



Artigo de Pesquisa

O HISTÓRICO DAS INTERVENÇÕES HUMANAS NA BAÍA DE GUANABARA (BRASIL) E O REGISTRO DO ANTROPOCENO EM QUATRO UNIDADES SEDIMENTARES

THE HISTORY OF HUMAN INTERVENTIONS IN GUANABARA BAY (BRAZIL) AND THE ANTHROPOCENE RECORD IN FOUR SEDIMENTARY UNITS

Luiz Saavedra Baptista Filho¹, José Antônio Baptista Neto², Maria Virgínia Alves Martins^{3, 4}, Mauro Cesar Geraldes^{3*}

1 Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Departamento de Geografia Física, Instituto de Geografia, Rua São Francisco Xavier, 524, Maracanã, Rio de Janeiro, RJ, Brasil. (lsbf@oi.com.br)

2 Universidade Federal Fluminense, Niterói, Rio de Janeiro, RJ, Brasil. (jneto@igeo.uff.br)

3 Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Faculdade de Geologia, Rua São Francisco Xavier, 524, Maracanã, Rio de Janeiro, RJ, Brasil. (mauro.geraldes@gmail.com)

4 Universidade de Aveiro, Departamento de Geociências, GeoBioTec, Aveiro, Portugal. (virginia.martins@ua.pt)

*** AUTOR DE CORRESPONDÊNCIA:** MAURO.GERALDES@GMAIL.COM

José Antônio Baptista Neto - <http://orcid.org/0000-0002-3638-4435>

V. Martins - <http://orcid.org/0000-0001-8348-8862>

Mauro Geraldes - <http://orcid.org/0000-0003-2914-2814>

RECEBIDO EM 10 DE MARÇO DE 2020	CITAÇÃO: BAPTISTA FILHO, L. S.; BAPTISTA NETO, J. A.; MARTINS, M. V. .; GERALDES, M. C. O HISTÓRICO DAS INTERVENÇÕES HUMANAS NA BAÍA DE GUANABARA (BRASIL) E O REGISTRO DO ANTROPOCENO EM QUATRO UNIDADES SEDIMENTARES. J. of Human and Environment of Tropical Bays 1:46-80, 2020. doi:10.12957/jheotb.2020.49099
VERSÃO REVISADA EM 08 DE SETEMBRO DE 2020	
ACEITO EM 31 DE AGOSTO DE 2020	
PUBLICADO EM 07 DE OUTUBRO DE 2020	
EDITOR RESPONSÁVEL: A. L. C. SILVA (UERJ)	

Resumo

A Baía de Guanabara teve seu início de formação durante o Pré-Cambriano. O sistema evoluiu durante o Cenozóico, passando recentemente por processos relacionados a alterações climáticas e atividades antrópicas. Este trabalho objetiva definir o início do Antropoceno neste sistema costeiro, a partir de registros sedimentares relacionados com a ação antrópica. A pesquisa baseia-se na análise de testemunhos e em cartografia geológica. Os resultados permitem subdividir o Antropoceno em quatro períodos de sedimentação. A camada sedimentar que marca o início deste período foi

depositada em 1502, no decurso da “Pequena Idade do Gelo”, quando ocorreu o processo de ocupação dos Portugueses. Esforços de colonização, após o descobrimento, culminaram com a criação da cidade do Rio de Janeiro, em 1565. Desde então, observou-se no registro sedimentar efeitos resultantes da ocupação do território. Por exemplo, mudanças polínicas resultantes do desmatamento, da cultura da cana-de-açúcar entre os séculos XVI e XIX, e da cultura do café nos séculos XVIII e XIX, deixaram o seu registro nos sedimentos. O início do ciclo da industrialização, a partir da invenção da máquina a vapor, associado à necessidade de matérias-primas, marcou a segunda fase do Antropoceno, a partir de meados do século XVIII e início do século XX. Esta fase é identificada nos registros sedimentares com o aumento expressivo de metais. Do início do século XX até o início dos anos 50, as intervenções humanas efetuadas na orla ocidental da baía, próxima à desembocadura, alteraram o padrão hidrodinâmico, causaram a redução do hidrodinamismo e induziram a acumulação de sedimentos finos em vastas áreas da baía, marcando assim, a terceira unidade no Antropoceno. A quarta fase do Antropoceno, após meados do século XX, teve lugar num cenário de grande crescimento demográfico e industrial. A Baía de Guanabara passou a receber efluentes líquidos urbanos e industriais e grande quantidade de resíduos sólidos urbanos. O aumento acentuado no registro sedimentar de poluentes (óleo, metais pesados e substâncias tóxicas), oriundos da expansão das atividades humanas, caracterizam a quarta fase do Antropoceno.

Palavras-chave: Atividades antrópicas; Registro sedimentar; Sistema costeiro.

Abstract

The Guanabara Bay began its formation during the Precambrian. The system evolved during the Cenozoic, undergoing recently processes related to climate change and anthropogenic activities. This work aims to define the beginning of the Anthropocene in this coastal system, based on sedimentary records related to anthropic actions. The research is based on the analysis of sediment cores and geological cartography. The results make allowed to subdivide the Anthropocene into four periods of sedimentation. The sedimentary layer that marks the beginning of this period was deposited in 1502, during the “Little Ice Age”, when the occupation process of the Portuguese took place. Colonization efforts, after the “discovery”, culminated in the creation of the city of Rio de Janeiro, in 1565. Since then, the effects resulting from the territory occupation have been observed in the sedimentary record. For example, pollen changes resulting from deforestation, the culture of sugar cane that extended from the 16th to the 19th centuries, and coffee culture in the 18th and 19th centuries left their record in the sediments. The beginning of the industrialization cycle, from the invention of the steam engine, associated with the need for raw materials, marked the second phase of the Anthropocene, from the middle of the 18th century and the beginning of the 20th century. This phase is identified in the sedimentary records with the metals contents rise. From the beginning of the 20th century until the beginning of the 1950s, human interventions carried out on the western edge of the bay, close to the mouth, changed the hydrodynamic pattern, caused the reduction of hydrodynamism and induced the accumulation of fine sediments in vast areas of the bay, marking

thus, the third unit in the Anthropocene. The fourth phase of the Anthropocene, after the middle of the 20th century, took place in a scenario of great demographic and industrial growth. Guanabara Bay began to receive urban and industrial liquid effluents and a large amount of solid urban waste. The sharp increase in the sedimentary record of pollutants (oil, heavy metals and toxic substances), resulting from the expansion of human activities, characterize the fourth phase of the Anthropocene.

Keywords: Antropic activities; Sedimentar record; Coastal system.

1. Introdução

O presente estudo objetivou investigar sinais da ação antrópica no registro sedimentar da Baía de Guanabara. Assim, os estudos das variações nas características sedimentares são utilizados em conjunto com eventos históricos para caracterizar e delimitar o Antropoceno na região da Baía de Guanabara.

A bacia hidrográfica da Baía de Guanabara se subdivide em 32 sub-bacias, com 91 rios e canais (Kjerfve *et al.*, 1997; Geraldles *et al.*, 2006) em uma área de cerca de 7600 Km², no Estado do Rio de Janeiro (SE, Brasil; Figura 1). As feições estruturais mais marcantes que definem os contornos da Baía de Guanabara remetem ao Pré-Cambriano (Heilbron *et al.*, 2016). Grande parte da baía, bem como de sua rede de bacias hidrográficas, estão inseridas na zona fisiográfica denominada “Baixada Fluminense”, compartimento estrutural rebaixado tectonicamente no Meso-Cenozóico de forma sincrônica com o soerguimento da Serra do Mar e dos maciços litorâneos, como resultado de reativações cenozoicas de linhas estruturais pré-cambrianas (Amador, 1980; Rego *et al.*, 1993; Faria & Sanchez, 2000). Evidências geológicas indicam que durante o Cenozoico (Terciário Superior, Plioceno a Pleistoceno Médio) o sistema de drenagem era dirigido para a atual Baixada de Sepetiba (Rocha *et al.*, 2010; Cunha *et al.*, 2018; Pinto *et al.*, 2019; Díaz Morales *et al.*, 2019), tendo o sistema de drenagem da Baía de Guanabara se instalado no penúltimo período interglacial (Sangamon), há cerca de 200.000 anos AP (Amador, 1980; Silveira *et al.*, 2011). No Pleistoceno Superior (Wisconsin), depósitos fluviais da Formação Caceribu, tanto no continente quanto no assoalho da baía, indicam posição do nível do mar a cerca de 100 metros abaixo do atual, clima seco, sistema de canais anastomosados com canais largos e rasos, e linha de costa a dezenas de quilômetros da atual, sobre a plataforma continental (Kjerfve *et al.*, 1997; Coelho, 2007; Guimarães *et al.*, 2007).

Posteriormente, há 16.000 anos AP, inicia-se o afogamento gradual da bacia fluvial pleistocênica por águas marinhas, sendo o clímax desta fase transgressiva o limite entre o Pleistoceno e o Holoceno, localmente conhecida por “Transgressão Guanabarina”, relacionável à “Transgressão Flandriana” de Fairbridge (1961). No máximo desta transgressão, entre 5.000 e 6.000 anos, o nível do mar alcançou entre 3 a 4 metros acima do nível atual, proporcionando uma área de baía de cerca de 700 Km². Neste período, as águas marinhas atingiam regiões situadas até 30 km para o interior da linha de costa atual (Amador, 1980; Nascimento *et al.*, 2019). Vários autores têm apresentado curvas de variação do nível do oceano (Angulo & Lessa, 1997; Martin *et al.*, 2003; Angulo *et al.*, 2006) e descrito detalhes de registros sedimentares que permitem deduzir sobre mudanças passadas da posição da linha de costa (Alves Martins *et al.*, 2020a). Neste sentido, a Baía de Guanabara se constitui num estuário originado pelo afogamento marinho de uma bacia fluvial complexa, condicionada por compartimentos estruturais (Perin *et al.*, 1997; Monteiro *et al.*, 2012; Clemente *et al.*, 2015).

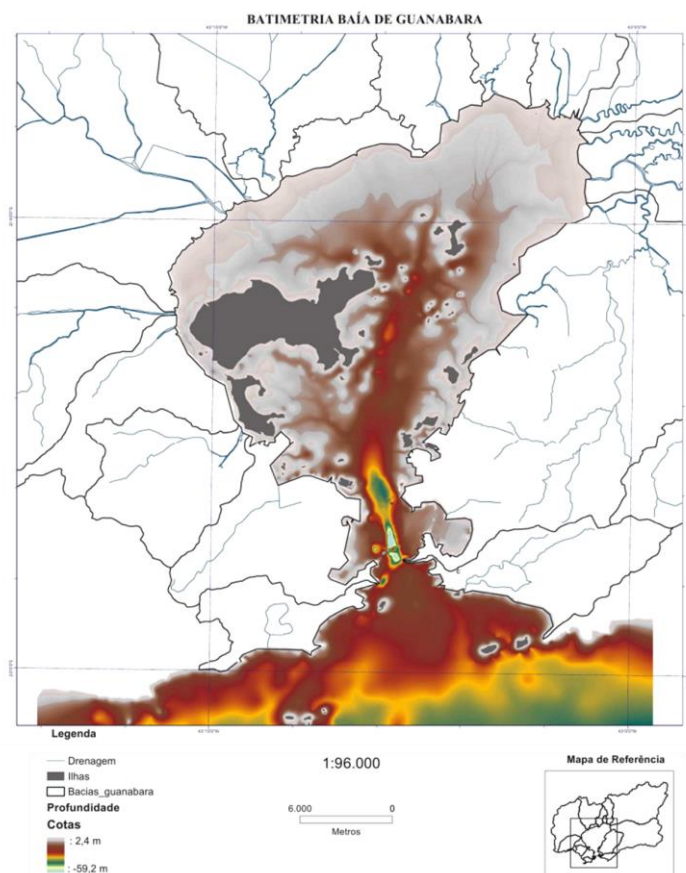


Figura 1. Mapa batimétrico da Baía de Guanabara (Fonte: Marino, 2011).

2. Materiais e Métodos

O presente estudo baseia-se: 1) no estudo de cartas geológicas disponíveis na área de estudo, visando a identificação da evolução da área de cobertura da Baía de Guanabara e da influência humana na formação de depósitos antropogênicos neste sistema; 2) em dados publicados sobre registros sedimentares na Baía da Guanabara e; 3) na interpretação de dados obtidos ao longo de 3 testemunhos (T3, T8, T16) realizados em diferentes locais na baía.

Os testemunhos T3 (Lat. 22°45'16"S; Long. 43°04'29"W) e T8 (Lat. 22°44'28"S; Long. 43°06'45"W) se localizam na parte norte-nordeste da Baía de Guanabara. O testemunho T3 foi localizado mais próximo à APA de Guapimirim, junto à franja de manguezal associada à atual desembocadura do rio Iriri, tendo sido coletado em lâmina d'água inferior a 1 metro. O testemunho T8 se localiza ao norte da ilha de Paquetá sob lâmina d'água de 4 metros. Um terceiro testemunho, T16 (Lat. 22°45'80"; Long. 43°04'72"), coletado acerca de 4 metros de profundidade foi utilizado inicialmente para estimativa das idades das sub-amostras do T8 (Figura 2). Todos os testemunhos estão inseridos numa área classificada inicialmente por Amador (1980) como sendo de baixa energia hidrodinâmica, ou seja, as correntes de maré nesta região não são intensas, propiciando a sedimentação de material mais fino.

A caracterização sedimentar e geocronológica dos testemunhos T3, T8 e T16, baseou-se em: análises granulométricas, teor da matéria orgânica, concentração dos elementos-traço, isótopos do chumbo e ainda datações de radiocarbono.

A análise granulométrica foi realizada no equipamento Malvern Mastersizer Microplus, MAF 5001, do Laboratório de Sistemas Particulados – PEQ/COOPE/UFRJ, o qual determina a distribuição de tamanhos das partículas na faixa de diâmetro entre 0,5-550 µm. As amostras foram, então, classificadas de acordo com a distribuição dos pesos nas distintas classes de tamanho, expressas em phi (Φ), de acordo com Folk & Ward (1957). Análises estatísticas tradicionais foram realizadas para definir os parâmetros estatísticos: média, mediana, moda, desvio padrão, assimetria e curtose das partículas sedimentares em cada amostra

recolhida ao longo dos testemunhos T3 e T8. A quantidade de matéria orgânica presente nos testemunhos foi determinada, utilizando-se o equipamento CS *infrared analyser* (ELTRA Metalyt 1000CS), do Instituto Oceanográfico do Mar Báltico (Alemanha).

Elementos-traço. 42 camadas de 2 cm de espessura foram coletadas ao longo dos testemunhos T3 (22) e T8 (20) visaram: a determinação das razões isotópicas (de acordo com Alves *et al.*, 2019); e das concentrações de 36 elementos-traço (de acordo com Baptista Neto *et al.*, 2005, 2006). Cerca de 2 gramas da fração pelítica das sub-amostras (partículas com tamanho inferior a 0,062 mm) foram separadas no laboratório da Faculdade de Geologia da UERJ e enviadas para o *Activation Laboratories LTD*, em Ontário no Canadá. Estas análises foram custeadas pelo Projeto intitulado “Interação entre a Baía de Sepetiba e Ilha Grande: Padrões de circulação e sedimentação e a influência antrópica”, de cunho interinstitucional e financiado pela FAPERJ (E-26/010.001503/2014), com título “Análises químicas e isotópicas aplicadas a estudos ambientais nas zonas costeiras do Rio de Janeiro”.

1-Datações. As primeiras datações (T8 e T16) foram estimadas no laboratório Beta Analytic Inc. (Flórida, EUA), utilizando a concentração do radiocarbono ^{14}C em material de origem orgânica, recolhido de sub-amostras destes testemunhos, pela técnica radiométrica mas, a qual permitiu a determinação da Idade Convencional de Radiocarbono. Posteriormente, foram obtidas datações de três sub-amostras do T8, sendo duas destas utilizadas para estimativa da idade de todas as sub-amostras analisadas (Tabela 1). Foram determinadas a partir de conchas coletadas ao longo de testemunho e enviadas ao Center for Applied Isotope Studies, University of Georgia (USA). No laboratório este material foi atacado com HCl diluído para remover qualquer contaminação superficial. Depois de lavado e seco, foi tratado a vácuo, com ácido fosfórico concentrado, para recuperar o dióxido de carbono, o qual foi criogenicamente purificado de outros produtos da reação e cataliticamente convertido em grafite. Razões $^{14}\text{C}/^{13}\text{C}$ da Grafite foram determinadas utilizando espectrômetro acelerador de massa CAIS 0,5 MeV, sendo comparadas a taxas medidas com ácido oxálico I, conforme normas de referência NBS SRM 4990. As razões $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ das sub-amostras foram medidas separadamente, empregando a razão isotópica estável

do espectrômetro de massa, expressa como $\delta^{13}\text{C}$, com erro inferior a 0,1 ‰. As datas foram estimadas em anos de radiocarbono antes de 1950 (antes do presente; AP), utilizando a meia-vida do ^{14}C , de 5568 anos. As idades das subamostras do testemunho T3 foram estimadas a partir da taxa de sedimentação, com base na determinação da atividade do ^{210}Pb , de acordo com Peixoto (2005).

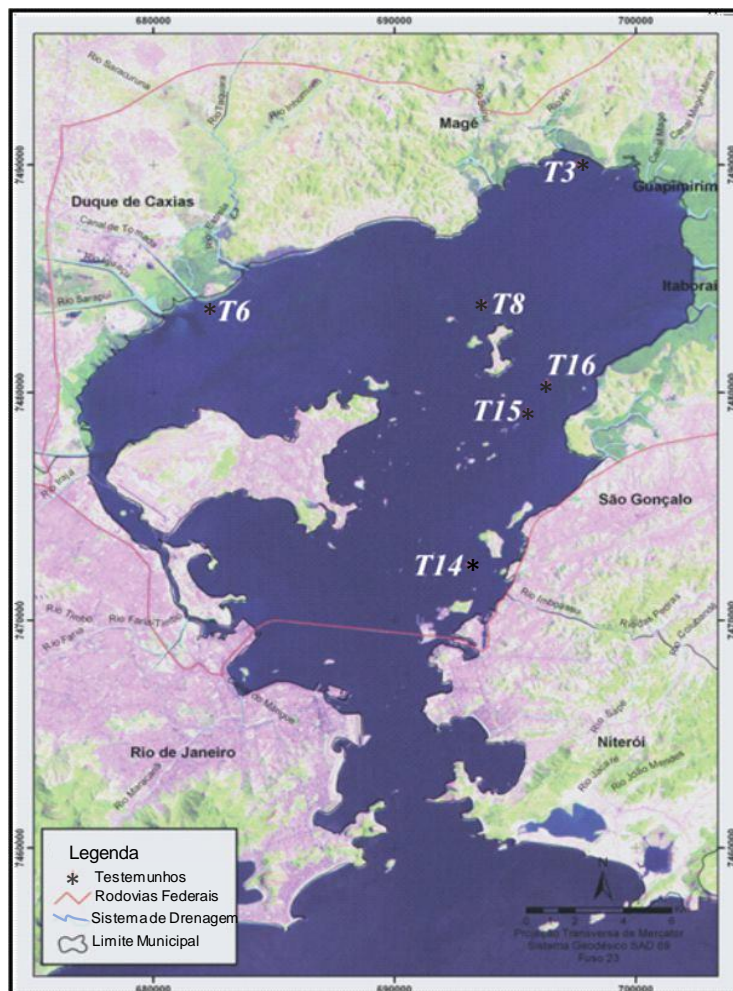


Figura 2. Localização dos testemunhos estudados, bem como o T16, citado no trabalho, e o T3 onde Godoy *et al.* (1998) determinaram a taxa (ou velocidade) de sedimentação.

Tabela 1. Idades estimadas por datação ^{14}C para as sub-amostras coletadas em T3 e T8.

Prof. (cm)	T3 (Ano)	T8 (Anos AP)
-1	2000	1
-5	1994	7
-9	1988	-
-13	1982	18
-17	1976	24
-21	1970	30
-25	1964	35
-29	1958	41
-33	1952	46
-37	1946	52
-41	1940	58
-45	1934	-
-49	1928	69
-53	1922	75
-57	1916	80
-61	1910	86
-65	1904	92
-69	1899	97
-81	1835	434
-97	1751	967
-145	1499	2567
-197	1225	4300

3. Resultados e discussão

Os resultados adquiridos nesta investigação, em adição a dados obtidos em diversos trabalhos realizados na área da Baía de Guanabara, e previamente publicados (por ex. Godoy *et al.*, 1998; Barth *et al.* 2004; Baptista Neto *et al.*, 2005, 2006; Peixoto, 2005; Alves *et al.*, 2019), permitiram identificar três fases distintas no registro sedimentológico do Holoceno.

3.1. Evolução paleoambiental entre o Holoceno Médio e o século XV na Baía de Guanabara - Primeira fase do Antropoceno

A presença da Humanidade na região da Baía de Guanabara é reconhecida há milhares de anos. Barth *et al.* (2004), objetivando conhecer a vida do homem

pré-histórico e seu meio ambiente, realizou um estudo a partir de uma amostra de sedimento constituída de argila siltica e matéria orgânica, com idade do radiocarbono de 4210 ± 40 anos AP e obtida a 222 cm do topo do testemunho T8. O referido estudo mostrou a presença de uma grande variedade de grãos de pólen, esporos de samambaia, alguns esporos de pântanos e resíduos orgânicos. Observações tafonômicas mostraram grãos de pólen bem preservados, mas com severos danos mecânicos nos grandes esporos de Pteridophyta, devido ao transporte. Os grãos de pólen e esporos foram interpretados como sendo provenientes da vegetação local que margeia a baía, bem como da flora regional, através da entrada de sedimentos pelos rios e do transporte pelo vento. Os dados de Barth *et al.* (2004) revelaram que os grãos de pólen de espécies de árvores da floresta foram os mais comuns, seguidos pelos de arbustos e ervas. *Alchornea* (Euphorbiaceae), *Celtis* (Ulmaceae), Lecythidaceae, Meliaceae, Ochnaceae e esporos de floresta de Pteridophyta foram os táxons com maior representatividade da floresta tropical ombrófila. A vegetação herbácea e de pântano foi pobremente representada. Os resultados indicaram que a floresta tropical foi o tipo dominante de vegetação na região há 4210 anos AP. Porém, de acordo com Barth *et al.* (2004), a composição da vegetação pode ser melhor interpretada levando em consideração o registro da planície costeira do estado de São Paulo (Ybert *et al.*, 2003) e complementada com os dados reportados na região de estudo por Kneip *et al.* (1997).

Embora estes autores não tenham mencionado quantos metros abaixo do atual nível do mar chegaram às águas marinhas antes de 4000 anos AP, a superfície erosiva encontrada em T8 e a sua profundidade de coleta, em aproximadamente a 4 metros abaixo da superfície da coluna de água atual, nos permitiram estimá-la em 6 metros. Já a sua idade, de cerca de 4500 anos AP, foi inferida a partir da datação de 4210 anos AP, a 222 cm abaixo do topo de sua coluna (Barth *et al.*, 2004), e extrapolação até 235 cm, onde, em média, aparecem registros de superfície erosiva, neste e noutros testemunhos coletados na região interna da Baía de Guanabara.

Esta discordância erosiva concorda com a "Síntese da Evolução Geológica da Baía de Guanabara" encontrada em Amador (1980). Com base em sua descrição, foi elaborada uma curva de variação do nível do mar, a partir do início do Holoceno. Esta curva mostra: a elevação gradativa do nível médio relativo do

mar (NMRM) desde 100 metros abaixo do nível médio atual (NMA), há cerca de 16.000 anos AP; o NMRM atingindo entre 3 e 4 metros acima do NMA, entre 6000 e 5000 anos AP (ótimo climático de Bigarella *et al.* 1970, in Amador, 1980; Baptista Neto *et al.*, 2000). Bigarella *et al.* (1970; in Amador, 1980) denominaram este evento de elevação gradativa do NMRM de “Transgressão Guanabarina”.

Outros cientistas (por exemplo, Ireland, 1987; Suguio *et al.*, 1985; Amador, 1997), concordaram que em ≈ 4.200 anos AP o NMRM estava 1-2 m abaixo do atual; porém, esta hipótese não foi confirmada por trabalhos mais recentes (Angulo *et al.*, 2006). Angulo *et al.* (2006) apresentam curvas de variação do nível do mar com níveis abaixo do atual apenas antes de 7.000 AP. Neste tempo, os seres humanos montavam grandes depósitos de cascas e resíduos de ossos e pedras, os sambaquis, em diversos lugares ao redor da Baía de Guanabara e ao longo da costa atlântica (Cruz *et al.*, 1996; Schell-Ybert, 2001). As principais atividades de alimentação eram caça, pesca e captura de moluscos. Não foi reconhecida, através da análise polínica, a presença de espécies vegetais relacionadas a atividade humana significativa, como trigo e milho (culturas) e espécies das famílias *Amaranthaceae*, *Chenopodiaceae*, *Apiaceae* e *Asteraceae*, características de áreas devastadas. Barth *et al.* (2004) concluíram que os nativos que habitavam a região da Baía de Guanabara, naquele momento, não provocaram qualquer alteração significativa no ambiente, como a queima e a agricultura. O clima era semelhante ao atual, quente e úmido, e uma densa floresta tropical ombrófila foi o lar para humanos e animais.

Amador (1974) e Baptista Neto (2000) estudaram a granulometria dos sedimentos e a ocorrência de estruturas sedimentares em trincheiras cavadas em praias fósseis e atuais da baía (praias do Anil e de Mauá). Os seus estudos revelaram que as primeiras estão elevadas 1,8 metros (ver Figura 3) em relação às praias atuais e foram formadas há cerca de 4130 ± 150 anos, conforme datação de madeira carbonizada coletada na porção basal das trincheiras. As praias fósseis não diferem das atuais quanto às características texturais e estruturais, não sendo evidentes modificações importantes quanto à natureza dos sedimentos e à energia agentes reguladores dos processos sedimentares e fonte de suprimento de material sólido (Amador, 1974).

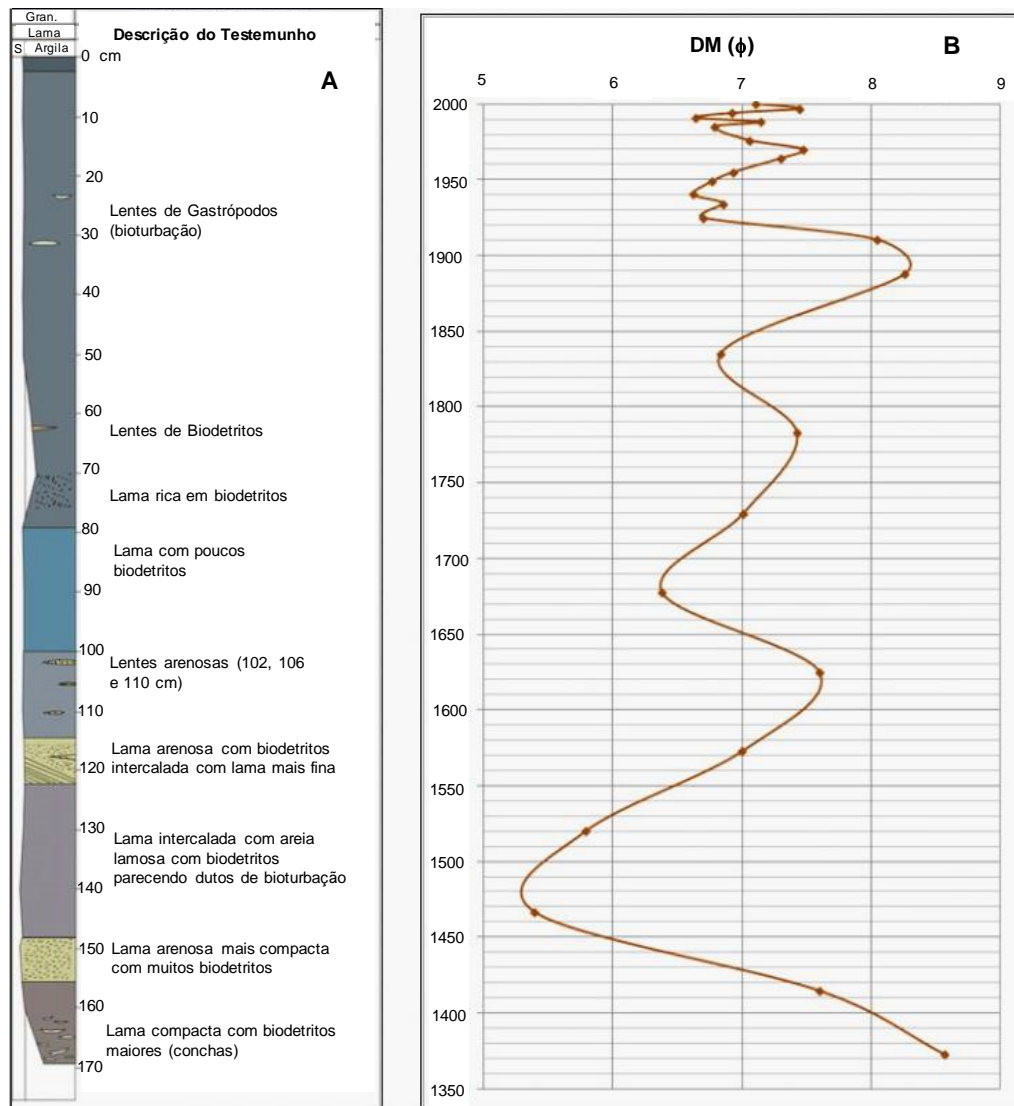


Figura 3. (A) Classificação dos sedimentos do testemunho T3, com a escala vertical em cm (esquerda); (B) e variação do diâmetro médio (DM) das partículas, na escala vertical a idade em anos, isto é, com a idade das amostras já estimadas na Tabela 1.

Amador (1974) interpretou os dados sedimentológicos como um período regressivo que sucedeu à Transgressão Guanabarina quando foram construídos terraços com ocorrências no litoral de Magé. Porém, as investigações atuais sugerem que uma fase transgressiva ocorreu entre 3.800 e 3.000 anos AP, com o nível do mar posicionado cerca de 1,5 metros acima do atual, edificando um sistema de praias fósseis. Estas variações do nível do mar foram confirmadas pelos estudos recentes em outras áreas do litoral brasileiro (Angulo *et al.*, 2006).

Há cerca de 3000 anos, o contorno da baía apresentava-se diferente do atual, como por exemplo, na retaguarda de sua linha de costa, onde ocorrem segmentos primitivos da baía truncados pela sedimentação marinha e fluvial mais recente, formando lagunas e vastos manguezais que adentravam, em muitos quilômetros, os sistemas fluviais mais importantes. Estas características gerais foram evoluindo até ao século XV, em função principalmente de fatores naturais, como por exemplo oscilações climáticas.

3.2. Evolução ambiental da Baía de Guanabara entre o século XV e o início do século XX - Segunda fase do Antropoceno

A partir de 1500 com a chegada dos portugueses, a paisagem da Baía de Guanabara foi sendo alterada, inicialmente com a exploração do pau-brasil, depois com edificações voltadas para a sua ocupação e defesa. Tais iniciativas levariam à criação da Cidade de São Sebastião do Rio de Janeiro pelos portugueses. Essas transformações continuaram com os ciclos econômicos da cana-de-açúcar, mineração, café e, finalmente, com a industrialização (Amador, 1997; Paula & Geraldles, 2007; Cunha *et al.*, 2009; Potratz *et al.*, 2019; Alves Martins *et al.*, 2018). Esses modos de produção acarretaram a ocupação de áreas no entorno e nas ilhas da Baía de Guanabara, descaracterizando-a devido à retirada de grande parte da vegetação natural. Concorreram ainda para essa descaracterização o arrasamento de morros e retilinização de canais fluviais que desagüam na baía, entre outras intervenções, que foram implementadas formalmente com a concepção “sanitarista” no século XVIII, e intensificados a partir do início do século XX (Abreu, 1997).

3.3. Atividades antrópicas na Baía de Guanabara, na primeira metade do século XX - Terceira fase do Antropoceno

A superfície da baía de Guanabara era de 468 Km², em 1500, excluindo as ilhas e considerando seu limite externo ao arco formado entre as pontas de Copacabana e de Itaipu, e as ilhas do Pai, Mãe e Menina; sendo atualmente apenas de 377 Km². Esta avaliação, realizada por Amador (1997), é baseada em mapas

antigos, iconografias, documentos, relatos e textos históricos, bem como em cartas geológicas, fotointerpretação e imagens de satélite.

Sondagens geofísicas e de testemunhos nas áreas aflorantes em Magé, permitiram a Amador (1980) calcular em $0,19 \text{ cm/ano}^{-1}$ a taxa de assoreamento médio natural, considerando a espessura média dos sedimentos depositados nos últimos 3000 anos. Com base nas variações de profundidade identificadas em cartas batimétricas de 1849-1922 e de 1938-1962, o referido autor identificou taxas médias de assoreamento de $0,24 \text{ cm.ano}^{-1}$ e $0,81 \text{ cm.ano}^{-1}$, respectivamente. Tal diferença, registrada em área próxima à cidade do Rio de Janeiro, demonstra a aceleração do assoreamento na baía em decorrência da ação antrópica direta: aterros efetuados, construção de canais de despejo de esgotos domésticos e industriais além, da ocupação desordenada de seu entorno, com destruição de áreas de manguezais e retificação de canais fluviais. A região entre a Ilha do Governador e o continente foi a que apresentou maiores variações atingindo taxas médias de $0,87 \text{ cm.ano}^{-1}$, tendo sido estimadas por Amador (1980) taxas atuais de sedimentação nesta área superiores a $1,00 \text{ cm. ano}^{-1}$, principalmente junto ao continente. Os autores reportam valores próximos de $4,00 \text{ cm.ano}^{-1}$ em áreas específicas, como consequência de aterros de canais e pequenas enseadas que alteraram o padrão de circulação local.

Com base em variações na batimetria, nesta subdivisão proposta por Amador (1980) (Figura 4), é possível destacar que a Unidade 1, correspondente ao fundo da baía, que se encontra bastante assoreada; com base na taxa de sedimentação estimada para o período de 1849-1922, este assoreamento terá possivelmente ocorrido em 1163 anos. No entanto, considerando a taxa verificada entre 1938-1962, o prognóstico passou para 358 anos. Para a Unidade 2, área intermediária, o prognóstico reduziu-se de 3.449 para 1.056 anos; e para a Unidade 3, área mais externa, reduziu-se de 7.124 para 2.231 anos. Sendo considerada a série geológica ou natural, toda a baía estaria assoreada em 8.721 anos.

Estudos recentes, realizados por Figueiredo *et al.* (2014), mostraram que a baía apresenta diferentes taxas de sedimentação em consequência da sua geomorfologia e hidrodinamismo diferenciado, resultando em um complexo mosaico intercalado de processos naturais e antropogênicos. Os referidos autores estimaram taxas de sedimentação em diferentes locais da Baía de Guanabara, na

faixa de 1-2 cm.ano⁻¹. Esse intervalo está razoavelmente de acordo com outras estimativas, porém sugere um aumento de 10 vezes o valor original (natural) das taxas de sedimentação.

No início do século XX, durante a gestão do prefeito do Rio de Janeiro Pereira Passos, diversas áreas (assinaladas na Figura 5) foram aterradas sobre o mar e lagoas, assim como sobre pântanos e mangues (Figura 6) da região ocidental da Baía de Guanabara. Estudos realizados por Andreatta *et al.* (2009) permitiram verificar uma substancial perda de área da baía e conseqüente ganho de terreno destinado à expansão urbana. As referidas obras foram, provavelmente, o principal fator causador da mudança da linha de costa da baía. No entanto, para norte deste setor e ainda na gestão do prefeito Pereira Passos, foi iniciado o primeiro aterro marítimo de grandes dimensões visando a criação de uma área central portuária (Andreatta *et al.*, 2009). Este empreendimento envolveu a demolição do Morro do Senado para aterrar 170 hectares sobre o mar, em frente aos morros do Livramento, Conceição, Providência e Saúde, possibilitando assim a construção do berço da Gamboa, primeiro cais do porto moderno. No extremo oeste do cais, o canal do Manguê foi estendido e construída a Avenida Francisco Bicalho.

A alteração do contorno na entrada da baía também teve lugar naquela ocasião, com a construção de enrocamentos retilíneos, que tiveram certamente grande efeito sobre o hidrodinamismo da Baía de Guanabara. As rochas para construção desses enrocamentos provinham de morros que foram sendo arrasados para a abertura de espaço na cidade (além do Morro do Senado, o do Castelo, o da Conceição e mais recentemente, o de Santo Antônio). Sobre os enrocamentos eram fixadas estruturas do tipo cais, por vezes destruídos por ressacas. Na parte interna dos enrocamentos, areias dragadas do lado externo, somadas aos sedimentos de menor granulometria desses morros arrasados, aplainavam a nova área para expansão urbana. Portanto, tais enrocamentos, suas novas direções e sua ação dissipativa da energia das ondas que adentram a Baía de Guanabara, foram os principais responsáveis pela brusca diminuição de sua energia hidrodinâmica, acentuada com a continuidade das demais alterações antrópicas no seu entorno ao longo do tempo (Fistarol *et al.*, 2015).

INTERVENÇÕES HUMANAS NA BAÍA DE GUANABARA

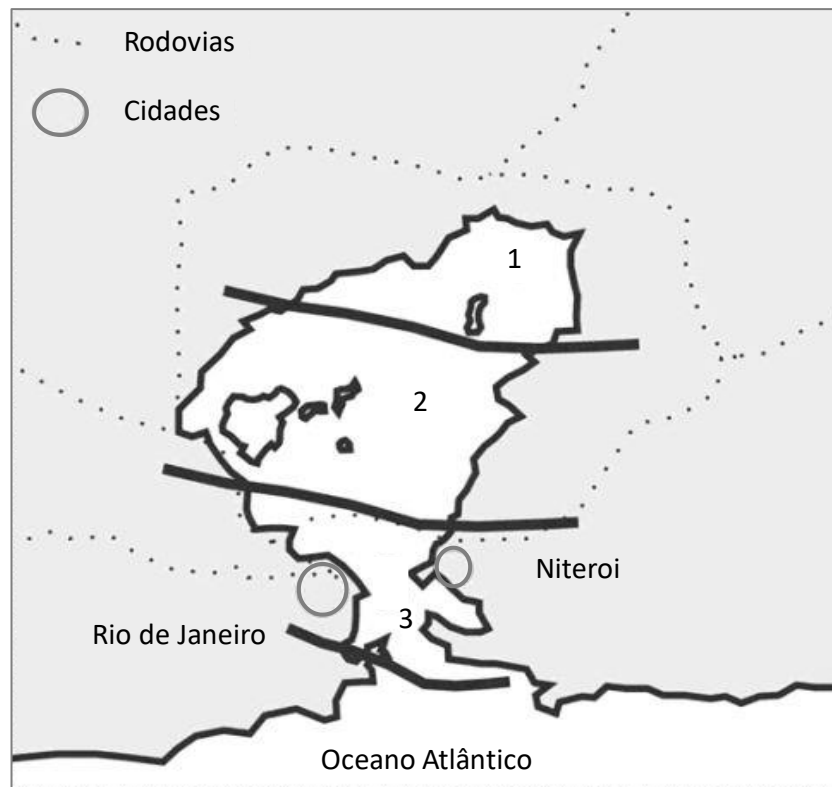


Figura 4 - Unidades nas quais a Baía de Guanabara foi dividida no estudo de Amador (1980).

Através de fotos de 1902 e 1903 da região da Glória (Figuras 6 A e B), em fase anterior e durante a construção da Avenida da Beira Mar, podemos verificar a disposição do enrocamento retilinizando e, conseqüentemente, alterando completamente a orientação do contorno anterior da baía. Inúmeras obras de aterramento foram realizadas para a construção de aeroportos, orla do Caju a Copacabana entre 1902 e 1906 (Figura 6C).



Figura 5 - Mapa parcial da Cidade do Rio de Janeiro, enfatizando o lado ocidental da Baía de Guanabara, com as áreas aterradas. As setas delimitam a alteração antrópica contínua realizada na gestão Pereira Passos no início do século XX (modificado de Andreatta *et al.*, 2009).

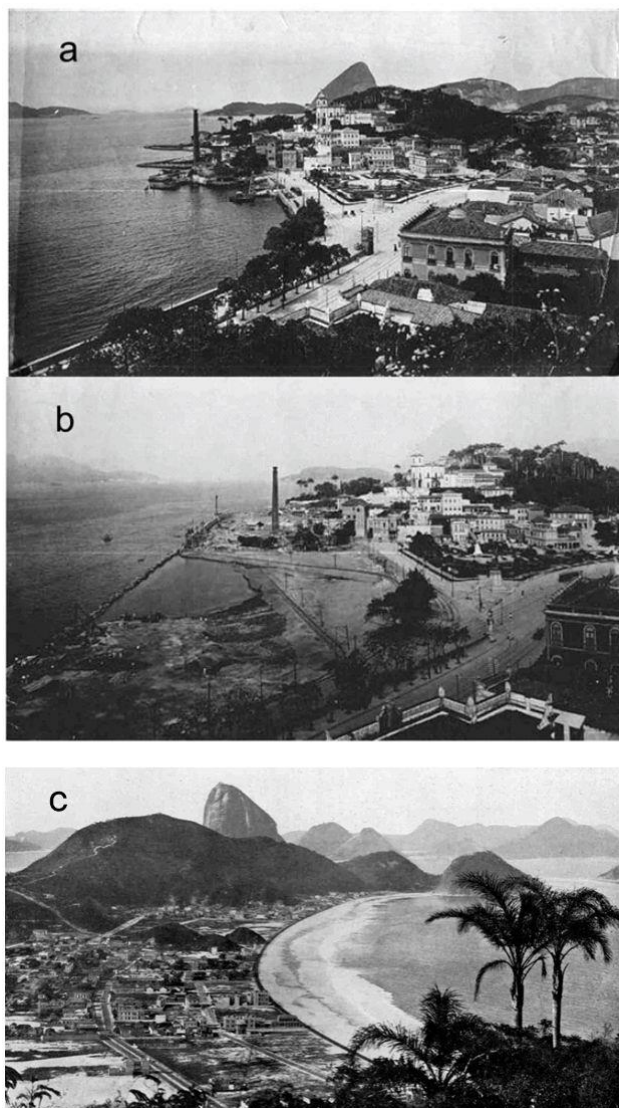


Figura 6 - Região da Glória em 1902 (a) e em 1903 (b), após início da construção da Av. Beira Mar. Fonte: <http://www.flickr.com/photos/quadro>. Em (c) Foto da praia de Copacabana (coleção de Augusto Malta, cerca de 1908).

Registros fotográficos do Morro do Castelo (Figura 7 A) permitem notar que seu arrasamento se deu, pelo menos em parte, por jatos d'água (Figura 7 B). A finalidade de tal empreendimento foi de abrir espaço para modernização do centro da cidade. A ocupação gradativa deste espaço pode ser observada nas fotografias tiradas a partir do término de seu arrasamento, em 1922 (Figura 7 C). O material resultante foi utilizado para expansão de novos terrenos em direção à área do atual aeroporto Santos Dumont (à direita da fotografia). Na foto de 1929 (Figura 7 D), notam-se as duas torres da Igreja de Santa Luzia, bem como a Santa Casa de Misericórdia (centro direita e centro esquerda da foto, respectivamente),

que foram preservadas. Na foto de 1934 (Figura 7 E), aparece toda a Av. Rio Branco e o início das novas construções, e na foto de 1936 (Figura 7 F) destaca-se o Palácio Tiradentes (parte centro-inferior).

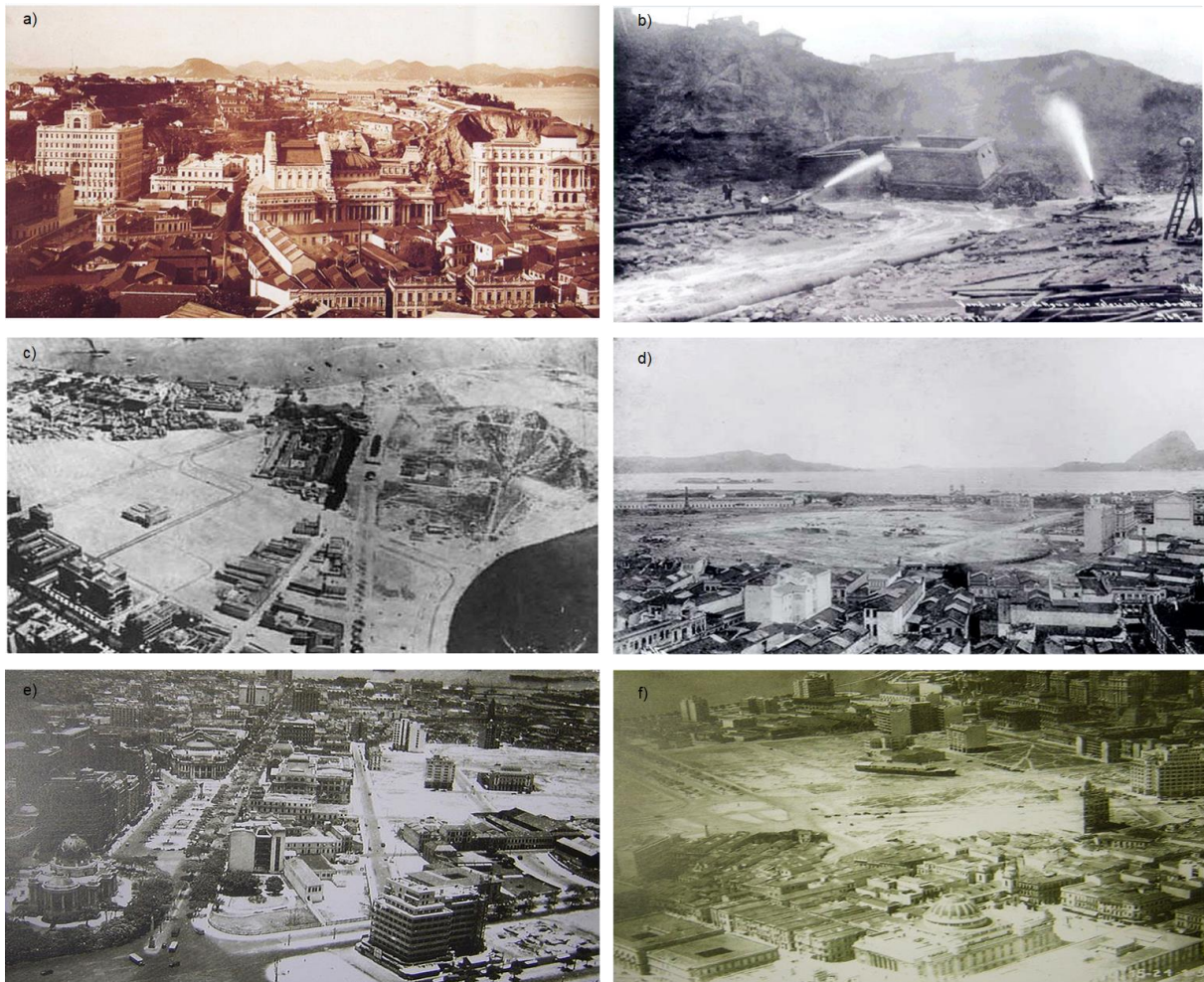


Figura 7: Morro do Castelo na década de 10, com a fachada lateral do Teatro Municipal na área central da foto (a); procedimento empregado em seu arrasamento, no início da década de 20 (b); fim de seu arrasamento, em 1922, com o traçado diagonal, no centro da foto, correspondendo à atual Av. Pres. Antônio Carlos (c); foto tirada em 1929 mostrando as construções mantidas no espaço alterado (d); foto tirada em 1934, no sentido oposto da anterior, mostrando o início da ocupação do novo espaço com construções mais arrojadas (e); e foto tirada em 1936 mostrando a continuidade da ocupação (f). (Fonte: foto (b) – acervo fotográfico de Augusto Malta; fotos restantes: <http://www.flickr.com/photos/quadro>).

O avanço de terreno sobre o mar é também observado no final da Av. Rio Branco, antiga Av. Central. A Figura 8A mostra o início da construção da Av. Beira

INTERVENÇÕES HUMANAS NA BAÍA DE GUANABARA

Mar na região, em 1903, e a Figura 8 B esta via já concluída, em 1907, sendo atingida por forte ressaca. A fotografia tirada em 1912 (Figura 8 C) mostra detalhe do Palácio Monroe, o qual foi demolido na década de 70, bem como do Obelisco e de sua proximidade com o mar, na época. Já a Figura 8 D apresenta a atual distância visual deste monumento à linha de contorno da baía. Sua distância foi calculada em cerca de 400 metros através da Figura 9, que apresenta uma imagem do *Google Earth* do local, com a ferramenta “régua” ativada e a linha de medida estendendo-se grosso modo, do Obelisco até o contorno atual da baía.

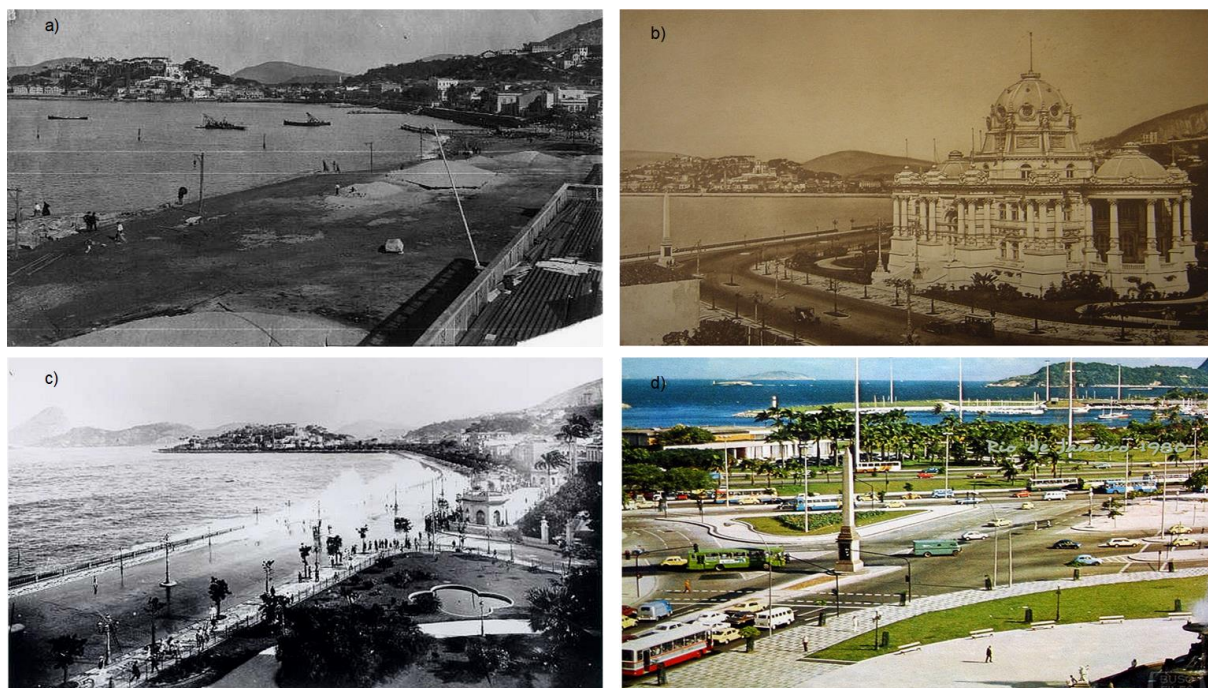


Figura 8. Frente da Av. Rio Branco, antiga Av. Central, durante a construção da Av. Beira Mar em 1903 (a); o mesmo local, em 1907, após sua construção (b); em 1912, mostrando a proximidade do Obelisco ao mar (c); fotografia do Obelisco em 1980 mostrando o ganho de terreno com o aterro efetuado (d).

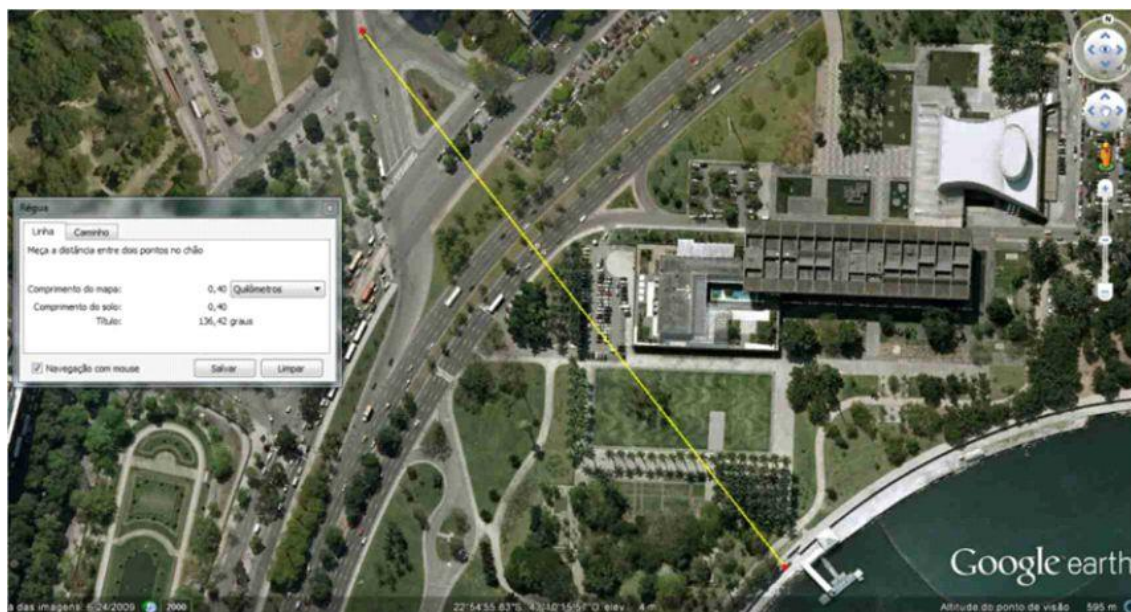


Figura 9. Imagem do *Google Earth*, com a medida de sua atual distância ao mar. (Fonte: Fotos (a) a (d) - <http://www.flickr.com/photos/quadro>, foto (e) - *Google Earth*).

Na foto da Figura 10 A, da praia do Flamengo, em 1900, antes de terem sido efetuadas as obras de Pereira Passos, observa-se o embate das ondas sobre a estrutura de cais, construída anteriormente e bem próxima das residências. Já, foto da Figura 10 B, tirada em 1906, ou seja, na fase final de construção da Av. Beira Mar, nota-se o ganho de terreno para a expansão urbana, bem como, ao fundo, uma embarcação aportada, próximo ao Morro da Viúva. A fotografia seguinte (Figura 10 C) apresenta uma visão aérea da região, em 1930, com a Praça Paris recém-inaugurada e o Morro da Viúva bem próximo ao mar.

A região delimitada no mapa da Figura 5 foi palco de novo aterramento na década de 1950, quando foi iniciada a construção de um enrocamento de cerca de 5 km, com rochas do desmonte do Morro de Santo Antônio. Esta estrutura começava na Ponta do Calabouço, continuava na região da Glória e seguia numa faixa estreita, mar adentro, até à curva do Morro da Viúva, formando uma laguna posteriormente aterrada. Em 1964, foi executada a parte principal do aterro, com o cerco total da área de expansão, aterramento de seu interior, construção do Parque Brigadeiro Eduardo Gomes contendo largas avenidas, a marina da Glória e as praias artificiais de Botafogo e Flamengo. Especialmente nesta última grande intervenção na década de 60, alguns procedimentos operacionais realizados à

época, bem como os resultados das alterações promovidas são mais bem visualizadas através de registros fotográficos obtidos de um mesmo local ao longo do tempo, quando possível, do mesmo ângulo.

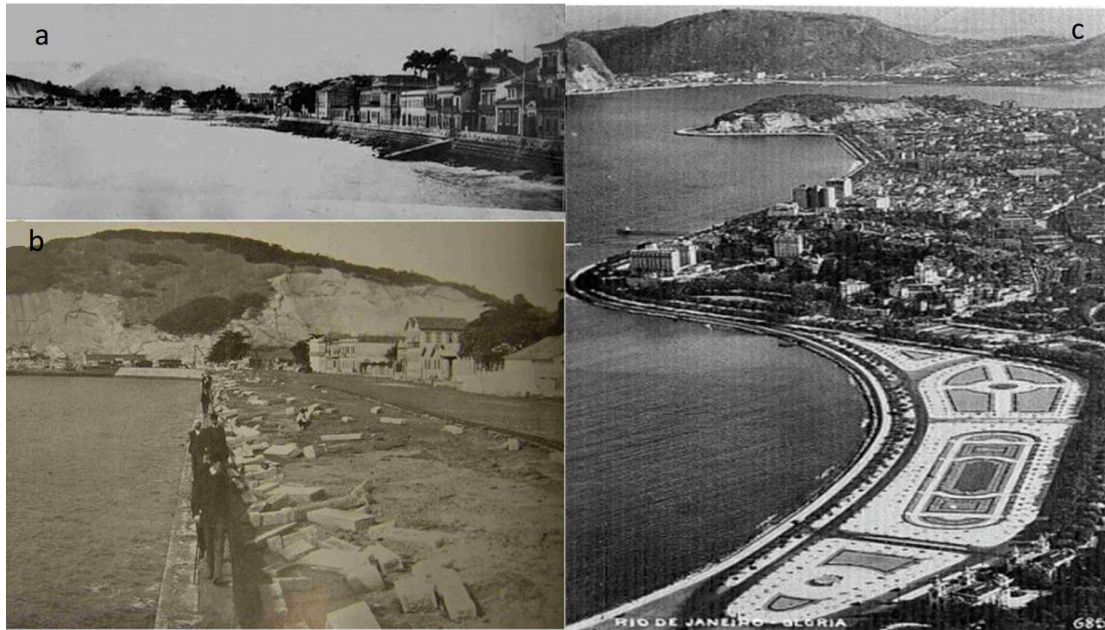


Figura 10: Alterações na Praia do Flamengo ao longo do tempo (1900 a 1940).

Na Figura 11 A, a fotografia mostra a praia repleta de banhistas, com estreita faixa de areia, provavelmente propiciada pelo molhe construído e já existente na foto anterior, bem como na seguinte (Figura 11 B), tirada em 1950. A fotografia seguinte (Figura 11 C) detalha o aterramento nas adjacências do Morro da Viúva, em 1965. Já a última (Figura 11 D) apresenta uma visão aérea atual da região, na qual se observam as extensas faixas de areia das novas praias artificiais de Flamengo e de Botafogo, que parcialmente aparece ao fundo.

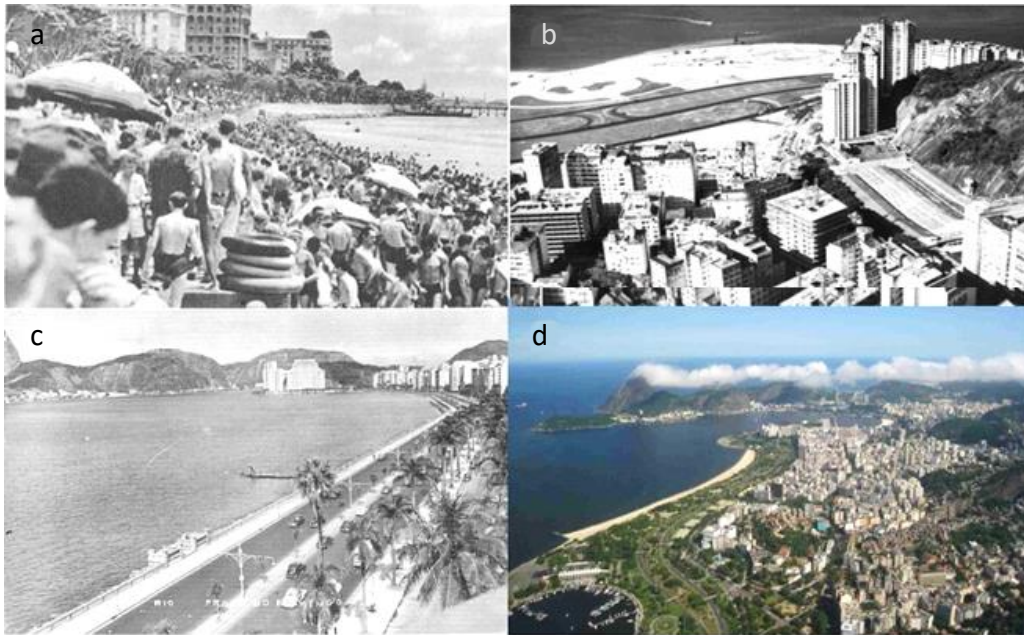


Figura 11: Alterações na Praia do Flamengo ao longo do tempo (1950 em a, b e c; a atual em d).

A fotografia da Praia de Botafogo de 1885 (Figura 12A) mostra a quase inexistência de área para expansão urbana, com os morros praticamente chegando à praia. Na foto de 1906 (Figura 12 B), a orla apresenta-se avançada sobre o mar com a construção da Av. Beira Mar. A foto de 1910 (Figura 12 C) evidencia um detalhe de estrutura de cais ao longo da linha de contorno da praia. Na foto de 1913 (Figura 12 D) nota-se a urbanização da praia à época, e o início de cortes e reduções de morros para expansão urbana. Observa-se ainda que a ligação com o Bairro do Flamengo, através da Av. Beira Mar se dava, somente, pela atual Rua Osvaldo Cruz. Nas duas fotografias seguintes (Figura 12 E, F) foram tiradas usando o mesmo ângulo no início dos anos 30 e 1937, respectivamente. Na Figura 12 F verifica-se, o início de arranha-céus no bairro, bem como a construção de espigão que favoreceu a acumulação de estreita faixa de areia defronte ao novo prédio.

INTERVENÇÕES HUMANAS NA BAÍA DE GUANABARA

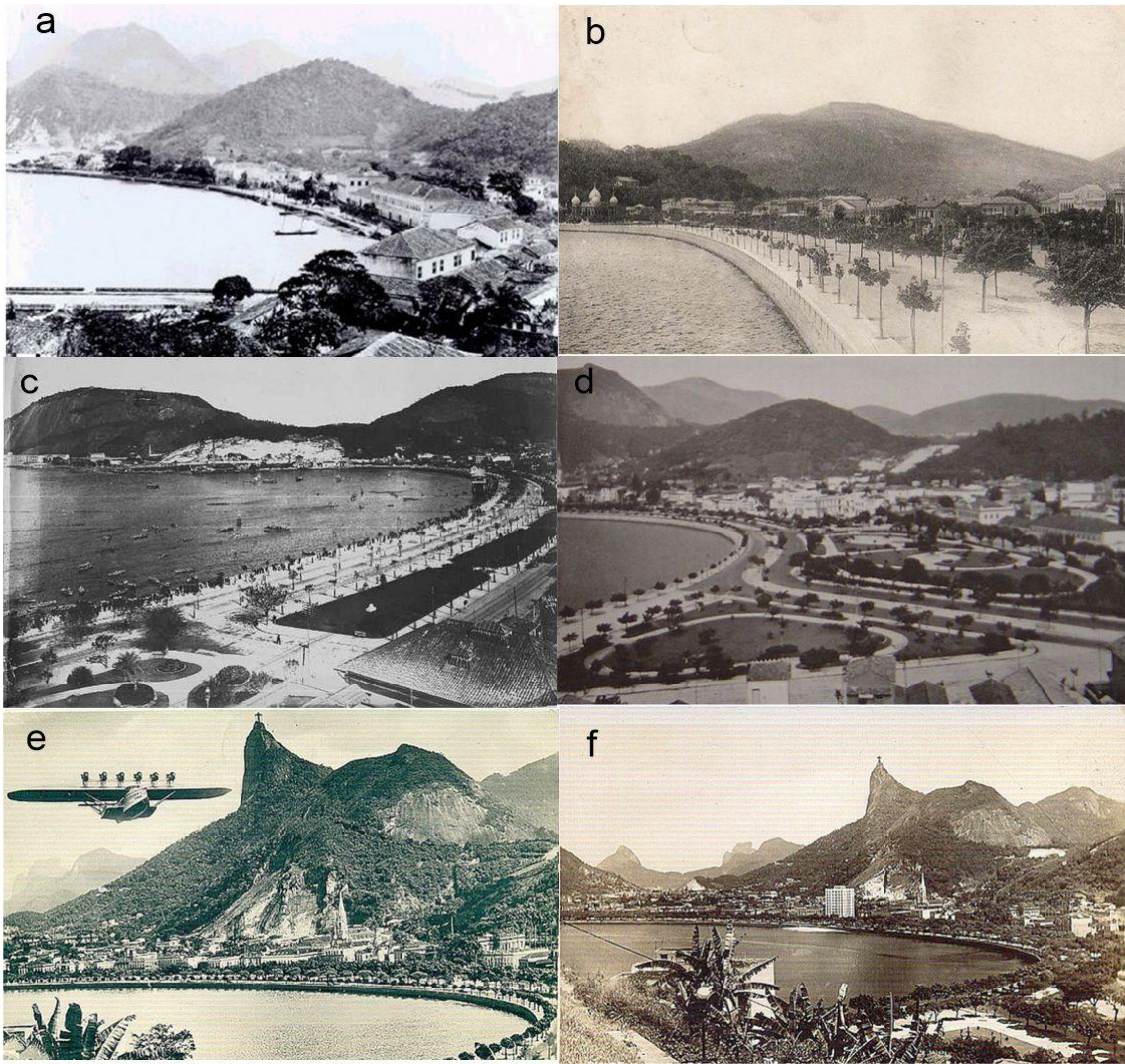


Figura12: Praia de Botafogo em 1855 (a), 1906 (b), 1910 (c), 1913 (d), no início dos anos 30 (e), e em 1937 (f). (Fonte: (a) a (f) - <http://www.flickr.com/photos/quadro>).

Por fim, são apresentados dois conjuntos de fotos da mesma posição e de ângulos opostos da praia de Botafogo, sendo as mais antigas de 1919. O primeiro conjunto (Figura 13 A e B) se refere à visão antiga e atual da praia de Botafogo a partir do Corcovado, e o segundo (Figura 13 C e D), a partir do Pão-de-Açúcar. Através delas fica clara a alteração produzida na forma e orientação geral de certos trechos da orla da baía. No primeiro conjunto nota-se ainda o surgimento e crescimento do Bairro da Urca por cima de áreas aterradas. Através do segundo conjunto percebe-se a retificação do contorno da baía na área do atual Iate Clube (à esquerda das fotos), bem como o alastramento da expansão urbana para cotas maiores.

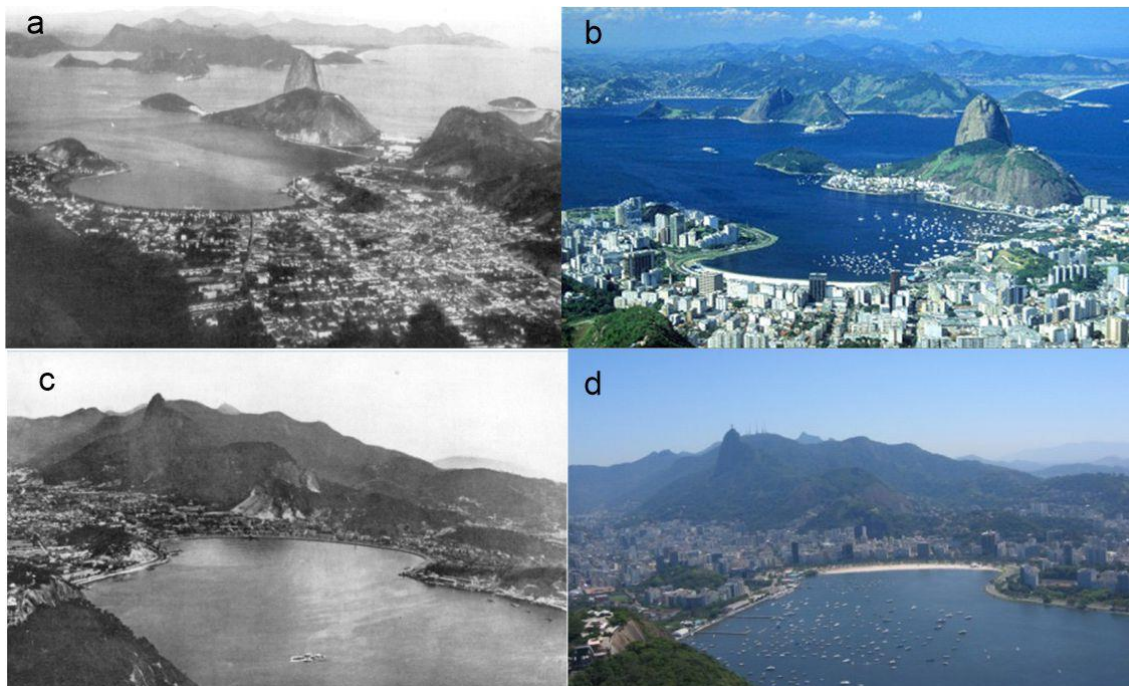


Figura 13: Visão da Praia de Botafogo a partir do Corcovado, em 1919 (a) e atualmente (b); bem como a partir do Pão-de-Açúcar, em 1919 (c) e recentemente (d). Fonte: (a) e (c) – acervo fotográfico de Augusto Malta; (b) e (d) – pesquisa no Google sobre fotos da Praia de Botafogo.

3.4. Atividades antrópicas na Baía de Guanabara na segunda metade do século XX - Quarta fase do Antropoceno

Atualmente, a região no entorno da Baía de Guanabara, abrangendo 13 municípios, com uma população de cerca de 11 milhões de habitantes e cerca de 12.000 indústrias (Pereira *et al.*, 2007; Marino, 2011). As atividades potencialmente poluidoras são representadas pelas seguintes empresas: Acesita Sandvik; Açúcar Perola Industria e Comercio; Atlantic Indal de Conservas S/A; Bayer do Brasil S/A; Bergitex Industria Textil Ltda; Casas Sendas Comércio e Industria S//A; Cia Progresso Indal – Fabrica Bangu; Marvin S/A; Nitriflex Indústria e Comércio S/A; Petrobras Distribuidora S/A; Petroflex Indústria e Comercio S/A; REDUC; Braspol; Briosol Indústria e Comércio; Cia Dinâmica de Refrigerantes; Ethyl Brasil Aditivos S/A; Frigorífico Santa Lúcia; Petrobras Terminais de Óleos;

Philipe Martin Indústria e Comércio e Confecção Ltda; SADIA Concordia S/A; IBF Indústria Brasileira de Filmes.

As degradações provocadas por estas atividades industriais devem ser somadas ao lançamento de lixo e esgotos na baía. A sua dimensão e impacto negativo, reflete o processo de ocupação em seus diferentes estágios e, nas últimas décadas, o pleno desenvolvimento do modelo urbano-industrial. Atualmente, a produção diária de lixo doméstico é de aproximadamente 13.000 ton.dia⁻¹ dos quais 4.000 ton.dia⁻¹ não chega aos aterros sanitários, sendo derramadas em terrenos baldios, rios e canais. No aterro de Gramacho, hoje desativado e substituído pelo aterro de Sepetiba, saem cerca de 800 mil litros diários de chorume (caldo ácido e tóxico) para as águas da baía (Kaufman, 2009).

Como resultado, a Baía da Guanabara vem sofrendo drástica degradação ambiental, com a presença em quantidades cada vez maiores de metais (como a prata apresentada no diagrama da Figura 14) nos sedimentos pode apontar para uma influência das atividades antrópicas no registro sedimentar neste período da evolução ambiental da Baía da Guanabara.

A região da Baía de Guanabara tem outras centenas de indústrias responsáveis pelo lançamento de quantidades expressivas de poluentes nos vários rios e riachos que a alimentam, além do esgoto doméstico *in natura* e de mercúrio (Barrocas & Wasserman, 1995). Ainda contribuem com carga poluidora para a baía 14 terminais marítimos de carga e descarga de produtos oleosos, 2 portos comerciais, entre eles o segundo mais importante de país com 1700 navios/ano (Fernandez *et al.*, 2005), diversos estaleiros e marinas, 2 refinarias de petróleo, 2 aeroportos, 2 bases navais, mais de 1000 postos de combustíveis e uma complexa rede de transporte de matérias-primas, combustíveis e produtos industrializados permeando zonas urbanas altamente congestionadas.

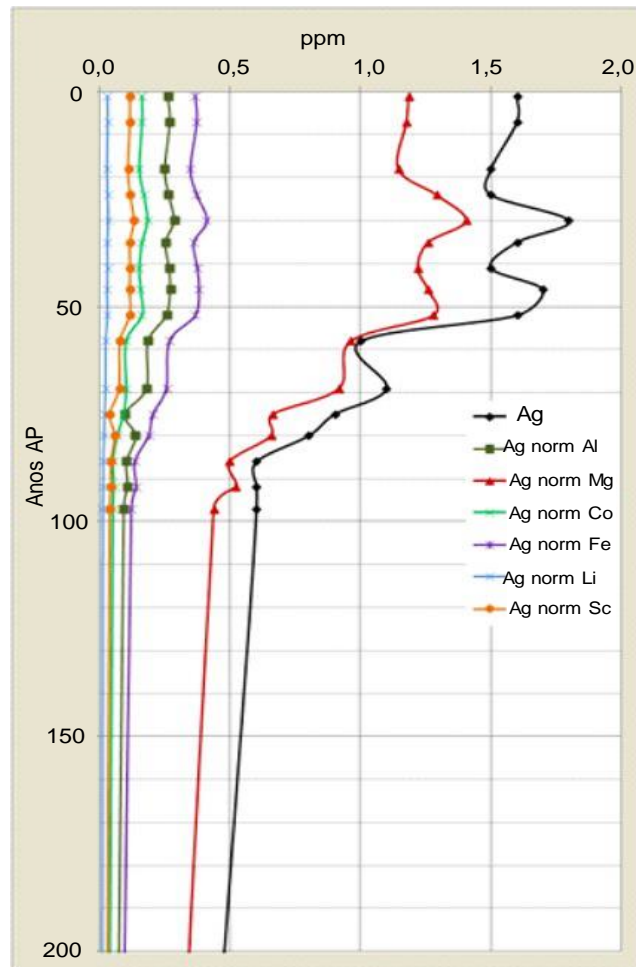


Figura 14. Variação nas concentrações absolutas e normalizadas de Prata ao longo do Testemunho T8 nos últimos 200 anos.

A bacia hidrográfica da Guanabara hospeda o segundo mais importante distrito industrial do Brasil, despejando nas águas da baía por volta de 20 toneladas/segundo de esgoto bruto, conforme Francioni *et al.* (2007). Esta carga orgânica, por outro lado, disponibiliza, segundo Carreira *et al.* (2002) anualmente cerca de 3×10^9 mols de fósforo e $6,2 \times 10^{10}$ mols de nitrogênio que, aliada à grande quantidade de luz solar e à temperatura da água elevada ao longo do ano, a torna um dos ecossistemas mais produtivos, com produção primária média de 0,17 mols de carbono por metro quadrado, por dia. O aporte de matéria orgânica está bem documentado no registro sedimentar dos testemunhos T3 e T8 (Figura 15).

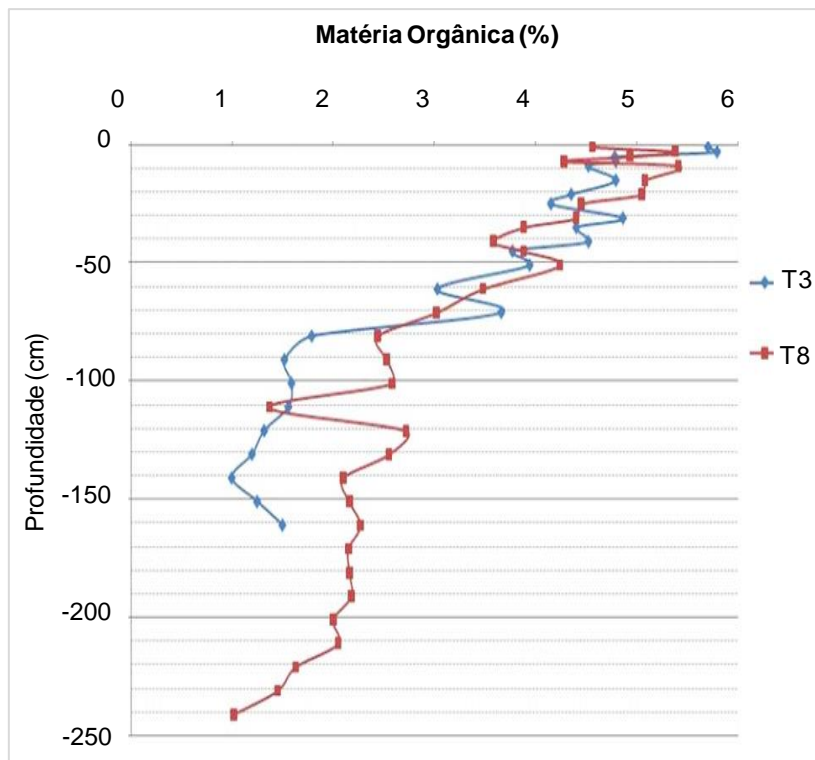


Figura 15. Variação do teor de matéria orgânica sedimentar em função da profundidade e parâmetros estatísticos nos testemunhos T3 e T8.

Localmente, no início desta fase foram realizadas intervenções na rede de drenagem a nordeste da Baía, como a construção do canal de Imunana, e alterações de cursos fluviais. Estas obras também contribuíram para a redução da granulometria dos sedimentos na Baía de Guanabara.

Estudos recentes visando a avaliação da qualidade do ambiente sedimentar da Baía de Guanabara com base em organismos meiofaunais bentônicos (foraminíferos) revelaram que o aumento do conteúdo de matéria orgânica e das concentrações de metais potencialmente tóxicos e, em particular de Zn, Cd e Pb, a depleção de oxigênio e a contaminação por óleo, em conjunto, contribuem para uma redução acentuada da abundância e diversidade de foraminíferos neste ecossistema natural (Alves Martins *et al.*, 2020b). A área de estudo é pobre e representada, principalmente, por pequenos espécimes com testas fracamente calcificadas ou aglutinadas e frágeis, característicos de um ambiente restrito ou confinado em estresse causado por grande entrada de resíduos industriais e domésticos (Vilela *et al.*, 2004; Martins *et al.*, 2016). A aplicação de índices bióticos, com base nestes organismos, nomeadamente, *Ammonia-Elphidium* e

“Foram Stress Index”, confirmam que os sedimentos da região interna desta baía são “fortemente poluídos”, apresentam “baixo estado de qualidade ecológica” e encontram-se num estado subóxicos a anóxicos (Alves Martins *et al.*, 2020b). Diante disso, é necessária atenção especial do poder público e dos formuladores de políticas para que ações imediatas possibilitem sua recuperação ambiental.

4. Conclusões

A camada de sedimentos de fundo da Baía de Guanabara correlacionada ao Antropoceno foi delimitada pelos efeitos das ações antrópicas diretas sobre os arredores e no interior da Baía de Guanabara, registrados em seus sedimentos, a partir do início do processo civilizatório / exploratório / colonialista. Essa camada apresenta variações de granulometria que indicam uma diminuição dos sedimentos depositados no fundo da baía e aumento relevante dos teores de matéria orgânica sedimentar, a partir de cerca de 1500, em plena “Pequena Idade do Gelo”. Estes efeitos, foram considerados como marcos do início do Antropoceno na baía, juntamente com as alterações quali e quantitativas verificadas à época nos grupos polínicos estudados no testemunho T8 por Barreto *et al.* (2007).

Estudos realizados por Baptista Filho *et al.* (2013) na Baía de Guanabara, permitiram estender esta primeira fase até meados do século XVIII. A partir daí verificou-se o início de uma marcante influência antrópica, porém ainda não considerada impactante devido, tanto às quantidades ainda não elevadas de poluentes, quanto ao caracter arenoso de seus sedimentos superficiais à época.

As obras efetuadas por Pereira Passos, no início do século XX, na orla ocidental da baía, próxima à sua desembocadura, que incluíram aterros e enrocamentos, constituíram o principal fator detonador dos processos de assoreamento (aumento na taxa de sedimentação) observados em vastas áreas deste sistema costeiro. As referidas obras associadas à expansão urbanística próximo das margens da baía (Figura 16), induziram um acréscimo do fornecimento de sedimentos, a redução da granulometria sedimentar, o aumento dos teores de matéria orgânica e de metais pesados e outros elementos-traço em vastas áreas. Estas variações, de maior amplitude e maior crescimento do que as observadas na fase anterior, caracterizaram o período compreendido entre 1900 e 1950.

A partir dos anos de 1950, teve lugar a 4ª fase da antropização da Baía de Guanabara caracterizada pelo crescimento exponencial das concentrações de elementos traços e de matéria orgânica sedimentar,

A Tabela 2 resume as fases identificadas a partir das análises nos sedimentos da Baía de Guanabara, bem como suas causas e efeitos nos sedimentos. Nota-se que a definição do Antropoceno nesta baía se fundamentou em ações antrópicas diretas que foram registradas nos testemunhos através de mudanças no registro sedimentar. Ressalta-se também que, não por coincidência, os limites do início das fases II e III de Crutzen & Steffen (2003), foram similares. Já os anos 50, é um dos limites mais comuns dos países que experimentaram a industrialização durante o século XX, acompanhado de crescimento demográfico importante.

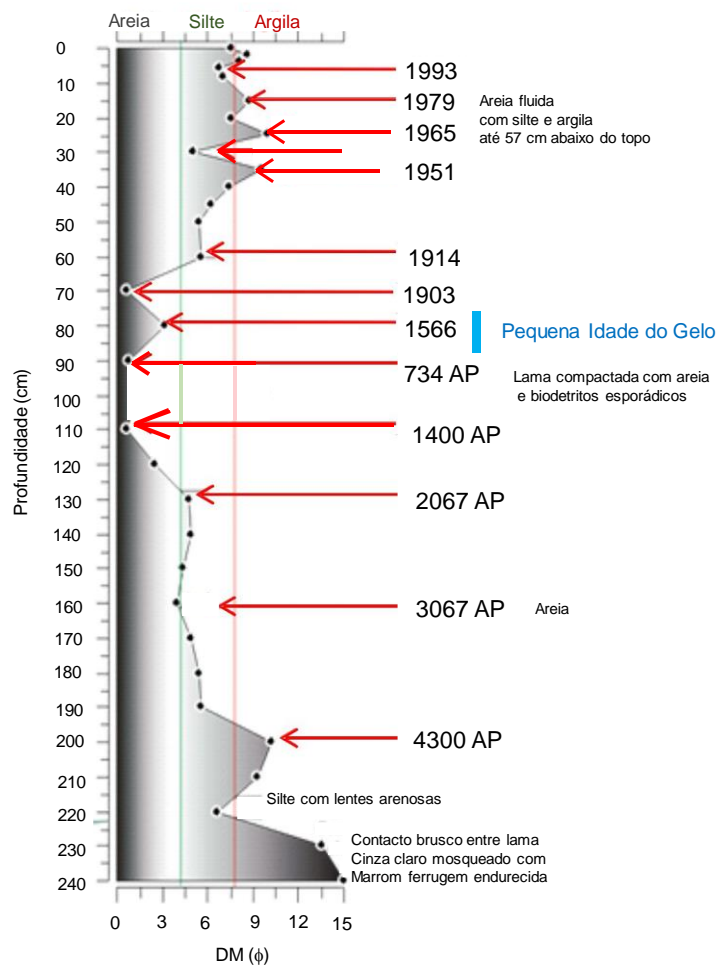


Figura 16: Variação do diâmetro médio dos sedimentos e sua classificação ao longo de T8, com descrição visual, alguns pontos com a idade estimada e com o posicionamento do período referente à Pequena Idade do Gelo, mencionado em Barth (2003).

Tabela 2: Fases do Antropoceno detectadas na Baía de Guanabara, seus limites, causas e efeitos observados nos parâmetros estudados no sedimento.

FASE	PERÍODO	CAUSAS	EFEITOS NO SEDIMENTO
Fase I	A partir de nossa "descoberta" até meados do século XVIII	Esforços de ocupação e defesa local após o descobrimento, em 1502, que culminou com a criação da cidade do Rio de Janeiro, em 1565.	Aumento na taxa de sedimentação em plena Pequena Idade do Gelo; tendência para crescimento mais acentuado dos teores de matéria orgânica sedimentar, a partir de então; alterações quali-quantitativas de grupos polínicos.
Fase II	Meados do séc. XVIII ao Início do séc. XX	Ciclo da mineração inicialmente e, depois, o início do ciclo da industrialização.	Aumento dos teores de alguns metais Início da poluição por metais, porém ainda não impactante.
Fase III	Início do séc. XX ao início dos anos 50	Alteração de mais de 10 Km da orla ocidental da baía próxima à desembocadura, entre 1902 e 1906; crescimento industrial e demográfico.	Alteração da linha de costa com brusca transição de sedimentos arenosos para silticos; aumento progressivo dos teores de metais pesados e de matéria orgânica.
Fase IV	Desde o início dos anos 50 à atualidade	Consolidação do modelo urbano industrial, localmente forçado pela construção do canal de Imunana; <i>boom</i> populacional.	Vasta distribuição de sedimentos lamosos; aumento exponencial dos teores de matéria orgânica e metais; estes atingem valores máximos nos níveis sedimentares mais recentes.

Agradecimentos

Os autores agradecem à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro (FAPERJ) pelo financiamento do projeto "Interação entre as baías de Sepetiba e Ilha Grande: padrões de circulação e sedimentação e influência antrópica" (Edital Pensa Rio 2009) e FAPERJ (E-26/010.001503/2014) com título "Análises químicas e isotópicas aplicadas a estudos ambientais nas zonas costeiras do Rio de Janeiro", coordenado pelo Professor Mauro Geraldês. Agradecimentos especiais à equipe do Laboratório de Preparação de Amostras Geológicas (FGEL, UERJ) e aos colegas que participaram das campanhas de amostragem.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABREU, M. A., 1997. **Evolução Urbana do Rio de Janeiro**. Rio de Janeiro, ed. IPLANRIO, pp. 35-135.
- ALVES MARTINS, M.V., PINTO, A.F.S., BORCHI, L., CARELLI, T.G., MORLOTE, M., REY, D., PEREIRA, E., RAMALHO, J.C.M., ROCHA, F., GERALDES, M.C., PORTRATZ, G.L., DULEBA, W., DOS REIS, A.T., GUERA, J.V., RODRIGUES, M.A.C., 2020a. Influence of the Holocene relative sea level on the coastal plain of Sepetiba Bay (Southeast Brazil). **Journal of Sedimentary Environments**, 5, 35-59. <https://doi.org/10.1007/s43217-019-00002-6>
- ALVES MARTINS, M.V., HOHENEGGER, J., MARTÍNEZ-COLÓN, M., FRONTALINI, F., BERGAMASHI, S., LAUT, L., BELART, P., MAHIQUES, M., PEREIRA, E., RODRIGUES, R., TERROSO, D., MIRANDA, P., GERALDES, M.C., VILLENA, H.H., REIS, T., SOCORRO, O.A.A., MELLO E SOUSA, S.H.M., YAMASHITA, C., ROCHA, F. 2020b. Ecological quality status of the NE sector of the Guanabara Bay (Brazil): A case of living benthic foraminiferal resilience. **Marine Pollution Bulletin** 158, 111-449. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2020.111449>
- Alves Martins, M.V., Rodrigues, R., Pereira, E., Miranda, P., Laut, L., Belart, P., Villena, H.H., GERALDES, M.C., Melo e Souza, S.H., Duleba, W., Bergamashi, S., 2018. Organic pollution in the NE sector of Guanabara Bay (SE, Brazil). **Journal of Sedimentary Environments**, 3, 138-154. <https://doi.org/10.12957/jse.2018.37826>
- ALVES, M.I., ROBERT, I., TAVARES, A.D., PESSOA, I., ALVES MARTINS, M.V., ALMEIDA, B.S., GERALDES, M.C., 2019. Evaluation by LA-MC-ICP-MS of NIST 612 Pb isotopic composition as external reference material and a new proxy for environmental characterization using (carbonatic) bivalves shells. **International Journal of Mass Spectrometry** 446 (2019) 116196. <https://doi.org/10.1016/j.ijms.2019.116196>
- AMADOR, E.S., 1997. **Baía de Guanabara e ecossistemas periféricos – Homem e Natureza**. Rio de Janeiro, Retroarte Gráfica e Editora, 539 p.
- AMADOR, E.S., 1980. Assoreamento da Baía de Guanabara – taxas de sedimentação. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, 52 (4), 723-742.
- AMADOR, E.D.S., 1974. Praias fósseis do Recôncavo da Baía de Guanabara. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, 46 (2), 253-262.
- ANDREATTA, V., CHIAVARI, M. P., REGO, H., 2009. **O Rio de Janeiro e sua orla: história, projetos e identidade carioca**. In: Instituto Municipal de Urbanismo Pereira Passos (IPP). Coleção Estudos Cariocas. Rio de Janeiro, 16 pp.
- ANGULO, R. J., LESSA, G. C., SOUZA, M. C., 2006. A critical review of mid- to late-Holocene sea-level fluctuations on the eastern Brazilian coastline. **Quaternary Science Reviews**, 25, 486-506.
- 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**, 140, 141-166. [https://doi.org/10.1016/S0025-3227\(97\)00015-7](https://doi.org/10.1016/S0025-3227(97)00015-7)
- BAPTISTA FILHO, L.S., BAPTISTA NETO, J.A., GERALDES, M.C.O., 2013. **Antropoceno da Baía De Guanabara: Características sedimentares, elementos-traço e razões isotópicas de chumbo em testemunhos. Interações homem-meio nas zonas costeiras: Brasil / Portugal**, 1ª ed, Rio de Janeiro: Corbã Editora Artes Gráficas Ltda, p. 15-40.

- BAPTISTA NETO, J. A., BREHME, I., GINGELE, F.X., LEIPE, T., 2006. Spatial distribution of heavy metals in superficial sediments from Guanabara Bay: Rio de Janeiro, Brazil. **Environmental Geology**, 49, 1051-1063. <https://doi.org/10.1007/s00254-005-0149-1>
- BAPTISTA NETO, J.A., CRAPEZ, M., MCALISTER, J.J., VILELA, C.G., 2005. Concentration and Bioavailability of Heavy Metals in Sediments from Niterói Harbour (Guanabara Bay/S.E. Brazil). **Journal of Coastal Research**, 21 (4), 811-817. <https://doi.org/10.2112/012-NIS.1>
- BAPTISTA NETO, J.A., SMITH, B.J., MCALLISTER J.J., 2000. Heavy metal concentrations in surface sediments in a nearshore environment, Jurujuba Sound, SE Brazil. **Environmental Pollution**, 109, 1-9. [http://dx.doi.org/10.1016/s0269-7491\(99\)00233-x](http://dx.doi.org/10.1016/s0269-7491(99)00233-x)
- BARRETO, C. F., LUZ, C.F.P., BAPTISTA NETO, J.A., VILELA, C.G., BARTH, O.M., 2007. Palynological analysis of a sediment core obtained in Guanabara Bay, Rio de Janeiro, Brazil. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, 79 (2), 223-234. <https://doi.org/10.1590/S0001-37652007000200005>
- BARROCAS, P.R., WASSERMAN J.C., 1995. O mercúriaBaía de Guanabara: uma revisão histórica. **Geochimica Brasiliensis**, 9(2), 115-127. <https://doi.org/10.21715/gb.v9i2.86>
- BARTH, O.M., 2003. A Palinologia como Ferramenta no Diagnóstico e Monitoramento Ambiental da Baía de Guanabara e Regiões Adjacentes, Rio de Janeiro, Brasil. **Anuário do Instituto de Geociências – UFRJ**, 26, 52-59.
- BARTH, O.M., BARRETO, C.F., COELHO, L.G., LUZ, C.F.P., 2004. Pollen record and paleoenvironment of 4210 years B.P. old sediment in the Bay of Guanabara, Rio de Janeiro, Brazil. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, 76, 549-551. <http://dx.doi.org/10.1590/S0001-37652004000300009>
- CARREIRA, R.S., WAGENER, A.L.R., READMAN, J.W., FILEMAN, T.W., MACKO, S.A., VEIGA, A., 2002. Changes in the sedimentar organic carbon pool of a fertilized tropical estuary, Guanabara Bay, Brazil: an elemental, isotopic and molecular marker approach. **Marine Chemistry**, 79 (3-4), 207-227. [https://doi.org/10.1016/S0304-4203\(02\)00065-8](https://doi.org/10.1016/S0304-4203(02)00065-8)
- CLEMENTE, I.M.M.M., SILVA, F.S., LAUT, L.L.M., FRONTALINI, F., COSTA, V.L., RODRIGUES, M.A.C. PEREIRA, E., BERGAMASCHI, S., MENDONÇA FILHO, J.G., MARTINS M.V.A., (2015). Bottom Sector Environments in Guanabara Bay (Rio de Janeiro, Brazil). **Journal of Coastal Research**, 31 (5), 1190-1204. <http://dx.doi.org/10.2112/JCOASTRES-D-14-00104.1>
- COELHO, V., 2007. **Baía de Guanabara: uma história de agressão ambiental: características geoambientais, formação e ecossistemas**. Rio de Janeiro: Editora Interciência, 405 p.
- CRUTZEN, P.J., STEFFEN, W., 2003. How long have we been in the Anthropocene era? An Editorial Comment. **Climatic Change**, v. 61, p. 251-257
- CRUZ, C.B.M., ARGENTO, M.S.F., MAYR, L.M., 1996. Um modelo de eutrofização para a Baía de Guanabara. **Geociências**,15(1), 115-128.
- CUNHA, B.C.A., ROCHA, D.S., GERALDES, M.C., PEREIRA, S.D., ALMEIDA, A.C., 2009. Pb isotopic signatures in sediments of a sub-tropical coastal lagoon: Anthropogenic sources for metal contamination in the Sepetiba Bay (SE – Brazil). **Journal of Coastal Research**, 56, 797-801.

- CUNHA, B., MACHADO, W., SOUZA, A., ARAÚJO, D., GARNIER, J., MARTINS, A., SALIBA, B., GERALDES, M.C., 2018. Lead source assessment by isotopic and elementary composition in the transition from pristine to polluted condition of coastal sediments. **Journal of Sedimentary Environments**, 3, 46-53. <http://dx.doi.org/10.12957/jse.2018.33890>
- DÍAZ MORALES, S.J., GUERRA, J.V., NUNES, M.A.S., ALVES MARTINS, M.V., SOUZA, A.M., GERALDES, M.C., 2019. Anthropogenic impacts on the western sector of Sepetiba Bay (SE do Brazil) accessed by the Pb isotope composition of surface sediments. **Journal of Sedimentary Environments**, 4 (3), 291-311. doi: <https://doi.org/10.12957/jse.2019.45269>
- FAIRBRIDGE, R.W., 1961. **Eustatic changes in sea level**. In: Physics and Chemistry of the Earth, vol. 4, London: Elsevier, p. 99-185.
- FARIA, M.M., SANCHEZ, B.A., 2000. Geochemistry and mineralogy of recent sediments of Guanabara Bay (NE sector) and its major rivers, Rio de Janeiro State, Brazil. **Anais da Academia Brasileira de Ciências** 73(1), 121-133.
- FERNANDEZ, M.A.S., WAGENER, A.D.L.R., LIMAVERDE, A.M., SCOFIELD, A.L., PINHEIRO, F.M., RODRIGUES, E., 2005. Imposed and surface sediment speciation: A combined approach to evaluate organotin contamination in Guanabara Bay, Rio de Janeiro, Brazil. **Marine Environmental Research**, 59 (5), 435-452. <https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2004.07.001>
- FIGUEIREDO, A.G., DE TOLEDO, M.O.B., CORDEIRO, R.C., GODOY, J.M.O., DA SILVA, F.T., VASCONCELOS, S.C., DOS SANTOS, R.A., 2014. Linked variations in sediment accumulation rates and sea-level in Guanabara Bay, Brazil, over the last 6000 years. **Palaeogeography Palaeoclimatology Palaeoecology**, 415, 83-90, <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2014.08.027>
- FISTAROL, G.O., COUTINHO, F.H., MOREIRA, A.P.B., VENAS, T., CÁNOVAS, A., DE PAULA, S.E.M. JR., COUTINHO R., DE MOURA, R.L., VALENTIN, J.L., TENENBAUM, D.R., PARANHOS, R., DO VALLE, R.A.B., VICENTE, A.C.P., AMADO FILHO, G.M., PEREIRA, R.C., KRUGER, R., REZENDE, C.E., THOMPSON, C.C., SALOMON, P.S., THOMPSON, F.L., 2015 Environmental and Sanitary Conditions of Guanabara Bay, Rio de Janeiro. **Frontiers in Microbiology**, 6, 1232. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2015.01232>
- FOLK, R.L., WARD, W.C., 1957. A Study in the Significance of Grain-Size Parameters. **Journal of Sedimentary Petrology** 27, 3-26. <https://doi.org/10.1306/74D70646-2B21-11D7-8648000102C1865D>
- FRANCIONI, E., WAGENER, A. DE L.R., SCOFIELD, DE L. DEPLEDGE, M.H., CAVALIER, B., SETTE, C.B., CARVALHOSA, L., LOZINSKY, C., MARIATH, R., 2007. Polycyclic aromatic hydrocarbon in inter-tidal mussel Perna perna: Space-time observations, source investigation and genotoxicity. **Science of the Total Environment**, 372 (2-3), 515-531. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2006.08.046>
- GERALDES, M.C., PAULA, A.H., GODOY, J.M., VALERIANO, C.M., 2006. Pb isotope signatures of sediments from Guanabara Bay, SE Brazil: Evidence for multiple anthropogenic sources. **Journal of Geochemical Exploration**, 88, 384-388.
- GUIMARÃES, M.S.D., CATANZARO, L.F., NETO, J.A.B., VILELA, C.G. BREHME, I., 2007. Caracterização textural dos sedimentos superficiais de fundo e dinâmica sedimentar na Baía de Guanabara, Rio de Janeiro. **Tamoios** 3 (2).
- GODOY, J. M., MOREIRA, I., BRAGANÇA, M. J., WANDERLEY, C., MENDES, L.D., 1998. A study of Guanabara Bay sedimentation rates. **Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry**, 227 (1-2), 157-160.

- HEILBRON, M., EIRALDO, L.G., ALMEIDA, J.C.H. [orgs], 2016. **Texto explicativo dos mapas geológico e de recursos minerais do Estado do Rio de Janeiro, escala 1:400.000**. CPRM, Belo Horizonte, 168p.
- IRELAND, S., 1987. The Holocene sedimentary history of the coastal lagoons of Rio de Janeiro state, Brazil. In: Tooley M.J. and Shennan, I. (Eds), **Sea level changes**. Basil Blackwell. In: Tooley M.J. and Shennan, I. (Eds), Sea level changes. Basil Blackwell. The Institute of British Geographers Special Publications Series: 2666.
- MUEHE, D. & KNEI, P.L., 1995. **O sambaqui de Camboinhas e o de Maratuá e as oscilações do nível do mar. Documento de Trabalho**. Série Arqueologia, Museu Nacional. UFRJ, RJ, Brasil, 3, 75-82.
- KAUFMAN, C.L.G., 2009. **Estudo hidrodinâmico e de qualidade de água após revitalização da circulação do Canal do Fundão, Baía de Guanabara – RJ. Rio de Janeiro**, Dissertação (Mestrado em Engenharia Oceânica). Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro.
- KJERFVE, B., RIBEIRO, C.A., DIAS, G.T.M., FILIPPO, A., QUARESMA, V.S., 1997. Oceanographic characteristics of an impacted coastal bay: Baía de Guanabara, Rio de Janeiro, Brazil. **Continental Shelf Research**, 17 (13), 1609–1643. [https://doi.org/10.1016/S0278-4343\(97\)00028-9](https://doi.org/10.1016/S0278-4343(97)00028-9)
- KNEIP, L., CRANCIO, F, SANTOS, C.M.C., MAGALHÃES, R.M.M., MELLO, E.M.B., 1997. **O sambaqui do Saco e de Madressilva – Saquarema, RJ. Documento de Trabalho**. Série Arqueologia, Museu Nacional, UFRJ, Rio de Janeiro, Nº 4, 67 p.
- MARINO, I.K., 2011. **Caracterização do registro sedimentar quaternário da Baía de Guanabara**. Monografia (Bacharelado em Geofísica), Departamento de Geologia, LAGEMAR, Universidade Federal Fluminense.
- MARTIN, L., DOMINGEZ, J. M. L., BITTENCOURT, A.C.S.P., 2003. Fluctuating Holocene Sea Levels in Eastern and Southeastern Brazil: Evidence from Multiple Fossil and Geometric Indicators. **Journal of Coastal Research**. West Palm Beach, Florida, 19 (1), 101 – 124.
- MARTINS, M.V.A., LAUT, L.L.M., FRONTALINI, F., SEQUEIRA, C., RODRIGUES, R., FONSECA, M.C.F., BERGAMASCHI, S., PEREIRA, E., DELAVY, F.P., FIGUEIREDO JR., A.G., MIRANDA, P., TERROSO, D., LUÍS PENA, A.L., LAUT, V.M., FIGUEIRA, R., ROCHA, F., 2016. Controlling factors on the abundance, diversity and size of living benthic foraminifera in the NE sector of Guanabara Bay (Brazil). **Journal of Sedimentary Environments**, 1(4), 401-418. <http://dx.doi.org/10.12957/jse.2016.26872>
- MONTEIRO, F.F., CORDEIRO, R.C., SANTELLI, R.E., MACHADO, W., EVANGELISTA, H., VILLAR, L. S., VIANA, L.C.A., BIDONE, E.D., 2012. Sedimentary geochemical record of historical anthropogenic activities affecting Guanabara Bay (Brazil) environmental quality. **Environmental Earth**, 65, 1661–1669. <https://doi.org/10.1007/s12665-011-1143-4>
- NASCIMENTO, D., SALOMÃO, M., MANE, M.A., GERALDES, M.V., 2019. Marine transgression records in the Sepetiba Bay region (RJ-Brazil) by GPR and ground magnetic survey. **Journal of Sedimentary Environments**, 4 (4), 518-539. <http://dx.doi.org/10.12957/jse.2019.47382>
- PAULA, A.H. GERALDES, M.C., 2006. Holocene Pb isotope chronological standard curve: The record of the anthropogenic activity in the last 6,000 years. **Terrae**, 2(1-2), 55-60.
- PEIXOTO, T. C. S., 2005. **Geocronologia e fluxos de carbono orgânico em sedimentos recentes da porção norte da baía de Guanabara, RJ**. Monografia, curso de graduação em oceanografia, UERJ, RJ. 41 pp.

INTERVENÇÕES HUMANAS NA BAÍA DE GUANABARA

- PEREIRA, E., BAPTISTA NETO, J.A., SMITH, B.J., MCALLISTER, J.J., 2007. The contribution of heavy metal pollution derived from high way run off to Guanabara Bay sediments – Rio de Janeiro / Brazil. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, 79 (4), 739-750.
- PERIN, G., FABRIS, R., MANETE, S., WAGENER, A.R., HAMACHER C., SCOTTO S., 1997. A five-year study on the heavy-metal pollution of Guanabara Bay sediments (Rio de Janeiro, Brazil) and evaluation of the metal bioavailability by means of geochemical speciation. **Water Research**, 13(12), 3017-3028. [https://doi.org/10.1016/S0043-1354\(97\)00171-1](https://doi.org/10.1016/S0043-1354(97)00171-1)
- PINTO, A.F.S., RAMALHO, J.C.M., BORGHI, L., CARELLI, T.G., PLANTZ, J.B., PEREIRA, E., TERROSO, D., SANTOS, W.H., GERALDES, M.C., ROCHA, F., RODRIGUES, M.A.C., LAUT, L., MARTINS, M.V.A., 2019. Background concentrations of chemical elements in Sepetiba Bay (SE Brazil). *Journal of Sedimentary Environments*, 4 (1), 108-123.
- POTRATZ, G., GERALDES, M.C., BIZZ, S., NOGUEIRA, L. MARTINS, M.V.A., 2019. Using lead isotopes and potentially toxic elements to trace pollutant sources in the northern region of Guanabara Bay, southeastern Brazil. **Marine Pollution Bulletin**, 144, 216-223.
- REGO, V.S., PFEIFFER, W.C., BARCELLOS, C.C., REZENDE, C. E., MALM, O., SOUZA, C.M.M., 1993. Heavy metal transport in the Acari-São João do Meriti river system, Brazil. **Environmental Technology** 14, 167-174. <https://doi.org/10.1080/09593339309385276>
- ROCHA, D.S., CUNHA, B.C.A., GERALDES, M.C., PEREIRA, S.D., ALMEIDA, A.C., 2010. Metais pesados em sedimentos da baía de Sepetiba, RJ: implicações sobre fontes e dinâmica da distribuição pelas correntes de maré. **Geochimica Brasiliensis**, 24, 63-70. <https://doi.org/10.21715/gb.v24i1.321>
- SCHELL-YBERT, R., 2001. Man and vegetation in Southeastern Brazil during the Late Holocene. **Journal of Archaeological Science**, 28, 471-480.
- SILVEIRA, R.P., RODRIGUES, A.P., SANTELLI, R.E., CORDEIRO, R.C., BIDONE, E.D., 2011. Mass balance in the monitoring of pollutants in tidal rivers of the Guanabara Bay, Rio de Janeiro, Brazil. **Environmental Monitoring and Assessment**, 181 (1-4), 165-173. <https://doi.org/10.1007/s10661-010-1821-9>
- 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**, 15 (4), 273-286.
- VILELA, C.G., BATISTA, D.S., BAPTISTA NETO, J.A., CRAPEZ, M., MCALLISTER, J.J., 2004. Benthic foraminifera distribution in high polluted sediments from Niterói Harbor (Guanabara Bay), Rio de Janeiro, Brazil. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, 76 (1), 161-171. <https://doi.org/10.1590/S0001-37652004000100014>
- YBERT, J.P., BISSA, W.M., CATHARINO, E.L.M., KUTNER, M., 2003. Environmental and sea-level variations on the southeastern Brazilian coast during the Late Holocene with comments on prehistoric human occupation. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, 189, 11-24. [https://doi.org/10.1016/S0031-0182\(02\)00590-4](https://doi.org/10.1016/S0031-0182(02)00590-4)