

Felipe de Melo Barreto Pereira

**ESTUDO DAS VARIAÇÕES DO NÍVEL RELATIVO DO MAR NA PLANÍCIE  
COSTEIRA DO RIO UNA, REGIÃO DE CABO FRIO - RIO DE JANEIRO: ANÁLISE  
DE DADOS FACIOLÓGICOS E GEOCRONOLÓGICOS.**

Trabalho de Conclusão de Curso

(Bacharelado em Geologia)

**UFRJ**

**RIO DE JANEIRO**

**2016**



UFRJ

**FELIPE DE MELO BARRETO PEREIRA**

**Estudo das variações do nível relativo do mar na planície costeira do Rio Una, Região de Cabo Frio - Rio de Janeiro: Análise de dados faciológicos e geocronológicos.**

Trabalho de Conclusão 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 Bacharel em Geologia.

Orientador: Prof. João Wagner Alencar Castro, DSc.

Rio de Janeiro

2016

**FELIPE DE MELO BARRETO PEREIRA**

**Estudo das variações do nível relativo do mar na planície costeira do Rio Una, Região de Cabo Frio - Rio de Janeiro: Análise de dados faciológicos e geocronológicos.**

Trabalho de Conclusão 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 Bacharel em Geologia, Departamento de Geologia/2016.

Orientador: Prof. João Wagner Alencar Castro, DSc.

Aprovado em:

Por:

---

Orientador: Prof. Dr. João Wagner Alencar Castro (UFRJ)

---

Prof<sup>a</sup> Dra. Aline Meneguci da Cunha

---

Msc. Júlia Varella Malta

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a todas as pessoas que me foram importantes durante essa minha jornada acadêmica e contribuíram para a execução deste trabalho.

Em primeiro lugar a minha família (Pai, Mãe e irmã) por todo apoio e suporte durante a minha fase de graduando, obrigado pela compreensão de que esse processo pode se tornar complicado no meio do percurso mas será concluído com êxito.

Meu orientador, que me acompanhou durante 3 anos de Iniciação Científica proporcionando assim um aprendizado completo sobre o desenvolvimento de uma linha de pesquisa, Professor João Wagner.

Grandes companheiros que me proporcionaram muitos momentos de alegria nos últimos 5 anos, são eles, Nathália Louzada, João Lima, Vitor Hassan e Rafael Duarte.

Meus amigos de classe, que compartilharam momentos de diversão junto a aprendizado, são eles, Rafael Fragoso, Cheyenne Campos, Tati Padro, Thelson Julius, Ana Cristina, Verônica Baptista, Felipe Martins, Kathelyn Nunes, Mariana La Pasta e Caroline Ribeiro.

Meus colegas de laboratório, que contribuíram de forma ativa no meu desenvolvimento científico, são eles, Julia Malta, Camila Areias, Julia Sales e Sara Siqueira.

E um agradecimento especial a minha Chefa e grande amiga Aline Cunha, que me ensinou grande parte do que eu sei hoje em dia sobre a vida acadêmica em seus mínimos detalhes, muito obrigado por toda a atenção e aprendizado proporcionado nos últimos 4 anos.

## RESUMO

PEREIRA, Felipe de Melo Barreto. **Estudo das variações do nível relativo do mar na planície costeira do Rio Una, Região de Cabo Frio - Rio de Janeiro: Análise de dados faciográficos e geocronológicos**, 2016. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Geologia) – Departamento de Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

O Quaternário, particularmente o Holoceno, tem como principal característica as mudanças climáticas, que acarretam variações do nível relativo do mar em escala global e regional. As VNRM usualmente são evidenciadas por registros geológicos, biológicos e arqueológicos. Objetiva-se identificar indicadores geológicos de variação do nível relativo do mar na planície costeira do rio Una – Cabo Frio/RJ e desenvolver um modelo 3D de reconstituição paleoambiental. Como procedimentos de campo foram confeccionados perfis estratigráficos em seis localidades, com pontos distribuídos ao longo a bacia hidrográfica do rio Una, alguns situados próximos a linha de costa atual e outros a cerca de 9,0 km de distância do mar. Em laboratório elaborou-se tabelas de fácies sedimentares a partir das amostras coletadas em campo. Foram identificadas nove fácies sedimentares distribuídas nos seis afloramentos estudados. Em todos os afloramentos ocorrem fácies indicadoras de transgressão e regressão marinha, suas amostras correspondentes foram enviadas para datação ao radiocarbono  $^{14}\text{C}$ , alguns dados de amostras datadas foram incorporadas de Castro (2014). Com base em análise de imagens de satélite e um modelo digital de elevação da área, junto às informações coletadas nas etapas anteriores, efetuou-se um modelo 3D de reconstituição paleoambiental através do software *Unity* 5.4.1. Foram identificadas fácies que correspondem a ambiente lagunar restrito, ambiente pantanoso, ambiente praial semi aberto, praial exposto a ação de ondas, e entre estas com uma certa variação em relação a presença de estrutura sedimentar e conteúdo fossilífero. As idades obtidas ao método radiocarbono variam entre 6330 a 4.800 cal anos A.P. Os dados obtidos nos afloramentos estudados correspondem ao evento máximo transgressivo holocênico proposto por Castro (2014). Em linhas gerais corrobora com o modelo de evolução costeira desenvolvido por Martin *et al.* (1996) e Suguio (2005). O comportamento paleoambiental da região durante o máximo transgressivo holocênico pode ser observado através do modelo 3D proposto neste trabalho.

**Palavras-chave:** Variações do nível relativo do mar; Modelo 3D; Região dos lagos fluminenses - Rio de Janeiro; *Unity*; Geologia Costeira; Reconstituição Paleoambiental.

## ABSTRACT

PEREIRA, Felipe de Melo Barreto. **Estudo das variações do nível relativo do mar na planície costeira do Rio Una, Região de Cabo Frio - Rio de Janeiro: Análise de dados faciográficos e geocronológicos**, 2016. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Geologia) – Departamento de Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

The Quaternary, particularly the Holocene, has as its main characteristic climatic changes, which lead to changes in the relative sea level on a global and regional scale. VNRMs are usually evidenced by geological, biological and archaeological records. The objective of this study was to identify geological indicators of variation of the relative sea level in the coastal plain of the Una river - Cabo Frio and develop a 3D model of paleoenvironmental reconstruction. As field procedures, stratigraphic profiles were made in six locations, with points distributed along the Una river basin, some located near the current coastline and others about 9,0 km away from the sea. In laboratory, tables were constructed of sedimentary facies from the samples collected in the field. Nine sedimentary facies were identified in the six outcrops studied. In all of the outcrops, facies indicate transgression and marine regression, and their corresponding samples were sent to the radiocarbon dating  $^{14}\text{C}$ , some data from dated samples were incorporated from Castro (2014). Based on the analysis of satellite images and a digital elevation model of the area, together with the information collected in the previous steps, a 3D model of paleoenvironmental reconstruction was done through the Unity 5.4.1 software. Facies were identified that correspond to a restricted lagoon environment, a marshy environment, a semi open beach environment, a beach exposed to the wave action, and among them with a certain variation in relation to the presence of sedimentary structure and fossiliferous content. The obtained data revealed the correspondence of all the outcrops studied with the event of maximum transgressive Holocene proposed by Castro (2014), this correspondence also corroborates with the general model of coastal evolution Developed by Martin et al. (1996). The behavior of the region during the transgressive Holocene event can be monitored through the 3D model of paleoenvironmental reconstruction produced.

**Key words:** Relative sea-level change; 3D model; fluminense lakes region; Unity; paleoenvironmental reconstruction.

**LISTA DE FIGURAS**

- Figura 1 - Localização da área de estudo no contexto da bacia hidrográfica do rio Una, região de Cabo Frio, Rio de Janeiro. 13
- Figura 2 - Fatores que controlam os níveis marinhos e continentais responsáveis pelas mudanças do nível relativo do mar durante o Quaternário. Morner (1980). 15
- Figura 3 - Classificação de tipos de evolução de costas. Valentin (1952), modificada por Angulo, 2014. 16
- Figura 4 - Indicadores geomorfológicos erosivos. (A) entalhe de abrasão; (B) plataforma de abrasão de ondas. Modificado de Angulo & Souza (2014). 17
- Figura 5 - Registros estratigráficos utilizados como PVNM, paleonível do mar inferido na face praial em (A) Praia de Leste, Paraná e (B) Pinheira, Santa Catarina através da estratigrafia. Modificado de Angulo & Souza (2014). 18
- Figura 6 - Conchas de molusco em substrato areno-lamoso encontradas em posição de vida. Modificado de Angulo & Souza (2014). 19
- Figura 7 - Agradação com elevação do nível do mar (modificado de ASSINE *et al.*, 2001). 20
- Figura 8 - Regressão normal com progradação de fácies. (A) NRM estacionário; (B) NRM em elevação, indicado pelo *onlap* costeiro (LB = linha de baía; LC = linha de costa; NRM = nível relativo do mar). Modificado de Assine *et al.*, 2001. 21
- Figura 9 - Mapa geológico da região de região de Cabo Frio, Rio de Janeiro. Fonte: CPRM (2012). 23
- Figura 10 - Localização dos pontos de coletas de amostras no contexto da bacia hidrográfica do rio Una, Cabo Frio - Rio de Janeiro. 27
- Figura 11 - Visão geral das feições geomorfológicas identificadas na área de estudo. 29
- Figura 12 - Distribuição das quadriculas referente ao Projeto RJ-25 escala de 1:25.000, fonte dos dados para a produção do MDE da área. 29
- Figura 13 - Visão geral, com defeitos devido a limitação do método aplicado com *ArcScene* 10.1, do MDE da área de estudo sob efeito da transgressão. 30
- Figura 14 - Perfis estratigráficos distribuídos ao longo da bacia hidrográfica do rio Una, Cabo Frio - Rio de Janeiro. 33

Figura 15 - (A) Afloramento estudado, canal Marina Porto Búzios. (B) Faciés areno-lamosas com conchas em posição de vida.	33
Figura 16 - Afloramento estudado, pântano da Malhada.	34
Figura 17 - Afloramento estudado, Fazenda Campos Novos.	34
Figura 18 - (A) Afloramento estudado, pântano Trimumú. (B) Osso de Baleia encontrado junto ao depósito sedimentar.	35
Figura 19 - (A) Destaque para a fácies areno-lamosa com conchas em posição de vida. (B) Afloramento estudado, condomínio Portal de Búzios.	36
Figura 20 - (A) Afloramento estudado, Fazenda Araçá. (B) Destaque para o depósito areno-lamoso com conchas em posição de vida.	36
Figura 21 - Modelo 3D de reconstituição paleoambiental da Bacia Hidrográfica do Rio Una.	42
Figura 22 - Curva de variação do nível relativo do mar para a região costeira do Estado do Rio de Janeiro com a representação de alguns dos pontos datados, modificado de Castro et al. 2014.	45
Figura 23 - Modelo digital de elevação (MDE) gerado para a área de estudo.	46
Figura 24 - Faciés areno-lamosa com conchas inteiras na região do pântano da Malhada.	47
Figura 25 - Lâmina explicativa do ponto 1.	48
Figura 26 - Lâmina explicativa do ponto 2 e 5.	49
Figura 27 - Lâmina explicativa do ponto 6.	50
Figura 28 - Modelo geral de evolução geológica das planícies costeiras das porções leste e nordeste do litoral brasileiro durante o Quaternário, válido para o trecho entre o norte do Rio de Janeiro e o Rio Grande do Norte (MARTIN <i>et al.</i> , 1996, modificado SUGUIO <i>et al.</i> , 2005).	51
Figura 29 - Correlação dos dados estudados com o modelo geral de evolução costeira, estágio F (MARTIN <i>et al.</i> , 1996, modificado SUGUIO <i>et al.</i> , 2005).	52
Figura 30 - Correlação dos dados estudados com o modelo geral de evolução costeira, estágio H (MARTIN <i>et al.</i> , 1996, modificado SUGUIO <i>et al.</i> , 2005).	53

**LISTA DE TABELAS**

Tabela 1- Descrição de nove litofácies identificadas nos perfis estratigráficos estudados.	38-39
Tabela 2- Datações realizadas ao radiocarbono <sup>14</sup> C nos seis perfis estratigráficos estudados. *Idades obtidas por Castro <i>et al.</i> (2014).	40

## SUMÁRIO

<b>AGRADECIMENTOS .....</b>	<b>IV</b>
<b>RESUMO .....</b>	<b>V</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>VI</b>
<b>LISTA DE FIGURAS .....</b>	<b>VII</b>
<b>LISTA DE TABELAS .....</b>	<b>IX</b>
<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>11</b>
1.1 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO .....	13
<b>2. OBJETIVOS .....</b>	<b>14</b>
2.1. OBJETIVO GERAL.....	14
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	14
<b>3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....</b>	<b>15</b>
3.1. NÍVEL RELATIVO DO MAR .....	15
3.2. DATAÇÃO RADIOMÉTRICA CARBONO -14.....	19
3.3. ARQUITETURA DEPOSICIONAL DO AMBIENTE COSTEIRO .....	20
<b>4. DIAGNÓSTICO AMBIENTAL .....</b>	<b>22</b>
4.1. CONDICIONANTES GEOLÓGICOS .....	22
4.2. ASPECTOS CLIMÁTICOS.....	24
4.3. A BACIA DO RIO UNA.....	24
<b>5. MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>25</b>
5.1. TRABALHO DE CAMPO .....	25
5.2. ANÁLISE SEDIMENTOLÓGICA E ESTRATIGRÁFICA .....	27
5.3. DATAÇÃO A RADIOCARBONO <sup>14</sup> C.....	27
5.4. GEOPROCESSAMENTO DAS INFORMAÇÕES .....	27
<b>6. RESULTADOS .....</b>	<b>31</b>
6.1. PERFIS ESTRATIGRÁFICOS .....	31
6.2. DESCRIÇÃO DOS AFLORAMENTOS .....	32
6.3. TABELA DE FÁCIES E DATAÇÕES RADIOMÉTRICAS .....	36
6.4. MODELO 3D DE RECONSTITUIÇÃO PALEOAMBIENTAL.....	40
<b>7. DISCUSSÃO.....</b>	<b>42</b>
7.1. TABELA DE FÁCIES.....	42
7.2. DATAÇÕES AO RADIOCARBONO .....	44
7.3. CONTROLE GEOMORFOLÓGICO .....	45
7.4. SIMULAÇÃO PALEOAMBIENTAL .....	49
7.4.1. Estágio F (Máximo da última transgressão) .....	50
7.4.2. Estágio H (construção de terraços marinhos holocênicos) .....	52
<b>8. CONCLUSÃO .....</b>	<b>53</b>
<b>9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>54</b>

## 1. INTRODUÇÃO

O Quaternário é um período marcado por intensas mudanças climáticas que influenciaram diretamente os processos de formação da paisagem costeira atual. Caracteriza-se por longos períodos de resfriamento em torno de 110.000 anos (períodos glaciais) intercalados por curtos períodos de aquecimento (períodos interglaciais), em torno de 12.000 anos (CUNHA, 2016). Essas variações climáticas afetam diretamente o nível marinho. Durante os períodos glaciais registra-se rebaixamento e interglaciais sobre-elevação do nível do mar. No entanto, as mudanças climáticas não são a única causa de variações do nível do mar. As oscilações do nível do mar podem ser causadas por três fatores principais: glaciações, tectônica e modificação da posição do geóide (SUGUIO *et al.* 1985).

De acordo com Suguio *et al.* (1985), as oscilações positivas (transgressões) e as oscilações negativas (regressões) são identificadas em campo através de 3 (três) indicadores de variações do nível relativo do mar: geológicos (terraços marinhos de abrasão, terraços marinhos de deposição e arenitos de praia "*beachrocks*"), biológicos (incrustações de vermetídeos, cracas, ostras, microfósseis, palinomorfos, camadas de conchas e tocas de ouriços) e arqueológicos (sambaquis). O entendimento das variações do nível relativo do mar ao longo do Quaternário (Pleistoceno e Holoceno) é importante para a compreensão dos processos sedimentares atuantes na formação das planícies costeiras.

Ao longo de todo o litoral brasileiro, diversos autores identificaram indicadores de variações do nível relativo do mar durante o Holoceno (MARTIN & SUGUIO, 1976; MARTIN *et al.*, 1996; MARTIN *et al.*, 1997; MARTIN *et al.*, 2002; MARTIN *et al.*, 2003; SUGUIO & MARTIN, 1976; SUGUIO & MARTIN, 1980; ANGULO & LESSA, 1997; ANGULO *et al.*, 1999; DIAS, 2009; entre outros) e durante o Pleistoceno (MARTIN *et al.*, 1982; SUGUIO *et al.*, 1984; SUGUIO *et al.*, 2011; CASTRO *et al.* 2014, entre outros). No entanto, ocorrem algumas divergências sobre o comportamento do nível do mar principalmente nos últimos 5.000 A.P (CUNHA, 2016).

Castro *et al* (2014) elaboraram uma curva do nível relativo do mar para o Holoceno para à área de estudo. Pela primeira vez na costa brasileira foi identificado um recorde negativo do nível relativo do mar, envolvendo a transição final do Pleistoceno e início do Holoceno. Após a transição, iniciou-se um processo relativamente rápido de subida do nível do mar. Há

aproximadamente 8.500 anos cal A.P., o nível marinho, encontrava-se a - 0.5 m abaixo do nível atual. O “zero” (nível médio atual) foi ultrapassado pela primeira vez no Holoceno há cerca de 7.500 anos A.P. Entre 5.500 - 4.500 cal anos A.P, o nível relativo do mar atingiu o primeiro máximo holocênico com altura máxima de +2.50 m acima do atual. A descida do nível relativo do mar subsequente ao máximo transgressivo, levou à construção de terraços marinhos, resultando na progradação da linha de costa até o presente.

Cunha (2016) identificou indicadores de nível marinho na projeção horizontal através do estudo de depósitos de conchas de moluscos distribuídos na borda dos pântanos costeiros da região. Na análise tafonômica verificou-se dois tipos de assembleias, uma autóctone e uma alóctone. Ainda segundo Cunha (2016) identificou oito fácies sedimentares distribuídas em 6 afloramentos. Dados geocronológicos revelaram idades entre 6.335 a 4.800 cal anos A.P. correspondentes a transgressão marinha holocênica. Esse intervalo de tempo, representa o início da transgressão marinha, o pico máximo holocênico (*optimum* climático) e a descida brusca do nível relativo do mar. Essa mudança brusca, acarretou a mortandade generalizada de conchas de moluscos, muitas delas, em posição de vida.

Oliveira (2016) identificou colônias de vermetídeos em costões rochosos da enseada dos Anjos, Arraial do Cabo. Essas colônias constituídas por vermetídeos são gastrópodes marinhos bioconstrutores que habitam as zonas entre marés das regiões tropicais e subtropicais. As conchas desses organismos têm se mostrando de grande relevância no estudo de variação do nível relativo do mar (VNRM), uma vez que, apresentam uma precisão altimétrica maior do que outros indicadores biológicos. O presente trabalho de conclusão de curso objetiva estudar as variações do nível relativo do mar na planície costeira do Rio Una, Região de Cabo Frio - Rio de Janeiro a partir da análise de dados faciológicos e geocronológicos.



## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. Objetivo Geral**

O presente trabalho objetiva estudar as variações do nível relativo do mar na planície costeira do Rio Una, Região de Cabo Frio - Rio de Janeiro a partir da análise de dados faciológicos e geocronológicos.

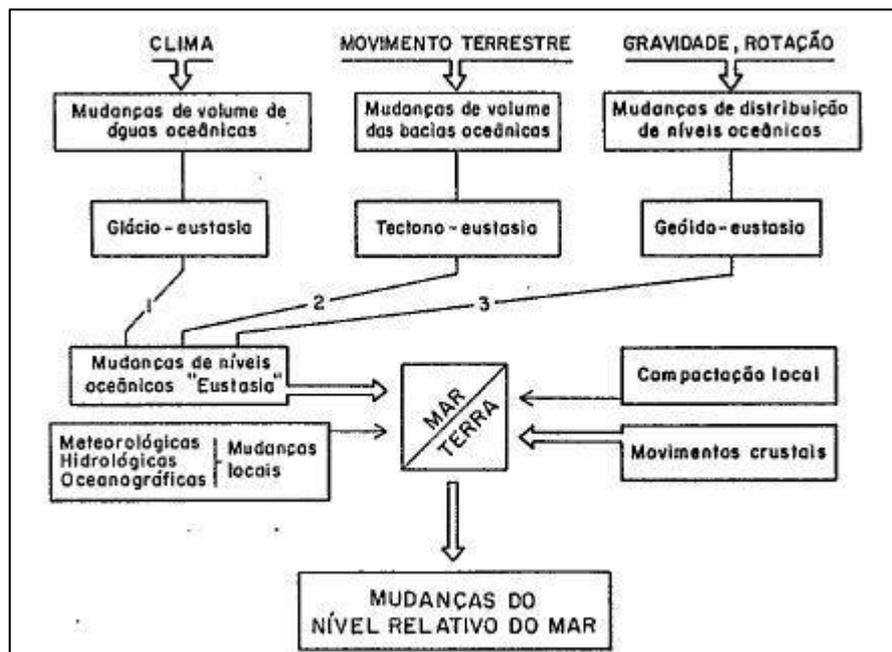
### **2.2. Objetivos Específicos**

- Estudar do ponto de vista estratigráfico e faciológico os depósitos sedimentares distribuídos ao longo de canais da bacia hidrográfica do rio Una;
- Estudar as condições paleoambientais no contexto das variações do nível relativo do mar durante a transgressão holocênica;
- Analisar os efeitos da geomorfologia local como fator limitante do processo de transgressão marinha holocênica em relação a fácies sedimentares ao longo da bacia hidrográfica do rio Una.
- Desenvolver um modelo em 3D de reconstituição paleoambiental.

### 3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

#### 3.1. Nível relativo do mar

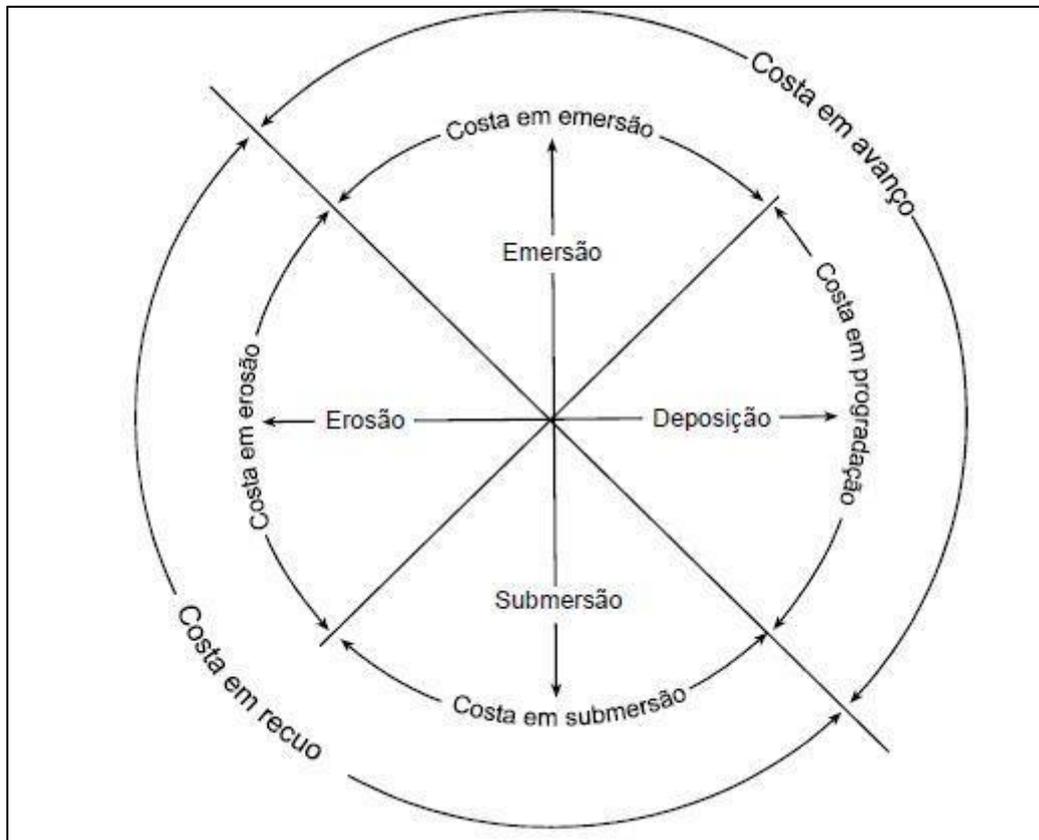
Segundo Severiano Ribeiro (2001), o nível do mar é o nível de base para a sedimentação de depósitos costeiros e marinhos. Conforme Angulo (2014), a superfície do mar é considerada um referencial espacial para o sistema de coordenadas, mas como sua posição muda com o tempo se faz necessário definir um período de medição para que seja considerado um valor médio dessa variação de acordo com a mudança no regime de mares. De acordo com Suguio (1985), as oscilações do nível relativo do mar são resultado de fatores como: variações reais do nível marinho (eustasia) e das modificações do nível dos continentes (tectonismo, isostasia, dentre outros) que afetam tanto global quanto localmente uma área (Figura 2). Dessa forma concluiu que as reconstruções de antigos níveis marinhos se referem a posições relativas e não absolutas.



**Figura 2.** Fatores que controlam os níveis marinhos e continentais responsáveis pelas mudanças do nível relativo do mar durante o Quaternário. Fonte: Morner (1980).

Segundo Angulo (2014) é necessário atentar para o significado dos termos relacionados ao estudo de variações do nível do mar para evitar confusões no processo de entendimento da reconstrução de paleoníveis marinhos. Transgressão marinha não está relacionada com uma variação vertical do nível do mar e sim com uma variação horizontal, trata-se do avanço da linha de costa com relação ao continente enquanto que a regressão se trata do recuo da linha de costa com relação ao continente. Desta forma podemos concluir que o estudo de variações

do nível do mar envolve fatores que vão além de mensurar quantidade de água presente no oceano. A classificação proposta por Valentin (1952) consegue esclarecer essa questão utilizando os fatores sedimentares com base nos processos deposicionais e erosivos da área (Figura 3).

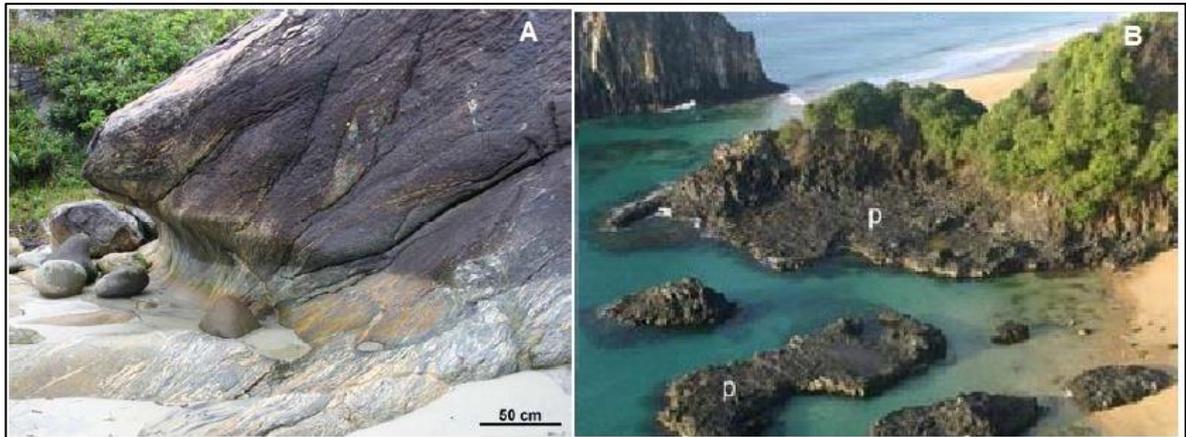


**Figura 3.** Classificação de tipos de evolução de costas proposta por Valentin (1952), modificada por Angulo, 2014.

De acordo com Suguio *et al.* (1985), os indicadores de variação do nível do mar- IVNM podem ser classificados como sedimentológicos, biológicos e arqueológicos. Os IVNM podem ser agrupados como indicadores espaciais quando possibilita identificar apenas a altura do paleonível e espaço-temporal, quando é possível identificar além da altura do paleonível o momento ou período em que o evento ocorreu. Foi apresentada uma revisão dos referidos indicadores por Angulo & Souza (2014), classificando os tipos de IVNM e suas informações disponíveis, envolvendo aspectos geomorfológicos, estratigráficos, biológicos e arqueológicos.

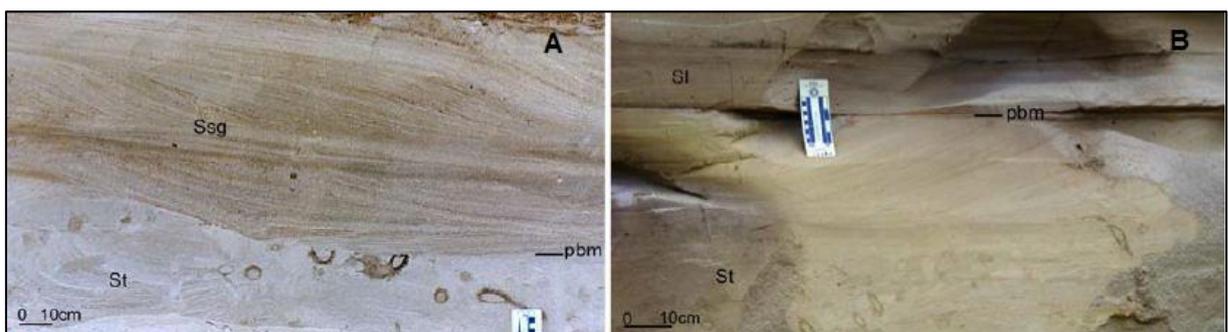
Ainda segundo Angulo & Souza (2014), indicadores geomorfológicos estão geralmente associados a marcas de erosão deixadas pela ação de ondas em maciços rochosos ou

substratos sedimentares. Entre os mais comuns estão entalhes e plataformas de abrasão, pontes e pilares marinhos com erosão diferencial e níveis de concentração de matacões. Há também os indicadores geomorfológicos de origem deposicional que são terraços e planícies costeiras, marinhas, estuarinas e lagunares (Figura 4).



**Figura 4.** Indicadores geomorfológicos erosivos. (A) entalhe de abrasão; (B) plataforma de abrasão de ondas. Modificado de Angulo & Souza (2014).

Indicadores estratigráficos são ótimos indícios para a correlação de eventos, uma análise detalhada sobre o empilhamento das fácies sedimentares é uma grande aliada da reconstituição paleoambiental no estudo da evolução de ambientes costeiros (Figura 5). Geralmente as fácies analisadas são dos depósitos praias de mar aberto, lagunares e estuarinos. Os aspectos importantes a serem considerados em cada fácies são o tamanho dos grãos, a forma, a composição, o contato, estruturas internas e conteúdo fossilífero. Em substratos sedimentares consolidados como recifes de arenitos, arenitos de praia e *beachrock* é importante que seja feita uma análise de lamina através de microscópios para uma identificação dos grãos, algas, conchas de moluscos e a cimentação presentes na rocha (ANGULO & SOUZA, 2014).



**Figura 5.** Registros estratigráficos utilizados como PVNM, paleonível do mar inferido na face praial em (A) Praia de Leste, Paran e (B) Pinheira, Santa Catarina através da estratigrafia. Modificado de Angulo & Souza (2014).

Indicadores biológicos são de extrema relevância no estudo da varia o do nível do mar devido ao seu grande potencial de data o, fornecendo assim além de dados espaciais os dados temporais, principalmente de amostras encontras *in situ*. Os indicadores biológicos mais comumente utilizados em pesquisa são: Conchas de moluscos em substratos sedimentares, estes indicadores são excelentes para representar a varia o do nível do mar horizontalmente, evidenciando toda a área inundada posteriormente; Constru es de Vermit deos, excelentes indicadores de varia o do nível do mar verticalmente, possibilita evidenciar a subida ou descida do paleonível marinho; Tocas de ouriço; Icnof sseis; Paleocracas; Recifes de coral e Recifes de algas calcárias (ANGULO & SOUZA, 2014).

Castro *et al.* (2014) estudando os indicadores biológicos e geológicos de VNRM sugere que para reconstruir antigas posi es do nível do mar relativo devera ser levado em considera o o plano horizontal e vertical desses indicadores. Os indicadores biológicos compostos por vermitídeos e cracas, indicadores geológicos caracterizados por *beachrock*, são extremamente precisos na proje o vertical de antigos níveis marinhos. Nas baías e enseadas da costa do Rio de Janeiro, os homólogos vivos de vermitídeos e cracas ocupam uma posi o no nível médio do mar de 0,0 m. Distingui-se também linhas de paleo-praia dentro através de *beachrock* como excelente indicador vertical. Através da análise das estruturas sedimentares e tamanho do grão dessas rochas, o nível do mar durante o processo de deposi o   definido com maior precisão. Como o litoral do estado do Rio de Janeiro   dominado por micro-marés, com pouca varia o entre o máximo e o mínimo, a margem de erro para as altitudes da amostra foi mínima. Ainda segundo Castro *et al.* (2014) as conchas de moluscos identificadas em substratos lamosos e arenosos nas regiões pântanos e margens de rios na área de estudo são indicadores de proje o horizontal que definem apenas   área afetada pela inunda o marinha durante o *optimum* climático holocênico na planície costeira de Cabo Frio (Figura 6).



**Figura 6.** Conchas de molusco em substrato areno-lamoso encontradas em posição de vida. Modificado de Angulo & Souza (2014).

Suguio (1985) define os indicadores arqueológicos são de utilização bastante complexa, mas basicamente são aglomerados de utensílios pertencentes a antigos habitantes da zona costeira, são denominados de Sambaquis. Acredita-se que os sambaquis são construídos em terreno seco acima do nível preamar, bem próximo a linha de costa

### 3.2. Datação Radiométrica Carbono -14

O Carbono-14 é um isótopo radioativo do elemento carbono. Sua composição em um ser vivo é a mesma existente em equilíbrio na atmosfera. Essa concentração só começa a sofrer alterações a partir do momento em que o indivíduo morre, dando início a fase de decaimento radioativo. Para que seja descoberto quanto tempo desde a morte do indivíduo, mede-se quanto de  $^{14}\text{C}$  há remanescente em seu corpo (PEZZO, 2002). Datações ao radiocarbono são utilizadas como uma importante ferramenta na determinação dos paleoníveis marinhos durante o Holoceno e o Pleistoceno (ANGULO *et al*, 2002).

O método de datação por radiocarbono releva uma idade convencional na forma de anos AP (antes do presente), que possui uma margem de erro para mais e para menos. Essa idade convencional obtida deve ser calibrada para uma maior precisão. Segundo Angulo *et al* (2002), a costa Brasileira já possui mais de mil datações ao  $^{14}\text{C}$  realizadas com o objetivo de

auxiliar a determinação de paleoníveis marinhos. Dentre os materiais datados estão conchas de bivalves, tubos de vermitídios, algas calcárias, corais, cracas, briozoários, foraminíferos, fragmentos de madeira, detritos vegetais, turfa e lama orgânica.

### 3.3. Arquitetura deposicional do ambiente costeiro

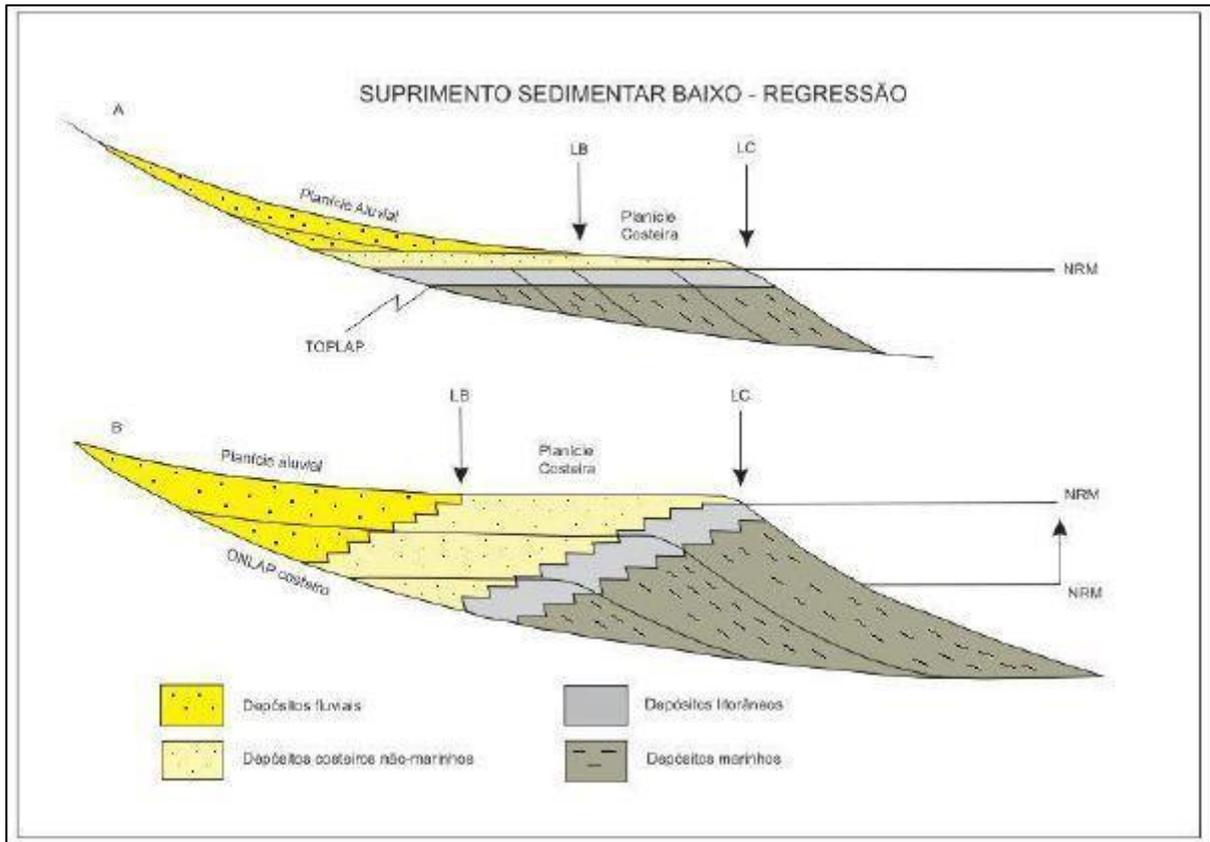
De acordo Posamentier & Vail (1988), a distribuição espacial de fácies sedimentares e o padrão estratal dependem da quantidade de espaço disponível para a acomodação do depósito sedimentar (espaço de acomodação) e da taxa de variação de novos espaços adicionados (taxa de acomodação). Este balanço entre as taxas de aporte sedimentar e de acomodação serão determinantes para definir o padrão de empilhamento de estratos: agradacional, progradacional ou retrogradacional.

Segundo Severiano Ribeiro (2001) o processo de agradação ocorre em uma situação onde o suprimento sedimentar e o espaço de acomodação varia na mesma taxa. Este equilíbrio gera um empilhamento de fácies verticalmente sem a mistura entre depósitos continentais, costeiros e marinhos (Figura 7). Não há a migração dos depósitos costeiros nem para o sentido do mar e nem para o sentido do continente.



**Figura 7.** Agradação com elevação do nível do mar (modificado de ASSINE *et al.*, 2001).

A progradação ocorre em uma situação onde a taxa de suprimento sedimentar é maior do que a taxa de geração de espaço de acomodação (Figura 8). Este desequilíbrio gera um avanço dos depósitos costeiros para o sentido do mar, desta forma os estratos se sobrepõem e é possível identificar depósitos marinhos cobertos por depósitos costeiros que por sua vez estão cobertos por depósitos costeiros (SEVERIANO RIBEIRO, 2001).



**Figura 8.** Regressão normal com progradação de fácies. (A) NRM estacionário; (B) NRM em elevação, indicado pelo *onlap* costeiro (LB = linha de baía; LC = linha de costa; NRM = nível relativo do mar). Modificado de Assine *et al.*, 2001.

A retrogradação ocorre em uma situação onde a taxa de suprimento sedimentar é menor do que a taxa de geração de espaço de acomodação. Este desequilíbrio gera um recuo dos depósitos costeiros com relação ao sentido do mar, desta forma os estratos se sobrepõem e é possível identificar depósitos continentais cobertos por depósitos costeiros e que por sua vez estão cobertos por depósitos marinhos (SEVERIANO RIBEIRO, 2001).

## 4. DIAGNÓSTICO AMBIENTAL

### 4.1. Condicionantes Geológicos

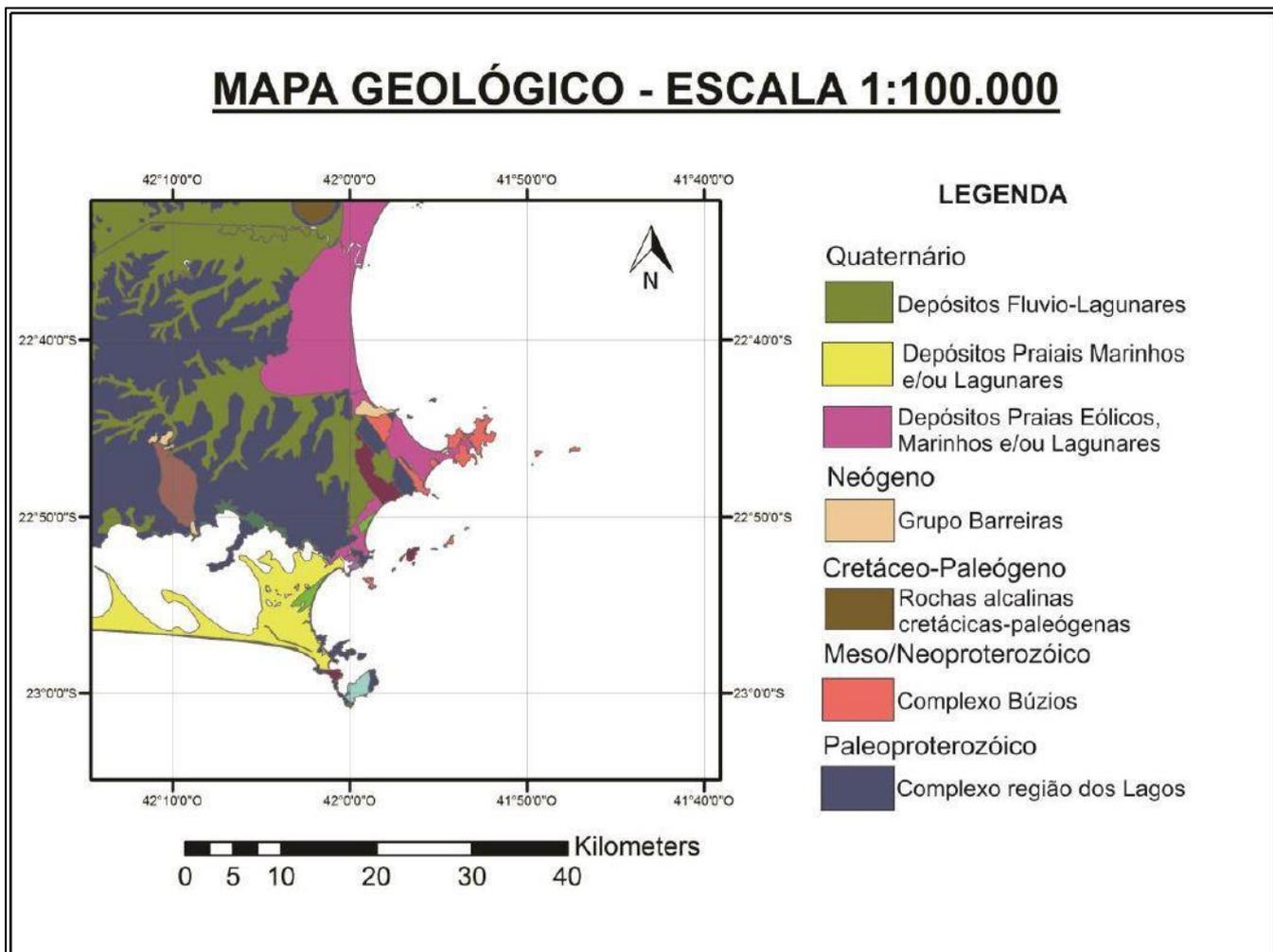
A área de estudo, insere-se no Domínio Tectônico de Cabo Frio, segmento central da Faixa Ribeira (HEILBRON *et al.*, 2004). Conforme trabalho desenvolvido por Schmitt (2001), esse domínio é constituído por embasamento do Paleoproterozóico intercalado tectonicamente com metassedimentos e anfibolitos mais jovens. Situa-se na planície costeira, representada por uma seqüência de cordões arenosos e pântanos, associadas ao último máximo transgressivo (TURQ *et al.*, 1999). A sedimentação marinha, isolou corpos lagunares que ocuparam fundos de vales. Posteriormente, as lagunas foram ressecadas e parcialmente recobertas por sedimentos aluviais até os dias atuais (MARTIN *et al.*, 1997).

Os depósitos quaternários caracterizam-se por sedimentos marinhos e continentais de idade pleistocênica e holocênica. Os pleistocênicos, representam terraços constituídos por sedimentos arenosos de coloração esbranquiçada na superfície e acastanhados em profundidade (MARTIN *et al.*, 1997). Sedimentos de coloração escura geralmente são atribuídos à presença de matéria orgânica. As porções mais internas das planícies costeiras podem variar de 8,0 a 10 metros de altitude, diminuindo em direção ao mar (MARTIN *et al.*, 1997). Os vales são ocupados por sistema de drenagem de pequeno porte representados pelos rios São João e Una. Conforme Castro *et al.* (2009) os terraços holocênicos caracterizam-se por terras baixas e pantanosas, datadas em aproximadamente 5.100 anos A.P. Em geral, os sedimentos são constituídos por material siltico e areno-argiloso, rico em matéria orgânica. Nesses depósitos, registra-se a ocorrência de grande quantidade de conchas de moluscos típicas de ambientes paleolagunares.

Castro *et al.* (2014) identificou pela primeira vez no sudeste brasileiro, registros negativos do nível relativo do mar em rochas de praia (beachrocks), envolvendo a transição, final do Pleistoceno e início do Holoceno. Após essa transição, iniciou-se um processo relativamente rápido de subida do nível do mar. Segundo Castro *et al.* (2012) há aproximadamente 8.500 anos cal A.P., o nível marinho, encontrava-se a - 0.5 m abaixo do nível atual. Conforme Martin *et al.* (1985) o “zero” (nível médio atual) foi ultrapassado pela primeira vez no Holoceno há cerca de 7.500 anos A.P. De acordo com Castro *et al.* (2014) entre 5.500 - 4.500 cal anos A.P, o nível relativo do mar atingiu o primeiro máximo holocênico com altura de +2,8 m acima do atual. A descida do nível relativo do mar

subseqüente ao máximo transgressivo, levou à construção de terraços marinhos, resultando na progradação da linha de costa até o presente.

Segundo Cunha (2016) na bacia hidrográfica do rio Una, estado do Rio de Janeiro foi possível identificar diversas evidências de oscilações do nível do mar principalmente nos ambientes pantânicos e na planície de inundação. Essas evidências caracterizam-se por camadas bioclásticas compostas principalmente por conchas de moluscos, carapaças de crustáceos e fragmentos de bolachas do mar. O primeiro estudo realizado na região por Sant'ana (1975) registrou-se a ocorrências de acumulações bioclásticas compostas por conchas de moluscos, associando-as a transgressão máxima holocênica, ocorrida a 5.000 anos A.P. A Figura 9 apresenta o mapa geológico no contexto da área de estudo.



**Figura 9.** Mapa geológico da região de Cabo Frio e Armação dos Búzios. (Modificado de Pronageo e SILVA & CUNHA, 2001).

## 4.2. Aspectos Climáticos

A região de Cabo Frio possui uma característica distinta de toda a costa fluminense, devido a sua baixa pluviosidade, constância dos ventos e pela alta evaporação, estes são fatores que ratificam o seu micro clima semi-árido quente (BARBIERI, 1975 *apud* SILVA, 2009). Essa região apresenta forte influência do fenômeno de ressurgência e de acordo com Martin *et al.* (1996) este fenômeno junto ao regime eólico são os responsáveis por tal anomalia climática. De acordo com Valentim (1984), a ressurgência na região de Cabo Frio ocorre devido a sua topografia da costa, direção predominante dos ventos em NE, a convergência de forças geradas pela Corrente do Brasil e do Efeito de Coriolis. Tais fatores em conjunto produzem um centro atmosférico de alta pressão semi permanente sobre o Oceano Atlântico Sul.

O fenômeno de ressurgência gera o deslocamento vertical das massas de águas de menores temperaturas (10 °C) para a superfície próxima a costa, essa corrente é proveniente das Malvinas (DAU, 1960 *apud* SILVA, 2009). O regime de ventos predominante é de NE na região de Cabo Frio, este padrão se reflete na orientação dos extensos campos de dunas que são encontrados nas planícies costeiras e praias como as do Forte e Però (GUERRA *et al.* 2005). Possuem alta frequência e intensidade média de 4,6 m/s, ocorrendo durante o ano inteiro e com maior incidência no período de janeiro e agosto, e a menor frequência nos meses de abril e maio. O conceito “corredor eólico” que está ligado a morfologia da área, onde as elevações e depressões do relevo submarino e continental são capazes de “canalizar” o transporte de sedimentos no sentido NE-SW (SILVA, 2009).

Para a determinação dos processos deposicionais e a forma como o transporte de sedimentos ocorre na região costeira, é necessário conhecer o regime de ondas e correntes (SILVA, 2009). A incidência de predominante de ondas na região é de Nordeste com valores percentuais de frequência ao longo do ano acima de 20%, secundariamente ondas de direção S-SW ocorrem associadas a frentes frias desta região (FONSECA, 2012). Durante os últimos 18 anos o Porto do Forno em Arraial do Cabo, RJ realizou medições maregráficas que registraram o nível do mar estável neste período. A amplitude máxima da maré é de aproximadamente 1,0 m (SAVI, 2007).

## 4.3. A Bacia do Rio Una

A bacia hidrográfica do rio Una drena uma área de 477 km<sup>2</sup>, compreendendo parte dos municípios de Cabo Frio, Araruama, São Pedro da Aldeia e Iguaba Grande. O rio Una tem

como formador o rio Godinho, que nasce em Araruama com o nome de córrego do Poço, próximo a Via Lagos. A nascente é no morro de Igarapiapunha, com pouco mais 130 metros de altitude. No trecho inicial, na zona de colinas, o rio Una recebe pela margem direita os rios Conceição e o Carijó, que no seu trajeto passa pela vila de São Vicente. Pouco depois da confluência com o Carijó, o rio Una ingressa na baixada e segue por 23,0 km até atingir a foz.

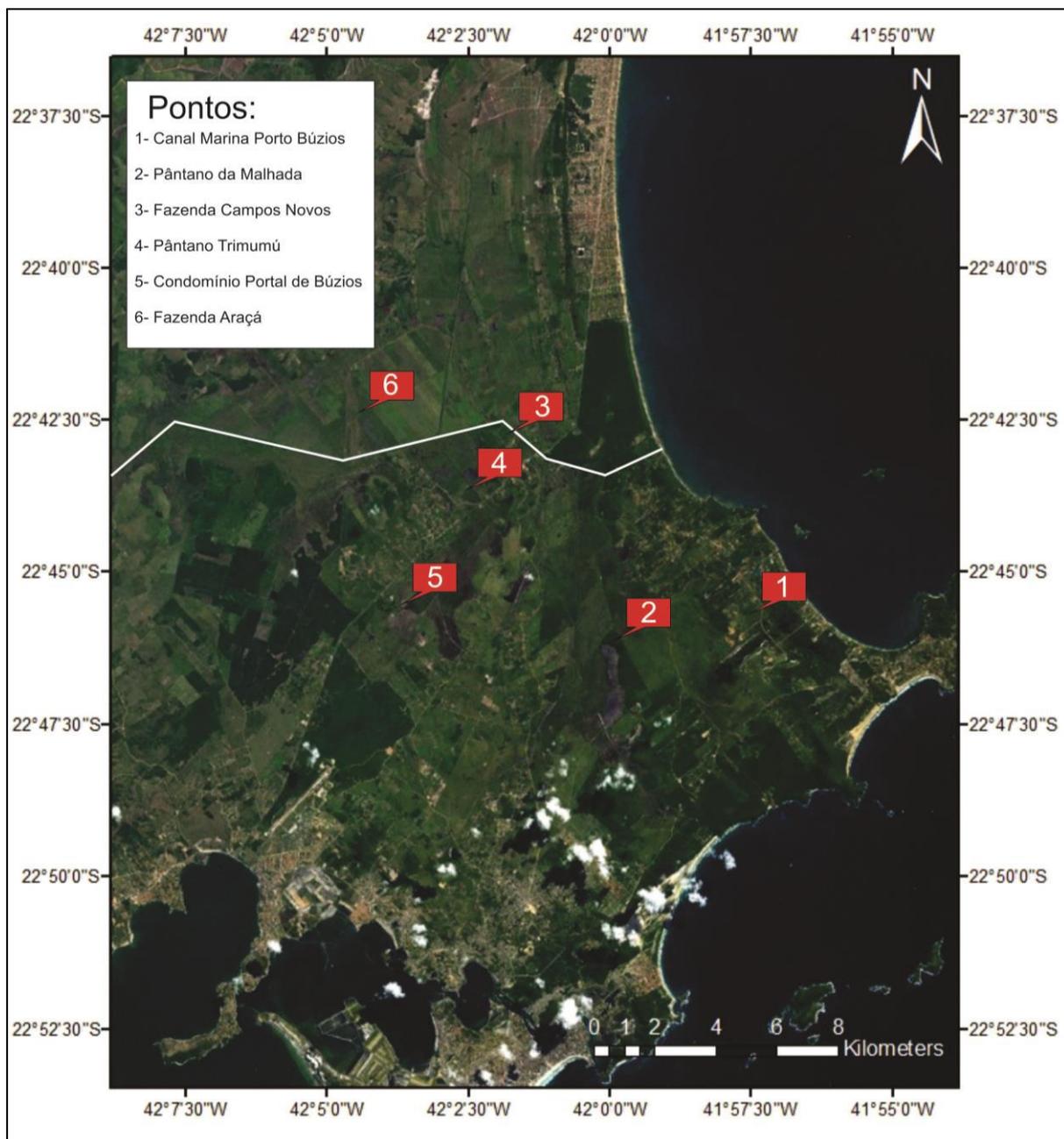
O rio Una apresenta, na maior parte de seu percurso, trechos que foram retilinizados na década de 70. No seu curso superior, pela margem esquerda, recebe afluentes de pouca expressão. Pela margem direita, afluem os rios Posse, Papicu, Frecheiras e o córrego do Retiro, todos desaguando, principalmente, nos pântanos, sem apresentarem percursos definidos até o rio (COMITÊ DE BACIAS LAGOS SÃO JOÃO, 2004). Segundo Cunha (2016) o rio atravessa uma zona baixa composta pelos pântanos do Itaí, Trimumú, Ramalho e da Malhada. Seu curso ao longo da baixada é uma sucessão de quatro retas até a estrada RJ 106. Neste ponto, ao norte de Tamoios, e daí em diante o canal faz um trajeto em formato de meia lua até desaguar na praia de Unamar, dentro de propriedade da Marinha, a 5 km ao norte da ponta do Pai Vitório no município de Armação de Búzios.

## 5. MATERIAL E MÉTODOS

As principais técnicas empregadas foram análises estratigráficas, sedimentológicas e faciológicas, combinadas, em todas as fases da pesquisa, a um controle de campo. Para reconstituição de antigos níveis marinho consultou-se trabalhos anteriores, complementados por técnicas de laboratório, entre estas, datações ao radiocarbono  $^{14}\text{C}$  e análise e granulométrica por lupa binocular. Utilizou-se o programa computacional *Unity 5.4.1* com o intuito de desenvolver a referida reconstituição.

### 5.1. Trabalho de Campo

Realizaram-se quatro trabalhos de campo para elaboração de perfis estratigráficos e identificação de camadas bioclásticas, visando a reconstituição de antigos níveis marinho. Como referência o trabalho foi desenvolvido ao longo de canais de drenagens que constituem a bacia hidrográfica do rio Una. Foram investigados seis afloramentos bem distribuídos na referida bacia (Figura 10). Durante essa etapa, utilizou-se trena métrica, trena *laser*, papel milimetrado, pá de jardinagem e GPS Garmin.



**Figura 10.** Localização dos pontos de coletas de amostras no contexto da bacia hidrográfica do rio Una, Cabo Frio - Rio de Janeiro.

Executou-se um total de seis perfis estratigráficos distribuídos ao longo da bacia hidrográfica do rio Una desde à linha de costa até porções mais distais, denominados de (1) Canal Marina Porto Búzios, (2) Pântano da Malhada, (3) Fazenda Campos Novos, (4) Pântano Trimumu, (5) Condomínio Portal de Búzios e (6) Fazenda Araçá.

## 5.2. Análise sedimentológica e estratigráfica

As amostras coletadas foram encaminhadas ao Laboratório de Geologia Costeira, Sedimentologia e Meio Ambiente - LAGECOST do Departamento de Geologia e Paleontologia do Museu Nacional / UFRJ. Em laboratório, munidos dos equipamentos necessários, foram realizadas análises granulométricas utilizando um *rotup* granutest para a determinação do tamanho dos grãos contidos nas camadas estudadas. Realizou-se também uma interpretação visual do padrão de arredondamento e seleção dos grãos através de uma lupa binocular com o apoio de uma escala granulométrica.

Através dos resultados obtidos nas análises granulométricas, foram realizadas tabelas de fácies para cada um dos perfis estratigráficos. A tabela de fácies contém os atributos: Código, diagnose, descrição e interpretação. Os afloramentos analisados em todos os pontos consistem em sedimentos de origem fluvial, marinha e costeira correspondente ao Holoceno. Muitas das amostras coletadas são indicadores de variações do nível relativo do mar na projeção horizontal (CASTRO *et al.*, 2014).

## 5.3. Datação a radiocarbono $^{14}\text{C}$

As amostras de bioclastos constituídas por conchas de moluscos dos afloramentos (4) Fazenda Campos Novos e (5) Pântano Trimumú foram encaminhadas para o Laboratório *Beta Analytic Inc*, Miami - Estado Unidos, com o objetivo de obter idades convencionais e calibradas através do método *two sigma* descrito por Castro *et al* (2014). Incorporou-se a esse trabalho 4 (quatro) datações ao radiocarbono obtidas por Castro *et al.* (2014). Essas datações referem-se aos pontos de coletas denominados: canal Marina Porto Búzios, pântano da Malhada, Condomínio Portal de Búzios e Fazenda Araçá, Região dos Lagos Fluminenses - Estado do Rio de Janeiro.

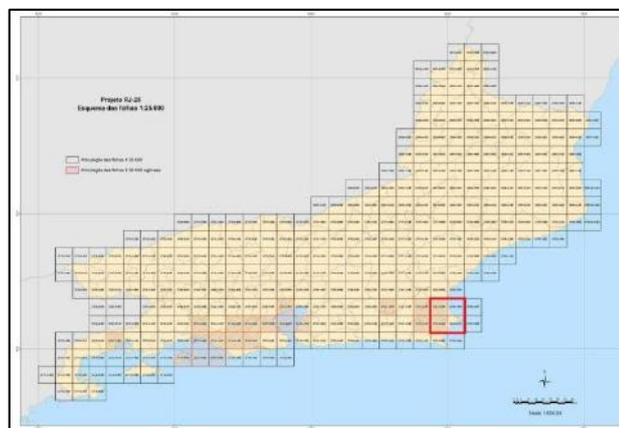
## 5.4. Geoprocessamento das informações

Interpretou-se imagens de satélites através do software *Google Earth* na escala 1:400 metros um conjunto de cordões litorâneos (paleolinhas de costa), meandros abandonados, paleocanais e pântanos que denotam as alterações da dinâmica fluvial do rio Una e as variações do nível relativo do mar. Essa etapa do trabalho objetivou identificar os registros regressivos e transgressivos do nível marinho na área de estudo (Figura 11).



**Figura 11.** Visão geral das feições geomorfológicas identificadas na área de estudo.

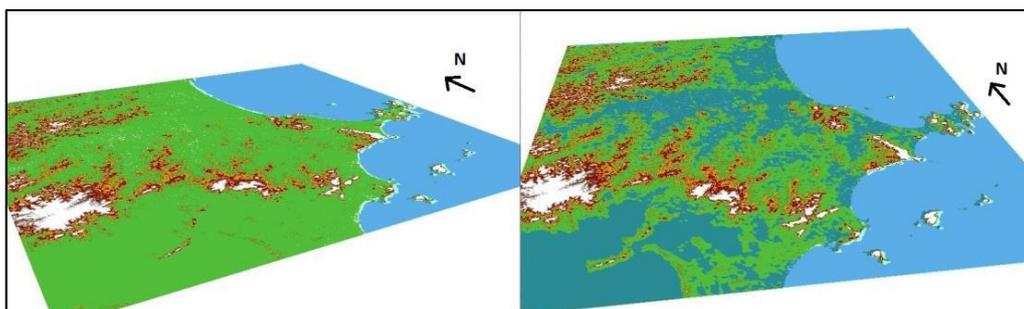
Com o intuito de simular as variações do nível relativo do mar na área de estudo foi elaborado um Modelo Digital de Elevação - MDE. Nessa tarefa utilizou-se o banco de dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE, Projeto RJ-25 escala de 1:25.000 conforme Figura 12. As folhas de interesse foram as 2747-2-SE, 2747-4-NE, 2748-1-SO e 2748-3-NO. Encontram-se disponibilizadas em um arquivo de formato XYZ. Através do *Software ArcGis 10.1* realizou-se conversões para *Raster* do arquivos XYZ, geofereciamento de *Datum* e mosaico entre as mesma, gerando-se e assim, um MDE da área de estudo.



**Figura 12.** Distribuição das quadrículas referente ao Projeto RJ-25 escala de 1:25.000, fonte dos dados para a produção do MDE da área.

Para simulação das variações do nível relativo do mar durante o Holoceno foi utilizado o *Software ArcScene 10.1*. Os arquivos de MDE foram importados para o *ArcScene 10.1* através da criação de uma *shapefile* plana, representando o nível marinho, conforme posições altimétrica ( $z$ ) em diferentes épocas. Simulou-se alagamentos decorrentes da transgressão holocênica nos seis pontos (afloramentos) estudados. Nessa tarefa, considerou-se as condições geomorfológicas locais, entre estas, depósitos da Formação Barreiras como inibidoras da referida transgressão marinha. As limitações impostas pelo relevo local, impedem de certa forma uma representação mais precisa das áreas submetidas a transgressão holocênica. Realça-se que a identificação de paleolinhas de costa através de imagens de satélite e os pontos dos perfis estratigráficos analisados foram muito importantes na construção do modelo de simulação do nível a ser apresentado.

O arquivo de MDE utilizou valores altimétricos do terreno no tempo presente (Figura 13). As irregularidades altimétricas atuais, decorrentes de processos naturais, entre estes, flutuações do nível do mar e dinâmica sedimentar fluvial e mais recentemente atividades antrópicas (retificação de canais e urbanização) alteraram a superfície do terreno, contribuindo de certa forma com a imperfeição do modelo. A aplicação do modelo, exigiu pequenas alterações nos contornos altimétricos, facilitando assim, a simulação do nível marinho em diferentes épocas. Os dados geocronológicos obtidos ao radiocarbono contribuíram demasiadamente para aplicação do modelo computacional de variações do nível relativo do mar na área estudada.



**Figura 13.** Visão geral, com defeitos devido a limitação do método aplicado com *ArcScene 10.1*, do MDE da área de estudo sob efeito da transgressão.

A aplicação da Ferramenta *Unity 3D 5.4.1* foi a melhor alternativa para solucionar as questões levantadas em relação à construção do modelo proposto. O *software Unity 3D 5.4.1* é utilizado no desenvolvimento de *games*, no entanto, sua capacidade de ler arquivos gerados pelo *ArcGis 10.1* é bastante eficiente. Uma vez que o mesmo tem a capacidade de efetuar

modelagens de forma livre de feições geomorfológicas de terreno que possibilitaram a simulação de forma interpretativa do cenário pretérito.

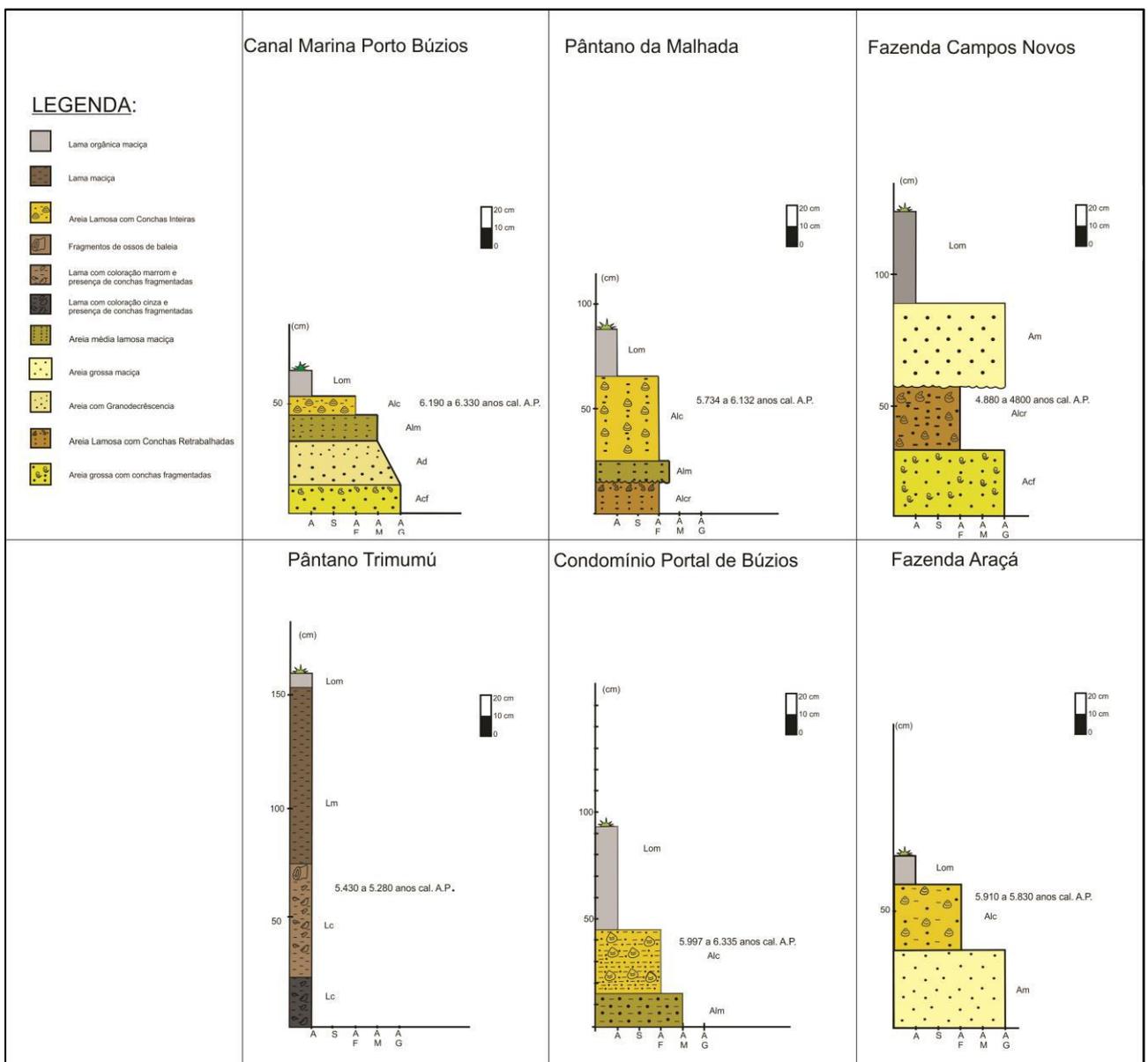
Através do mapa geológico regional em conjunto com as observações de imagens de satélite e a sua topografia disposta no MDE, delimitou-se a área que foi afetada pela transgressão marinha holocênica. A referida área é constituída por sedimentos quaternários (holocênicos) depositados durante regressão marinha. Realizou-se uma interpretação do provável comportamento das drenagens e da topografia da região antes do evento transgressivo de entre 6330 a 4800 anos cal A.P (CASTRO, 2014). Levou-se em consideração as condições de contornos geomorfológicos imposta pela presença da Formação Barreiras e do embasamento cristalino que se mantiveram inalterados durante o período analisado. O mapa de curvas de nível foi ajustado através do *software ArcGis* 10.1, resultando em uma nova configuração topográfica e geomorfológica para a área de estudo.

Importou-se o arquivo de MDE da área de estudo no *software Unity* 3D 5.4.1, obtendo assim, um cenário 3D extremamente fiel, em suas proporções, ao cenário real da área de estudo. Embasado nos dados reais do MDE e nos dados interpretados da área, modelou-se a mão livre, através do *software Unity* 3D 5.4.1, a topografia necessária para a realização da simulação paleoambiental na referida área durante o máximo transgressivo holocênico.

## 6. RESULTADOS

### 6.1. Perfis estratigráficos

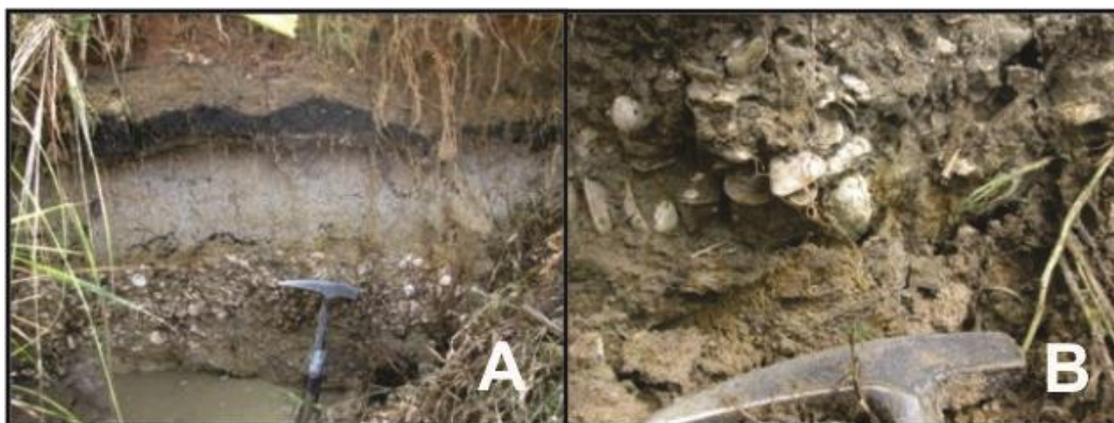
São representados 6 (seis) perfis estratigráficos denominados de canal Marina Porto Búzios, pântano da Malhada, Fazenda Campos Novos, condomínio Portal de Búzios e Fazenda Araçá. Os perfis estratigráficos caracterizam-se por camadas de areia grossa até a fração lama orgânica. Em todos os perfis identificou-se a ocorrência de camadas constituídas por conchas de moluscos entre 0,15 a 0,60 m de espessura (Figura 14).



**Figura 14.** Perfis estratigráficos distribuídos ao longo da bacia hidrográfica do rio Una, Cabo Frio - Rio de Janeiro.

## 6.2. Descrição dos afloramentos

O afloramento identificado no canal Marina Porto Búzios, apresenta aproximadamente 0,70 m de espessura. A camada basal caracteriza-se por areia grossa com conchas fragmentadas e espessura de aproximadamente 0,15 m. Sobrepondo, encontra-se uma camada de areia grossa, gradando para fina com espessura de aproximadamente 0,20 m. Posteriormente, é possível identificar uma camada de areia lamosa com aproximadamente 0,15 m de espessura. Sobrepondo, identifica-se uma camada de areia lamosa com conchas inteiras, algumas em posição de vida (conchas de moluscos). Essa camada apresenta aproximadamente 0,10 m de espessura. A camada subsequente, caracteriza-se por lama orgânica maciça de coloração escura, com aproximadamente 0,10 mm de espessura (Figura 15).



**Figura 15.** (A) Afloramento estudado, canal Marina Porto Búzios. (B) Faciés areno-lamosa com conchas em posição de vida.

Na região do pântano da Malhada o perfil estratigráfico apresenta espessura de aproximadamente 0,85 m. A camada que compõe a base caracteriza-se por uma espessura de aproximadamente 0,15 m. Registra-se areia lamosa com conchas retrabalhadas. Sobrepondo, encontra-se uma camada de areia média lamosa maciça com aproximadamente 0,10 m de espessura. Em seguida, observa-se uma camada de aproximadamente 0,45 m de espessura de areia lamosa com conchas inteiras, algumas em posição de vida. O topo caracteriza-se por camada de lama orgânica maciça com aproximadamente 0,15 m de espessura (Figura 16).



**Figura 16.** (A) Facies areno-lamosa com conchas inteira. (B) Afloramento estudado, pântano da Malhada.

Na Fazenda Campos Novos identificou-se um perfil com aproximadamente 1,40 m. A camada basal é de aproximadamente 0,30 m de espessura. Caracteriza-se por areia grossa com conchas fragmentadas. Sobrepondo, encontra-se uma camada de aproximadamente 0,30m de areia lamosa com conchas retrabalhadas. Em seguida, verifica-se camada de aproximadamente 0,40 m de areia grossa maciça. No topo verificou-se uma camada de aproximadamente 0,40 m de lama orgânica maciça (Figura 17).



**Figura 17.** Afloramento estudado, Fazenda Campos Novos.

No pântano do Trimumú o afloramento estudado apresenta espessura de aproximadamente 1,60 m. A camada basal apresenta espessura entorno de 0,70 m. Caracteriza-se por uma camada de lama com coloração marrom na base e cinza no topo. Registra-se a presença de conchas fragmentadas e ossos de baleia de tamanhos variados, podendo atingir 0,40 m. Sobrepondo essa camada, identifica-se a ocorrência de lama maciça,

afossilífera com aproximadamente 0,80 m de espessura. O topo do perfil caracteriza-se por lama orgânica maciça com aproximadamente 0,10 m de espessura (Figura 18).



**Figura 18.** (A) Afloramento estudado, pântano Trimumú. (B) Osso de Baleia encontrado junto ao depósito sedimentar.

No Condomínio Portal de Búzios, o perfil estratigráfico apresenta aproximadamente 0,90 m de espessura. A camada basal, caracteriza-se por areia média lamosa maciça com aproximadamente 0,15 m de espessura. Sobrepondo, identifica-se camada de aproximadamente 0,30 m de espessura, constituída por areia lamosa com conchas inteiras, algumas em posição de vida. No topo foi possível identificar uma camada de lama orgânica maciça com aproximadamente 0,35 m de espessura (Figura 19).



**Figura 19.** (A) Destaque para a fácies areno-lamosa com conchas. (B) Afloramento estudado, condomínio Portal de Búzios.

Na Fazenda Araçá, o perfil apresenta aproximadamente 0,75 m de espessura. A camada basal é de aproximadamente 0,30 m. Caracteriza-se por uma areia grossa com estratificação cruzada de baixo ângulo. Sobrepondo, registra-se camada de aproximadamente 0,30 m de areia lamosa com conchas inteiras, algumas em posição de vida. A camada superior apresenta aproximadamente 0,15 m de espessura caracterizada por uma lama orgânica maciça (Figura 20).



**Figura 20.** (A) Afloramento estudado, Fazenda Araçá. (B) Destaque para o depósito areno-lamoso com conchas em posição de vida.

### **6.3. Tabela de fácies e datações radiométricas**

A partir da análise litofaciológica, foi possível identificar na região estudada nove litofácies distintas. A Tabela 1 apresenta resultados litofaciológicos, contendo atributos referentes a: código de fácies, diagnose, descrição, interpretação e local de ocorrência.

As datações realizadas ao radiocarbono  $^{14}\text{C}$  apresentam idades calibradas encontram-se entre 6330 - 6190 (mais antiga) a 4880 - 4800 (mais recentes) anos cal A.P (Tabela 2).

**Tabela 1:** Descrição de nove litofácies identificadas nos perfis estratigráficos estudados.

<b>Código</b>	<b>Diagnose</b>	<b>Descrição</b>	<b>Interpretação</b>	<b>Localidade de ocorrência</b>
LOm	Lama Orgânica maciça.	Depósito lamoso de coloração escura, estrutura maciça não fossilífero.	Depósito característico da regressão marinha holocênica. Durante esse período as lagunas transformaram-se gradualmente em lagos de água doce e posteriormente em pântanos (MARTIN <i>et al.</i> , 1997 e CASTRO <i>et al.</i> , 2014).	Todas as localidades investigadas.
ALc	Areia Lamosa com conchas inteiras.	Depósito arenoso com matriz lamosa e conchas de bivalves articuladas e em posição de vida.	Depósito característico da transgressão holocênica, onde toda a planície costeira do rio Una foi invadida pelo mar, formando uma enseada semifechada controlada por depósitos da Formação Barreiras. Nessa enseada, subambientes distintos se desenvolveram. Essa fácies demonstra um ambiente lagunar de baixa energia, que é característica da transgressão holocênica (MARTIN <i>et al.</i> , 1997 e CASTRO <i>et al.</i> , 2014).	Canal marina Porto Búzios, Pântano da Malhada, Condomínio Portal de Búzios e Fazenda Araçá.
ALm	Areia Lamosa maciça.	Depósito arenoso com coloração cinza, granulometria de fina a média, grãos subarredondados.	Denota-se um ambiente mais restrito de baixa agitação de ondas. Pelas características do material, afere-se ambiente lagunar sem a presença de conchas de molusco (CASTRO <i>et al.</i> , 2014).	Pântano da Malhada, Condomínio Portal de Búzios.
Agd	Areia com granodecrescência.	Depósito arenoso com grãos subarredondados e gradação granulométrica para finos.	Ambiente de praia caracterizado por areia grossa na ante praia (base), areia média na faixa de intermarés (intermediária) e areia fina nos pós praia. As características granulométricas de afinamento para o topo ( <i>fining up</i> ), denotam o início da transgressão marinha holocênica.	Condomínio Portal de Búzios.
AGc	Areia Grossa com conchas fragmentadas.	Depósito arenoso com grãos subarredondados, com uma lente de fragmentos de conchas no topo.	Depósito de praia, exposta a ação de ondas de bom tempo e tempestade. Essa ação possibilitou a fragmentação do material bioclástico constituído por conchas de moluscos. Essa fácies pode ser um pulso do início da transgressão.	Canal Marina Porto Búzios, Fazenda Campos Novos.

**Tabela 1** (continuação): Descrição de nove litofácies identificadas nos perfis estratigráficos estudados.

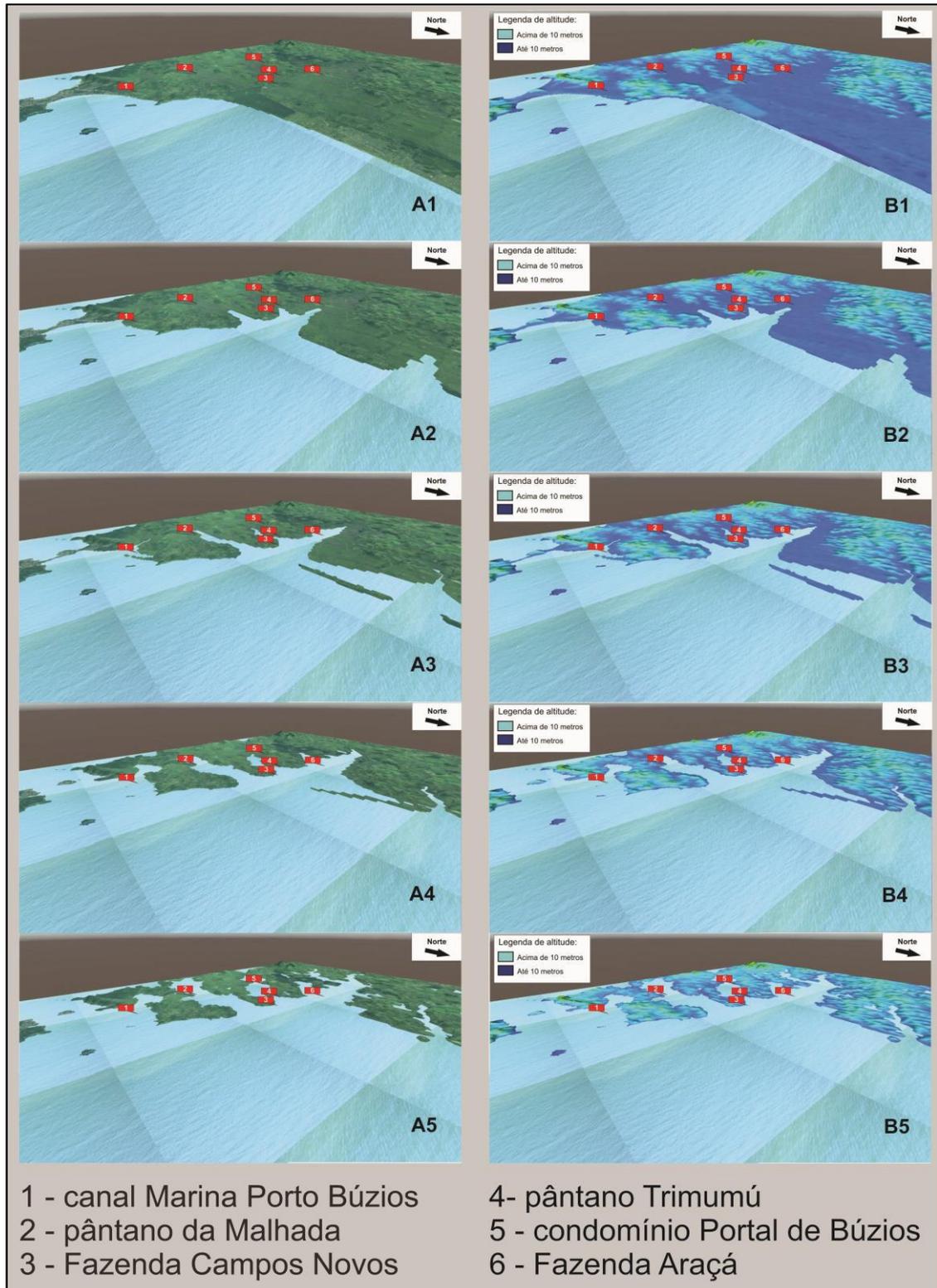
<b>Código</b>	<b>Diagnose</b>	<b>Descrição</b>	<b>Interpretação</b>	<b>Localidade de ocorrência</b>
AGe	Areia Grossa com estratificação cruzada de baixo ângulo.	Deposito arenoso com grãos subangulosos e granulometria grossa.	Depósito característico de ambiente de Praia, corroborado pela presença de estratificação cruzada de baixo ângulo e areia grossa.	Fazenda Campos Novos, Fazenda Araçá.
ALcr	Areia Lamosa com conchas retrabalhadas.	Deposito arenoso com grãos subarredondados, presença de fragmentos de conchas e matriz pelítica.	Ambiente lagunar restrito, submetido ocasionalmente a ondas capilares e eólicas (vagas). O processo deposição do material bioclástico (conchas de moluscos) ocorreu principalmente na borda da paleolaguna.	Fazenda Campos Novos.
Lm	Lama maciça.	Depósito lamoso maciço, com coloração marrom, sem fósseis.	Deposito pelítico maciço característico de uma zona de baixa energia com decantação de finos. Pela posição geográfica do afloramento na área de estudo, o mesmo provavelmente está relacionado a um fundo de laguna.	Pântano do Trimumú.
Lcb	Lama com presença de conchas fragmentadas e ossos de baleia.	Deposito pelítico de coloração cinza na base e marrom no topo, com de conchas fragmentadas na base e ossos de baleia no topo.	O maciço pelítico com presença de bioclastos fragmentados sugere zona de baixa energia. As conchas encontram-se fragmentadas provavelmente devido a compactação de lama. Paleoambiente de fundo de laguna.	Pântano do Trimumú.

**Tabela 2:** Datações realizadas ao radiocarbono  $^{14}\text{C}$  nos seis perfis estratigráficos estudados. \*Idades obtidas por Castro *et al.* (2014).

Código da amostra	Laboratório	Localização	Tipo de amostra	Coordenadas geográficas	Idade convencional	Idade calibrada 2 sigma
LAGECOST 71	<i>Beta Analytic Inc.</i> 310447	Canal Marina Porto Búzios *	<i>Anomalocardia brasiliiana</i>	22° 45' 48.9" S 41° 57' 27.8" W	5.460 ± 40 A.P.	6.190 a 6.330 anos cal. A.P.
LAGECOST 1456	<i>Head of Radiation</i> <i>Hygienic</i> <i>Monitoring</i> <i>Laboratory</i>	Pântano da Malhada*	<i>Anomalocardia brasiliiana</i>	22° 45' 10" S 41° 59' 55" W	5.540 ± 70 A.P.	6132 a 5734 anos cal A.P.
LAGECOST 4	<i>Beta Analytic Inc</i> 365495	Fazenda Campos Novos	<i>Anomalocardia brasiliiana</i>	22° 43' 25" S 42° 1' 51" W	4.630 ± 30 A.P.	4.800 a 4.880 anos cal. A.P.
LAGECOST SHELL	<i>Beta Analytic Inc</i> 332409	Condomínio Portal de Búzios *	<i>Anomalocardia brasiliiana</i>	22° 44' 53" S 42° 03' 29" W	5.780 ± 70 A.P.	5.997 a 6.335 anos cal. A.P.
LAGECOST 2	<i>Beta Analytic Inc.</i> 332412	Pântano do Trimumu	<i>Anomalocardia brasiliiana</i>	22° 43' 45" S 42° 5' 18" W	5.000 ± 30 A.P.	5.430 a 5.280 anos cal A.P.
LAGECOST 81	<i>Beta Analytic Inc.</i> 322411	Fazenda Araçá *	Conchas	22° 42' 52" S 42° 04' 27" W	5.490 ± 30 A.P.	5.830 a 5.910 anos cal A.P.

#### **6.4. Modelo 3D de reconstituição paleoambiental**

Um modelo de reconstituição paleoambiental em 3D, envolvendo a transgressão marinha holocênica na bacia hidrográfica do rio Una, foi produzido no software *Unity 5.4.1* (Figura 21). O modelo apresenta dados ao radiocarbono entre 6330 - 6190 a 4880 - 4800 anos cal A.P. Nesse período, registra-se o início da transgressão marinha, o pico máximo holocênico (*optimum* climático) e a descida brusca do nível relativo do mar.



**Figura 21.** Modelo 3D de reconstituição paleoambiental da Bacia Hidrográfica do Rio Una, em (A1) e (B1), nível do mar encontra-se na posição atual; (A2) e (B2) inicia-se o avanço do nível do mar, os rios e drenagens da região são afogados; (A3) e (B3) registra-se a formação de ilhas barreiras e afogamento dos pontos 1 (um), 3 (três), 4 (quatro) e 6 (seis); (A4) e (B4) afogamento de ilhas barreiras frontais e surgimento de ilhas barreiras distais e também afogamento do ponto 2 (dois); (A5) e (B5) corresponde ao estágio final do evento transgressivo e inundação do ponto 5 (cinco).

## 7. DISCUSSÃO

### 7.1. Tabela de fácies

À partir da análise litofaciológica, foi possível identificar três grupos característicos de litofácies: Litofácies de ambiente marinho restrito (transgressão); Litofácies de ambiente marinho aberto (transgressão) e Litofácies de ambiente pantanoso (regressivo). Essa análise corrobora dados obtidos por Cunha (2016).

As litofácies atribuídas ao ambiente marinho restrito foram **ALci** (Areia Lamosa com conchas inteiras), **ALm** (Areia Lamosa maciça), **ALcr** (Areia Lamosa com conchas retrabalhadas), **Lm** (Lama maciça) e **Lcb** (Lama com conchas fragmentadas e ossos de baleia). A litofácies **ALci** é interpretada como um ambiente lagunar de baixa energia, marcando o início da transgressão marinha documentada por Castro *et al.* (2014). A litofácies ocorre no canal Marina Porto Búzios, pântano da Malhada, Condomínio Portal de Búzios e Fazenda Araçá. A litofácies **ALm** caracteriza-se como ambiente restrito, submetido a baixa agitação de ondas (SUGUIO *et al.*, 1988). Afere-se ambiente lagunar sem a presença de conchas de moluscos. Essa litofácies ocorre no pântano da Malhada e no Condomínio Portal de Búzios. Segundo Castro *et al.* (2014), essa litofácies marca o início da transgressão máxima holocênica na região da planície costeira de Cabo Frio, Rio de Janeiro.

A litofácies **ALcr** denota ambiente lagunar restrito, submetido ocasionalmente a ondas capilares (MIALL, 1997). A deposição das conchas de moluscos, ocorreu principalmente na borda da paleolaguna (CUNHA, 2012 e CASTRO *et al.*, 2014). Essa litofácies ocorre na Fazenda Campos Novos, município de Cabo Frio. A litofácies **Lm** foi interpretada como ambiente restrito de paleolaguna. Essa litofácies representa o rebaixamento progressivo do nível relativo do mar na região do pântano do Trimumú. Na litofácies **Lcb** identificou-se a presença de conchas fragmentadas na base e ossos de baleia no topo. As condições geológicas - geomorfológicas, favoreceram a projeção da transgressão máxima holocênica nesse local (CASTRO *et al.*, 2014). A fácies estudada, caracteriza-se por ambiente de baixa energia, propiciando a decantação de sedimentos finos no pântano do Trimumú à 8,0 km da linha de costa atual (CUNHA, 2016).

Destaca-se na litofácies **Lcb** a ocorrência de ossos de baleia relacionado a possível encalhe, decorrente das variações maregráficas diárias. No litoral do Estado de São Paulo, Mezzalira (1982) identificou também a presença de ossadas de baleia semi-fossilizadas,

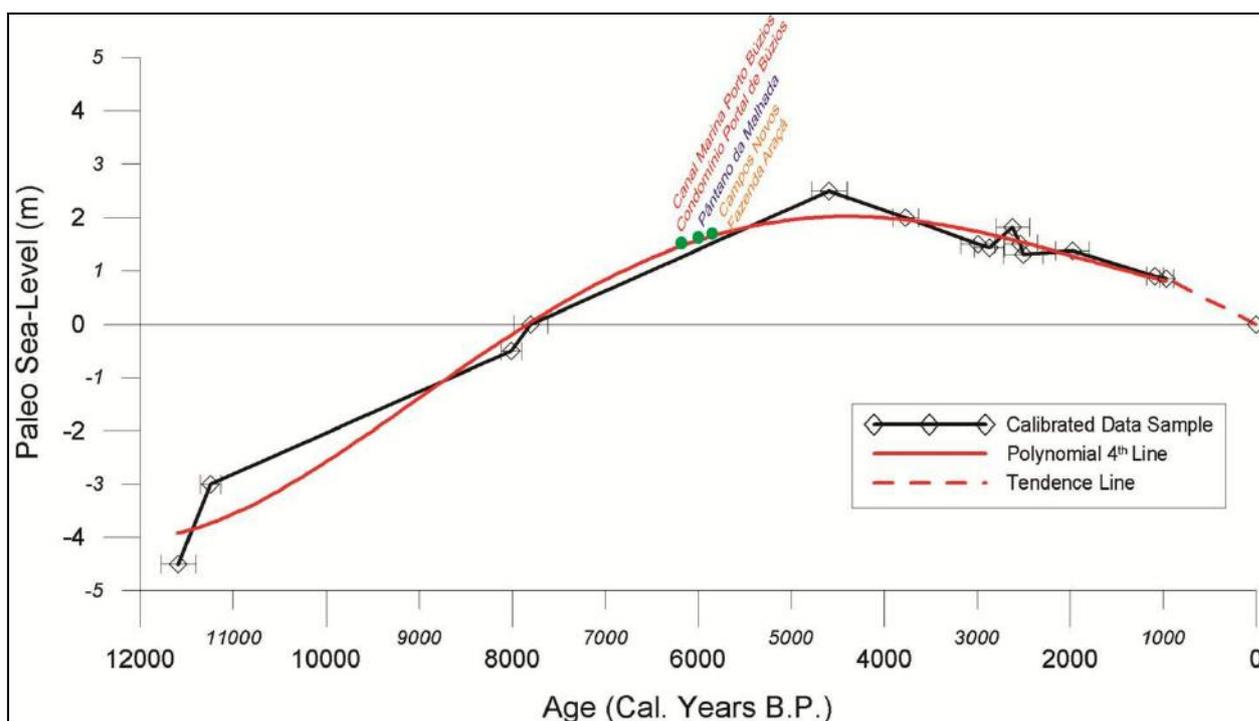
associado-as a transgressão holocênica. O episódio das referidas ossadas, representa provavelmente, o início da regressão marinha, documentada por Suguio & Martin (1985), Martin *et al.* (1985), Suguio (1993), Castro *et al.* (2014) e Cunha (2016).

As litofácies atribuídas ao ambiente marinho aberto foram **AGc** (Areia Grossa com conchas fragmentadas), **Agd** (Areia granodecrescente) e **AGe** (Areia Grossa com estratificação cruzada). A litofácies **AGc** ocorre na região do canal Marina Porto Búzios e Fazenda Campos Novos. O processo deposicional, associa-se a transgressão máxima holocênica, documentada por Martin *et al.* (1997) e como transgressão máxima holocênica Cabo Frio descrita por Castro *et al.* (2014). A litofácies **Agd** (Areia granodecrescente), do ponto de vista paleoambiental, é decorrente uma mudança gradativa na energia do fluxo (MIALL, 1997). O diminuição do tamanho do grão em direção ao topo, sugere o início da transgressão máxima holocênica, documentada por Cunha (2012) e Castro *et al.* (2014). A litofácies ocorre no canal Marina Porto Búzios, Município de Armação dos Búzios. A litofácies **AGe** correlaciona-se a um ambiente de praia dissipativa de baixa energia devido as estruturas sedimentares apresentarem baixo ângulo de inclinação. Essa litofácies ocorre na Fazenda Campos Novos e na Fazenda Araçá (CUNHA, 2012).

A Litofácies atribuída a um ambiente pantanoso é **LOm** (Lama Orgânica maciça). Caracteriza-se pelo início da regressão marinha holocênica, iniciada por volta de 4900 anos A.P. (MARTIN *et al.*, 1997 e CASTRO *et al.*, 2014). O ambiente lagunar foi gradualmente substituído por lagos de água doce e posteriormente por pântanos costeiros (SUGUIO *et al.*, 1985; MARTIN *et al.* 1997; CUNHA, 2016). Essa fácies ocorre no topo de todos os perfis investigados.

## 7.2. Datações ao radiocarbono

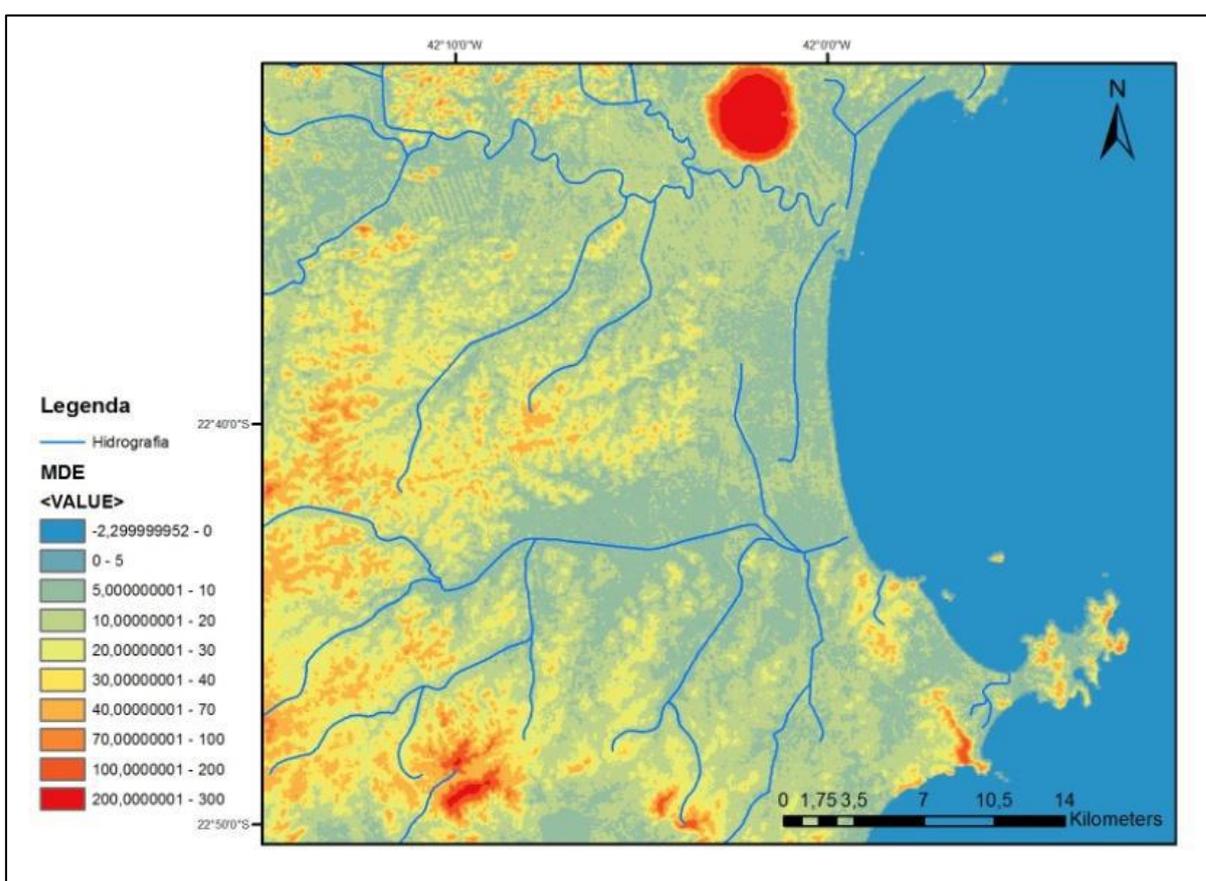
As seis idades obtidas ao radiocarbono  $^{14}\text{C}$ , enquadra-se no início da transgressão, no pico (*optimum* climático) e na descida brusca do nível relativo do mar no litoral do Estado do Rio de Janeiro, corroborando assim, com a curva de variação proposta por Castro *et al.* (2014). A figura 22, apresenta a curva de variação do nível relativo do mar envolvendo todo o Holoceno (CASTRO *et al.*, 2014). Destaca-se o intervalo entre 6335 a 4.800 cal anos A.P., envolvendo o processo deposicional de conchas de moluscos. A transgressão marinha aqui identificada foi amplamente documentada na costa leste brasileira por Suguio *et al.* (1985), Martin *et al.* (1985), Suguio (1993), Bezerra *et al.* (2003), Caldas *et al.* (2006), Castro & Suguio (2010) e Castro *et al.* (2014).



**Figura 22.** Curva de variação do nível relativo do mar para a região costeira do Estado do Rio de Janeiro com a representação de alguns dos pontos datados, modificado de Castro *et al.* 2014.

### 7.3. Controle Geomorfológico

Localmente a transgressão marinha holocênica foi controlada pelas condições geológicas e geomorfológicas, impostas pelo embasamento Paleoproterozóico, Formação Barreiras e cordões litorâneos da área de entorno da bacia hidrográfica do rio Una. A Figura 23 apresenta um Modelo Digital de Elevação - MDE na área das bacias hidrográficas dos rios Una e São João. Observa-se a grande inundação marinha durante a transgressão holocênica, ocorrida no intervalo entre 6335 a 4.800 cal anos A.P (CUNHA, 2016). Nesse episódio, o nível relativo do mar atingiu uma altura máxima entre + 2,50 a + 3,0 acima do atual (CASTRO *et al.*, 2014 e CUNHA, 2016).



**Figura 23.** Modelo digital de elevação (MDE) gerado para a área de estudo.

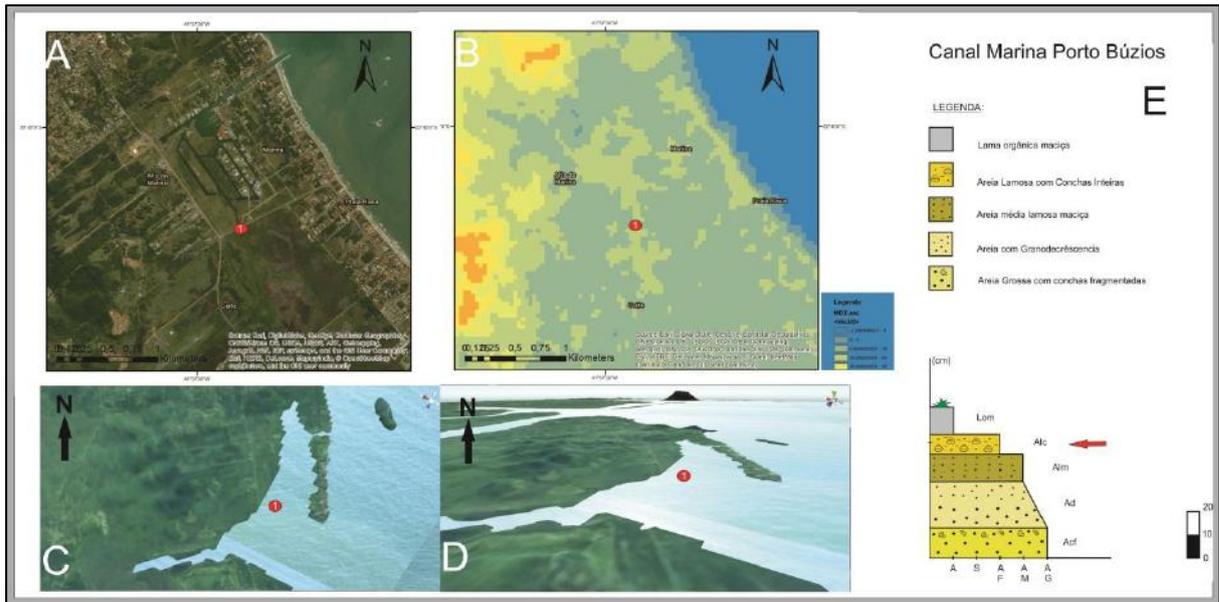
Nos perfis estratigráficos aqui estudados é possível verificar a ocorrência da fácies **ALc** (areia lamosa com conchas inteiras) em 4 dos pontos investigados (Figura 24). Essa fácies com predominância arenosa e grande presença lamosa, denota um ambiente de baixa energia. A presença de conchas inteiras encontradas, muitas vezes em posição de vida, sugere

um rápido recuo da linha d'água. O controle geomorfológico imposto pelo ambiente restrito contribuiu ainda mais com esse processo.



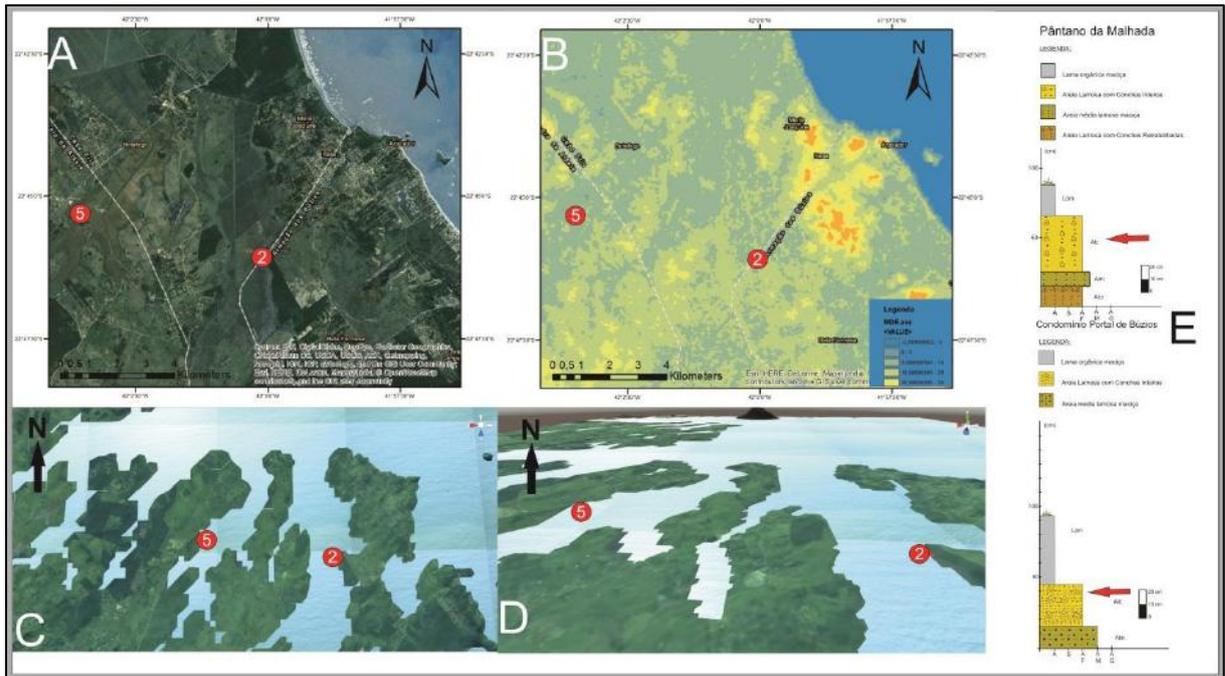
**Figura 24.** Fácies areno-lamosa com conchas inteiras na região do pântano da Malhada.

A fácies **ALc** do ponto 1, referente ao canal Marina Porto Búzios apresenta idade ao radiocarbono de 6330 - 6190 anos cal A.P. O referido ambiente é caracterizado por uma paleolaguna separado do mar aberto por uma ilha barreira. De acordo com sua idade, o referido ambiente restrito, associa-se ao estágio inicial da transgressão máxima holocênica, conhecido na região como transgressão Cabo Frio de Castro *et al* (2014). A figura 25 apresenta uma reconstituição paleoambiental em 3D do referido evento transgressivo. Dados obtidos através do perfil 1 corrobora informações contidas na referida figura.



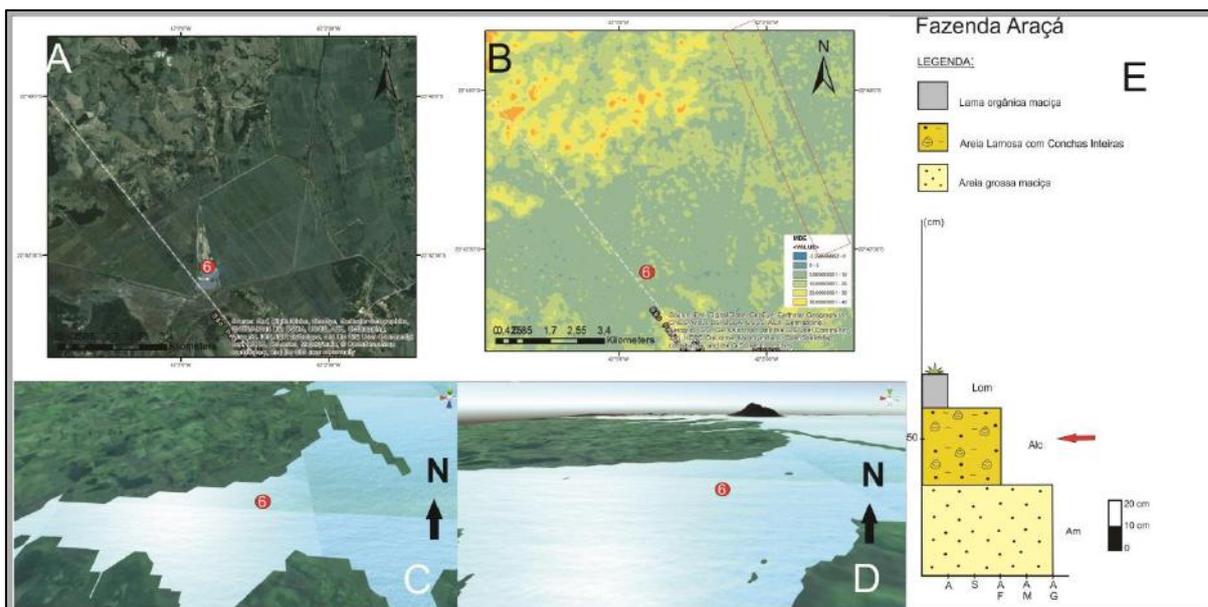
**Figura 25.** Lâmina explicativa do ponto 1. (A) Localização do ponto 1 (canal Marina Porto Búzios) em imagem de satélite; (B) Localização do ponto 1 no MDE, provável ilha-barreira a noroeste do ponto; (C) Visualização em planta do ponto 1 no modelo de reconstituição paleoambiental, com a presença de ilha-barreira; (D) Visualização em do ponto 1 no modelo 3D de reconstituição paleoambiental, com a presença de ilha-barreira; (E) Perfil estratigráfico do ponto 1 com destaque na fácies **ALc**.

A fácies **ALc** identificada nos pontos pântano da Malhada e condomínio Portal de Búzios, encontram-se em um ambiente bastante protegido por depósitos da Formação Barreiras e pelo embasamento cristalino Paleoproterozóico. Levando em conta as condições geomorfológicas dos referidos pontos, sugere-se ambiente restrito de baixa energia durante o evento transgressivo holocênico. A figura 26 apresenta uma reconstituição paleoambiental em 3D do referido evento transgressivo. Dados obtidos através do perfil 2 e 5 corroboram informações contidas na referida figura.



**Figura 26.** Lâmina explicativa do ponto 2 e 5. (A) Localização dos pontos 2 e 5 (pântano da Malhada e condomínio Portal de Búzios) em imagem de satélite; (B) Localização dos pontos 2 e 5 no MDE, os dois pontos se encontram cercados por depósitos da Formação Barreiras e pelo embasamento cristalino Paleoproterozóico; (C) Visualização em planta dos pontos 2 e 5 no modelo de reconstituição paleoambiental, ambiente restrito de baixa energia; (D) Visualização em dos pontos 2 e 5 no modelo 3D de reconstituição paleoambiental, ambiente restrito de baixa energia; (E) Perfil estratigráfico dos pontos 2 e 5 com destaque na fácies ALc.

A fácies **ALc** identificada no ponto 6, referente a Fazenda Araçá, caracteriza-se por um ambiente semi-aberto. Provavelmente em algum momento do evento transgressivo o referido ambiente encontrava-se protegido da ação de ondas por ilhas-barreiras. De acordo com a interpretação de feições morfológicas através do MDE, é possível observar a provável ocorrência de uma ilha-barreira localizada a noroeste do ponto amostrado. Durante o período em que a Fazenda Araçá encontrava-se protegida da ação de ondas, as condições de ambiente restrito propiciaram deposição de sedimentos areno-lamosos e a proliferação de conchas de moluscos. Através da Figura 27 e possível visualizar o paleoambiente de deposição dessa fácies conforme MDE e perfil estratigráfico.

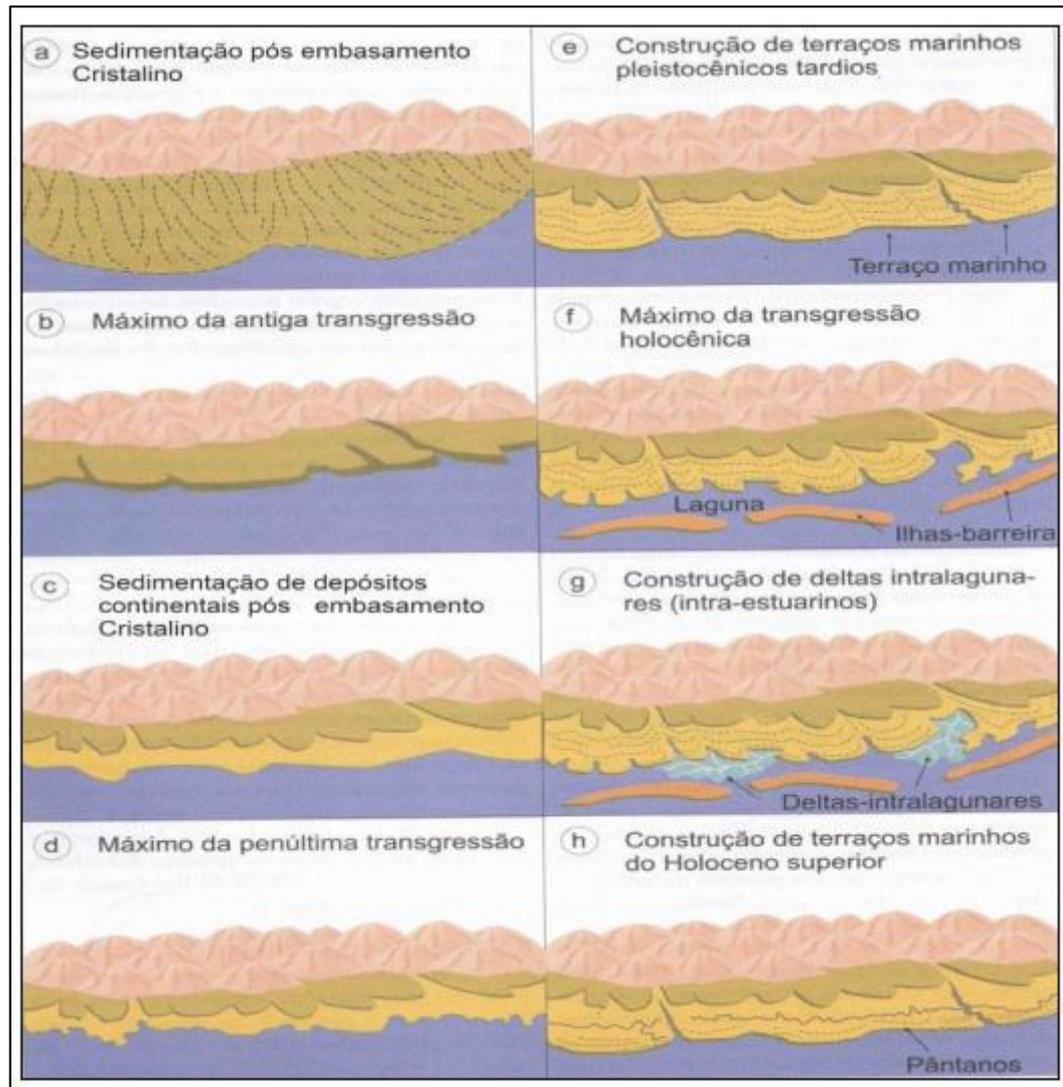


**Figura 27.** Lâmina explicativa do ponto 6. (A) Localização do ponto 6 (Fazenda Araçá) em imagem de satélite; (B) Localização do ponto 6 no MDE, provável ilha-barreira a noroeste do ponto; (C) Visualização em planta do ponto 6 no modelo de reconstituição paleoambiental, com a presença de ilha-barreira; (D) Visualização em do ponto 6 no modelo 3D de reconstituição paleoambiental, com a presença de ilha-barreira; (E) Perfil estratigráfico do ponto 6 com destaque na fácies **ALc**.

#### 7.4. Simulação paleoambiental

O modelo 3D paleoambiental possui correspondência com o modelo geral de evolução geológica das planícies costeiras das porções leste e nordeste do litoral brasileiro desenvolvido por Martin (1996) e Suguio (2005).

Neste modelo, Martin (1996) e Suguio (2005) engloba estágios responsáveis pelo desenvolvimento da arquitetura costeira Brasileira (Figura 28). No estágio “A” ocorre a deposição de sedimentos da Formação Barreiras durante o terciário. O estágio “B” é destacado por uma transgressão marinha antiga. No estágio “C” outra fase de deposição sedimentar pós-Barreira é registrada, seguida de outro evento transgressivo no estágio “D”. No estágio “E”, há a construção de terraços marinhos Plesitocênicos. O estágio “F” destaca o máximo transgressivo holocênico, que esculpiu os sedimentos pleistocênicos e gerou a Formação de ambientes lagunares e ilhas barreiras. No estágio “G”, os rios voltam a exercer um papel importante com a construção de deltas intralagunares. Após algumas rápidas oscilações do paleonível marinho, é iniciado um processo de regressão marinha no estágio “H” até a posição atual, gerando uma transformação dos ambientes lagunares em lagoas, seguidos de pântano, e só então, os rios passam a ter ligação direta com o oceano.



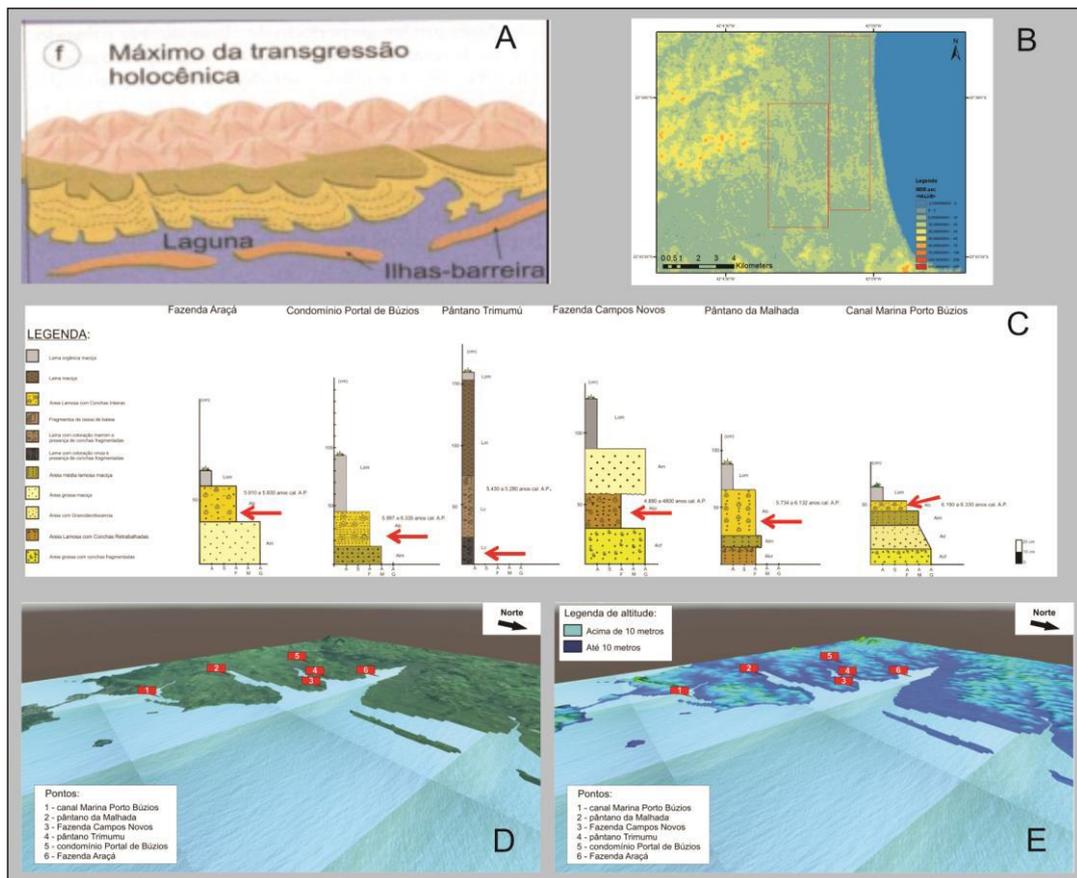
**Figura 28.** Modelo geral de evolução geológica das planícies costeiras das porções leste e nordeste do litoral brasileiro durante o Quaternário, válido para o trecho entre o norte do Rio de Janeiro e o Rio Grande do Norte (MARTIN *et al.*, 1996, modificado SUGUIO *et al.*, 2005).

#### 7.4.1. Estágio F (Máximo da última transgressão)

Durante a transgressão, os terraços pleistocênicos foram totais ou parcialmente erodidos. Uma característica desse estágio são as formações de ilhas barreiras e lagunas. Correlacionando os dados obtidos através do MDE e perfis estratigráficos, verifica-se similaridade entre o estágio "F" de Domingues (1981) e Suguio (1985) com o modelo geral de evolução costeira identificado na bacia do rio Una (Figura 29). A Figura 29 B apresenta o MDE da área onde é possível verificar as feições morfológicas (cordões litorâneos) que

podem estar associados a ilhas-barreiras pretéritas. Essa interpretação foi importante para a produção do modelo 3D de reconstituição paleoambiental do rio Una.

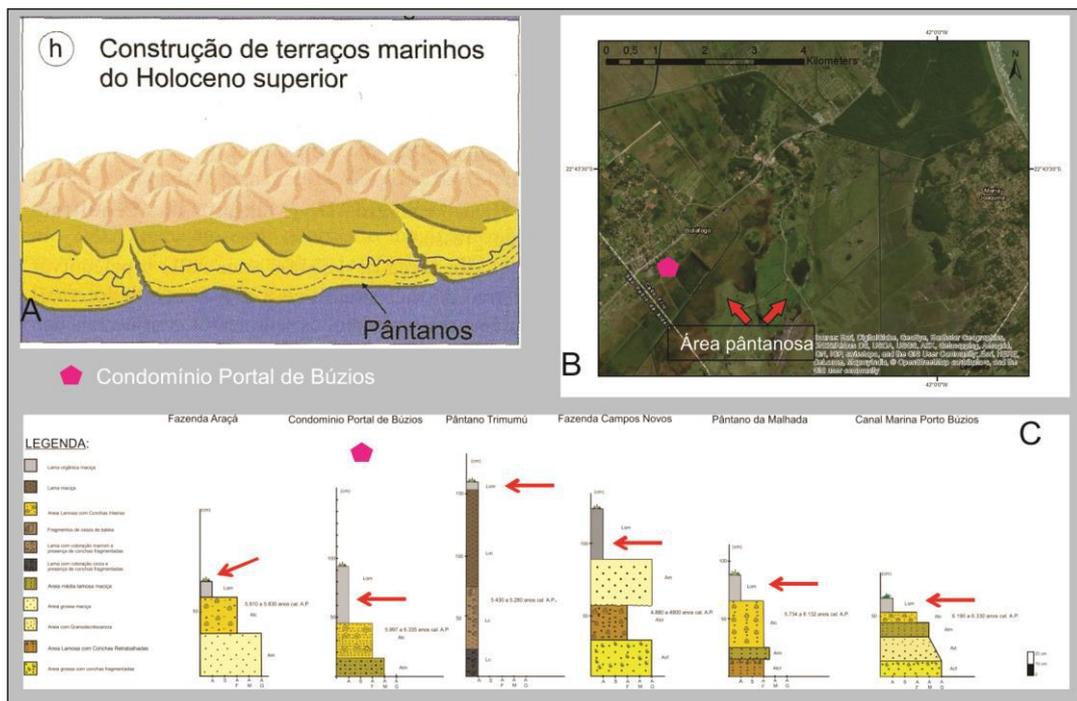
Na figura 29 C, os perfis estratigráficos corroboram com o estágio "F" através de fácies provenientes de ambiente marinho, indicando assim que foram depositadas em uma época de mar alto. Estas fácies são, **ALc** (areia lamosa com conchas inteiras) identificadas nos pontos referentes ao canal Marina Porto Búzios, pântano da Malhada, condomínio Portal de Búzios e Fazenda Araçá. Fácies **Lc** (lama com conchas fragmentadas e osso de baleia) encontrada no ponto pântano do Trimumú. Fácies **ALcr** (Areia com conchas retrabalhadas) identificadas no ponto referente a Fazenda Campos Novos. Conforme Tabela 2, as idades ao radiocarbono estão de acordo com a época em que o evento do máximo transgressivo holocênico ocorreu.



#### 7.4.2. Estágio H (construção de terraços marinhos holocênicos)

Segundo Domingues (1981); Suguio (1985) e Castro *et al* (2014), após cerca de 5.500 A.P o paleonível do mar iniciou um processo contínuo de descida até o nível atual. Durante a regressão marinha, os sedimentos depositados contribuíram para construção gradual dos terraços marinhos e planícies costeiras. A fase regressiva transformou as lagoas em lagos, seguidos por pântanos e no final deste processo os rios finalmente passaram a fluir diretamente para o oceano (CASTRO *et al*, 2014).

Foram identificados registros correspondentes ao estágio “H” em todos os perfis estratigráficos estudados Figura 30. A fácies lama orgânica maciça, característica de um ambiente pantanoso, identificado como registro da última fase do processo regressivo ocorrido na região. Na figura 30B, uma imagem de satélite da área destaca o ambiente pantanoso atual.



**Figura 30.** Correlação dos dados estudados com o modelo geral de evolução costeira, estágio H (MARTIN et al., 1996, modificado SUGUIO et al., 2005). (A) Estágio "H" do modelo geral de evolução costeira. (B) Imagem de satélite ilustrando as áreas pantanosa da região. Destaque ao ponto 5 - Condomínio Portal de Búzios. (C) Perfis estratigráficos correlacionados estudados na bacia hidrográfica do rio, Uma destacando as fácies correspondentes ao estágio "H".

## 8. CONCLUSÃO

Identificaram-se três grupos característicos de litofácies: Litofácies de ambiente marinho restrito (transgressão); Litofácies de ambiente marinho aberto (transgressão) e Litofácies de ambiente pantanoso (regressivo). Todas as litofácies identificadas nos perfis dos paleoambientes restritos e marinho aberto corroboram o evento denominado transgressão máxima holocênica, identificada por Castro *et al.* (2014) como transgressão Cabo Frio.

Através de datações ao radiocarbono  $^{14}\text{C}$  em conchas de moluscos *Anomalocardia brasiliiana*, identificadas em todos os perfis estratigráficos, as idades obtidas variam entre 6335 a 4.800 cal anos A.P. Esse intervalo de tempo, corresponde o início da transgressão marinha, o pico máximo holocênico (*optimum* climático) e a descida brusca do nível relativo do mar. Essa mudança brusca, acarretou a mortandade generalizada de conchas de moluscos, muitas delas, em posição de vida. A descida do nível relativo do mar subsequente, levou formação de paleolagunas, cordões litorâneos e pântanos, resultando na progradação da linha de costa até o presente.

O modelo 3D paleoambiental aqui proposto apresenta semelhanças com os modelos de evolução geológica das planícies costeiras das porções leste e nordeste do litoral brasileiro desenvolvido por Martin (1996) e Suguio (2005). Verificou-se que as condições geomorfológicas da área de estudo desempenharam um importante papel no controle da inundação marinha ocorrida entre 6335 a 4.800 cal anos A.P. Destaca-se na região de estudo o estágio "F" caracterizado pelo máximo transgressivo holocênico que esculpiu os sedimentos pliocênicos e pleistocênicos e a formação de ambientes lagunares e ilhas barreiras. O estágio "G" é marcado pela atividade geológica dos rios que voltam a exercer um papel importante com a construção de deltas intralagunares. O estágio "H" marcado pelo início da regressão até a posição atual, gerando uma transformação dos ambientes lagunares em lagoas, seguidos de pântano, e só então, os rios passam a ter ligação direta com o oceano. O controle geomorfológico decorrente da sedimentação propiciou, condições necessárias para o desenvolvimento de ambientes marinhos abertos e ambientes marinhos restritos.

Com isso, os resultados alcançados através do MDE visam subsidiar e fornecer informações no intuito de colaborar para estudo das variações do nível relativo do mar durante a transgressão holocênica, ocorrida entre 6335 a 4.800 cal anos A.P. no sudeste brasileiro. Realça-se a importância de trabalhos de detalhe que possam esboçar com mais precisão a complexidade dos fatores abordados nessa pesquisa.

## 9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANGULO, R.J.; LESSA, G. C. 1997. **The brazilian sea level curves: a critical review with emphasis on the curves from Paranaguá and Cananéia regions.** *Marine Geology*, v. 140, p. 141-166.

ANGULO R.J. & PESSENDA L.C.R. 1997. **Avaliação de datações 14C de amostras de madeiras impregnadas com ácidos húmicos provenientes da planície costeira do Estado do Paraná.** Resumos Expandidos do VI Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário e Reunião sobre o Quaternário da América do Sul. Curitiba, p. 31-33.

ANGULO, R.J.; GIANNINI, P.C.F.; SUGUIO, K. & PESSENDA, L.C.R. 1999. **The relative sea-level changes in the last 5500 years southern Brazil (Laguna-Imbituba region, Santa Catarina State) based on vermetid 14C ages.** *Marine Geology*, 159:327-339.

ÂNGULO, R.J.; PESSENDA, L.C.R. & SOUZA, M.C. 2002. **O significado das datações ao 14C na reconstrução o de paleoníveis marinhos e na evolução das barreiras quaternárias do litoral paraense.** *Revista Brasileira de Geociências*, 32:95-106.

ANGULO, R.J. & SOUZA, M.C. 2014. **Revisão conceitual de indicadores costeiros de paleoníveis marinhos quaternários no Brasil.** *Quaternary and Environmental Geosciences*. 05(2):01-32

ASSINE, M.L 2001 **Estratigrafia de Sequências – Fundamentos e Aplicações.** São Leopoldo: Unisinos. 428 p.

CALDAS, L.H.O.; STATTEGGER, K. & VITAL, H. 2006. **Holocene sea level history: Evidence from coastal sediments of the northern Rio Grande do Norte Coast, NE Brazil.** *Marine Geology* 228: 39-53.

CASTRO, J.W.A.; SENRA, M.C.E. & RAMOS, R.R.C. 2009. **Coquinas da paleolaguna da Reserva Tauá - Pântano da Malhada, Cabo Frio, RJ;** p. 269-276, em: WINGE, M.; SCHOBENHAUS, C.; SOUZA, C.R.G.; BERBET-BORN, M.; QUEIROZ, E.T.; CAMPOS, D.A. (Eds.). *Sítios Geológicos e Paleontológicos do Brasil*, vol. II, SIGEP. Brasília.

CASTRO, J.W.A. & SUGUIO, K. 2010. **Holocene and Late Holocene and Late Pleistocene Relative Sea Level Fluctuations in Cabo Frio Island, Rio de Janeiro State – Brazil;** p.58-61, em: French congress on stratigraphy, 4. Paris.

CASTRO, J.W.A.; SUGUIO, K.; CUNHA, A.M.; GUEDES, E.; TÂMEGA, F.T.S. & RODRIGUEZ, R.R. 2012. **Rochas de Praia (Beachrocks) da Ilha do Cabo Frio, Arraial do Cabo: Registro Geológico Ímpar da Transição Pleistoceno - Holoceno no Estado do Rio de Janeiro.** *Anuário do Instituto de Geociências* 35(1): 236-241.

CASTRO, J.W.A.; SUGUIO, K.; SEOANE, J.C.S.; CUNHA, A.M. & DIAS, F.F. 2014. **Sea-level fluctuations and coastal evolution in the state of Rio de Janeiro, southeastern Brazil.** *Annals of the Brazilian Academy of Sciences* 86(2): 671-683.

COMITÊ DE BACIAS LAGOS SÃO JOÃO. **Região Hidrográfica da bacia do rio Una e do Cabo de Búzios. Região dos Lagos**, 08 de dezembro 2004. Disponível em: <<http://www.lagossaojoao.org.br/>>. Acesso em: 30.12.2012.

CPRM. 2012. **Mapa Geológico de Cabo Frio**. Serviço Geológico do Brasil. Geobank. Disponível em: <http://geobank.sa.cprm.gov.br/>. Acesso em 15/11/2016.

CUNHA, A.M.; DIAS, F.F.; FONSECA, V.M.M. & CASTRO, J.W.A. 2011. **Assembleia de Moluscos da Região do Pântano do Ramalho, Cabo Frio, RJ: Indicadores Biológicos de Variação do Nível Relativo do Mar Durante o Holoceno**. Anuário do Instituto de Geociências 34(2): 46-52.

CUNHA, A.M.; CASTRO, J.W.A. & DIAS, F.F. 2012. **A Importância da Preservação das Acumulações Bioclásticas da Planície Costeira do Rio Una, Municípios de Cabo Frio e Armação dos Búzios, RJ, Brasil**. Anuário do Instituto de Geociências 35(1): 58-67.

CUNHA, A.M. 2012. **Malacofauna das acumulações bioclásticas holocênicas da bacia hidrográfica do rio Una, Cabo Frio e Armação dos Búzios, RJ: Identificação Taxonômica, Considerações Tafonômicas, Paleoambientais e Geocronologia**. Dissertação de Mestrado. Rio de Janeiro. Instituto de Geociências – UFRJ.

CUNHA, A.M. 2016. **Reconstituição paleoambiental das variações do nível relativo do mar durante a transgressão holocênica na bacia hidrográfica do rio Una, região de Cabo Frio - estado do Rio de Janeiro**. Tese de Doutorado. Rio de Janeiro. Instituto de Geociências – UFRJ.

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 de Doutorado. Rio de Janeiro. Instituto de Geociências – UFRJ.

GUERRA, J.V.; SCHMITT, R.S.; SOUZA, J.H.M.; SKREPNEK, C.C. & BENTES, A. M. L. 2005. **Sedimentologia das praias arenosas da região costeira situada entre o cabo frio e o cabo búzios: resultados preliminares**. X Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário. Anais. Guarapari.

HEILBRON, M.; SOARES, A.C.P.; CAMPOS, M.C.N.; SILVA, L.C; TROW, R.A.J; JANASI, V.A. 2004. **Província Mantiqueira**; p.203 – 235, em: MANTESSO-NETO, V.; BARTORELLI, A.; CARNEIRO, C.D.R. & BRITO NEVES, B.B. Geologia do Continente Sul-Americano: Evolução da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida. 1ed. São Paulo: Beca.

MARTIN L.; MÖRNER N.A.; FLEXOR J.M. & SUGUIO K. 1982. **Reconstrução de antigos níveis marinhos do quaternário**. Publicação Especial da Comissão Técnico-Científica do Quaternário, Sociedade Brasileira de Geologia. 154p.

MARTIN, L.; FLEXOR, J.M.; BLITZKOW, D. & SUGUIO, K. 1985. **Geoid change indication along the Brazilian coast during the last 7,000 years**. Coral Reef Congress 5. Tahiti. *Proceedings*, IGCP, Project 200, 3: 85-90.

MARTIN, L.; SUGUIO, K.; FLEXOR, J.M.; DOMINGUEZ, J.M.L. & BITTENCOUT, A.C.S.P. 1996. **Quaternary sea-level history and variation in dynamics along the central**

*brazilian coast: consequences on coastal plain construction.* Anais da Academia Brasileira de Ciências 1: 163-176.

MARTIN, L.; SUGUIO, K.; DOMINGUEZ, J.M.L. & FLEXOR, J.M. 1997. **Geologia do Quaternário Costeiro do Litoral Norte dos Estados do Rio de Janeiro e Espírito Santo.** Rio de Janeiro, RJ: CPRM / FAPESP. 104 p.

MARTIN L.; DOMINGUEZ J.M.L. & BITTENCOURT A.C.S.P. 2003. *Fluctuating Holocene sea levels in eastern and southeastern Brazil: evidence from a multiple fossil and geometric indicators.* *Journal of Coastal Research* 19:101-124.

MEZZALANA, S. 1982. **A ocorrência de ossadas semi-fossilizadas de baleias, no litoral paulista. Município de Praia Grande.** Revista do Instituto de Geociências 3(1): 37-38.

MIALL, A.D. 1997. *The geology of stratigraphic sequences.* Springer: Verlag. New York. 433 p.

MÖRNER, N.A. - 1980 - *Eustasy and geoid changes as a function of core mantle changes;* p. 535-553, em: MORNER, N.A. (ed.) *Earth rheology, isostasy and eustasy.* Londres: John Wiley & Sons.

OLIVEIRA, C.A. 2016. **Estudo dos vermetídeos fósseis como indicadores de paleonível do mar durante o holoceno na Enseada dos Anjos, Arraial do Cabo, Rio de Janeiro: Aspectos geocronológicos, altimétricos e paleoecológicos.** Dissertação de Mestrado. Rio de Janeiro. Instituto de Geociências – UFRJ.

PEZZO, M. 2002. **Datação por Carbono-14.** Univerciência. Dezembro.

POSAMENTIER, H.W. & VAIL, P.R. 1988. *Eustatic control on clastic deposition II – sequences and system tracts;* p.125-154, em: WILGUS, K.C.; HASTINGS, B.S.; ROSS, C.A.; POSAMENTIER, H.; VAN WAGONER, J.; & KENDALL, C.G. St.C. (eds). *Sea-level Changes: an Integrated Approach.* Society of Economic Paleontologists, Mineralogists. Spec. Publ. 42.

SANT'ANA, E.M. 1975. **Estudo geomorfológico da área da Barra de São João e Morro de São João.** Revista Brasileira de Geografia. 37(3): 3-15.

SAVI, D.C. 2007. **Erosão e Acresção Costeira na Enseada dos Anjos, Arraial do Cabo, RJ.** Revista Brasileira de Geofísica 25(1): 91-99.

SEVERIANO RIBEIRO, H.J.P. 2001. **Estratigrafia de Sequências – Fundamentos e Aplicações.** São Leopoldo: Unisinos. p. 99-134/305-339

SUGUIO, K. & MARTIN, L. 1976. **Presença de tubos fósseis de "Callianassa" nas formações quaternárias do litoral paulista e sua utilização na reconstrução paleoambiental.** Boletim do Instituto de Geociências da USP 7:17-26.

SUGUIO, K.; MARTIN, L. & FLEXOR, J.M. 1980. *Sea level fluctuations during the past 6000 years along the coast of the state of São Paulo, Brazil;* p. 471-486, em: MORNER, N.A. (ed.). *Earth Rheology, Isostasy and Eustasy.* Wiley: Chichester.

SUGUIO, K.; RODRIGUES, S.A.; TESSLER, M.G. & LAMBOOY, E.E. 1984. **Tubos de Ophiomorpha e outras feições de bioturbação na Formação Cananéia, Pleistoceno da planície costeira Cananéia-Iguape, SP;** p.111-122, em: LACERDA, L.D.; ARAÚJO, D.S.

D.; CERQUEIRA, R.& TURCQ, B. (org.). Restingas, origem, estrutura, processos. Rio de Janeiro: UFF.

SUGUIO, K.; MARTIN, L.; BITTENCOURT, A.C.S.P.; DOMINGUEZ, J.M.L.; FLEXOR, J.M.& AZEVEDO, A.E.G. 1985. **Flutuações do nível relativo do mar durante o Quaternário superior ao longo do litoral brasileiro e suas implicações na sedimentação costeira.** Revista Brasileira de Geociências 4: 273-286.

SUGUIO, K.& MARTIN, L. 1985. **Classificação de costas e evolução geológica das planícies litorâneas quaternárias do sudeste e sul do Brasil.** ACIESP (Orgs.). Simpósio de ecossistemas da costa sul e sudeste Brasileira. Anais 1: 1-28.

SUGUIO, K.; MARTIN, L. & FLEXOR, J.M. 1988. *Quaternary sea-levels of the Brazilian coast: Recent progress.* Episodes 11: 203-208.

SUGUIO, K. 1993. *Holocene relative sea-level changes along the Central Brazilian and Japanese Coasts: Possible significance of their similarities and differences.* Anais da Academia Brasileira de Ciências 65: 271-278.

SUGUIO, K.; BEZERRA, F.H.R.& BARRETO, A.M.F. 2011. *Luminescence dated Late Pleistocene wave-built terraces in Northeastern Brazil.* Anais da Academia Brasileira de Ciências 83(3):907-920.

SCHMITT, R.S. 2001. **Orogenia Búzios: Um evento tectono-metamórfico Cambro-Ordoviciano caracterizado no Domínio Tectônico de Cabo Frio, Faixa Ribeira, Sudeste do Brasil.** Tese de Doutorado. Rio de Janeiro. Instituto de Geociências – UFRJ.

TURCQ, B.; MARTIN, L.; FLEXOR, J.L.; SUGUIO, K.; PIERRE, C.& TASAYACO-ORTEGA, L. 1999. *Origin and evolution of the Quaternary coastal plain between Guaratiba and Cabo Frio, State of Rio de Janeiro;* p.25-46, em: KNOPPERS, B.A.; BIDONE, E.D.& ABRÃO, J.J.(Eds.). *Environmental Geochemistry of Coastal Lagoon Systems.*Série Geoquímica Ambiental. Niterói: EDUFF.

VALENTIN, H. 1952. *Die Küsten der Erde, Petermanns.* Geog. Mitt. Erg.246. Gotha: Justus Perthes.118p.

VALENTIN, J.L. 1984. *Analyses des paramètres hydrobiologiques dans la remontée de Cabo Frio (Brésil).* Marine Biology.82: 259-276.