

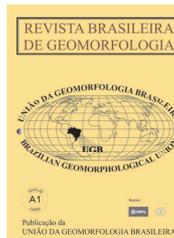


www.ugb.org.br  
ISSN 2236-5664

## Revista Brasileira de Geomorfologia

v. 22, nº 1 (2021)

<http://dx.doi.org/10.20502/rbg.v22i1.1840>



### MODELO DE RECONSTITUIÇÃO PALEOAMBIENTAL TRIDIMENSIONAL DAS FLUTUAÇÕES DO NÍVEL RELATIVO DO MAR DURANTE O HOLOCENO NA REGIÃO DOS LAGOS FLUMINENSES - SUDESTE BRASILEIRO

### 3D PALEOENVIRONMENT MODELLING OF HOLOCENE SEA LEVEL FLUCTUATIONS ALONG THE LAGOS FLUMINENSES REGION – SOUTHEAST BRAZIL

**Felipe de Melo Barreto Pereira**

*Programa de Pós-graduação em Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro  
Av. Athos da Silveira Ramos, 274, Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. CEP: 21.941-916. Brasil  
ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-9527-6074>  
E-mail: felipemelo7@hotmail.com*

**José Carlos Sícoli Seoane**

*Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro  
Av. Athos da Silveira Ramos, 274, Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. CEP: 21.941-916. Brasil  
ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-7728-3764>  
E-mail: cainho@geologia.ufrj.br*

**Aline Meneguci da Cunha**

*Laboratório de Geologia Costeira, Sedimentologia e Meio Ambiente - Museu Nacional - UFRJ  
Quinta da Boa Vista, São Cristóvão, Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. CEP: 20940-040. Brasil  
ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-2924-0350>  
E-mail: aline.meneguci@gmail.com*

**João Wagner de Alencar Castro**

*Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro  
Av. Athos da Silveira Ramos, 274, Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. CEP: 21.941-916. Brasil  
ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-8955-5971>  
E-mail: jwacastro@gmail.com*

**Renato Rodriguez Cabral Ramos**

*Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro  
Av. Athos da Silveira Ramos, 274, Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. CEP: 21.941-916. Brasil  
ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-4023-6301>  
E-mail: rramos@mn.ufrj.br*

## Informações sobre o Artigo

Recebido (Received):  
27/05/2020  
Aceito (Accepted):  
06/11/2020

### Palavras-chave:

Holoceno; Variações do Nível Relativo do Mar; Sensoriamento Remoto; Sedimentologia; Modelo Digital de Elevação; *Unity 3D*.

### Keywords:

Holocene; Variations in the Relative Sea Level; Remote Sensing; Sedimentology; Digital Elevation Model; *Unity 3d*.

## Resumo:

As variações do nível relativo do mar (VNRM) tiveram um papel importante na formação das planícies costeiras fluminenses durante o Holoceno, sendo responsáveis pela construção de extensas feições deposicionais costeiras na Região dos Lagos. Modelos de reconstituição paleoambiental tridimensionais de VNRM são importantes para entender a evolução sedimentar costeira em ambientes formados por cordões litorâneos, lagunas, deltas, estuários, pântanos e ilhas barreiras, que são feições geomorfológicas comuns no litoral brasileiro. Objetivase desenvolver um modelo tridimensional de reconstituição paleoambiental na região da planície costeira de Cabo Frio, Rio de Janeiro. Como procedimento metodológico, realizou-se levantamento faciológico e análise sedimentológica em seis locais, em conjunto com análises de sensoriamento remoto. Os ambientes de sedimentação foram interpretados através de imagens de satélite e diante da correlação encontrada entre as análises sedimentológicas e geomorfológicas, sendo descrito o processo de elevação do nível relativo do mar que afetou a região em uma reconstituição paleoambiental tridimensional. Resultados obtidos através de datações por radiocarbono, sugerem que esses cenários paleoambientais ocorreram

entre 6.330 a 4.800 cal anos AP. Esse intervalo de tempo corresponde ao avanço do nível relativo marinho, entre o pico máximo holocênico e o processo inicial de descida do nível relativo do mar. O cenário apresentado pela paleoreconstituição ambiental tridimensional da VNRM, que afetou a região durante o Holoceno, ilustra como um processo de transgressão marinha evolui e afeta a porção emersa de uma bacia sedimentar costeira, deixando inúmeras evidências geomorfológicas, sedimentológicas e registros fossilíferos.

## Abstract:

Relative sea level variations (VNRM) played an important role in the formation of the coastal plains of Rio de Janeiro during the Holocene, as transgressive and regressive processes were responsible for shaping the geomorphology of the extensive coastal sedimentary basins of the *Região dos Lagos* area. Three-dimensional paleoenvironmental reconstitution models of VNRM are important to understand the coastal sedimentary evolution of a region, in environments consisting of coastal strands, lagoons, deltas, estuaries, swamps and barrier islands, which are common geomorphological features of the Brazilian coast. The objective is to develop a three-dimensional model of paleoenvironmental reconstruction in the coastal plain region of Cabo Frio, Rio de Janeiro. As a methodological procedure, faciological surveys and sedimentological analysis were carried out at six points in the studied area. The sedimentation environments were interpreted through satellite imagery, and due to the correlation found between sedimentological and geomorphological analyzes, the relative rise in sea level that affected the region is described in a three-dimensional paleoenvironmental reconstitution. Radiocarbon dating results available suggest ages between 6,330 to 4,800 cal years AP for the occurrence of these paleoenvironmental scenarios. This time interval corresponds to the beginning of an important marine transgression, a maximum holocene sea level and the posterior lowering of the relative sea level. The scenario presented by the three-dimensional environmental paleoreconstitution, referring to VNRM which affected the region during the Holocene, illustrates how a transgressive process affects a coastal sedimentary basin, leaving abundant geomorphological and sedimentological evidence and fossil record.

## 1. Introdução

Modelos de reconstituição paleoambiental envolvendo flutuações do nível relativo do mar durante o Holoceno são escassos na região dos Lagos Fluminenses (Dias *et al.*, 2009; Dias *et al.*, 2014; Dillenburg *et al.*, 2014; Castro *et al.*, 2014; Spotorno-Oliveira *et al.*, 2016; Dillenburg *et al.*, 2017; Cunha *et al.*, 2017 e Barboza *et al.*, 2018). Essas reconstituições utilizaram indicadores geológicos e biológicos de VNRM no plano vertical (altimetria) entre estes, vermetídeos fósseis (*Petalocochnus varians*) e rochas de praia (*beachrocks*). No plano horizontal (inundação marinha), destacam-se depósitos sedimentares de conchas de moluscos (*Ano-*

*al.*, 2016; Dillenburg *et al.*, 2017; Cunha *et al.*, 2017 e Barboza *et al.*, 2018). Essas reconstituições utilizaram indicadores geológicos e biológicos de VNRM no plano vertical (altimetria) entre estes, vermetídeos fósseis (*Petalocochnus varians*) e rochas de praia (*beachrocks*). No plano horizontal (inundação marinha), destacam-se depósitos sedimentares de conchas de moluscos (*Ano-*

*malocardia brasiliana*) e cordões litorâneos paralelos à linha de costa. Esses registros bióticos e abióticos encontram-se posicionados em diferentes níveis altimétricos e batimétricos, marcando a subida e descida do nível relativo marinho.

Castro *et al.* (2014) propuseram uma curva de variação do nível relativo do mar para o litoral do estado do Rio de Janeiro, envolvendo todo o Holoceno. De forma pioneira, foi identificado na costa brasileira um registro negativo de NRM no final do Pleistoceno e início do Holoceno, sendo utilizado como indicador o alinhamento de linhas de praias pretéritas, registrado por *beachrocks* submersos. Após a transição do Pleistoceno-Holoceno, iniciou-se um processo de subida, similar a outras curvas propostas para a costa leste do Brasil (Suguio *et al.*, 1985; Martin *et al.*, 2003; Angulo *et al.*, 1999; Angulo *et al.*, 2006). Todos os indicadores de projeção vertical identificados, entre estes, *beachrocks*, vermetídeos e cracas, foram georeferenciados por GNSS de alta precisão altimétrica, corrigido pela rede de referência de nível - RRNN do sistema geodésico brasileiro, mantida pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE.

Segundo Castro *et al.* (2014), na Região dos Lagos fluminenses, no final da época Pleistocênica e o início da época Holocênica, o nível relativo do mar encontrava-se a 4,5 m abaixo do atual. Há cerca de 8.500 anos cal AP, o nível relativo do mar já era verificado em 0,5m abaixo do nível marinho que temos atualmente. O nível do mar médio atual, ultrapassou pela primeira vez durante o Holoceno há aproximadamente de 7.500 anos AP. Por volta de 5.500-4.500 cal anos AP, o nível relativo do mar alcançou a altura máxima de 2,50m acima do atual sendo considerado o primeiro máximo holocênico. Segundo os mesmos autores, a descida do nível relativo do mar que foi subsequente ao máximo relativo do nível marinho, levou à construção da planície costeira da região de Cabo Frio, resultando na progradação da linha de costa até os dias atuais.

Cunha *et al.* (2018) registraram indicadores de nível marinho na projeção horizontal, através de depósitos de conchas de moluscos distribuídos na borda dos pântanos costeiros da área de estudo, sendo identificadas do ponto de vista taxonômico duas assembleias, uma autóctone e a outra alóctone.

Cunha *et al.* (2017) analisaram oito fácies sedimentares distribuídas em seis afloramentos distribuídos ao longo do rio Una, cuja caracterização e interpretação foram muito importantes para elaboração de modelos

paleoambientais e reconstituição de cenários pretéritos. Dados geocronológicos, obtidos por esses autores, sugerem idades por radiocarbono entre 6.335 a 4.800 cal anos AP correspondentes aos eventos referentes à subida do nível relativo do mar holocênico ocorrida na área de estudo.

Trabalhos de reconstituição paleoambiental de ambientes costeiros envolvendo modelo 3D requerem levantamentos estratigráficos (faciológicos), análise de dados altimétricos (geomorfológicos), análise de indicadores geológicos e biológicos, datações ao radiocarbono (<sup>14</sup>C), complementados por programas computacionais envolvendo geoprocessamento e elaboração de MDEs. Com base nessas informações elaborou-se um modelo de reconstituição paleoambiental em 3D envolvendo as diversas flutuações holocênicas do nível marinho, ocorrida na região de Cabo Frio (Figura 1).

## **2. Condicionantes Geomorfológicos e Geológicos**

A área de estudo está inserida no Domínio Região dos Lagos, que é a parte mais oriental da província Mantiqueira definida por Almeida *et al.* (1981), constituída por rochas ortognáissicas de idade paleoproterozóica do Complexo Região dos Lagos e por rochas paragnáissicas supracrustais de idade mesoproterozóica do Complexo Búzios (Silva & Cunha, 2001). De acordo com Schmitt (2001), o Domínio Região dos Lagos sofreu metamorfismo durante um evento colisional sobre o Domínio Serra do Mar durante a colagem Brasileira, ocorrida no Cambriano.

A Formação Barreiras, que ocupa a região costeira do litoral brasileiro desde o estado do Amapá até o Rio de Janeiro, é caracterizada por depósitos sedimentares clásticos neogênicos em forma de tabuleiros e falésias costeiras (Figura 13). Constituem depósitos arenosos de aspecto mosqueado decorrente de acentuada ferruginização, com presença de sedimentos pelíticos bastante bioturbados e pedogenizados. A idade do depósito é atribuída ao Mioceno-Plioceno (CPRM, 2012). Conforme Martin *et al.* (1997), a deposição dos sedimentos incluídos na Formação Barreiras se deu em um clima semiárido, com ocorrência de chuvas esporádicas, que formaram amplas faixas de leques aluviais posicionadas ao sopé das encostas. Durante esse período, o nível do mar estaria situado abaixo do nível atual, ocasionando a deposição e um entulhamento na plataforma continental, cujos depósitos após a subida do nível do mar foram erodidos, formando extensas falésias costeiras.

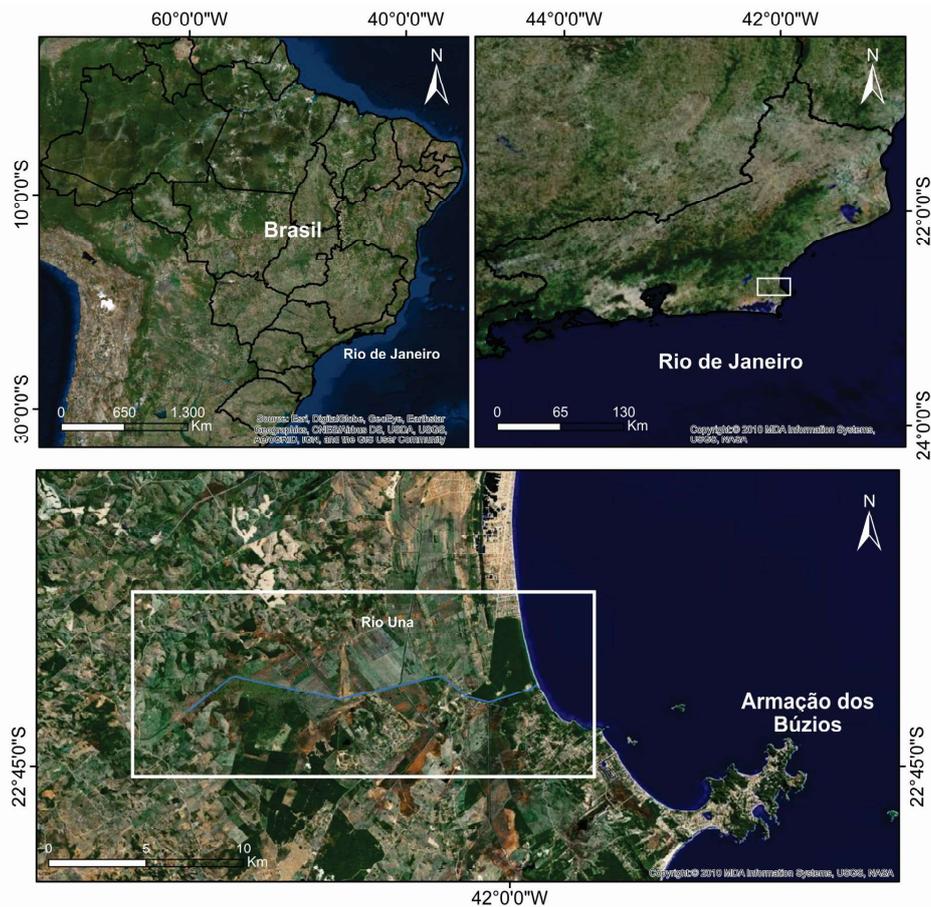


Figura 1 - Localização da área de estudo no contexto do estado do Rio de Janeiro, Região Sudeste.

Os depósitos quaternários são caracterizados por sedimentos continentais e marinhos com idades referentes às épocas pleistocênicas e holocênicas. Depósitos de idade pleistocênicos caracterizam-se por planícies com a constituição de sedimentos arenosos com coloração acastanhados em profundidade e esbranquiçada na superfície, devido à presença de matéria orgânica (Martin *et al.*, 1997). A altitude das planícies costeiras, em porções mais internas, pode variar de 8,0 a 10m de altitude, que vai diminuindo em direção ao oceano (Martin *et al.*, 1997). Os vales são ocupados pelos rios São João e Una. Segundo Castro *et al.* (2009), as planícies holocênicas são caracterizadas por terrenos baixos e pantanosos, datados com idade aproximada de 5.100 anos AP, formados por sedimentos lamosos ricos em matéria orgânica. Registra-se também nesses depósitos a ocorrência de grande quantidade de conchas de moluscos que são comumente encontradas em ambientes lagunares.

A bacia hidrográfica do rio Una está inserida em um contexto de cordões litorâneos regressivos, com

consecutivas paleolinhas de costas (cordões litorâneos) empilhadas em direção à atual linha de costa. Segundo Tamura *et al.* (2008), a geomorfologia de cordões litorâneos regressivos consiste em uma migração de barras arenosas em direção à zona submarina e, desta forma, os depósitos de praia avançam sobre os depósitos de antepaia gerando a arquitetura de uma barreira regressiva. Toda a área estudada é composta por cordões litorâneos regressivos e está limitada ao sul pelas rochas do Pontal do Pai Vitório e ao norte pela bacia hidrográfica do rio São João.

Segundo Cunha (2016), na bacia hidrográfica do rio Una foi possível identificar diversas evidências de oscilações do nível do mar, principalmente, nas planícies de inundação e nos ambientes pantanosos. Essas evidências são caracterizadas por camadas ricas em bioclastos, fragmentos de bolachas-do-mar (*Clypeasteroidea*), carapaças de crustáceos e conchas de moluscos. Sant'Ana (1975) registrou pioneiramente a ocorrência de acumulações bioclásticas compostas predominantemente por conchas de moluscos, e as associou ao

máximo relativo do nível do mar ocorrido por volta de 5.000 anos AP.

### 3. Materiais e Métodos

Seguindo uma linha de pesquisa semelhante à abordada por Cunha *et al.* (2017), foram analisadas as informações dos perfis estratigráficos, as tabelas de fácies e os dados geocronológicos, para elaborar um modelo de reconstituição paleoambiental da bacia hidrográfica do rio Una.

Os perfis estratigráficos de Cunha *et al.* (2017) foram elaborados em seis localidades com características distintas entre si, tanto no aspecto geomorfológico e sedimentar, como no contexto da dinâmica fluvial e costeira. Cada um dos afloramentos estudados representa a diversidade sedimentar, gerada pela dinâmica fluvial e costeira atuando conjuntamente. Essa dinâmica registrada nos processos sedimentares, está representada em locais próximos e distantes da linha de costa atual, sejam eles, na margem do curso atual do rio Una, em planícies pantanosas e vales protegidos.

Para organizar e contextualizar as informações contidas nos perfis, as litofácies, inicialmente identificadas por Cunha *et al.* (2017), foram parcialmente reinterpretadas. As amostras coletadas em campo foram analisadas em laboratório e submetidas a testes granulométricos e análises com lupa binocular.

As fácies com conteúdo fossilífero, constituídas por conchas de moluscos misturadas aos sedimentos siliciclásticos, serviram como a principal evidência do

avanço do nível marinho durante o Holoceno. Estas amostras datadas pelo método por radiocarbono ( $^{14}\text{C}$ ) tiveram suas idades apresentadas em Castro *et al.* (2014) e Cunha *et al.* (2017).

Os dados geocronológicos de Castro *et al.* (2014) e Cunha *et al.* (2017) foram recalibrados a partir da metodologia proposta por Alves *et al.* (2015), que utilizaram dados mais confiáveis para o procedimento de datação, pois os valores calculados de ( $\Delta R$ ) são provenientes de amostras de conchas de moluscos coletadas vivas na Região dos Lagos fluminenses, em 1940. Essas conchas constituem parâmetros importantes por terem sido coletadas antes do início dos testes de armas nucleares de 1950, período onde houve um grande pico de concentração de  $^{14}\text{C}$  na atmosfera.

Seguindo para a abordagem espacial da área de estudo, foram interpretadas imagens de satélites, através do *software Google Earth* na escala 1: 400, de um conjunto de cordões litorâneos (paleolinhas de costa), meandros abandonados, paleocanais e pântanos que denotam as variações do nível relativo do mar e a dinâmica fluvial do rio Una. Essa etapa do trabalho teve como objetivo identificar registros regressivos e transgressivos do nível marinho na área de estudo (Figura 2). A região conta com uma grande densidade de paleolinhas de costas, que são registros geomorfológicos de mar regressivo, formados durante a descida do nível do mar. Através da análise dessas paleolinhas de costas é possível identificar o território inundado durante o processo de transgressão marinha.

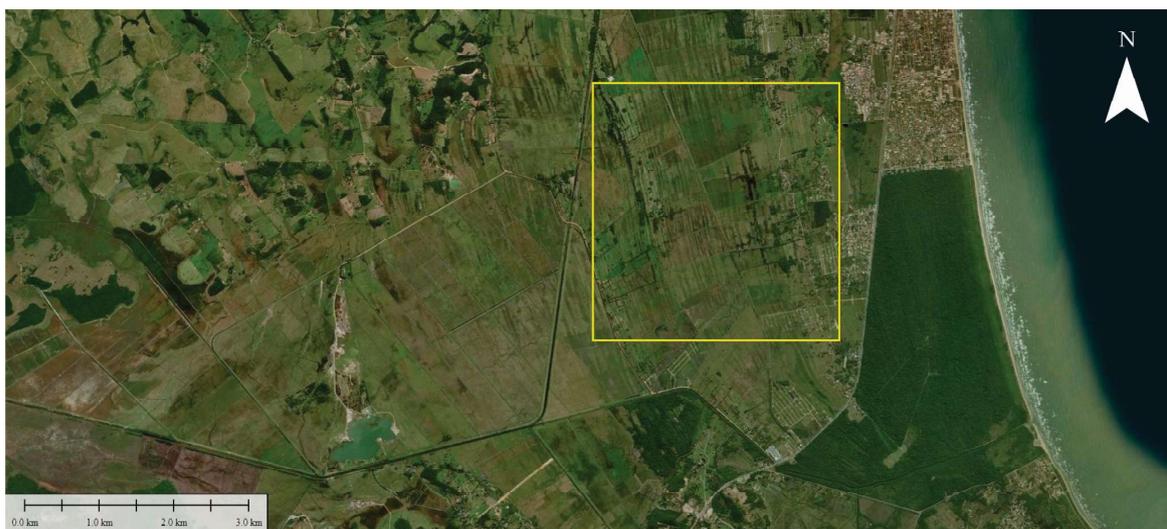


Figura 2 - Visão geral das feições geomorfológicas identificadas na área de estudo, onde é possível observar uma grande densidade de cordões litorâneos na área destacada.

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. As folhas de interesse foram as 2747-2-SE, 2747-4-NE, 2748-1-SO e 2748-3-NO, que se encontram disponibilizadas em um arquivo de formato XYZ. Através do *ArcGis*® 10.1 foram realizadas as conversões para *Raster* dos arquivos XYZ, georreferenciamento de *Datum* e mosaico entre elas, gerando-se, assim, um MDE da área de estudo.

Nos procedimentos de simulação das variações do nível relativo do mar durante o Holoceno, foi utilizado o *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 altimétricas (z) em diferentes épocas. Foram simulados alagamentos decorrentes da transgressão holocênica a partir de informações obtidas em seis afloramentos ao longo da bacia hidrográfica do rio Una. Nessa etapa, considerou-se as condições geomorfológicas locais, entre estas os tabuleiros da Formação

Barreiras, cujas paleofalésias representam a extensão máxima da última transgressão marinha. Enfatiza-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 3). As irregularidades altimétricas atuais, decorrentes de processos naturais, entre estes as flutuações do nível do mar, a dinâmica sedimentar fluvial e, mais recentemente, as atividades antrópicas (retificação de canais e urbanização), alteraram a superfície do terreno, contribuindo de certa forma para a imperfeição do modelo, mas tornando-o fundamental para uma visualização prévia do comportamento da região. A aplicação do modelo exigiu pequenas alterações nos contornos altimétricos, facilitando assim a simulação do nível marinho em diferentes épocas. Os dados geocronológicos por radiocarbono contribuíram demasiadamente para aplicação do modelo computacional de variações do nível relativo do mar na área estudada.

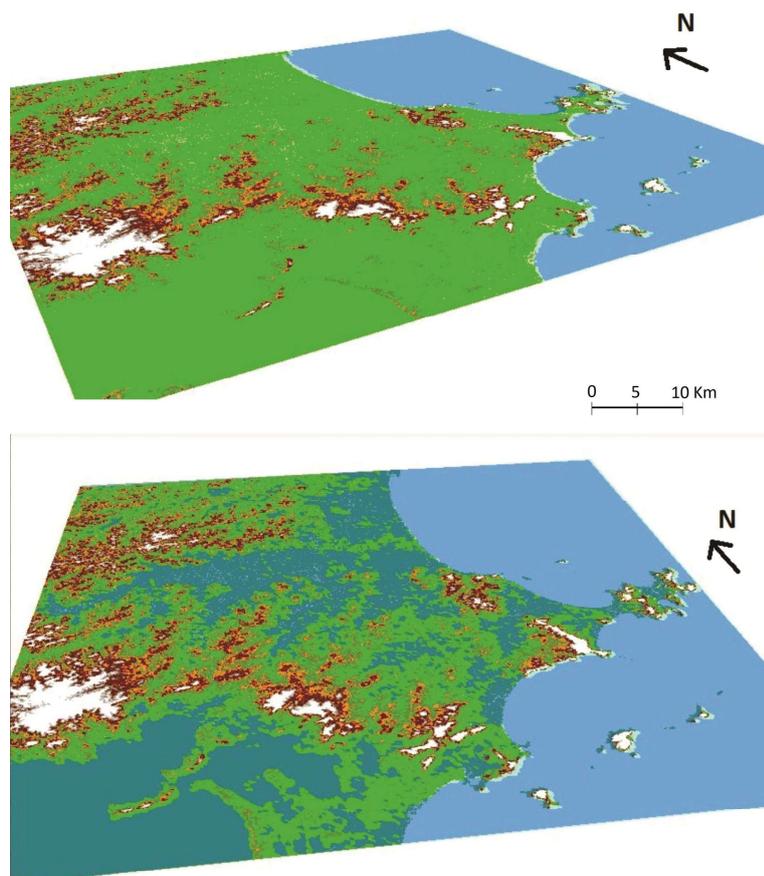


Figura 3 - Visão geral, com defeitos devido à limitação do método aplicado com *ArcScene*™ 10.1, do MDE da área de estudo sob efeito da transgressão.

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 tem a capacidade de efetuar modelagens de forma livre de feições geomorfológicas de terreno, possibilitando 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 holocênicos depositados durante regressão marinha que se iniciou há cerca de 4.800 anos cal. AP. Foi realizada uma interpretação do provável comportamento das drenagens e da topografia da região antes do evento transgressivo entre 6.330 a 4.800 anos cal. AP (Castro *et al.*, 2014). Levou-se em consideração as condições de contornos geomorfológicos impostas pela presença dos depósitos da Formação Barreiras e do embasamento cristalino, que se mantiveram preservados 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.

#### 4. Resultados e Discussões

Elaborou-se uma nova disposição para os perfis estratigráficos de Cunha *et al.* (2017) com o intuito de facilitar a correlação entre estes (Figura 4). As fácies e a escala referente a cada perfil estão padronizadas e organizadas de acordo com a sua distância para a linha de costa atual, sendo o perfil “A” mais próximo e o perfil “F” mais distante. Os pontos estudados são denominados: (A) Canal Marina Porto Búzios, (B) Pântano da Malhada, (C) Fazenda Campos Novos, (D) Pântano Trimumú, (E) Condomínio Portal de Búzios e (F) Fazenda Araçá (Figura 4).

Cada uma das litofácies analisadas detalhadamente constam na Tabela 1 a seguir.

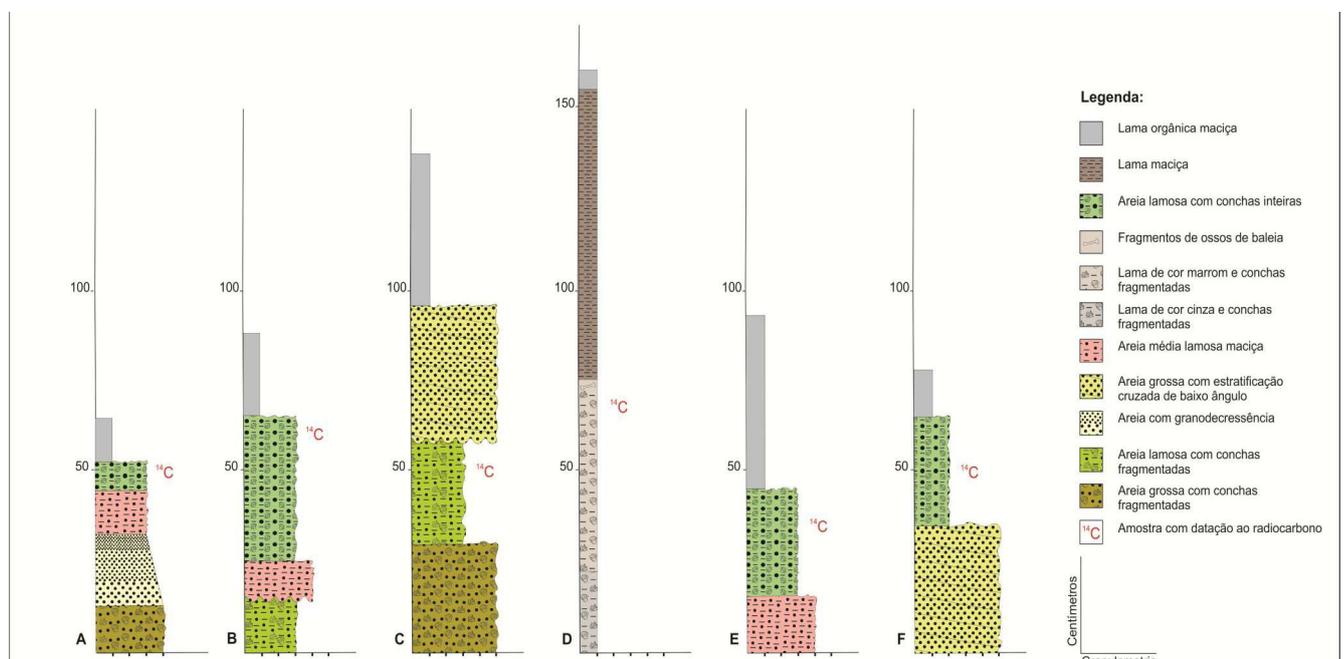


Figura 4 - Perfis estratigráficos ao longo da bacia hidrográfica do rio Una, Rio de Janeiro. (modificado de Cunha *et al.*, 2017).

Tabela 1: Descrição das litofácies identificadas por Cunha et al. (2017 modificado).

Código	Diagnose	Descrição	Interpretação	Localidade de ocorrência
LOm	Lama orgânica maciça	Lama de coloração escura, estrutura maciça, sem a presença de acumulações bioclásticas.	Depósito de decantação de finos em ambiente redutor, provavelmente lagunas formadas durante a regressão marinha ocorrida no holoceno. E nesse período as lagunas foram sendo transformadas de forma gradual em lagos de água doce, e em seguida, em pântanos (Martin et al., 1997 e Castro et al., 2014).	Todas as localidades investigadas.
Lm	Lama maciça	Lama maciça de coloração marrom.	Depósito com decantação de finos de uma zona de baixa energia. Pela posição do afloramento com relação a área de estudo, provavelmente é referente a deposição em um fundo de laguna.	Pântano do Trimumú.
Lcb	Lama com conchas fragmentadas	Lama maciça de coloração cinza na base e marrom no topo, com presença de conchas fragmentadas. Foi encontrado na parte superior de uma camada dessa litofácies um fragmento de osso de baleia.	O depósito pelítico com ocorrência de bioclastos fragmentados que sugerem ambiente de baixa energia, como um fundo de laguna, sendo que a fragmentação dos bioclastos de provável ocorrência devido à compactação da lama. A ocorrência do osso de baleia é interpretada como um provável encalhe do animal.	Pântano do Trimumú.
Ag	Areia com granodecrescência ascendente	Camadas gradando de areia média a fina, com grãos subarredondados.	Litofácies indicativa de fluxos com desaceleração de energia, em provável ambiente marinho raso.	Condomínio Portal de Búzios.
Ac	Areia com conchas fragmentadas	Areia grossa com grãos subarredondados, com fragmentos de conchas.	Depósito de praia, exposta a ação de ondas, que possibilitou por meio da abrasão com os grãos, a fragmentação desses materiais bioclásticos constituídos predominantemente por conchas de moluscos.	Canal Marina Porto Búzios, Fazenda Campos Novos.
Ae	Areia com estratificação cruzada de baixo ângulo	Areia grossa com grãos subangulosos, estratificação cruzada de baixo ângulo.	Depósito característico de ambiente de face de praia com ação direta das ondas.	Fazenda Campos Novos, Fazenda Araçá.
ALcr	Areia lamosa com conchas fragmentadas	Areia fina a média com grãos subarredondados, lamosa, presença de fragmentos de conchas fragmentados.	Depósito de ambiente lagunar com condições de transporte sedimentar restritas, com ocasional ação de ondas. O material bioclástico (conchas de moluscos) foi depositado em predominância nas bordas da paleolaguna.	Fazenda Campos Novos.

ALc	Areia lamosa com conchas inteiras	Areia fina a média lamosa, contendo conchas de bivalves articuladas e em posição de vida.	Depósito formado em ambiente de baixa energia, provavelmente uma enseada semifechada controlada pelas falésias da Formação Barreiras e colinas do embasamento. Subambientes distintos se desenvolveram nessa enseada. Segundo Martin <i>et al.</i> (1997) e Castro <i>et al.</i> (2014), representam depósitos característicos do máximo relativo do nível do mar.	Canal Marina Porto Búzios, Pântano da Malhada, Condomínio Portal de Búzios e Fazenda Araçá.
ALm	Areia lamosa maciça	Areias finas a médias de coloração cinza devido à abundante matriz lamosa, com grãos subarredondados.	Um ambiente mais restrito sem interferência da ação de ondas. Diante das características do material, sugere-se um ambiente lagunar, também proposto por Castro <i>et al.</i> (2014).	Pântano da Malhada, Condomínio Portal de Búzios.

A Tabela 2 apresenta seis datações por radiocarbono envolvendo os afloramentos estudados com idades calibradas e corrigidas pela metodologia de Alves *et al.* (2015). Verificou-se uma diferença de aproximadamente 300 anos entre os valores apresentados por Castro *et al.* (2014) e Cunha *et al.* (2017) e os valores recalibrados neste trabalho.

A subida do nível relativo marinho durante o Holoceno foi limitada por condições geomorfológicas e geológicas diante do contato com: o embasamento

paleoproterozoico, os depósitos da Formação Barreiras e os cordões litorâneos no entorno da bacia hidrográfica do rio Una. A Figura 5 apresenta um MDE da área das bacias hidrográficas dos rios Una e São João. Observa-se a grande inundação marinha ocorrida no intervalo entre 6.251 a 4.800 cal anos AP, durante a subida do nível relativo do mar (Cunha, 2016). Nesse período, foi registrado que o nível relativo do mar alcançou uma altura máxima entre 2,50 a 3,0 m acima do atual (Castro *et al.*, 2014 e Cunha, 2016).

**Tabela 2: Datações pelo método de radiocarbono <sup>14</sup>C nos seis locais abordados na pesquisa.**

Código da amostra	Laboratório	Localização	Tipo de amostra	Coordenadas geográficas	Idade convencional	Idade calibrada 2 sigma
LAGECOST 71	Beta Analytic Inc. 310447	Canal Marina Porto Búzios *	<i>Anomalocardia brasiliiana</i>	22° 45' 48.9" S 41° 57' 27.8" W	5.460 ± 40 AP	5.617 a 5.860 anos cal. AP
LAGECOST 1456	Head of Radiation Hygienic Monitoring Laboratory	Pântano da Malhada*	<i>Anomalocardia brasiliiana</i>	22° 45' 10" S 41° 59' 55" W	5.540 ± 70 AP	5.642 a 5.972 anos cal AP
LAGECOST 4	Beta Analytic Inc 365495	Fazenda Campos Novos	<i>Anomalocardia brasiliiana</i>	22° 43' 25" S 42° 1' 51" W	4.630 ±30 AP	4.618 a 4.828 anos cal. AP
LAGECOST SHELL	Beta Analytic Inc 332409	Condomínio Portal de Búzios*	<i>Anomalocardia brasiliiana</i>	22° 44' 53" S 42° 03' 29" W	5.780 ± 70 AP	5.925 a 6.251 anos cal. AP
LAGECOST 2	Beta Analytic Inc. 332412	Pântano do Trimumu	<i>Anomalocardia brasiliiana</i>	22° 43' 45" S 42° 5' 18" W	5.000 ±30 AP	5.069 a 5.310 anos cal AP
LAGECOST 81	Beta Analytic Inc. 322411	Fazenda Araçá *	Conchas	22° 42' 52" S 42° 04' 27" W	5.490 ± 30 AP	5.662 a 5.872 anos cal AP

\*Idades obtidas por Castro *et al.* (2014) as demais idades foram obtidas por Cunha *et al.* (2017).

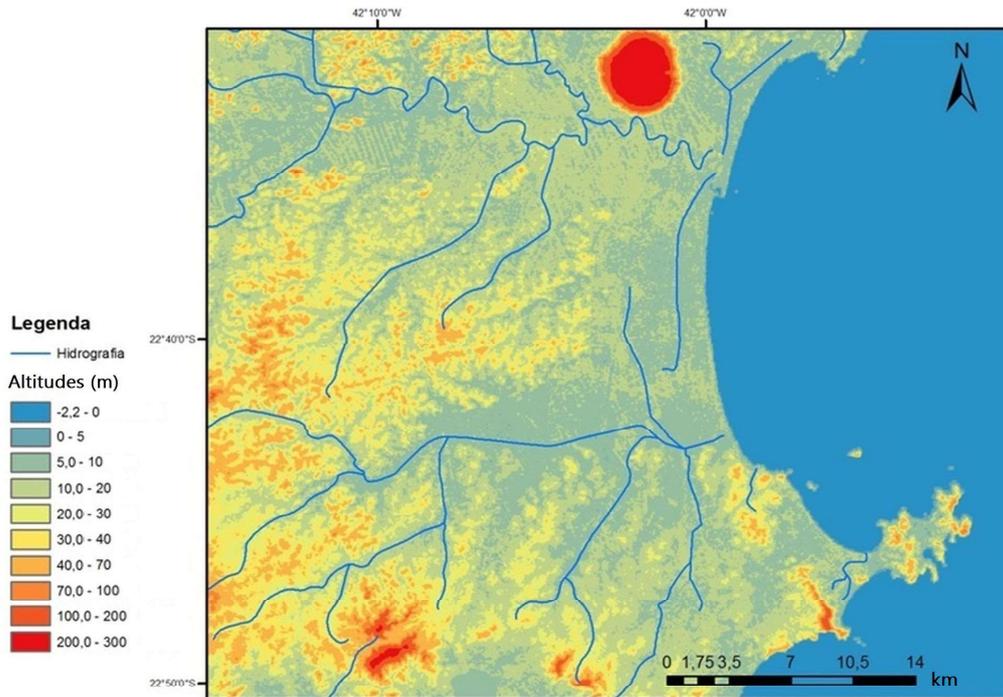


Figura 5 - Modelo digital de elevação (MDE) gerado para a área de estudo.

A partir dos dados sedimentológicos, geocronológicos e altimétricos foi elaborado o modelo de reconstrução paleoambiental em 3D, envolvendo a transgressão marinha holocênica na bacia hidrográfica do rio Una. Na Figura 6, observa-se a elevação do nível marinho em direção ao continente, cuja evolução ocorre com o extravasamento dos rios durante o avanço de águas marinhas até que seja alcançado o seu estágio máximo do nível relativo do mar. O modelo apresenta dados por radiocarbono entre 6.251-4.800 anos cal AP que, nesse período, registra-se o início da subida do nível relativo marinho e o pico máximo de elevação do nível relativo do mar deste processo.

O modelo 3D paleoambiental acima possui correspondência com os estágios “F”, “G” e “H” do modelo geral de evolução geológica das planícies costeiras das porções leste e nordeste do litoral brasileiro (Figura 7), desenvolvido por Martin *et al.* (1996) e Suguio *et al.* (2005).

## 5. Conclusão

Através das informações de datações por radiocarbono em conchas de *Anomalocardia brasiliensis*, que foram identificadas em todos os perfis estratigráficos apresentados, com idades obtidas variando entre 6.251 a 4.800 cal anos AP, segundo Cunha (2016). Esse intervalo de tempo corresponde ao início da elevação do nível do mar, o pico de elevação máxima durante o holocênico (*optimum* climático) e a descida subsequente do nível

relativo do mar. Essa transição do nível marinho, acarretou a mortandade em grande escala de conchas de moluscos, que podem ser encontradas em posição de vida em diversos pontos da área estudada. Com a descida do nível marinho relativo, subsequente levou à 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 *et al.* (1996) e Suguio *et al.* (2005). Verificou-se que o relevo da área de estudo desempenhou um importante papel no controle da inundação marinha ocorrida entre 6.335 a 4.800 cal anos AP. Destaca-se, na região de estudo, a correspondência com 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 voltaram a exercer um papel importante com a construção de deltas intralagunares. O estágio “H” é marcado pelo início da regressão até a posição atual, gerando a transformação das lagunas em lagoas, a seguir em pântanos, e posteriormente, os rios passaram a se conectar diretamente com o oceano. O controle geomorfológico decorrente da sedimentação proporcionou as condições necessárias para que fossem desenvolvidos ambientes marinhos restritos e ambientes marinhos abertos.



Figura 6 - Modelo 3D de reconstituição paleoambiental da Bacia Hidrográfica do Rio Una.

Os resultados alcançados, através do MDE, visam subsidiar e fornecer informações para uma colaboração em estudo de flutuações do nível marinho relativo durante a transgressão holocênica, que ocorreu há cerca de 6.335 a

4.800 cal anos AP no litoral Sudeste brasileiro. Ressalta-se a importância do desenvolvimento de novas pesquisas com mais detalhamento que possam definir com uma maior precisão a complexidade dos fatores abordados neste trabalho.

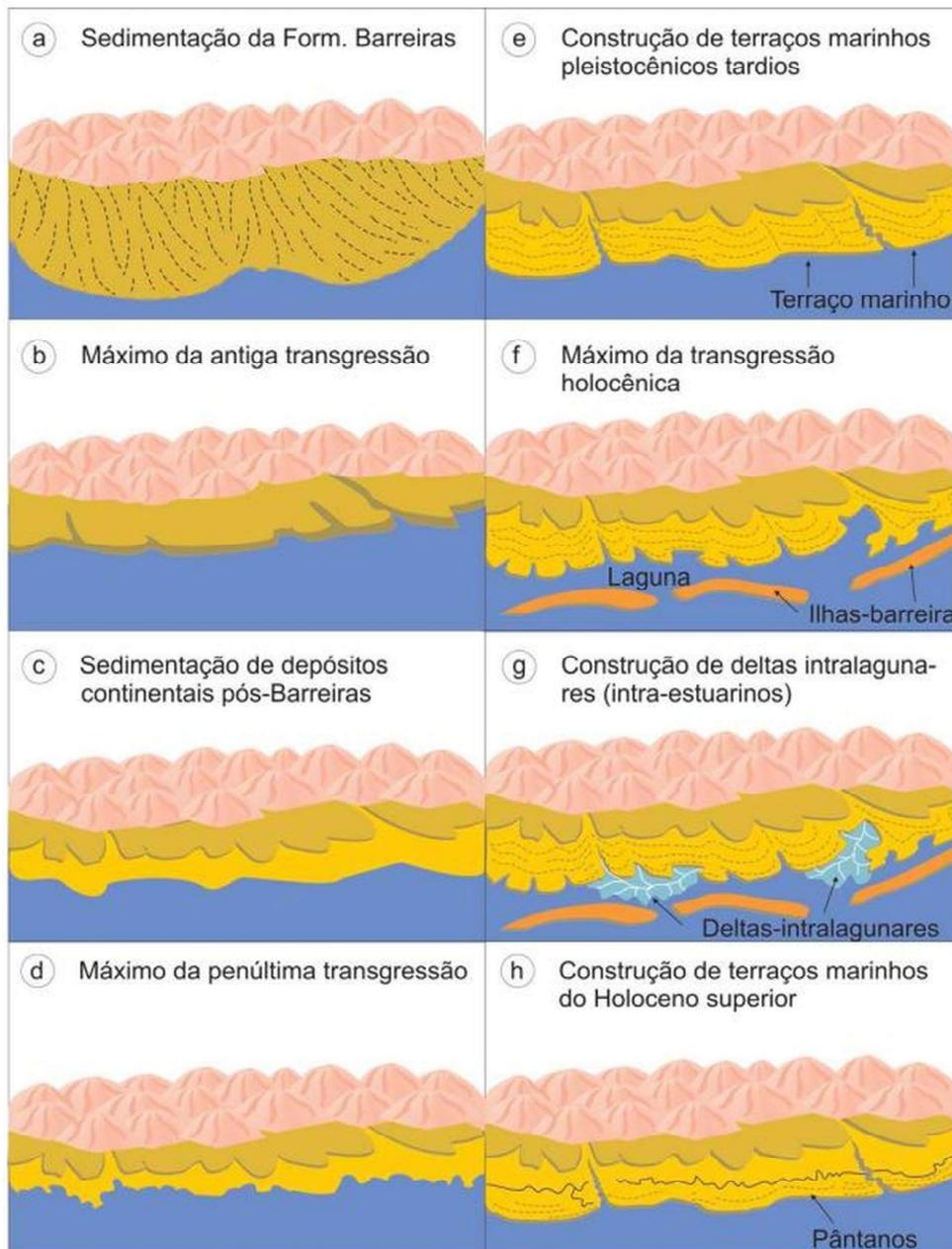


Figura 7 - Modelo geral de evolução geológica das planícies costeiras das porções leste e nordeste do litoral brasileiro durante o Quaternário, válido para o trecho entre o norte do Rio de Janeiro e o Rio Grande do Norte (Martin et al., 1996; Suguio et al., 2005 modificado).

### Referências Bibliográficas

ALMEIDA, F. F. M. O Cráton do Paramirim e suas relações com o do São Francisco. In: I Simpósio do Cráton do São Francisco e suas Faixas Marginais, 1, Salvador, 1991. Anais... Salvador, SBG, 1991. p. 1-10.

ALVES, E. Q.; MACARIO, K. D.; SOUZA, R. C. C. L.; AGUILERA, O.; GOULART, A. C.; SCHEEL-YBERT, R.; BACHELET, C.; CARVALHO, C.; OLIVEIRA, F. M.; DOUKA, K. Marine Reservoir Corrections on the Southeastern Coast of Brazil: Paired Samples from the Saquarema Shellmound. [Paraná]: Radiocarbon, v. 57, p. 517-525, 2015.

- ANGULO, R. J.; GIANNINI, P. C. F.; SUGUIO, K.; PESSEDA, L. C. R. **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*, v. 159, p. 327-339, 1999.
- ANGULO R. J.; LESSA, G. C.; SOUZA, M. C. **A critical review of mid- to late Holocene sea-level fluctuations on the eastern Brazilian coastline.** *Quaternary Science Reviews*, v. 25, p. 486-506, 2006.
- BARBOZA, E. G.; ROSA, M. L. C. C.; DILLENBURG, S. R.; WATANABE, D. S. Z.; ESTEVES, TAYNÁ.; MARTINS, E. M.; GRUBER, N. L. S. **Diachronic Condition Between Maximum Transgressive and Maximum Eustatic Sea-Level in Holocene: Subsides for Coastal Management.** *Journal of Coastal Research*, v. 85, p. 446-450, 2018.
- CASTRO, J. W. A.; SENRA, M. C. E.; RAMOS, R. R. C. **Coquinas da Paleolaguna da Reserva Tauá - Pântano da Malhada, Cabo Frio, RJ.** In: WINGE, M., SCHOBENHAUS, C., SOUZA, C. R. G., BERBET-BORN, M., QUEIROZ, E. T., CAMPOS, D. A. (eds.). **Sítios Geológicos e Paleontológicos do Brasil.** CPRM, vol. II, SIGEP. Brasília: p. 269-276, 2009.
- CASTRO, J. W. A.; SUGUIO, K.; SEOANE, J. C. S.; CUNHA, A. M.; DIAS, F. F. **Sea-level fluctuations and coastal evolution in the state of Rio de Janeiro, southeastern Brazil.** *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, v. 86, n. 2, p. 671-683, 2014.
- CPRM (2012). Mapa Geológico de Cabo Frio. Serviço Geológico do Brasil. GeoSGB.
- CUNHA, A. M. **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 (Doutorado em Geologia). Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 2016. 163p.
- CUNHA, A. M.; CASTRO, J. W. A.; PEREIRA, F. M. B.; CARVALHO, M. A.; SUGUIO, K. **Variações do nível relativo do mar durante o holoceno na bacia do rio Una, Cabo Frio - Rio de Janeiro: aspectos sedimentológicos, faciológicos e geocronológicos.** *Revista Brasileira de Geomorfologia*, v. 18, p. 143-154, 2017.
- CUNHA, A. M.; CASTRO, J. W. A.; CARVALHO, M. A. **Holocene Shell Accumulations from the Cabo Frio Coastal Plain, Southeastern Brazil: Taxonomy, Taphonomy, Geochronology and Paleoenvironmental Implications.** *Ameghiniana*, v. 55, p. 55-74, 2018.
- DIAS, F. F. **Variações do nível relativo do mar na planície costeira de Cabo Frio e Armação dos Búzios – RJ: Reconstrução paleoambiental holocênica e cenários futuros.** Tese (Doutorado em Geologia), Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 2009. 146p.
- DIAS, L. F. L.; CASTRO, J. W. A.; SEOANE, J. C. S. **Transição Pleistoceno-Holoceno na Enseada dos Anjos, Arraial do Cabo – Rio de Janeiro: reconstituição paleoambiental 3D.** *Revista Brasileira de Cartografia*, v. 66, n. 5, p. 931-951, 2014.
- DILLENBURG, S. R.; BARBOZA, E. G.; HESP, P. A.; ROSA, M. L. C. C.; ANGULO, R. J.; SOUZA, M. C.; GIANNINI, P. C. F.; SAWAKUCHI, A. O. **Discussion: Evidence for a transgressive barrier within a regressive strandplain system: implications for complex response to environmental change- by Hein.** *Sedimentology* 60, 469-502. *Sedimentology (Amsterdam. Print)*, v. 61, p. 2205-2212, 2014.
- DILLENBURG, S. R.; BARBOZA, E. G.; ROSA, M. L. C. C.; CARON, F.; SAWAKUCHI, A. O. **The complex prograded Cassino barrier in southern Brazil: Geological and morphological evolution and records of climatic, oceanographic and sea-level changes in the last 7-6 ka.** *Marine Geology*, v. 390, p. 106-119, 2017.
- MARTIN, L.; SUGUIO, K.; FLEXOR, J-M.; DOMINGUEZ, J. M. L.; BITTENCOURT, A. C. S. P. **Quaternary sea-level history and variation in dynamics along the central brazilian coast: consequences on coastal plain construction.** *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, v.1, p. 163-176, 1996.
- 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.** Belo Horizonte CPRM / FAPESP. p. 104. 2 mapas.
- MARTIN, L.; DOMINGUEZ J. M. L.; BITTENCOURT, A. C. S. P. **Fluctuating Holocene sea levels in eastern and southeastern Brazil: evidence from multiple fossil and geometric indicators.** *Journal of Coastal Research*, v. 19, p. 101-124, 2003.
- SANT'ANA, E. M. **Estudo geomorfológico da área da Barra de São João e Morro de São João.** *Revista Brasileira de Geografia*, v. 37, n. 3., p. 3-15, 1975.
- SCHMITT, R. S. **Orogenia Búzios: um evento tectonometamórfico Cambro-Ordoviciano caracterizado no Domínio Tectônico de Cabo Frio, Faixa Ribeira, Sudeste do Brasil.** Tese (Doutorado em Geologia). Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 2001. 73p.

- SILVA, L. C.; CUNHA, H. C. S. **Geologia do Estado do Rio de Janeiro**. CPRM, CD-ROM, 2001.
- SPOTORNO-OLIVEIRA, P., FIGUEIREDO, M. A. O. & TÂMEGA, F. T. S. **Coralline algae enhance the settlement of the vermetid gastropod *Dendropoma irregulare* (d'Orbigny, 1842) in the southwestern Atlantic**. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, v. 471, p. 137-145, 2015.
- SUGUIO, K.; MARTIN, L.; BITTENCOURT, A. C. S. P.; DOMINGUEZ, J. M. L.; FLEXOR, J.-M.; AZEVEDO, A.E.G. **Flutuações do nível relativo do mar durante o Quaternário superior ao longo do litoral brasileiro e suas implicações na sedimentação costeira**. *Revista Brasileira de Geociências*. v. 4, p. 273-286, 1985.
- SUGUIO, K.; ANGULO, R. J.; CARVALHO, A. M.; CORRÊA, I. C. S.; TOMAZELI, L. J.; WILLWOCK, J. A.; VITAL, H. (2005) **Paleoníveis do mar e paleolinhas da costa**. In: SOUZA, C. R. G.; SUGUIO, K.; OLIVEIRA, A. M. S.; OLIVEIRA, P. E. (eds.), *Quaternário do Brasil*. Holos Editora, Ribeirão Preto: 378p.
- TAMURA, T.; MURAKAMI, F.; NANAYAMA, F.; WATANABE, W.; SAITO, Y. **Ground-penetrating radar profiles of Holocene raised-beach deposits in the Kujukuri strand plain, Pacific coast of eastern Japan**. *Marine Geology*, v.248, p.11-27, 2008.