fundo da plataforma rasa atual (1985, ano em que foi feito o levantamento) nas reconstituições paleoambientais da transição Pleistoceno-Holoceno apresentaria maior precisão onde há promontórios rochosos, e certo grau de incerteza onde aquela é atapetada por sedimentos arenosos, como os arcos praias, onde a dinâmica sedimentar é extremamente complexa.

A reprodução da batimetria foi realizada através do *software* ArcGis v. 10, utilizando-se os *shapes* de pontos e curvas batimétricas para gerar um MDE por interpolação através do método de triangulação (TIN). Além desses, um polígono de fronteira foi criado para limitar a área analisada, evitando que a imagem fosse gerada fora da região de interesse.

As etapas para a geração da batimetria encontram-se descritas abaixo:

- I) Criação dos *shapes* de pontos e curvas batimétricas (digitalização da Folha de Bordo);
- II) Criação dos *shapes* de fronteira e de contorno de costa (*Polygons*) utilizados como fronteira e como borracha, respectivamente;

- III) Criação do TIN através da ferramenta *Create TIN* (ArcToolbox -> 3D Analyst Tools -> TIN Management -> Create TIN) (Fig. 13);
- IV) Edição da simbologia (*Face elevation with graduated color ramp*) (Fig. 14) a fim de destacar os intervalos de maior interesse (-3 m e -4,5 m), onde foram identificados os *beachrocks*.

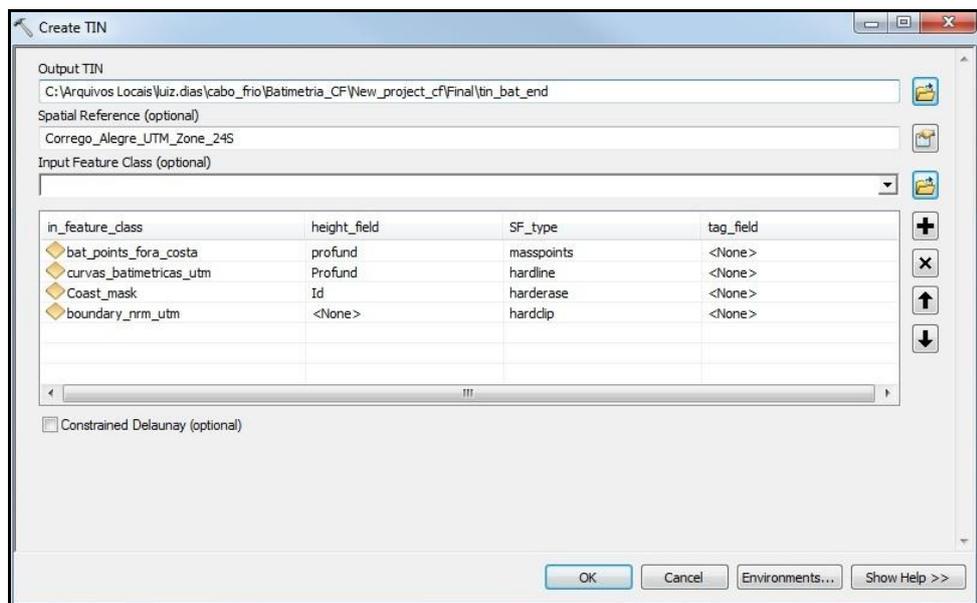


Fig. 13 - Criação do TIN para a batimetria.

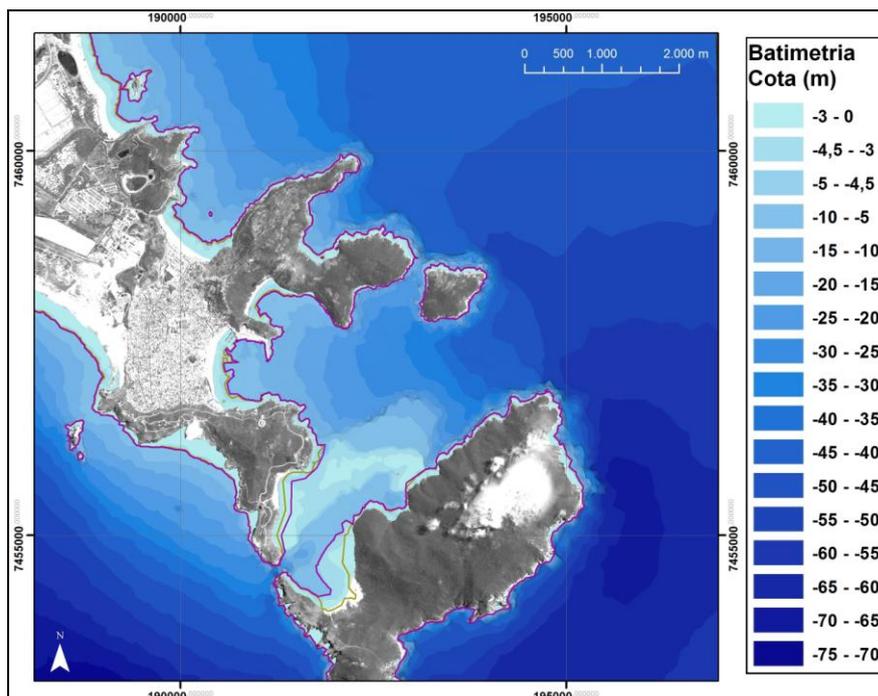


Fig. 14 - Batimetria reproduzida sobre a Imagem ALOS.

5.3.4 Criação das paleolinhas de costa

Para a criação do *shape* de paleolinhas de costa (*shorelines*) (Fig. 15), foi gerado um *raster* de *pixels* de 1 x 1 metro, a partir da conversão do TIN da batimetria, do qual foram extraídas as linhas de contorno de -3,0 e -4,5m (ArcToolbox -> 3D Analyst Tools -> Raster Surface -> Contour List). O mesmo procedimento foi realizado com o TIN da topografia, para gerar a paleolinha de costa de 1,5m. Enquanto a linha de costa referente ao NRM atual foi traçada manualmente sobre a Imagem ALOS.

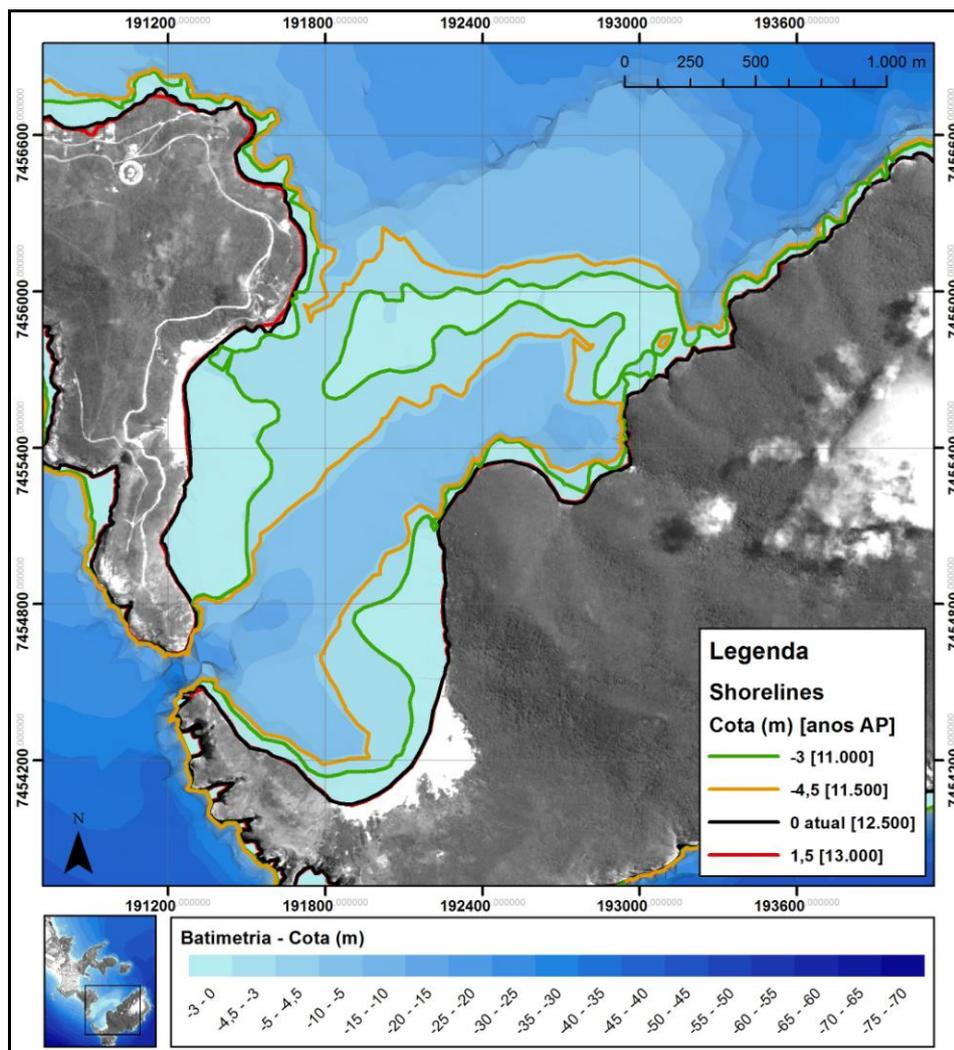


Fig. 15 - Paleolinhas de costa.

5.3.5 Reprodução da Topografia

Tendo em vista que um dos *beachrocks* identificados na Praia do Farol encontra-se 1,5 m acima do NRM atual, a inclusão da topografia nos modelos paleogeográficos tornou-se uma tarefa essencial, uma vez que na simulação referente ao período de 13.000 anos AP, o nível do mar assumiria a curva de nível correspondente a essa cota.

O software ArcGis v. 10 também foi o meio de reprodução da topografia, para a qual, o material utilizado foi o MDE adquirido gratuitamente no site da EMBRAPA,

que consiste em uma Imagem SRTM georreferenciada (descrita no tópico 5.2.1), de onde foram geradas curvas de contorno com um metro de diferença altimétrica entre elas (Fig. 16), as quais foram utilizadas para gerar um TIN que representasse a área emersa das reconstituições.

Devido à necessidade de simular o NRM para cotas abaixo do nível atual (-3,0 e -4,5 m), editaram-se as *shorelines* equivalentes a essas profundidades mantendo os gradientes dos limites considerados, por inspeção visual, como rochosos, além de uma nova curva de -80 m criada a partir da batimétrica de -5 m. Este prolongamento da topografia (Fig. 17) resultaria em uma melhor reprodução dos costões rochosos nas reconstituições em que houvesse rebaixamento do NRM.

As etapas para a geração da topografia encontram-se descritas abaixo:

- I) Exportação das curvas de nível, de 1 em 1 metro de altitude, a partir do MDE (ArcToolbox -> 3D Analyst Tools -> Raster Surface -> Contour), gerando um *shape* de contornos do tipo *Polyline*;
- II) Projeção das curvas de contorno criadas (WGS 84) para o sistema de coordenadas dos outros *shapes* (Córrego Alegre 24S);
- III) Edição das linhas de costa de -3,0 e -4,5 m;
- IV) Criação da curva de -80 m a partir da batimétrica de -5 m;
- V) Criação do TIN através da ferramenta *Create TIN* (Fig. 18);
- VI) Edição da simbologia (*Face with the same symbol*) (Fig. 19).

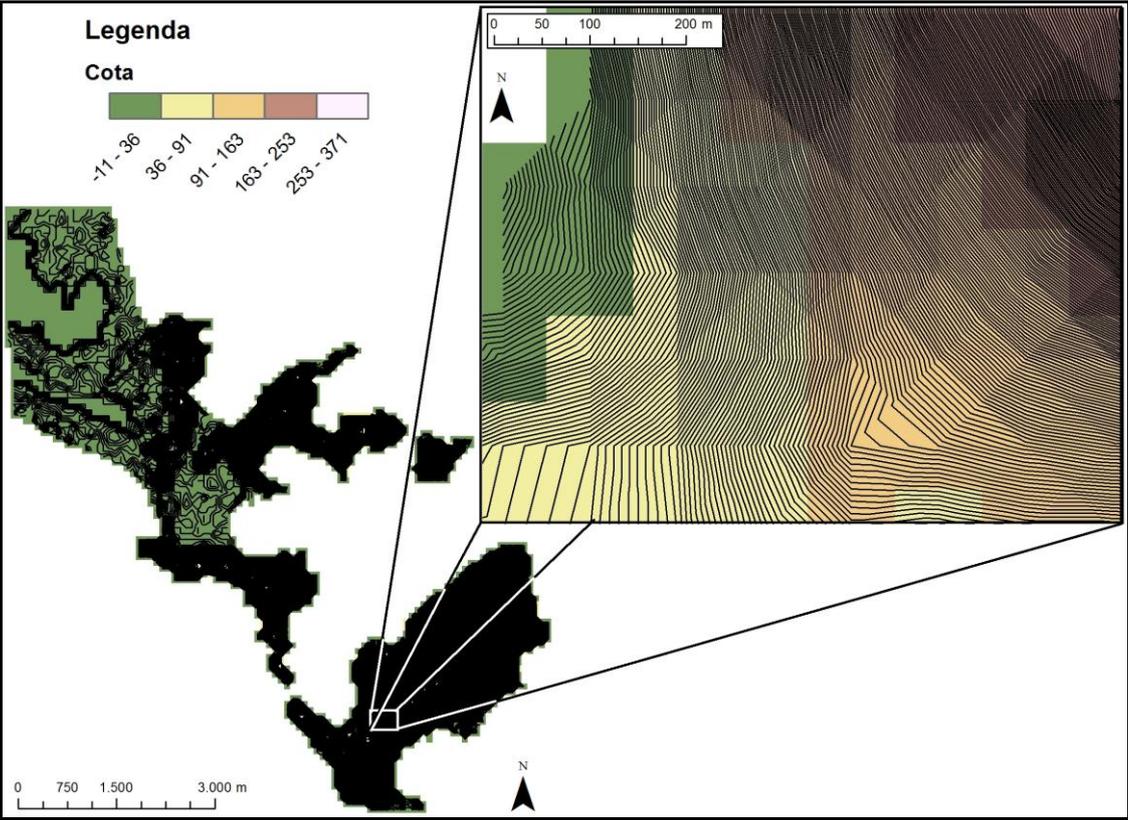


Fig. 16 - Curvas de contorno criadas a partir do MDE.

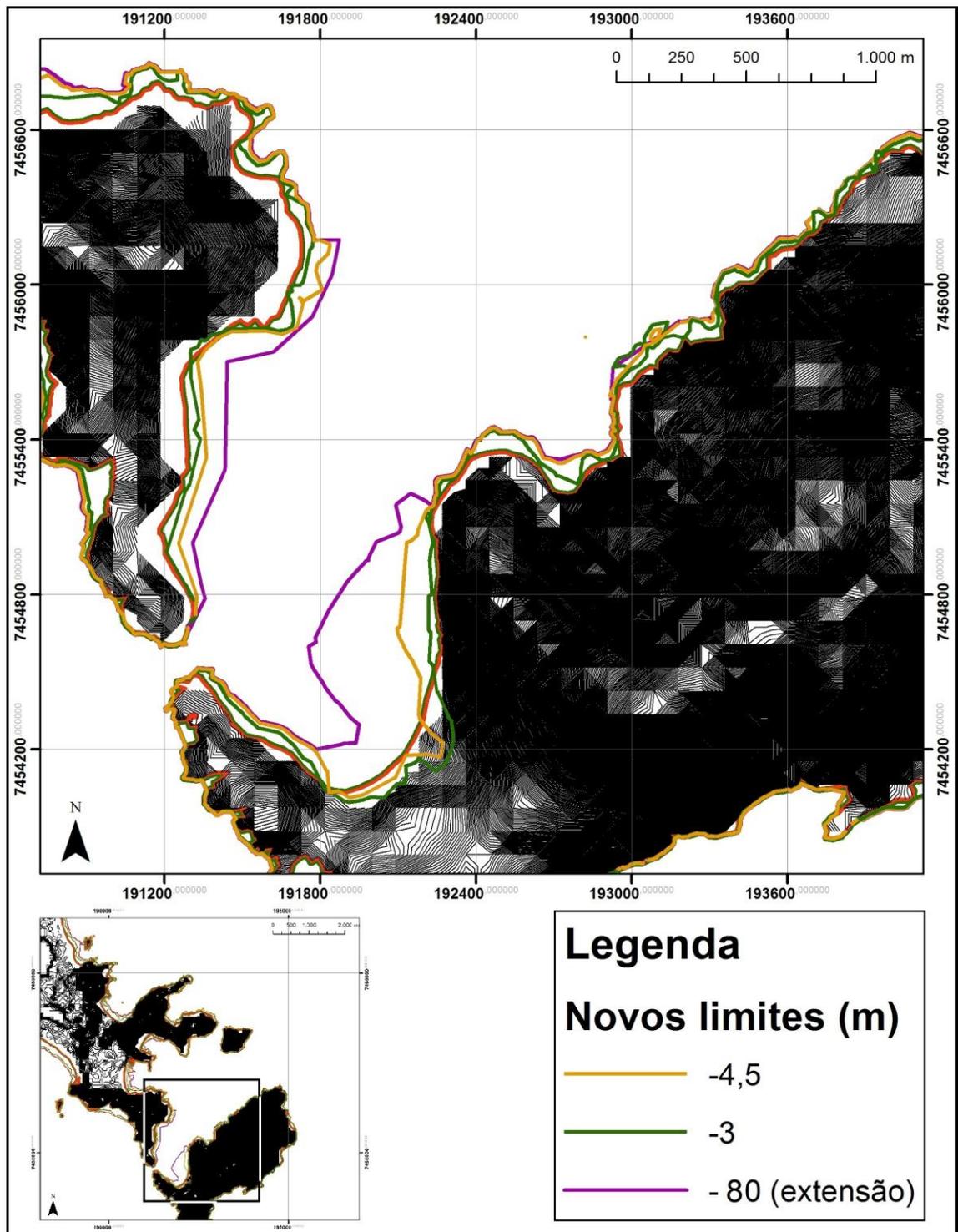


Fig. 17 - Linhas editadas para prolongar a topografia.

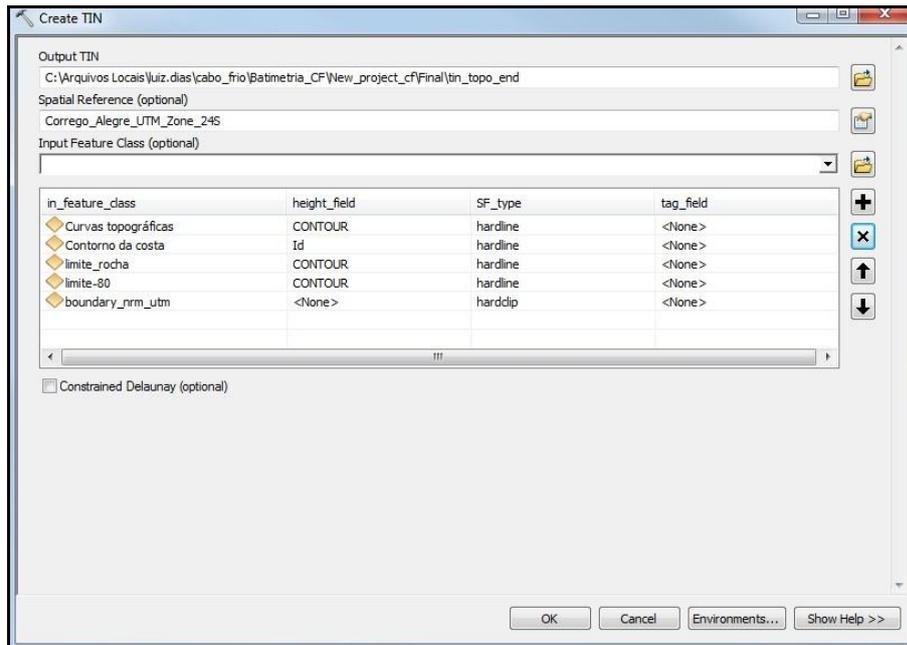


Fig. 18 - Criação do TIN para a topografia.

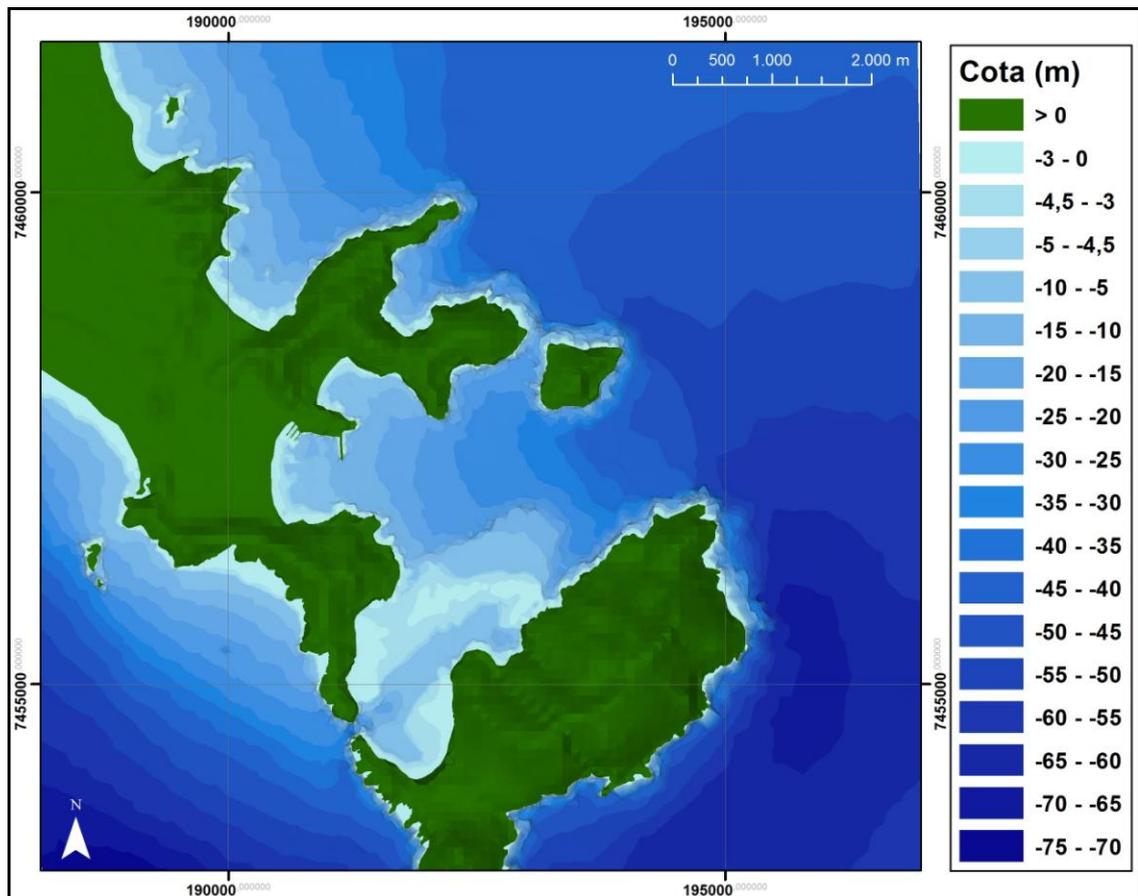


Fig. 19 - Topografia reproduzida com a batimetria.

6- RESULTADOS E DISCUSSÕES

6.1 Correlação dos *beachrocks* com as paleolinhas de costa

Reforçando o que foi dito anteriormente (tópico 3.1), Desruelles *et al.* (2008) afirmam que partes de um *beachrock* que resistiram à erosão representam a zona intermarés original, e apesar de serem menos precisos que outros marcadores como a fauna associada a bioconstruções, formas de biocorrosão e entalhes no sopé de falésias calcárias, os *beachrocks* são, muitas vezes, os únicos registros que permitem reconstruções do NRM.

As quatro amostras coletadas das rochas de praia preservadas na Praia do Farol foram datadas através do método radiométrico Carbono-14 pelo laboratório Beta Analytic Inc, e produziram resultados que indicam idades entre 13.130 e 11.149 cal AP, período que marca a transição entre o final do Pleistoceno e o início do Holoceno.

O *beachrock* que aflora 1,5 metros acima do nível do mar atual (Fig. 21) (amostra Beta Analytic 248723) encontra-se parcialmente coberto por sedimentos do campo de dunas escalonares (*climbing dunes*) da Praia do Farol, e é o mais antigo dos quatro, registrando idade de 10.460 +/- 70 anos AP, calibrada em dois sigma entre 11.940 - 11.240 cal AP, enquanto o submerso encontrado na batimétrica de -3,0 metros (Fig. 22) (amostra Beta Analytic 243863) é o mais novo geoindicador considerado neste trabalho, com idade de 10.250 +/- 50 anos AP, calibrada em dois sigma entre 11.149 - 11.337 anos AP. A amostra Beta Analytic 248721, referente à rocha de praia encontrada 4,5 metros abaixo do NRM atual (Fig. 23) foi datada em 10.460 +/- 70 anos AP, calibrada em dois sigma entre 11.940 -

11.240 cal AP, e a amostra Beta Analytic 243863, referente ao *beachrock* que aflora na atual zona intermarés (cota 0) (Fig. 24), indicou idade de 11.090 +/- 60 anos AP, calibrada em dois sigma entre 12.910 - 12.690 cal AP.

A paleolinha de costa referente a cada amostra foi definida ao longo da curva de nível em que o respectivo *beachrock* aflora (Fig. 3), e as datas consideradas para o desenvolvimento das reconstituições, apenas para fins representativos (Fig. 20), foi estipulada a partir do intervalo da idade calibrada (Quadro I), que deve ser considerado como o período real de cada reconstituição.

Quadro I - Resultados das Datações dos *beachrocks*

Código da Amostra	Cota (metros)	Idade Convencional (anos A.P.)	Idade Calibrada (2 sigma cal A.P.)	Idade da Reconstituição (anos AP)
BA 248721	-4,5	10.460 +/- 70	11.940 – 11.240	11.500
BA 243863	-3,0	10.250 +/- 50	11.149 – 11.337	11.000
BA 248722	0	11.090 +/- 60	12.910 – 12.690	12.500
BA 248723	+1,5	11.210 +/- 80	13.130 – 12.860	13.000

Modificado de Castro, 2010.

(Legenda: BA = Beta Analytic)

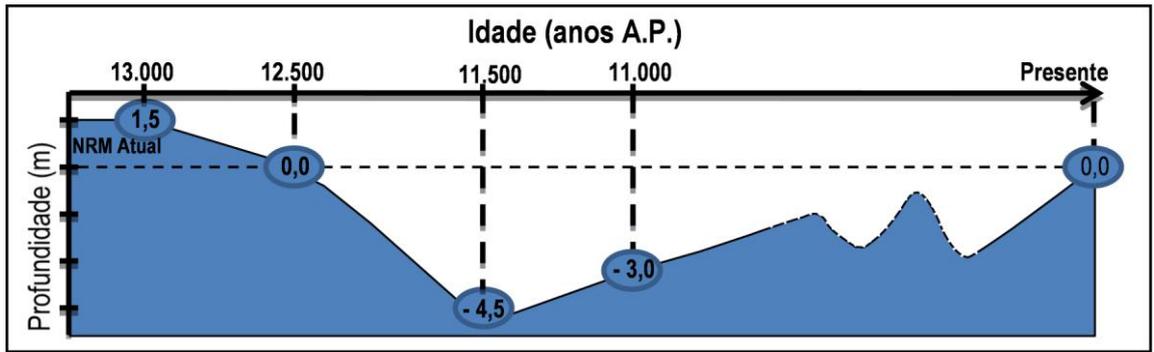


Fig. 20 - Variações do NRM durante a transição Pleistoceno-Holoceno.



Fig. 21 - *Beachrock* 1,5 m acima do NRM atual. Foto: Castro, J. W. A.



Fig. 22 - *Beackrock* submerso referente à batimétrica de -3,0 m. Foto: Rangel, F.E.



Fig. 23 - *Beachrock* submerso referente à batimétrica de -4,5m. Foto: Rangel, F.E.

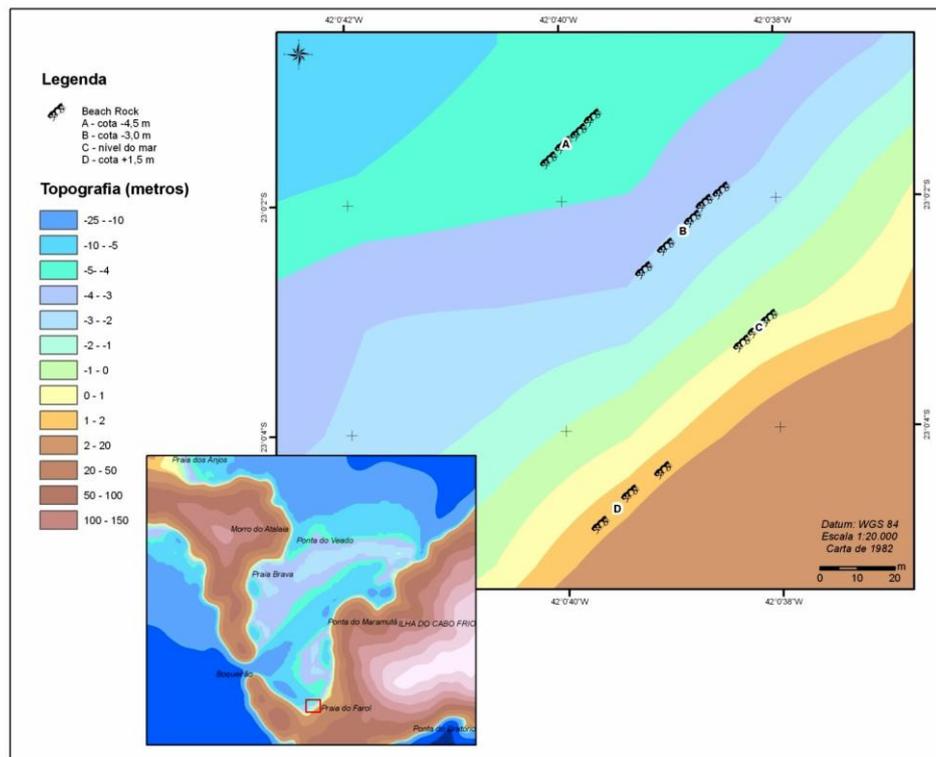


Fig. 24 - Localização dos *beachrocks*. (Castro, 2010).

6.2 Reconstituições Paleoambientais

Além de reproduzir a batimetria e o relevo da Enseada dos Anjos em três dimensões (Fig 25), o principal objetivo das reconstituições desenvolvidas neste trabalho é a simulação de antigas posições do nível do mar com suas respectivas linhas de costa nas proximidades da Praia do Farol, a fim de mostrar como seria a paisagem da região durante a transição Pleistoceno-Holoceno, período definido pela datação dos *beachrocks* encontrados na Ilha do Cabo Frio, frente às oscilações do NRM.

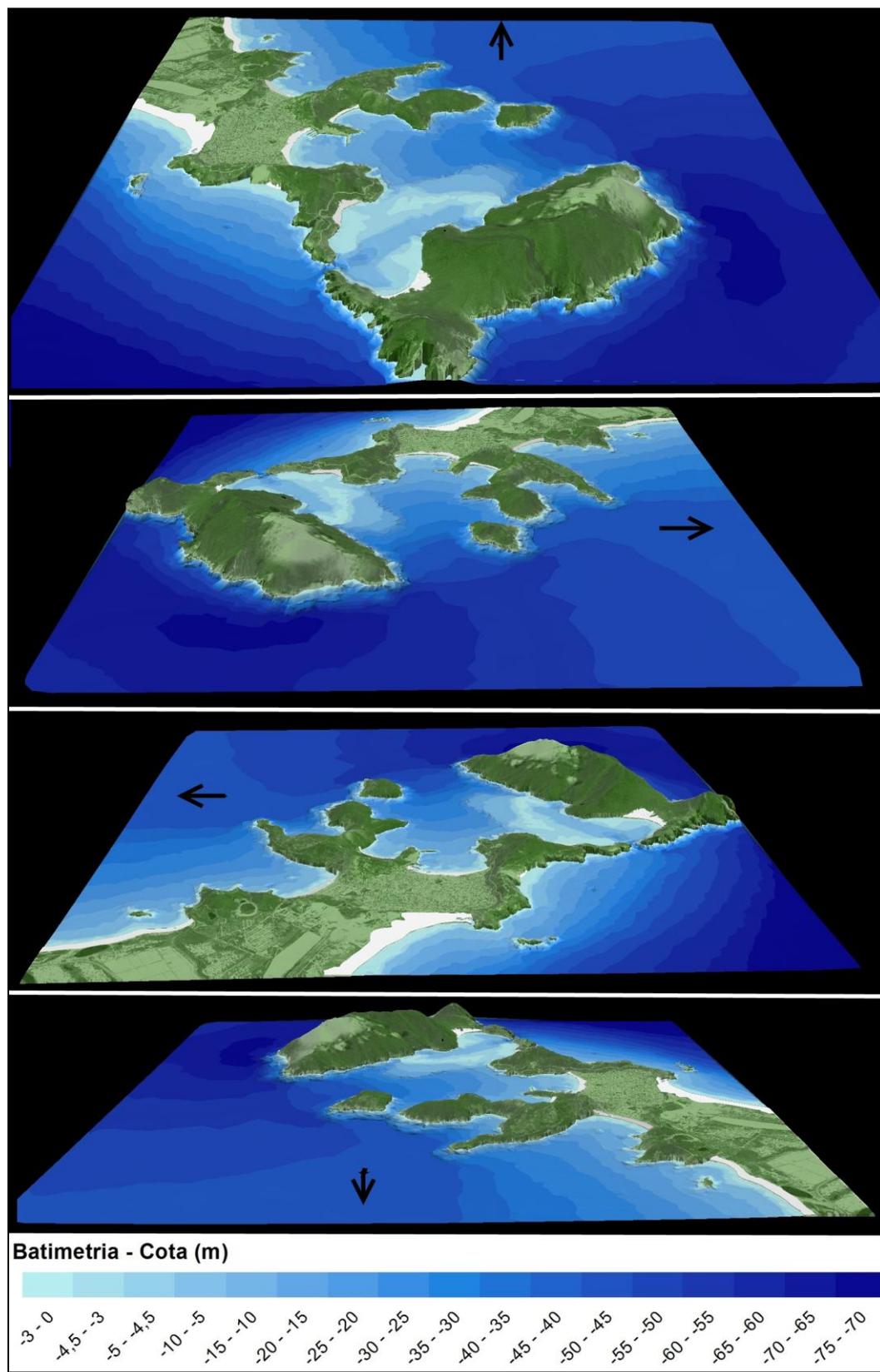


Fig. 25 - Reconstituição geográfica da Enseada dos Anjos em 3D. (Setas pretas indicam o Norte)

Através do *software* ArcGis v.10, foram desenvolvidos modelos matemáticos (Modelos Vigentes) onde a batimetria mostrada nas reconstituições foi considerada idêntica à atual (gerada a partir da Folha de Bordo de 1987), apenas sendo projetada para cima ou para baixo, de acordo com cada paleonível do mar, mantendo-se a legenda original. Como exemplo, a fig. 26 mostra a tabela de classificação da simbologia para a batimetria reproduzida a 1,5 m acima da atual.

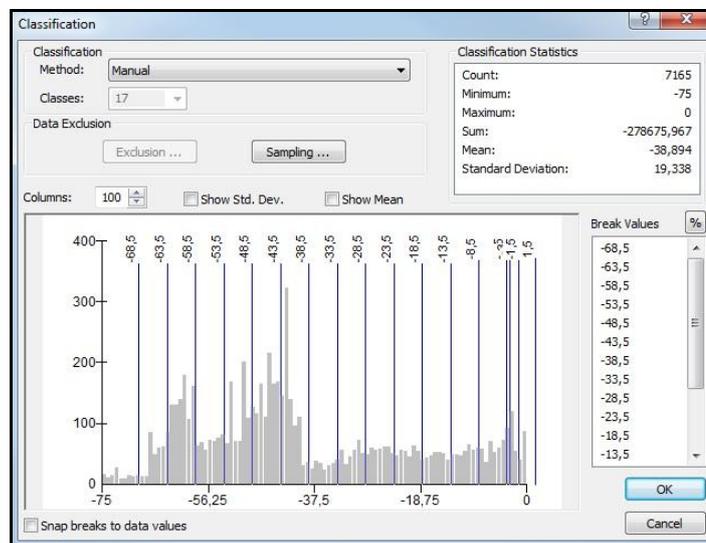


Fig. 26 - Tabela de classificação da simbologia para a batimetria reproduzida 1,5 m acima da atual.

Porém, sabe-se que essa consideração não deve ser totalmente validada, uma vez que a dinâmica sedimentar na plataforma rasa é extremamente complexa, tornando imensamente provável que a morfologia do fundo da enseada não tenha sido a mesma desde o período considerado, lembrando que ela é, em parte, atapetada, principalmente, por sedimentos arenosos, facilmente mobilizados por diversos fatores, e em diferentes escalas de tempo. Por isso, foram feitas interpretações geomorfológicas e sedimentológicas com base em conhecimentos adquiridos, e em trabalhos pretéritos, a

fim de aproximar as reconstituições ao mais próximo possível da realidade, construindo-se, então, os “Modelos Propostos”, onde foram consideradas diversas hipóteses (tratadas no tópico 6.2.2). Destaca-se também, a criação de *shapes* que representassem as áreas sedimentares emersas, que foram traçados sobre a batimetria e a Imagem *ALOS*, para os Modelos Vigentes, e posteriormente, editados para a elaboração dos Modelos Propostos.

A interpolação triangular (TIN) foi escolhida, por inspeção visual, como método mais adequado de produção das superfícies tridimensionais utilizadas para as reconstituições paleoambientais no presente trabalho. A superfície TIN destacou-se em relação às geradas por outros métodos (Fig. 27) por representar melhor a variação de pequena escala da batimetria da enseada. As outras superfícies (*rasters*) mostraram-se mais suavizadas, o que necessitaria de um alto exagero vertical para uma melhor visualização das diferenças batimétricas nos modelos paleogeográficos.

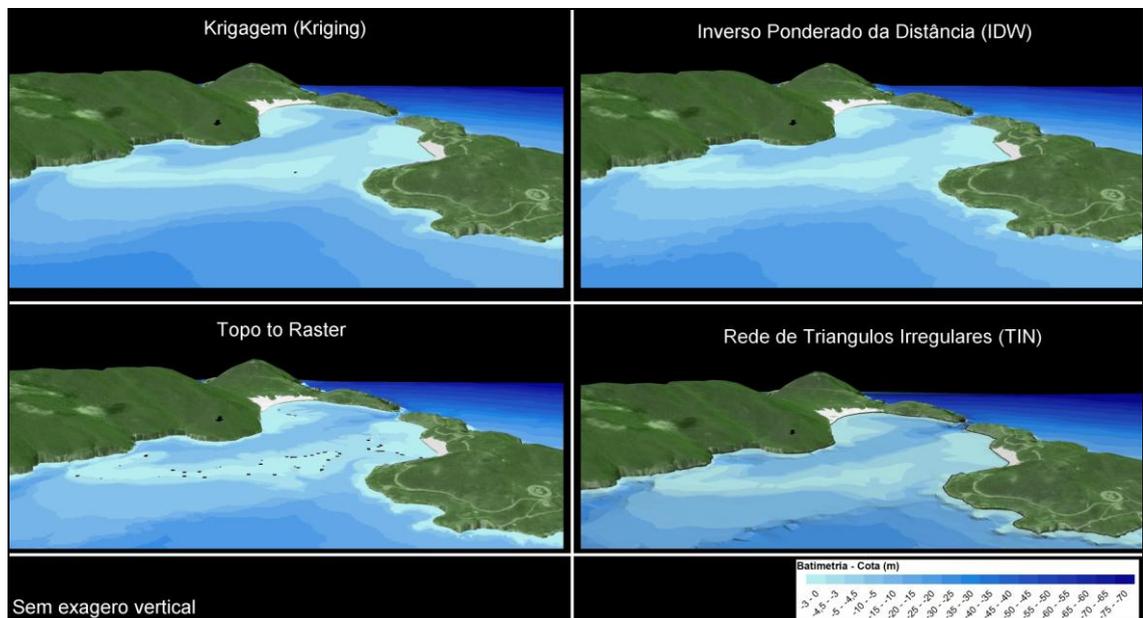


Fig. 27 - Comparação das superfícies batimétricas produzidas por diferentes métodos de interpolação. (Setas pretas indicam o Norte)

6.2.1 Modelos Vigentes

Os Modelos Vigentes (criados pelo *software*) são mostrados nas figuras a seguir, sendo as primeiras, em duas dimensões (Figs. 28, 29, 30 e 31), e as últimas (Figs. 32, 33, 34 e 35) reproduzidas em 3D no ArcScene, onde aplicou-se um exagero vertical de 1,5 para facilitar a visualização das variações do relevo sem distanciar-se da realidade.

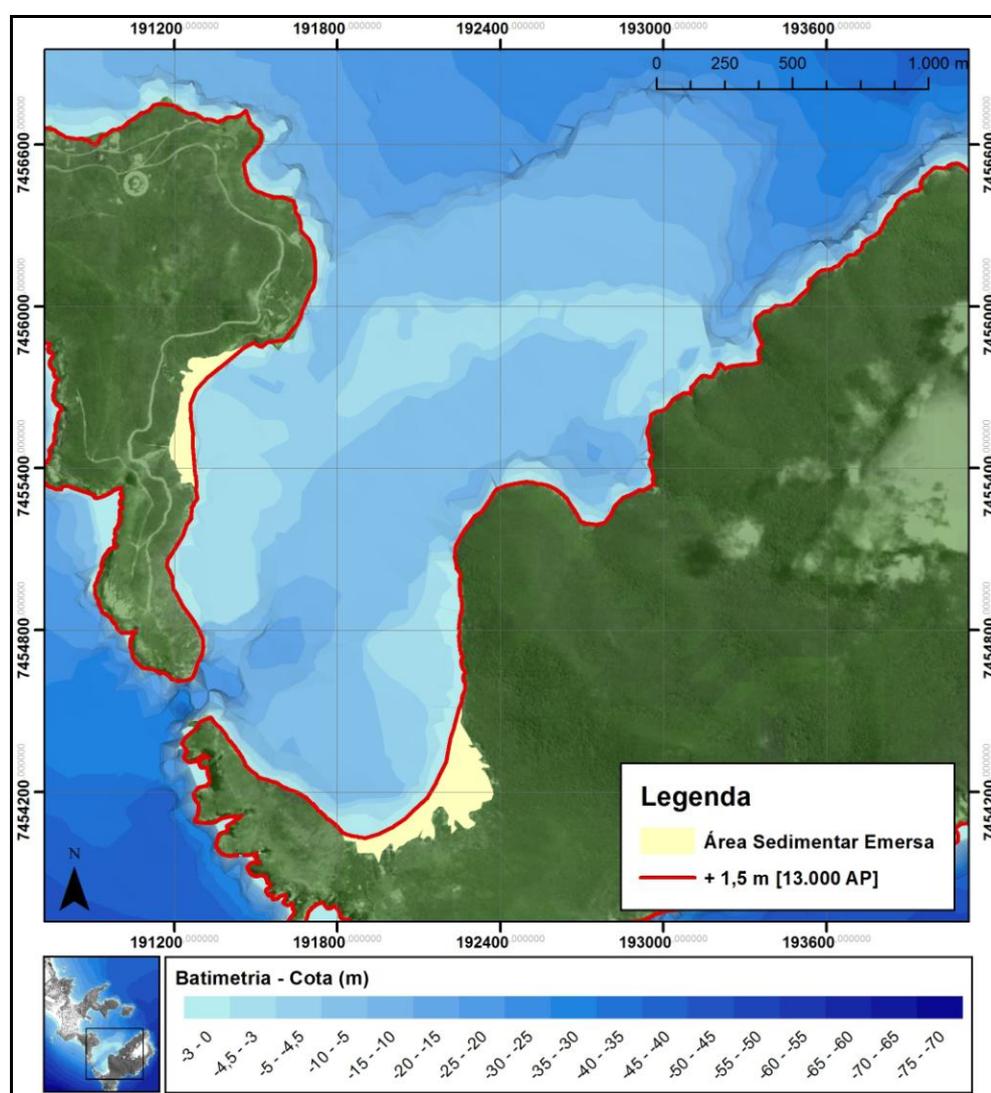


Fig. 28 - Modelo Vigente de 13.000 AP, referente ao período de 13.130 – 12.860 cal AP (NRM 1,5 metros acima do atual).

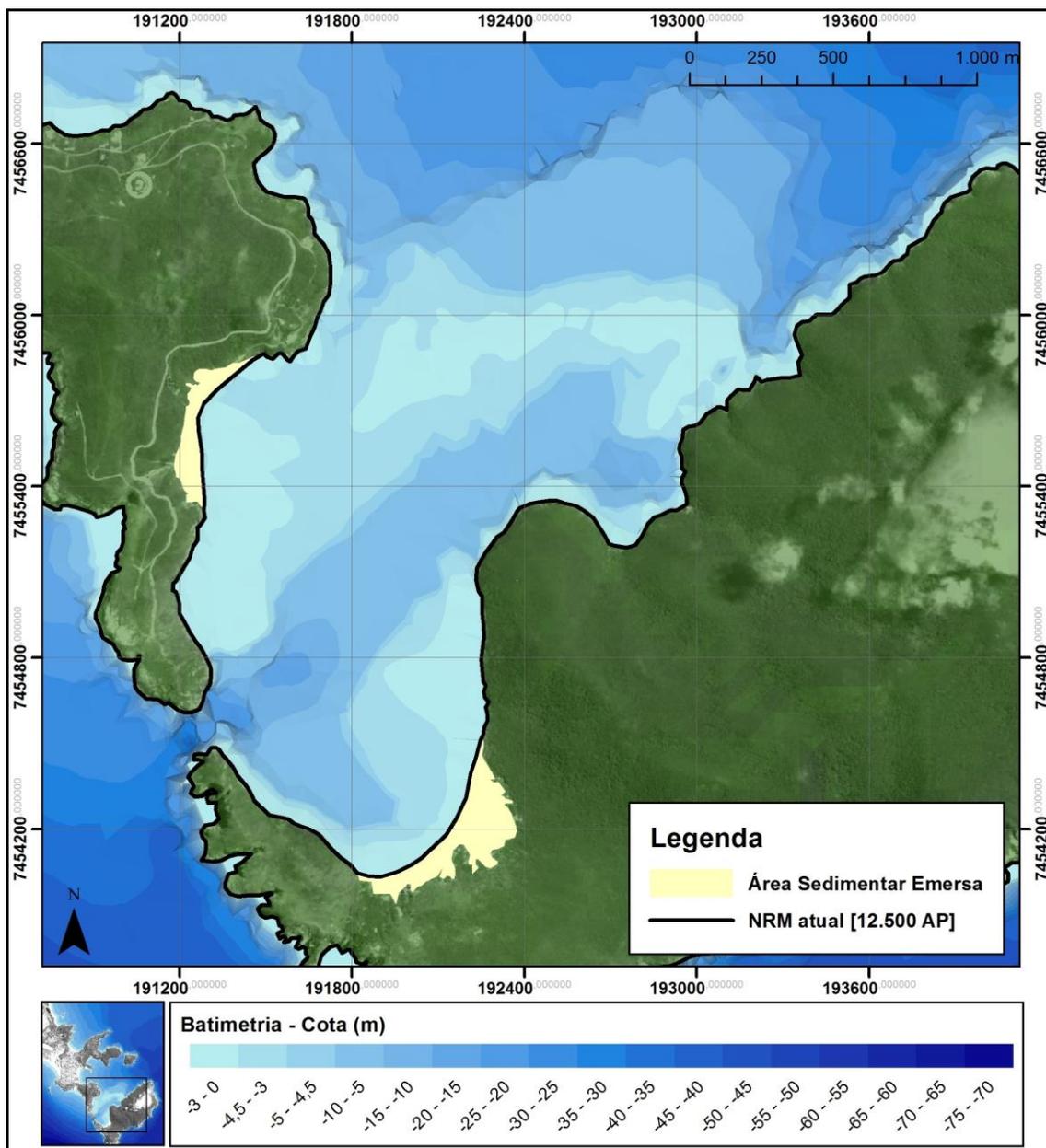


Fig. 29 - Modelo Vigente de 12.500 AP, referente ao período de 12.910 - 12.690 cal AP (NRM semelhante ao atual).

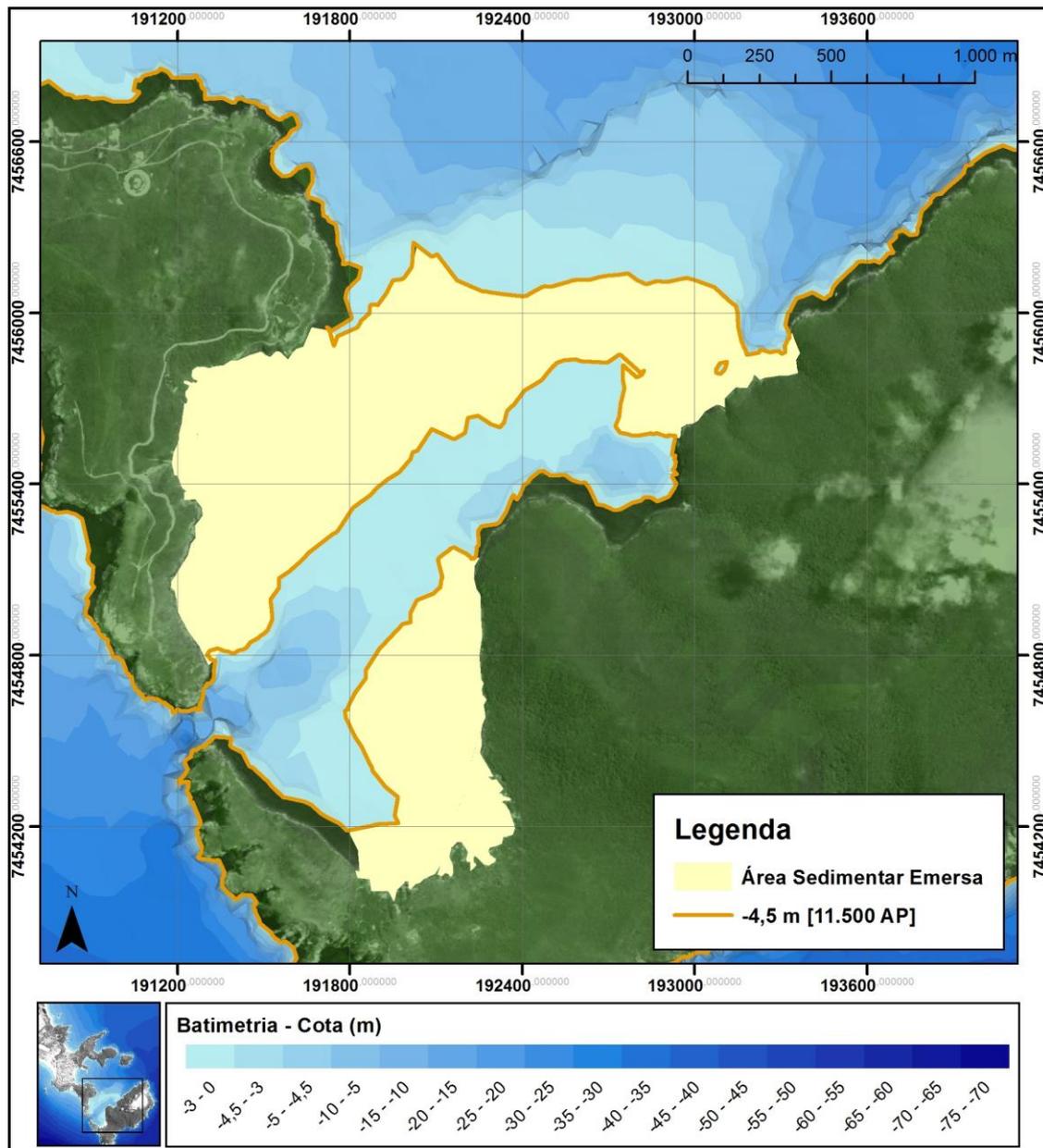


Fig. 30 - Modelo Vigente de 11.500 AP, referente ao período de 11.940 - 11.240 cal AP (NRM 4,5 m abaixo do atual).

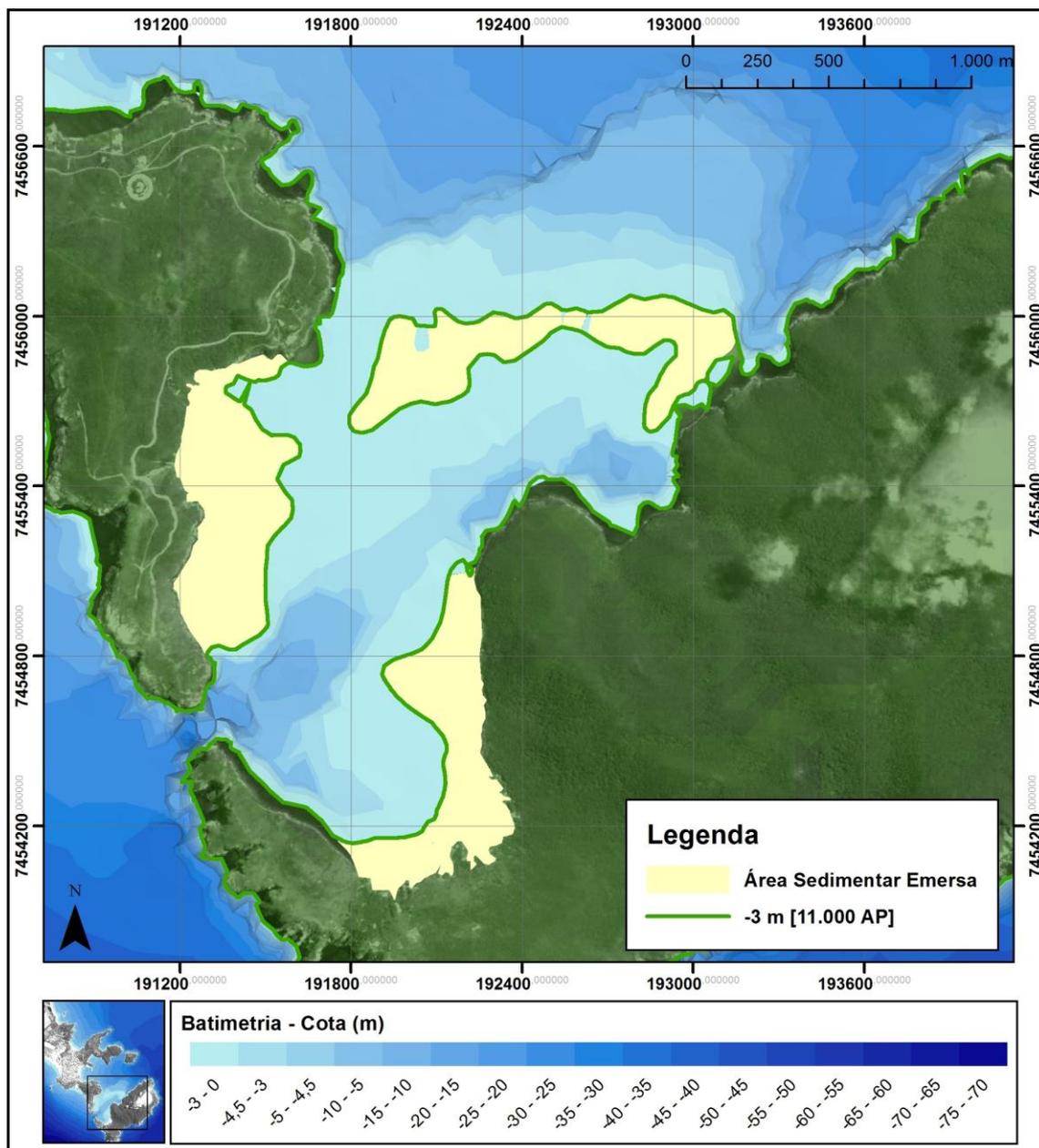


Fig. 31 - Modelo Vigente de 11.000 AP, referente ao período de 11.149 - 11.337 cal AP (NRM 3 m abaixo do atual).

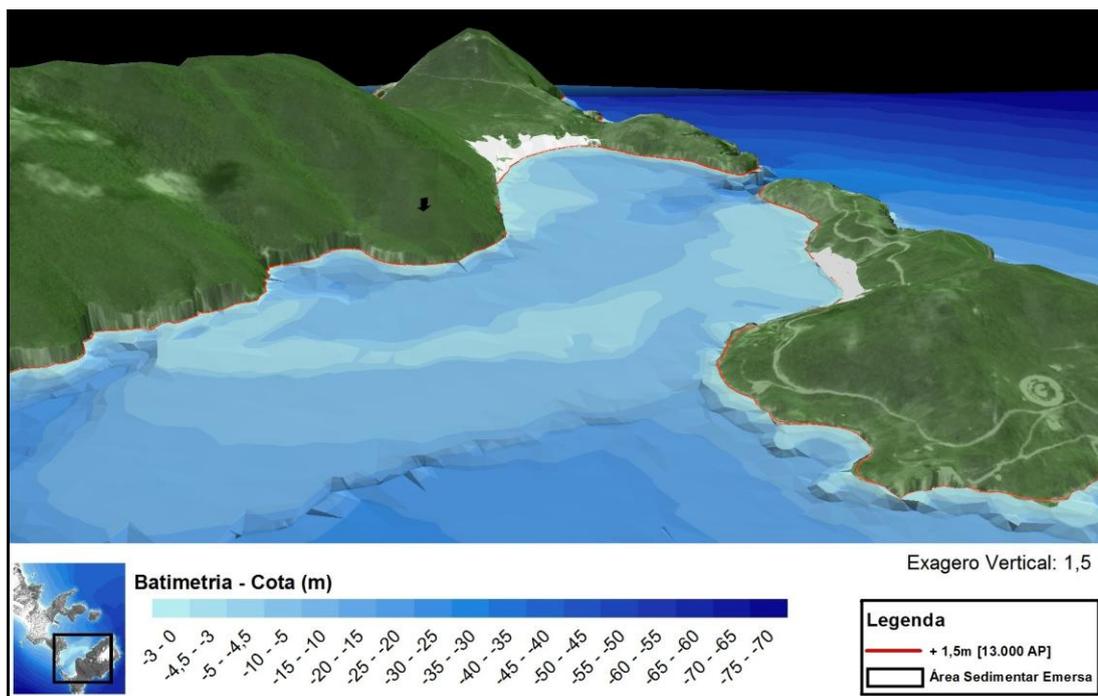


Fig. 32 - Reconstituição paleoambiental (Modelo Vigente) referente ao período de 13.130 - 12.860 cal AP. (Seta preta indica o Norte)

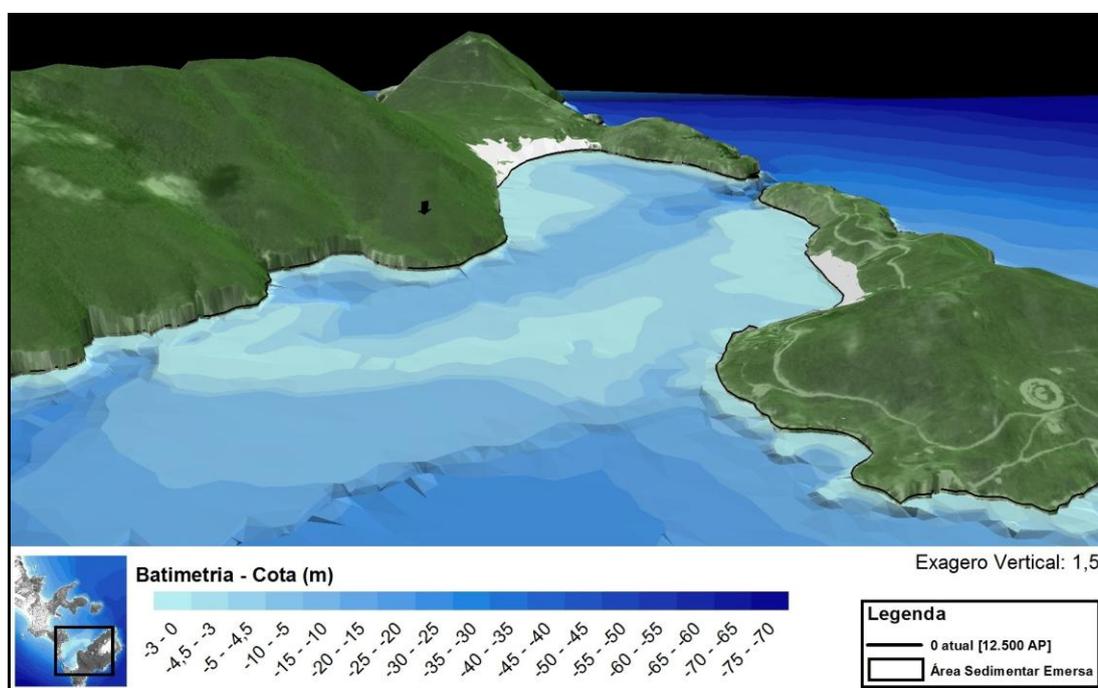


Fig. 33 - Reconstituição paleoambiental (Modelo Vigente) referente ao período de 12.910 - 12.690 cal AP. (Seta preta indica o Norte)

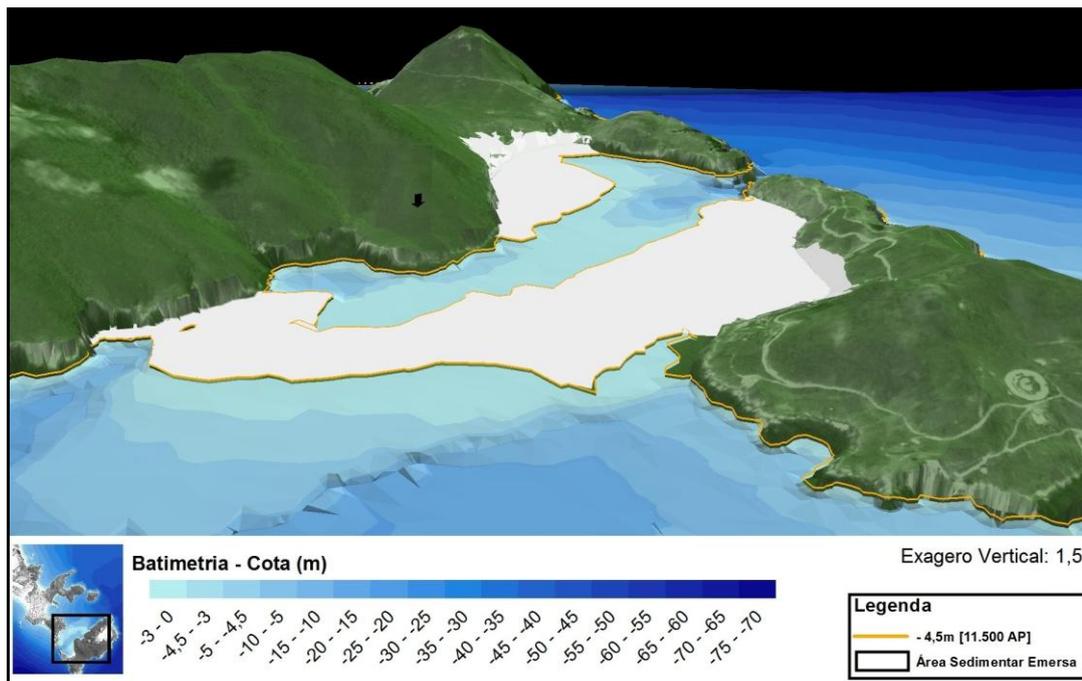


Fig. 34 - Reconstituição paleoambiental (Modelo Vigente) referente ao período de 11.940 - 11.240 cal AP. (Seta preta indica o Norte)

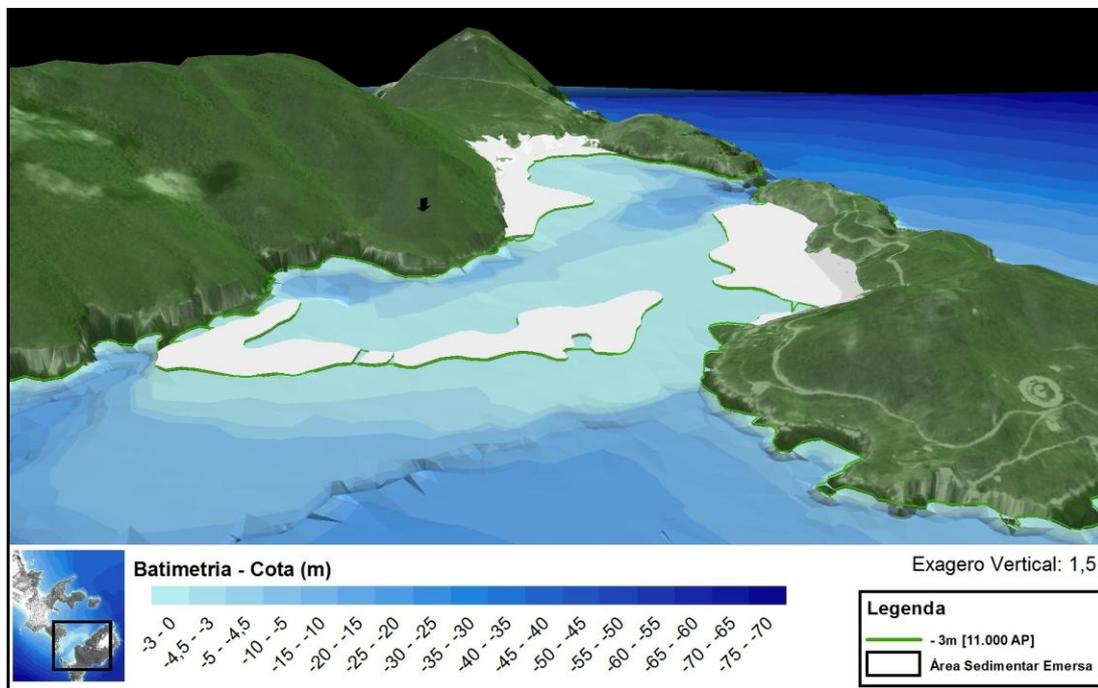


Fig. 35 - Reconstituição paleoambiental (Modelo Vigente) referente ao período de 11.149 - 11.337 cal AP. (Seta preta indica o Norte)

6.2.2 Interpretação e construção dos Modelos Propostos

Após a construção dos Modelos Vigentes, ficou claro que a batimetria influenciaria na posição das paleolinhas de costa resultantes de níveis marinhos abaixo do atual, uma vez que essas foram projetadas nas curvas batimétricas de -3,0 e -4,5 metros. Para eliminar essa influência, foram construídos os Modelos Propostos, eliminando-se a batimetria e projetando as áreas sedimentares para locais hipotéticos, criando reconstituições que poderiam ser mais prováveis, porém, meramente artísticas.

A construção desses modelos foi realizada com base nos seguintes argumentos:

- 1) A geomorfologia da área de estudo aparenta-se com a encontrada na região de Armação de Búzios / RJ, cerca de 26,5 km a nordeste de Arraial do Cabo. A principal diferença entre os dois promontórios: Ilha do Cabo Frio e Armação de Búzios, é que o segundo forma um tómbolo (feição geomorfológica resultante da união de uma ilha ao continente por acúmulo de sedimentos) como mostra o mapa geológico simplificado de Búzios (Fig. 36).
- 2) A formação do tómbolo seria resultado do rebaixamento do NRM, que mobilizaria os sedimentos do *sandbar* característico da área de estudo para as proximidades do Canal do Boqueirão (Figs. 37 e 38). Para reproduzir essa junção da Ilha do Cabo Frio com o continente, calculou-se a área da porção emersa dos Modelos Vigentes de 11.000 e 11.500 anos AP e criaram-se novos *shapes* com áreas semelhantes, considerando-se certa semelhança entre a área e o volume de sedimentos. Uma margem de alguns metros

quadrados (ordem de 1.000 m²) foi considerada irrelevante devido ao volume sedimentar que poderia permanecer submerso;

3) A batimetria não foi reproduzida nos Modelos Propostos (Figs. 39 e 40), uma vez que a dinâmica sedimentar foi considerada, e a hipótese de que alterações na morfologia do fundo ocorreriam constantemente dificultou a suposição de uma nova batimetria;

4) O desenvolvimento de uma pequena lagoa desenvolvida em uma porção mais profunda da batimetria foi considerado possível (semelhante à Lagoa de Geribá, em Búzios).

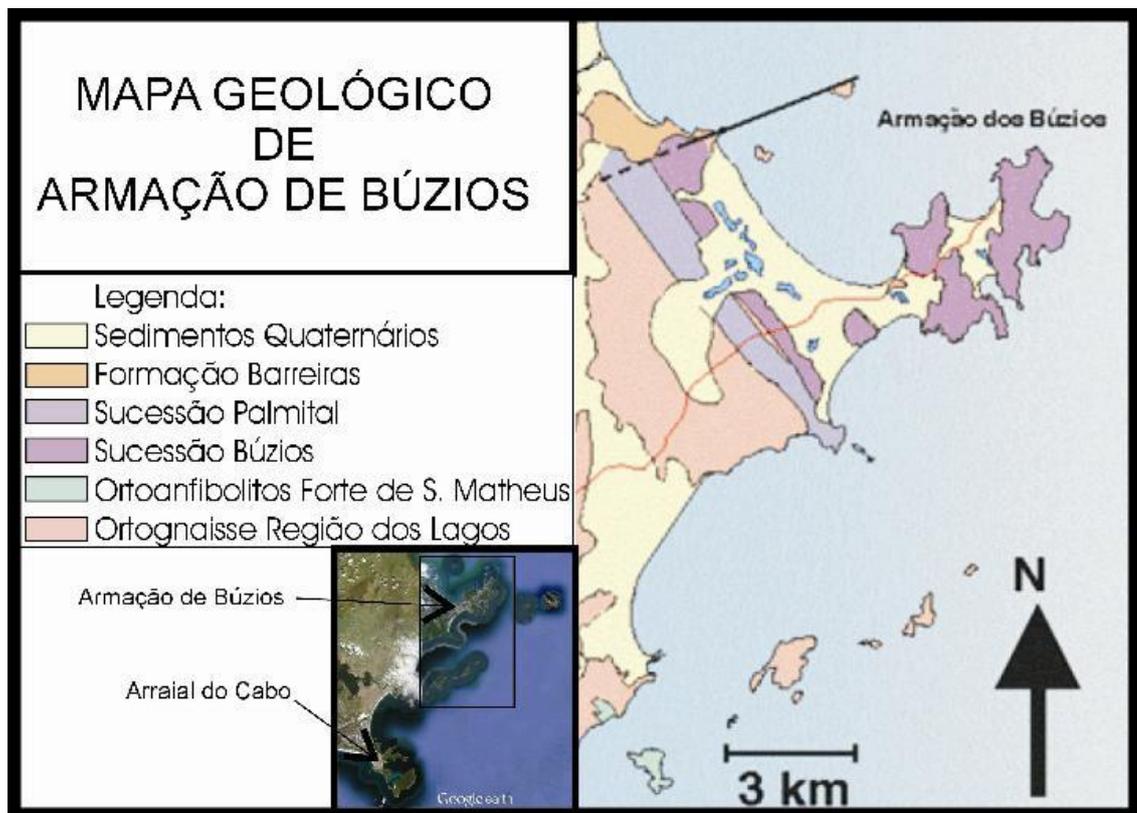


Fig. 36 - Mapa geológico de Armação de Búzios (Modificado de Schmitt, 2001).

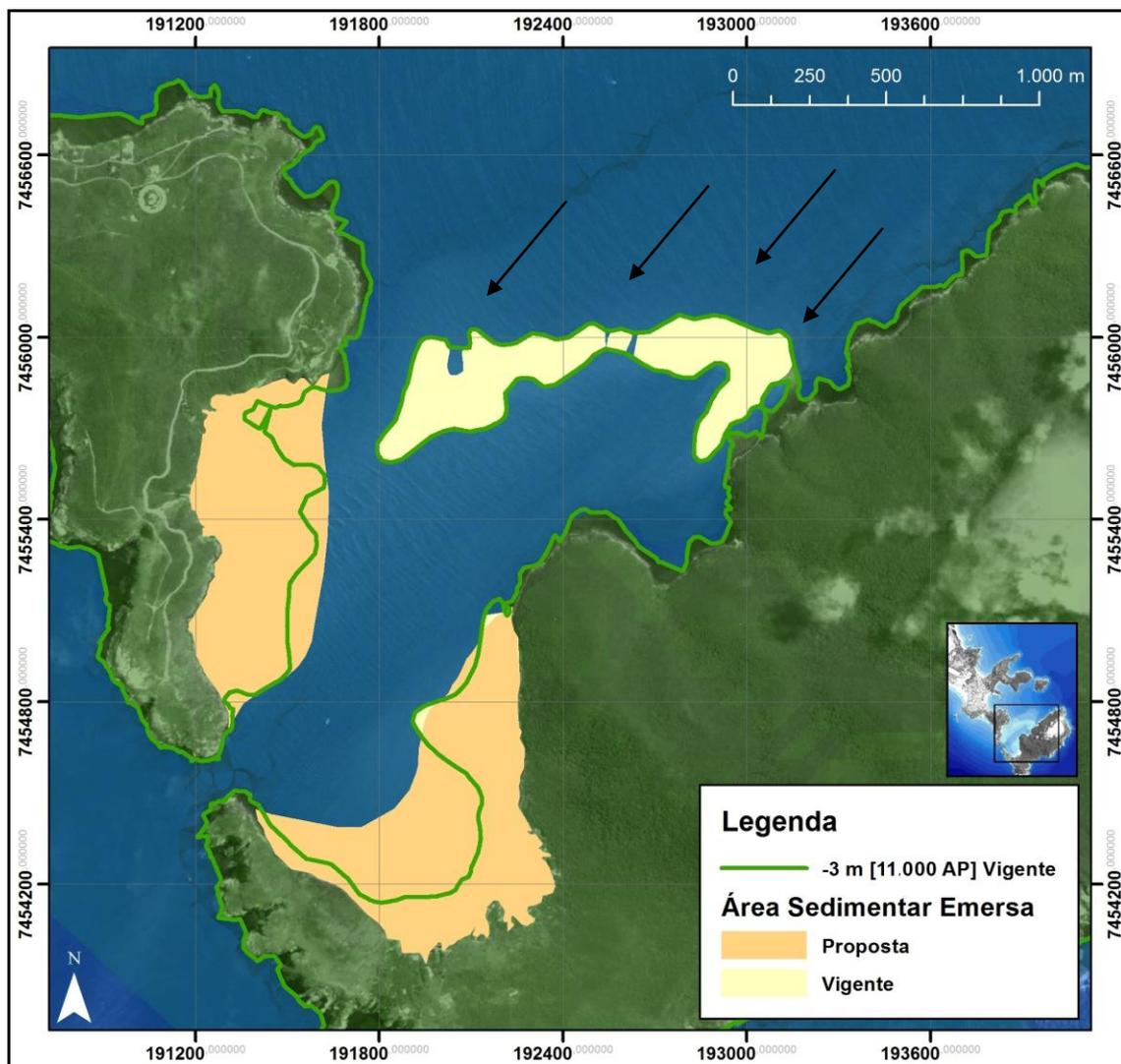


Fig. 37 - Modelo Proposto para a área sedimentar emersa no período de 11.149 - 11.337 cal AP (11.000 AP). Setas pretas indicam a principal direção do transporte sedimentar na região (NE-SW).

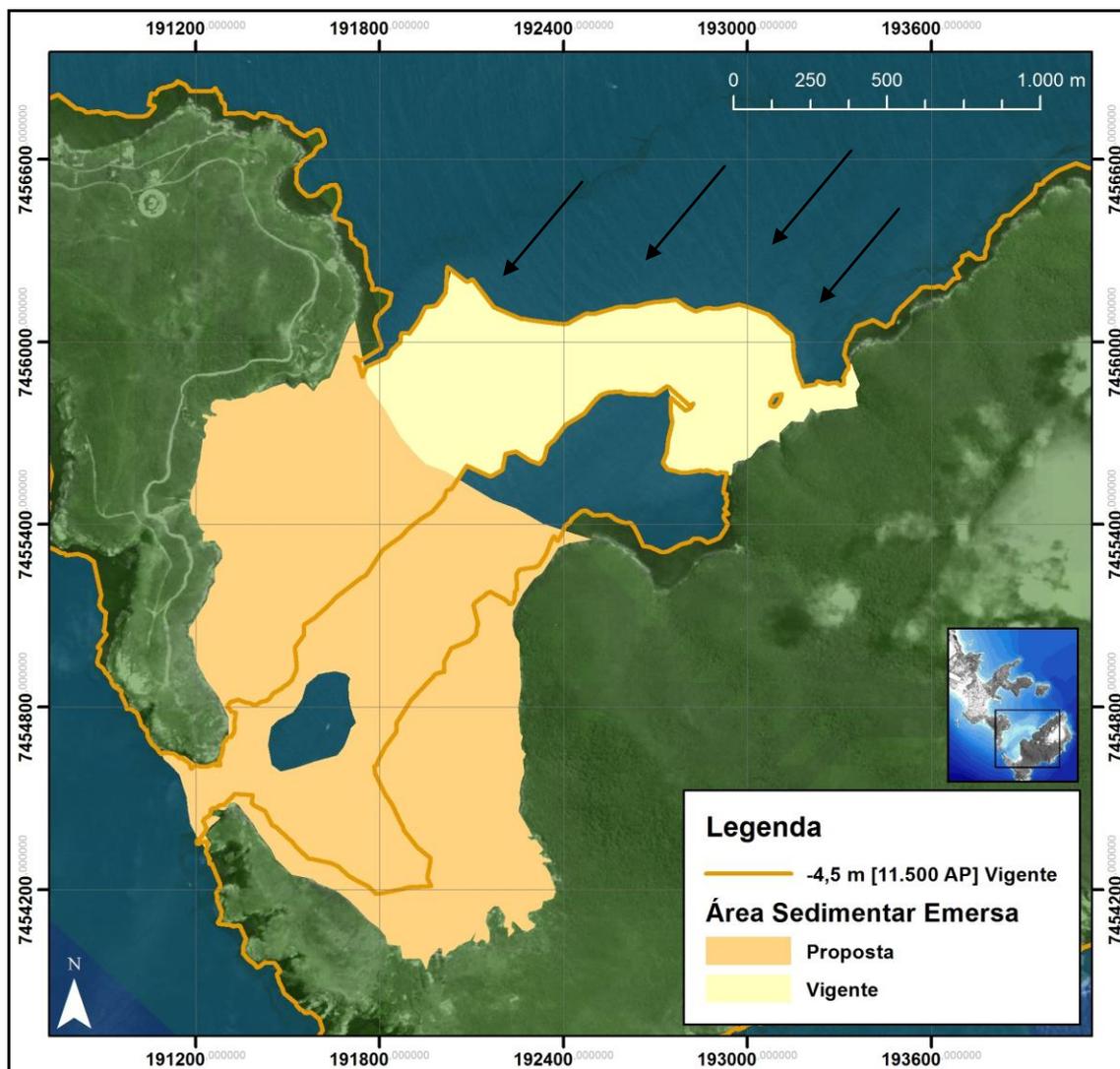


Fig. 38 - Modelo Proposto para a área sedimentar emersa no período de 12.910 – 12.690 cal AP (11.500 AP). Setas pretas indicam a principal direção do transporte sedimentar na região (NE-SW).

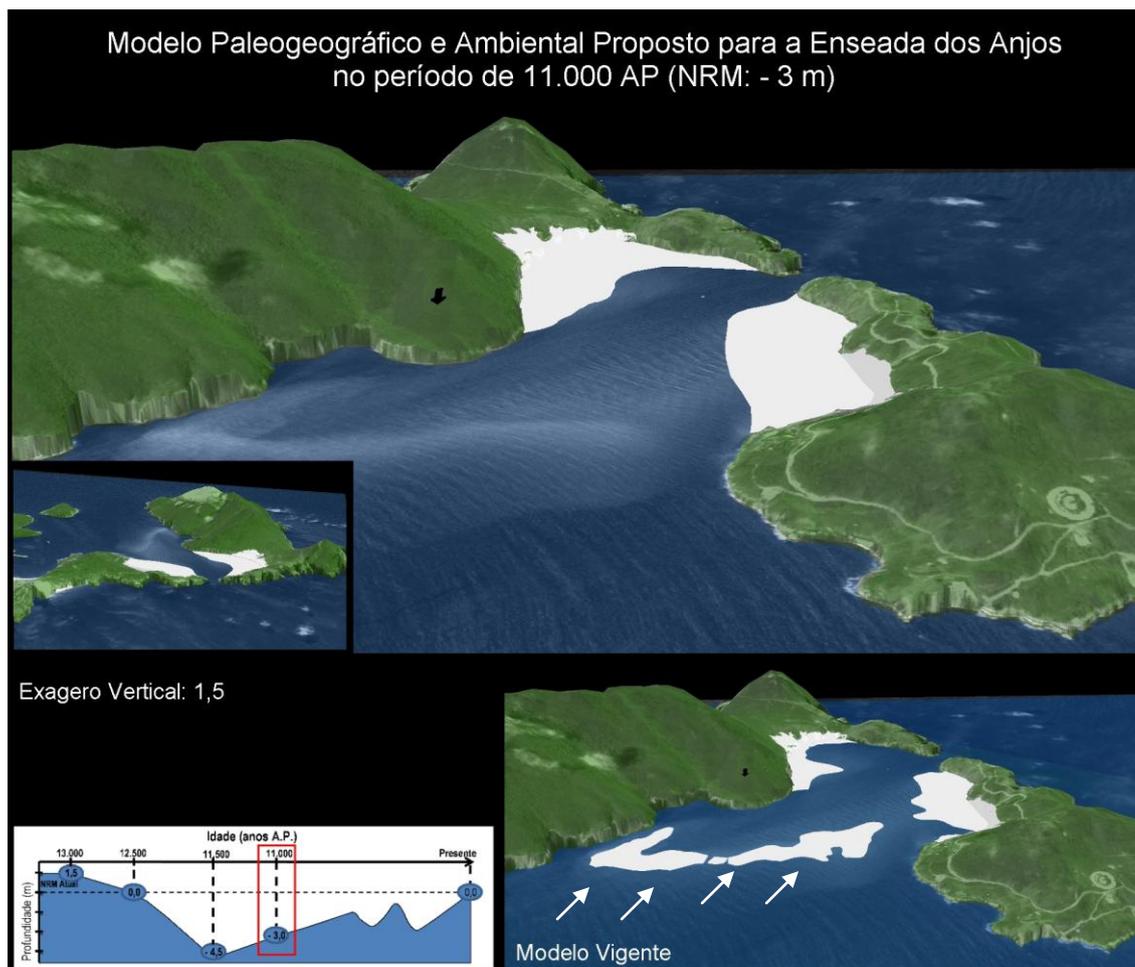


Fig. 39 - Modelo Proposto para a reconstituição de 11.000 anos AP (-3 m). Setas brancas indicam a principal direção do transporte sedimentar na região (NE-SW). (Setas pretas indicam o Norte).

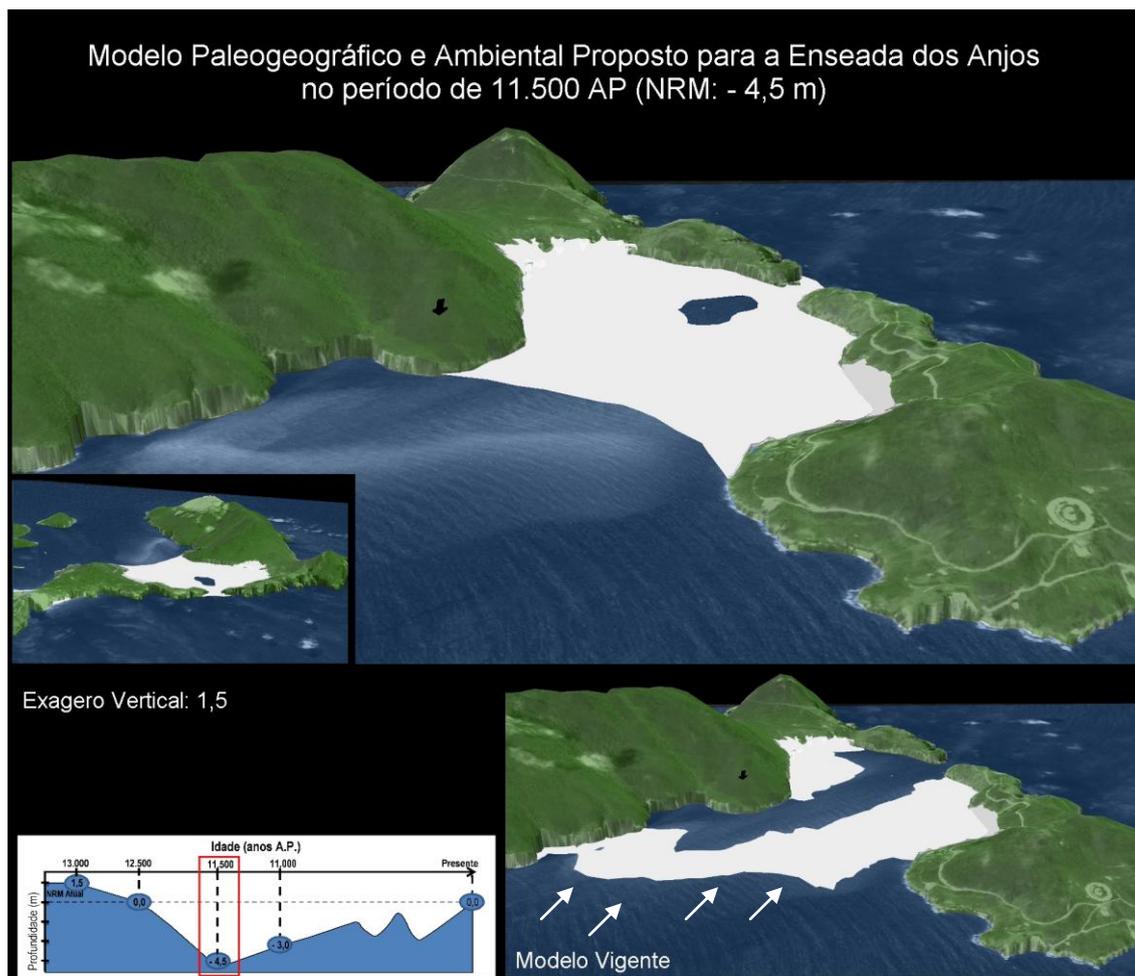


Fig. 40 -Modelo Proposto para a reconstituição de 11.500 anos AP (-4,5 m). Setas brancas indicam a principal direção do transporte sedimentar na região (NE-SW). (Setas pretas indicam o Norte)

7- CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Resultados obtidos por Castro e Suguio (2011) sugerem que entre 13.130 e 11.149 anos cal AP, ocorreu localmente, na Enseada dos Anjos, uma variação do nível relativo do mar em torno de 6,0 m, correspondendo à oscilação negativa de - 4,5 m e positiva de 1,5 m, provavelmente influenciada por processo neotectônico.

O período correspondente ao máximo alcançado pelo nível médio do mar durante o final do Pleistoceno coincide com os demais estudos realizados na costa leste do Brasil. Ressalta-se divergência nos valores encontrados mesmo com a uniformização de datum.

Os estudos aqui realizados destacaram dois intervalos da transição Pleistoceno-Holoceno em que o NRM esteve abaixo do atual: 11.940 - 11.240 cal AP (-4,5 m) e 11.149 - 11.337 cal AP (-3 m), um em que o nível marinho esteve semelhante ao atual (12.910 - 12.690 cal AP) e o mais antigo, em que o NRM esteve 1,5 m acima deste (13.130 - 12.860 cal AP), baseando-se na identificação e datação de quatro *beachrocks* que afloram na Ilha do Cabo Frio, Arraial do Cabo / RJ. A partir desses dados, de material adquirido na DHN (a folha de bordo) e no site da EMBRAPA (a Imagem SRTM), e de técnicas de geoprocessamento (através do *software* ArcGis v.10), foram criados modelos “Vigentes” e “Propostos” para reconstituir a paleogeografia da Enseada dos Anjos.

Comparando a área de estudo com a região de Armação de Búzios / RJ, e assumindo o fato de que os sedimentos do banco de areia existente na enseada são mobilizados, principalmente, por ondas e correntes provenientes do quadrante NE (Castro & Silva, 2011), os Modelos Propostos para os períodos com NRM abaixo do

atual (- 3,0 e -4,5 m) foram desenvolvidos supondo a formação de um tómbolo, unindo a Ilha do Cabo Frio ao continente, que seria resultado da migração do *sandbar* em direção ao Canal do Boqueirão a Sudoeste.

Tendo em vista a dificuldade em simular condições de paleoníveis do mar apenas com *beachrocks* como registro paleogeográfico, o presente trabalho deve ser considerado como um importante passo para a criação de uma reconstituição paleoambiental com maior acurácia para a Enseada dos Anjos. Para tal resultado, acredita-se que seria de extrema importância a realização de trabalhos paleontológicos e sedimentológicos mais detalhados, como a realização de furos de sondagem e/ou de amostragens de testemunhos, pelo meio dos quais poderiam ser identificadas as condições paleoclimáticas, as direções das paleocorrentes, as condições de salinidade e temperatura das águas, dentre outros. Além disso, aconselha-se a realização de levantamentos sísmicos rasos na área, para a identificação de superfícies estratigráficas e do contato entre o embasamento cristalino e os sedimentos quaternários da plataforma rasa na região.

8- REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

8.1 Bibliografia citada

- BRANDÃO, R.L. Regiões costeiras. Geodiversidade do Brasil – Conhecer o passado para entender o presente e prever o futuro. CPRM – Serviço Geológico do Brasil. cp. 6, p. 101-110, 2008.
- CASTRO, J.W.A; SUGUIO, K.; CUNHA, A.M.; TÂMEGA, F.T.S.; RODRIGUEZ, R.R. Rochas de praia “*beachrocks*” Ilha do Cabo Frio, Arraial do Cabo, registro geológico ímpar da transição Pleistoceno – Holoceno no Estado do Rio de Janeiro. Anuário IGEO. UFRJ, 2010.
- CASTRO, J.W.A. & SUGUIO, K. Rochas de praia "beachrocks" testemunhos de antigas posições do nível do mar na ilha do Cabo Frio - Rio de Janeiro: Registro local da transição Pleistoceno - Holoceno. XIII Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário, 2011.
- DANTAS, M.E.; SHINZAT, E.; MEDINA, A.I.M.; SILVA, C.R.; PIMENTEL, J.; LUMBRERAS, J.F.; CALDERAN, S.B.; FILHO, A.C. Diagnóstico Geoambiental do Estado do Rio de Janeiro. In: EMBRAPA (ed.). Estudo Geoambiental do Estado do Rio de Janeiro. CPRM: Brasília, 2000.
- DESRUELLES, S.; FOUACHE, E.; CINER, A.; DALONGEVILLE, R.; PAVLOPOULOS, K.; KOSUN, E.; CONQUINOT, Y. & POTDEVIN, J. Beachrocks and sea level changes since Middle Holocene: Comparison between the insular group of Mykonos–Delos–Rhenia (Cyclades, Greece) and the southern coast of Turkey. *Global and Planetary Change* 66 (2009) 19–33, 2008.
- DHN. Diretoria de Hidrografia e Navegação. Niterói – RJ, 1987.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em:
<http://biblioteca.ibge.gov.br/>. Acesso em: 16 abr. 2008.
- MARTIN, L.; TASAYCO-ORTEGA, L.A.; FLEXO, J-M.; SUGUIO, K.; TURCQ, B. Registro das variações do nível do mar e do clima nos sedimentos das pequenas lagunas hipersalinas de Cabo Frio (RJ). XXXIX Congresso Brasileiro de Geologia. Anais, vol. 4 – Simpósios, Sociedade Brasileira de Geologia – Núcleo Bahia - Sergipe, 1996.

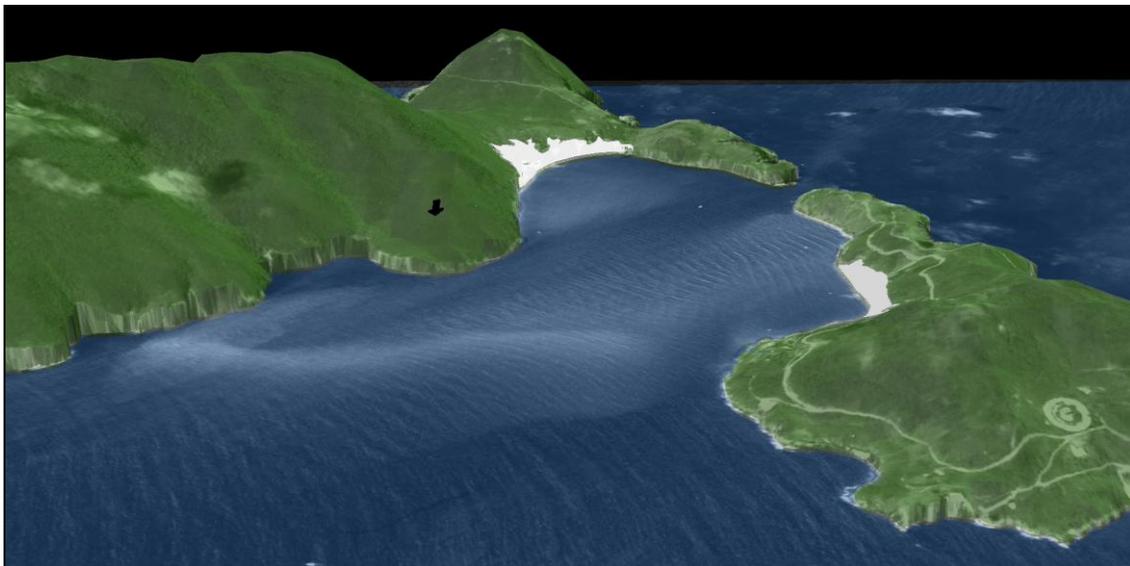
- MAZZINI, P.L.F. & SCHETTINI, C.A.F. Avaliação de metodologias de interpolação especial aplicados a dados hidrográficos costeiros quaseinóticos. *Braz. J. Aquat. Sci. Technol.* 13(1):53-64. ISSN 1808-7035, 2009.
- MESQUITA, A. R. Marés, Circulação e Nível do Mar na Costa Sudeste do Brasil. Documento Preparado para a FUNDESPA (Fundação de Estudos e Pesquisas Aquáticas), 1997.
- MIRANDA, E.E. (Coord.). Brasil em Relevo. Campinas: Embrapa. Monitoramento por Satélite, 2005. Disponível em: <<http://www.relevobr.cnpem.embrapa.br>>. Acesso em: 19 out. 2011.
- PEZZO, M. Datação por Carbono-14. Univerciência. Dezembro, 2002.
- SAVI, D.C. Erosão e Acresção Costeira na Enseada dos Anjos, Arraial do Cabo, RJ. *Revista Brasileira de Geofísica* (2007) 25(Supl. 1): 91-99. Sociedade Brasileira de Geofísica, 2007.
- SICHEL, S.; ARAÚJO, A.L.N.; GUEDES, A.; MANSUR, K.L.; GUIMARÃES, P.V.; MEDEIROS, F. & MADJALANI, S. Projeto Caminhos Geológicos - Ferramenta Para Inclusão Social no Campo do Conhecimento Científico. In: XLIII Congresso Brasileiro de Geologia, Aracaju. Coletânea de Trabalhos Completos do 43 Congresso Brasileiro de Geologia. Salvador : Sociedade Brasileira de Geologia, 2008. p. 569-574, 2008.
- SILVA, A.C. Dinâmica batimétrica e sedimentológica da região do Cabo Frio. Universidade Federal do Rio de Janeiro, UFRJ, Brasil, 2009.
- SCHMITT, R.S. Ponto de Interesse Geológico Ponta do Marisco - Geribá. Projeto Caminhos Geológicos [online]. DEPARTAMENTODERECURSOS MINERAIS, 2001. Disponível em: <<http://www.caminhosgeologicos.rj.gov.br>>. Acesso em: 25 nov 2011.
- TURNER, R.J. Beachrock, *in* Schwartz, ML, ed., *Encyclopedia of Coastal Science*. Kluwer Academic Publishers, The Netherlands. Pp. 183-186, 2005.
- WILSON, J.C. & GALLANT, J.C. *Terrain Analysis: principles and applications*. Cap. Digital elevation models and representation of terrain shape, p.34-35, 2000.

8.2 Bibliografia consultada

- ARAI, M. A grande elevação eustática do mioceno e sua influência na origem do grupo barreiras. *Geol. USP, Sér. cient.* [online]. vol.6, n.2, pp. 1-6. ISSN 1519-874X, 2006.
- ArcGis Resource Center. Disponível em: <<http://resources.arcgis.com>>. Acesso em: 2010 e 2011.
- Barco Rapa Nui. Disponível em: <<http://rapanuiarraial.blogspot.com>>. Acesso em: 03 dez. 2011.
- BROWDER, A.G. & MCNINCH J.E. Linking framework geology and nearshore morphology: Correlation of paleo-channels with shore-oblique sandbars and gravel outcrops. Virginia Institute of Marine Science, College of William and Mary, 1208 Greate Road, Gloucester Point, VA 23062, USA, 2006.
- CASTRO, J.W.A. & SILVA, C.S. Bathymetric variations from 1936 to 1991 of a sandbar in Anjos Cove, Arraial do Cabo - Southeastern Brazil. *Journal of coastal Research*, 2012.
- CUNHA, A.C.B. Uma Análise do Sistema Lagunar de Araruama - RJ, com Enfoque Hidrodinâmico - RJ, [Rio de Janeiro]. XIII,163 p, 29.7 cm (COPPE/UFRJ, Msc., Engenharia Civil, 2003). Tese – Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, 2003.
- Departamento de Ciências da Terra – Universidade do Minho. Disponível em: <<http://www.dct.uminho.pt/index/index.html>>. Acesso em: 28 nov. 2011.
- GHARIBREZA, M.R. & MOTAMED, A. Late Quaternary paleoshorelines and sedimentary sequences in Chabahar Bay (Southeast of Iran). *Journal of Coastal Research*, 22(6), 1499–1504. West Palm Beach (Florida), ISSN 0749-0208, 2006.
- KELLETTAT, D. Beachrock as Sea-Level Indicator? Remarks from a Geomorphological Point of View. *Journal of Coastal Research*, Number 226:1558-1564, 2006.
- LAPLACE, F.M.; OLIVEIRA, A.D.; FILHO, J.G.M.F.; CHAGAS, R.B.A.; MENEZES, T.R.; SANTOS, E.S. & MEDONÇA, J.O. Variação do nível do mar com base na análise organofaciológica de um testemunho do talude continental recente da bacia de Campos, RJ, Brazil. *Rev. bras. paleontol.* 13(2):123-128, Maio/Agosto 2010 by the Sociedade Brasileira de Paleontologia doi: 10.4072/rbp.2010.2.05, 2010.
- LOMANDO, J.A. & GLSCHLER, E. Holocene cemented beach deposits in Belize. *Sedimentary Geology* 110 (1997) 277-297, 1996.
- MESQUITA, A.R. Variações do Nível Médio do Mar nas Costas Brasileiras. *Afro America Gloss News, IOUSP*, v. 1, n. 1, p. 2-4, 1994.

- MUEHE, D. & CARVALHO, V.G. Geomorfologia, cobertura sedimentar e transporte de sedimentos na plataforma continental interna entre a Ponta de Saquarema e o Cabo Frio (RJ). *Boletim do. Instituto Oceanográfico*, 41(1/2):1-12. SP, 1993.
- PEREIRA, J.; CANDELA, R.N. & CARVALHO, J.LB. O Clima de Ondas na Costa Sul de Arraial do Cabo, RJ: Distribuição de Parâmetros de OndaI. *Notas Técnicas da FACIMAR (Cessou em 2004. Cont. ISSN 1808-7035 Brazilian Journal of Aquatic Science and Technology (Impresso))*, v. 4, p. 1-9, 2000.
- RAFAEL, S.S. Erosão Costeira nas praias da Barra da Tijuca, Reserva e Recreio dos Bandeirantes, Rio de Janeiro. Rio de Janeiro. UFRJ / IGEO, 2011.
- RIVA, E.M. Modelagem do Levantamento batimétrico da região do parque municipal marinho do Recife De Fora, Porto Seguro – BA visando melhorar a confiabilidade dos mapas e redução dos custos de campo - Rio de Janeiro: UFRJ / IGEO, 2011.
- Selected Works. Disponível em: <<http://works.bepress.com/>>. Acesso em: 28 nov. 2011.
- SHAW, J.; DUFFY, G., TAYLOR, R.B.; CHASSÉ, J.; & FROBEL, D. Role of a submarine bank in the longterm evolution of the northeast coast of Prince Edward Island, Canada. *Journal of Coastal Research*, 24(5), 1249–1259. West Palm Beach (Florida), ISSN 0749-0208, 2008.
- SILVA, G.L.; DOURADO, M.S. & CANDELLA, R.N. Estudo preliminar da climatologia da ressurgência na região de Arraial do Cabo, RJ. *Anais XI ENAPET, Florianópolis*, 2006.
- SILVA, J.B. Reconstituição Paleoambiental das Enseadas do Flamengo e da Fortaleza, Ubatuba, SP. durante o Holoceno, Inferida a Partir da Variação das Associações de Foraminíferos (suplente). *Dissertação (Mestrado em Geologia Sedimentar) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo*, 2007.
- SIMÕES, I.C.V.P. Relações entre a morfologia e a litologia de feições encontradas com ecobatímetro multifeixe no fundo marinho ao largo da Laguna de Araruama e Arraial do Cabo (RJ). *VI Simpósio Nacional de Geomorfologia 2006, Goiana*, 2006.
- SOUZA, L.A.P. Revisão crítica da aplicabilidade dos métodos geofísicos na investigação de áreas submersas rasas. / Luiz Antonio Pereira de Souza. São Paulo, 2006.
- Sky Scraper City. Disponível em: <<http://www.skyscrapercity.com>>. Acesso em: 28 nov. 2011.
- VIEIRA, M.M. & LOS, F.R. Cementation patterns and genetic implications of Holocene beachrocks from northeastern Brazil. *Sedimentary Geology* 192 (2006) 207–230, 2006.

ANEXOS

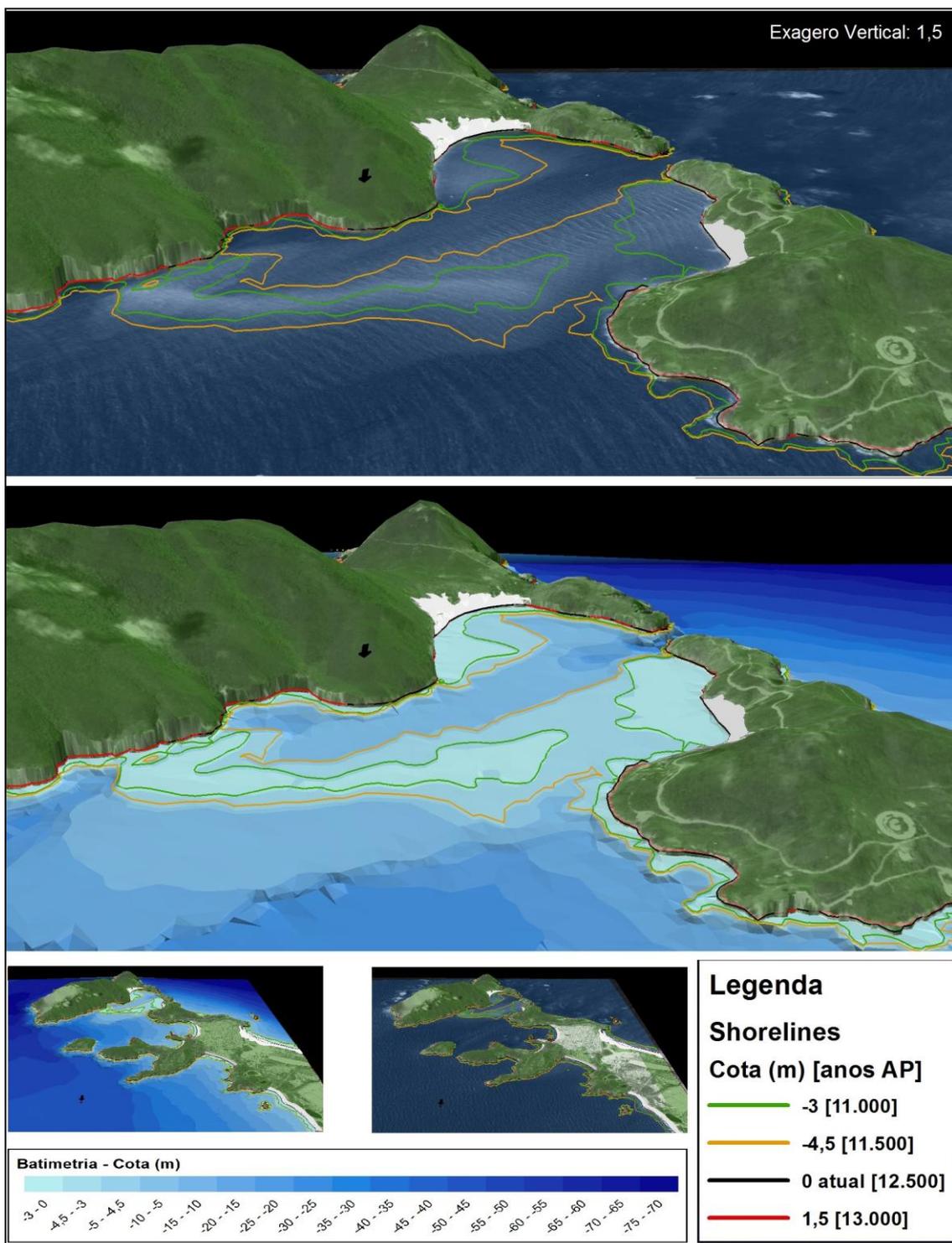


Modelo sem a batimetria para a reconstituição de 13.000 anos AP (1,5 m).

(Seta preta indica o Norte)

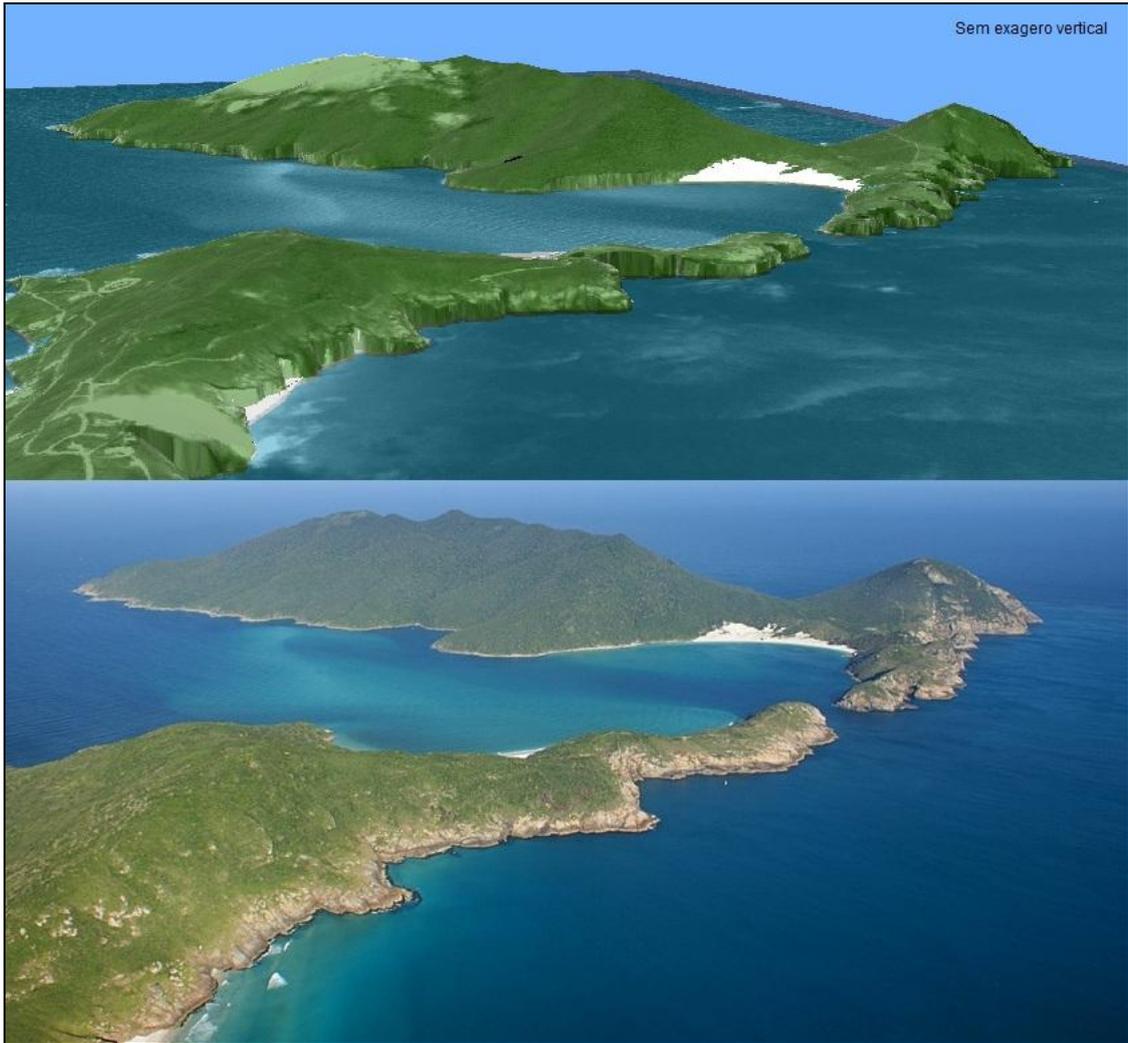


Modelo sem a batimetria para a reconstituição de 12.500 anos AP semelhante ao presente (0,0 m). (Seta preta indica o Norte)



Paleolinhas de costa reproduzidas nos modelos 3D com e sem a batimetria.

(Setas pretas indicam o Norte)



Modelo Digital X Realidade. (Seta preta indica o Norte)