



Universidade do Estado do Rio de Janeiro

Centro de Tecnologia e Ciências

Faculdade de Geologia

Iara Martins Matos Moreira Clemente

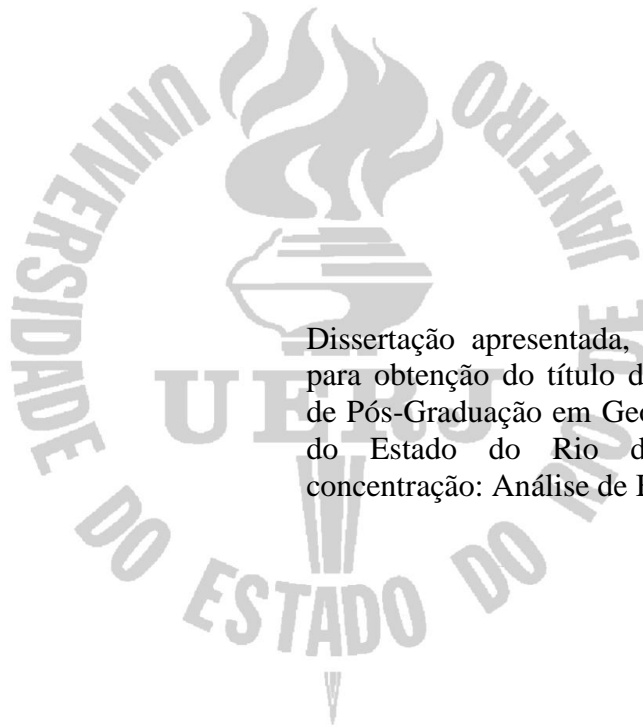
Ecologia e paleoecologia de foraminíferos do holoceno na Baía de Guanabara, RJ

Rio de Janeiro

2011

Iara Martins Matos Moreira Clemente

Ecologia e paleoecologia de foraminíferos do holoceno na Baía de Guanabara, RJ



Dissertação apresentada, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre, ao Programa de Pós-Graduação em Geologia, da Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Área de concentração: Análise de Bacias

Orientadores: Prof.^a Dra. Maria Antonieta da Conceição Rodrigues

Coorientador: Prof. Dr. Lazaro Luiz Mattos Laut

Rio de Janeiro

2011

CATALOGAÇÃO NA FONTE
UERJ / REDE SIRIUS / BIBLIOTECA CTC/C

C626 Clemente, Iara Martins Matos Moreira.
Ecologia e paleoecologia de foraminíferos do holoceno na
Baía de Guanabara, RJ / Iara Martins Matos Moreira Clemente.
– 2011.
100 f.

Orientadora: Maria Antonieta da Conceição Rodrigues.
Coorientador: Lazaro Luiz Mattos Laut
Dissertação (Mestrado) - Universidade do Estado do Rio de
Janeiro, Faculdade de Geologia.
Bibliografia.

1. Paleoecologia – Quaternário - Teses. 2. Foraminífero –
Guanabara, Baía de (RJ) - Teses. 3. Isótopos - Teses. I.
Rodrigues, Maria Antonieta da Conceição. II. Laut, Lazaro
Luiz Mattos. II. Universidade do Estado do Rio de Janeiro.
Faculdade de Geologia. III. Título.

CDU 56(815.3)

Autorizo, apenas para fins acadêmicos e científicos, a reprodução total ou parcial desta tese.

Assinatura

Data

Iara Martins Matos Moreira Clemente

Ecologia e paleoecologia de foraminíferos do holoceno na Baía de Guanabara, RJ

Dissertação apresentada, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre, ao Programa de Pós-Graduação em Geologia, da Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Área de concentração: Análise de Bacias

Aprovada em 23 de março de 2011.

Banca Examinadora:

Prof.^a Dra. Maria Antonieta da Conceição Rodrigues (Orientadora)
Faculdade de Geologia da UERJ

Prof. Dr. Lazaro Luiz Mattos Laut (Co-orientador)
Faculdade de Biologia da UNIRIO

Dr. Frederico Sobrinho da Silva
Faculdade de Geologia da UFRJ

Prof.^a Dra. Claudia Vilela
Faculdade de Geologia da UFRJ

Rio de Janeiro

2011

DEDICATÓRIA

À minha família pelo apoio incondicional e principalmente, ao meu pai por fazer tudo isso acontecer.

AGRADECIMENTOS

À minha orientadora Prof.^a Dr.^a Maria Antonieta da Conceição Rodrigues, por ter me aceitado no mestrado e pela confiança no trabalho realizado.

Ao meu orientador Prof. Dr. Lazaro Luiz Matos Laut pelo apoio, preocupação, compreensão e muita paciência. Muito mais do que um orientador, um grande amigo, que em muitos momentos de “broncas” revelou uma grande preocupação em me transformar numa parceira de trabalho e não somente mais uma aluna.

Ao Dr. Frederico Sobrinho da Silva do Laboratório de Palinofacies e Fácies Orgânicas - LAFO - da Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ pelas amostras superficiais concedidas neste projeto, mas como também pelas conversas, apoio e amizade.

Ao Professor Dr. Alberto Figueiredo do Departamento de Geologia - LAGEMAR -da UFF pelas amostras do testemunho BG 28 e pelas datações.

Ao Professor Dr. Egberto Pereira pelas análises dos Isótopos e pelas fotos de microscopia.

À CAPES pela concessão da Bolsa.

Aos professores do Programa de Pós-graduação em Análise de Bacias e Faixas Móveis da UERJ, bem como seu corpo técnico.

À amiga e comadre Vanessa Laut pelo incentivo a tentar a prova do mestrado, pelos anos de parceria, pela minha afilhada Bia e pela amizade de uma vida.

À amiga Letícia Mentzingen pela ajuda na confecção deste trabalho, na amizade e nas “bobeiras” nas horas tristes que me fizeram rir e continuar a trabalhar.

Aos amigos Inês, Cintia e Leo pela paciência e apoio e ao professor Marcelo Buzzina pela confiança.

À Walmira, Paulo e Ana Paula pela amizade, pelo cuidado com as minhas meninas nas horas em que eu não podia estar junto delas e por todo apoio e paciência.

À Aida, minha avó, pelo amor, pelas orações e por ser sempre um exemplo de luta e superação de vida.

À Larissa e Luana, minhas filhas, que apesar das reclamações e “choramingos” me apoiaram e “entenderam” minhas horas de ausência. Nos momentos mais complicados foram à essência da minha vontade de continuar.

Ao Rodrigo pelo apoio, parceria, paciência nos momentos de choro e desânimo, pelo amor e cuidado dedicados a mim. E, acima de tudo, por ter me dado as duas grandes razões da minha vida, minhas meninas.

À minha Mãe pelo amor, broncas, lanchinhos nas horas mais complicadas e cuidados com a minha saúde.

Ao meu Pai que, mais do que amor, apoio e paciência, fez com que tudo fosse possível. Ele me mostrou que não existe problema sem solução e que o impossível é somente um ponto de vista quando se tem um objetivo na vida.

A Deus por me guiar nos momentos mais difíceis e me permitir realizar esse sonho.

O rio atinge seus objetivos porque aprendeu a contornar os obstáculos.

André Luis

RESUMO

CLEMENTE, Iara Martins Matos Moreira. **Ecologia e paleoecologia de foraminíferos do holoceno na Baía de Guanabara, RJ.** 2011. 100 f. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Geologia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2011.

Este estudo teve como objetivo contribuir com as informações ecológicas e paleoecológicas geradas para a Baía de Guanabara com base na distribuição das assembleias de foraminíferos bentônicos. Para tal foram coletadas 30 amostras de sedimento superficial, ao longo de três perfis distribuídos pela baía e um testemunho (BG28) de 6 m de comprimento retirado próximo a Ilha do Governador. Nas amostras superficiais foram identificados 30 gêneros e 52 espécies das quais as espécies mais constantes foram *Ammonia tepida* e *Bolivina translucens* que apresentaram a maior constância. Espécies de habitat de plataforma foram identificadas em diversas estações indicando uma boa eficiência no transporte das correntes de fundo para dentro da baía. Das estações superficiais analisadas, 10 localizadas ao redor da Ilha do Governador não continham testas de foraminíferos, possivelmente como resultado da acidificação do sedimento causado pelo derrame de óleo ocorrido em 2000. O índice de confinamento associado às análises de agrupamento e ao DCA indicou a presença de três setores ambientais influenciadas por COT e granulometria. O primeiro setor entre Copacabana-Itatipú e Aeroporto Santos Dumont – Ilha de Boa Viagem foi o ambiente marinho, o segundo setor entre o Aeroporto Santos Dumont - Ilha de Boa Viagem e Ilha do Governador – Ilha de Paquetá – Litoral de São Gonçalo pode se classificado como um ambiente de estuário inferior ou baía com grande influência marinha e o terceiro setor entre a Ilha do Governador – Ilha de Paquetá – Litoral de São Gonçalo e fundo da baía como o ambiente mais confinado. No testemunho foram feitas sete datações indicando uma idade de aproximadamente 5180 ± 40 anos BP. As datações também mostraram que nos últimos anos a taxa de sedimentação aumentou muito podendo estar relacionada com o período de colonização européia. Foram encontrados 18 gêneros e 30 espécies de foraminíferos das quais a espécie mais constante foi a *Ammonia tepida* seguida pela *Buliminella elegantissima*. O padrão de distribuição dessas espécies ocorreu com a maior abundância de *B. elegantissima* nas porções mais inferiores do testemunho e uma abundância maior de *A. tepida* nas porções mais superiores. Os índices de confinamento junto com as análises de agrupamento e com as curvas de isótopos mostraram que houve poucas oscilações no aporte de água marinha naquela região. As análises dos isótopos de $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{18}\text{O}$ não seguiram um padrão inverso comum em outros estudos, possivelmente influenciado pela proximidade da costa. As análises de agrupamentos indicaram que nos últimos 5180 anos BP a baía não sofreu grandes variações ambientais, ou seja, a região oeste da baía mesmo apresentando alterações ao longo dos anos não foi suficiente para modificar as características de confinamento. As análises nos padrões de distribuição das assembleias de foraminíferos demonstraram ser eficientes ferramentas na caracterização ambiental e paleoambiental da Baía de Guanabara.

Palavras-Chave: Foraminíferos. Baía de Guanabara. Quaternário. Isótopos. Índice de confinamento.

ABSTRACT

This study aimed to contribute with ecological and paleoecological informations generated in the Guanabara Bay based on the distribution of benthic foraminifera assemblages. In this study were collected 30 samples of surface sediments along three transect distributed in the bay and one core of 6 m length extracted near to Ilha do Governador. In the surface samples were identified 30 genera and 52 species which the most constant species were *Ammonia tepida* e *Bolivina translucens* exhibit the major constancy. Marine species were identified in several stations indicating good efficiency of tidal landward transport. In the surface stations analyzed, 10 located around Ilha do Governador doesn't contain foraminifera tests, perhaps as a result of sediment acidification caused by oil spill occurred at year 2000. The confinement index associated to cluster analysis and DCA indicated the presence of three influenced environmental sectors by COT and grain size. The first section between Copacabana – Itaipú and Santos Dumont airport – Ilha de Boa Viagem was the marine environment, the second section between Santos Dumont airport – Ilha de Boa Viagem and Ilha do Governador – Ilha de Paqueta – São Gonçalo coast can be classified like a inferior estuarine environment or bay with great marine influence and a third section between Ilha do Governador – Ilha de Paqueta – São Gonçalo coast and the inner of the bay as the most confined environment. In the core were done 7 dating indicating an age approximately 5180 ± 40 years BP. The dating also reveal that in the last years the sedimentation rate increase and could be related with the European colonization period. Were found 18 genera and 30 species of foraminifera which the most constant specie was *Ammonia tepida* followed by *Buliminella elegantissima*. The distribution pattern of this species occurred with higher abundance of *B. elegantissima* in most inferior portions from the core and major abundance of *A. tepida* in most superior portions. The confinement index combined with cluster analysis and isotopes curves showed that was a few oscillations in the input of marine water in that region. Isotope analysis of $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{18}\text{O}$ doesn't followed usual inverse pattern in other studies, possibly influenced by the proximity with the coast. The cluster analysis indicated that in the last 5180 years BP the bay didn't suffer large environmental variations, that means the west region of the bay even presenting modification through the years it was not sufficient to modify the characteristics of the confinement. Analysis in the distribution pattern of foraminifera assemblages demonstrated to be efficient tools to the environmental and paleoenvironmental characterization of Guanabara Bay.

Keywords: Foraminifera. Guanabara Bay. Quaternary. Isotopes. Confinement index.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 -	Mapa geológico da área do estado do Rio de Janeiro mostrando os diversos arcos e domínios.....	20
Figura 2 -	Gráben da Guanabara que se estende desde a Baía de Sepetiba ate a cidade de Barra de São João no município de Casemiro de Abreu (Ferrari, 2001)...	21
Figura 3 -	Esquema evolutivo do gráben da Guanabara (Ferrari, 2001).....	23
Figura 4 -	Mapa de diâmetro médio dos sedimentos de fundo da Baía de Guanabara (Catanzaro, 2003).....	25
Figura 5 -	Mapa de localização das amostras superficiais e do testemunho BG28.....	34
Figura 6 -	Valores de Salinidade nas amostras superficiais da Baía de Guanabara.....	41
Figura 7 -	Valores de COT nas amostras superficiais da Baía de Guanabara.....	42
Figura 8 -	Valores de Potencial Redox nas amostras superficiais.....	43
Figura 9 -	Diagrama triangular da classe textural dos pontos amostrais. As subdivisões se baseiam nas porcentagens de areia/silte/argila de Flemming (2000).....	43
Figura 10 -	Índice de Diversidade das amostras superficiais.....	45
Figura 11 -	Índice de Dominância das amostras superficiais.....	45
Figura 12 -	Índice de Equitabilidade das amostras superficiais.....	46
Figura 13 -	Correlação entre análises de agrupamento em Modo- Q e R ao longo da BG.....	47
Figura 14 -	DCA das amostras superficiais da Baía de Guanabara.....	48
Figura 15 -	DCA das espécies nas amostras superficiais.....	49
Figura 16 -	Índice de confinamento das estações amostrais na Baía de Guanabara (Clemente et al., 2010).....	50
Figura 17 -	Datação do testemunho BG 28.....	51
Figura 18 -	Dados abióticos e bióticos do testemunho BG 28.....	53
Figura 19 -	Correlação entre análises de agrupamento em Modo- Q e R no testemunho...	54
Figura 20 -	Desvio de precipitação trimestral (out-nov-dez) de 2005 do Instituto Nacional de Meteorologia – INMET.....	59
Figura 21 -	Localização dos agrupamentos.....	60
Figura 22 -	Setorização da Baía de Guanabara baseado no índice de confinamento das assembleias de foraminíferos (Clemente et al., 2010).....	63

SUMÁRIO

	INTRODUÇÃO	12
1	FORAMINÍFEROS	14
1.1	Ecologia de Foraminíferos	14
1.2	Trabalhos Prévios	15
2	ÁREA DE ESTUDO	19
2.1	Localização	19
2.2	Geologia	19
2.2.1	<u>Evolução Geológica Regional</u>	19
2.2.2	<u>Evolução Geológica do Gráben da Guanabara</u>	20
2.2.3	<u>Compartimento da Baía de Guanabara</u>	22
2.2.4	<u>Sedimentologia</u>	23
2.2.5	<u>Evolução Quaternária da Baía de Guanabara</u>	24
2.3	Clima	27
2.4	Oceanografia	28
2.5	Vegetação	29
2.6	Poluição	30
3	MATERIAIS E MÉTODOS	33
3.1	Amostragens	33
3.1.1	<u>Amostragens de Sedimento Superficial</u>	33
3.1.2	<u>Amostragem em Testemunho</u>	33
3.2	Análises Laboratoriais	34
3.2.1	<u>Foraminíferos</u>	35
3.2.2	<u>Microscopia Eletrônica de Varredura</u>	35
3.2.3	<u>Carbono Orgânico Total</u>	35
3.2.4	<u>Datação</u>	35
3.2.5	<u>Isótopos</u>	36
3.3	Tratamentos Estatísticos dos Dados	36
3.3.1	<u>Índices Ecológicos</u>	37
3.3.2	<u>Análises Multivariadas</u>	38
3.3.2.1	<u>Análise de Agrupamento</u>	38

3.3.2.2	Análise de Correspondência Canônica – CCA.....	39
3.3.2.3	Detrendet Correspondence Analysis – DCA.....	39
3.4	Índice de Confinamento	39
4	RESULTADOS	41
4.1	Amostras Superficiais	41
4.1.1	<u>Dados Abióticos</u>	41
4.1.2	<u>Dados Bióticos</u>	44
4.2	Amostras de Testemunhagem	50
4.2.1	<u>Dados Abióticos</u>	50
4.2.2	<u>Dados Bióticos</u>	51
5	DISCUSSÃO	55
5.1	Amostras Superficiais	55
5.2	Amostras de Testemunhagem	63
6	CONCLUSÃO	69
	REFERÊNCIAS	71
	ANEXO A – Sistemática.....	82
	ANEXO B – Tabelas.....	98

INTRODUÇÃO

As baías são ambientes costeiros abrigados da circulação da plataforma continental adjacente, comuns nas linhas de costa, e foram tectonicamente ativas em todos os continentes. (BÉRGAMO, 2006)

A Baía de Guanabara e sua bacia de drenagem associada estão inseridas geologicamente no *rift* da Guanabara, que faz parte do conjunto de depressões Terciárias da costa sudeste brasileira (FERRARI, 1990). Sua configuração atual está ligada às variações do nível do mar no Holoceno, que condicionaram o afogamento de um antigo vale fluvial Pleistocênico (AMADOR, 1992). A baía foi classificada como um estuário de planície costeira (Perillo, 1995), onde fatores físico-químicos e biológicos interagem continuamente caracterizando-a como um ambiente altamente produtivo (QUARESMA, 1997).

Ela possui uma área costeira, com um espelho d'água de 412 Km² com profundidades que variam entre 4 e 60 m onde a circulação e a salinidade estão condicionadas aos movimentos das correntes marítimas, marés, ventos e descargas fluviais (KJERVE, 1996).

A área de estudo está localizada numa das regiões mais urbanizadas do Brasil, situada na cidade do Rio de Janeiro e toda sua região metropolitana, que constitui o segundo maior núcleo demográfico do Brasil. Possui uma grande importância devido a sua utilização em diversas atividades como prática de esporte, recreação, pesca, entre outras (EICHLER et al., 2003). Porém, a urbanização desordenada gerou sérios problemas ambientais e em decorrência disto um dos ambientes mais degradados do país, necessitando, portanto, do entendimento da sua hidrodinâmica e das características do fundo que são essenciais no planejamento e monitoramento ambiental da área.

Os foraminíferos têm sido utilizados como base de estudo para caracterização ambiental de vários tipos de ambientes como, por exemplo, os de marismas. Desde a década de 50, Phleger e Walton (1950) e Phleger (1970) associaram sua distribuição horizontal destes organismos com parâmetros ecológicos e Scott e Medioli (1980 e 1986), utilizaram zoneamentos verticais de foraminíferos de marismas como indicadores do nível relativo do mar no Quaternário.

Muitos trabalhos relacionados à distribuição de indicadores biológicos com foraminíferos têm sido aplicados com sucesso na diferenciação destes ambientes e determinação dos graus de poluição, em várias regiões costeiras brasileiras, inclusive na Baía

de Guanabara (EICHLER et al., 2003; FIGUEIRA et al., 2001; FIGUEIRA et al., 2005; LAUT et al., 2009; VILELA et al., 2004; VILELA et al., 2006).

Os padrões de distribuição das assembleias de foraminíferos têm sido utilizados com sucesso nas interpretações ambientais devido à sua grande sensibilidade à variação de parâmetros físico-químicos e poluentes que podem-se refletir nas composições faunísticas ou em deformações nas carapaças. Esta distribuição está frequentemente relacionada aos limites naturais de massas d'água, influência do escoamento superficial, mudanças sazonais, correntes e processos biogeoquímicos (EICHLER et al., 2006; LAUT et al., 2009; VILELA et al., 2003). O parâmetro essencial que controla a distribuição de organismos e as características de populações viventes pode ser descrita pelo tempo de renovação de elementos marinhos que foram originados em cada um dos pontos dados (DEBENAY, 1990).

Acrescenta-se ainda que estudos baseados em faunas recentes são muito importantes nas interpretações de faunas fósseis e padrões ecológicos, pois o conhecimento das diferentes espécies, abundância, distribuição geográfica e batimetria, associados aos dados físico-químicos de um local, podem ser de grande relevância em interpretações paleoambientais, paleogeográficas e paleobatimétricas (CARVALHO, 1980).

Mediante os fatos, este estudo tem como objetivo qualificar e quantificar as assembleias de foraminíferos recentes associadas aos parâmetros bióticos e abióticos da Baía de Guanabara – RJ contribuindo com as pesquisas realizadas na área, auxiliando na compreensão da dinâmica e dos impactos ambientais atuais. Bem como, o estudo da sequência sedimentar recuperada no testemunho tenta ainda estabelecer um modelo de evolução do sistema durante o Holoceno.

1 FORAMINÍFEROS

1.1 Ecologia de Foraminíferos

Os foraminíferos são microrganismos unicelulares, heterotróficos, pertencentes ao Reino Protista, com aproximadamente 900 gêneros e 10000 espécies modernas com hábitos bentônicos (HASLETT, 2002). Produzem uma substância especial, a tectina, que formam carapaças denominadas testas ou tecas e podem possuir várias formas e tamanhos (LAUT, 2007).

Estes envoltórios podem ser de dois tipos: aglutinantes, os quais agregam partículas variadas como grãos de areia, fragmentos calcários de outras carapaças ou conchas, e espículas de esponja, que são cimentadas sobre uma camada orgânica; e calcários, mais comuns, formadas por carbonato de cálcio (principalmente calcita), sendo estas divididas de acordo com a estrutura das paredes em: microgranulares (já extintos), porcelânicas e hialinas (CARVALHO, 2004).

Possuem amplo registro geológico, desde o Cambriano até o Recente. Estão distribuídos por diversos ambientes, desde manguezais, pântanos salinos, lagunas, estuários, plataformas e até nas zonas batial e abissal (HASLETT, 2002).

As zonações de foraminíferos estão frequentemente relacionadas a fatores abióticos como os limites naturais de massas d'água, influência do escoamento superficial, mudanças sazonais, correntes, processos biogeoquímicos e fatores bióticos como nutrientes, competição, predação, entre outros (EICHLER et al., 2006). Podem tolerar diversas alterações ambientais como liberação de poluentes no meio e refletir tanto no condicionamento e estabelecimento de algumas espécies como também em deformações nas carapaças (SILVA, 2006).

Estes padrões de distribuição das assembleias de foraminíferos têm sido utilizados com sucesso em interpretações ambientais, assim como em estudos biológicos, biocronológicos, bioestratigráficos e paleoecológicos porque apresenta elevada frequência, diversidade, abundância, tamanho diminuto, ciclo de vida bem curto e bom potencial de preservação em sedimentos marinhos (BOLTOVSKOY, 1965; HANNAN e ROGERSON, 1997; LAUT, 2007).

Essa grande variabilidade e sensibilidade ao ambiente permite que eles sejam indicadores de diferentes idades geológicas, uma vez que respondem rapidamente às mudanças ambientais em diferentes idades geológicas. E a comparação com a fauna atual

permite criar associações com os parâmetros abióticos sugerindo como era o ambiente no passado (CARVALHO, 1980).

1.2 Trabalhos Prévios

A Baía de Guanabara vem sendo foco de pesquisas nas últimas décadas devido à sua complexidade e importância. Foram feitos estudos de caracterização ambiental e níveis de poluição entre outros, utilizando diversas ferramentas ambientais. (EICHLER, 2006; FIGUEIRA et al., 2005; FONTANA et al., 2006 e 2007; LAUT et al., 2009; VILELA et al., 2006).

Entre estes trabalhos relacionados à distribuição recente de indicadores biológicos, os foraminíferos têm sido aplicados em algumas regiões costeiras brasileiras com sucesso na caracterização e diferenciação de ambientes e determinação do grau de poluição industrial e contaminação orgânica como, por exemplo, no Canal de Bertioga, SP e na própria Baía de Guanabara, RJ (EICHLER et al., 2003 e 2006; FIGUEIRA et al., 2001 e 2005; VILELA et al., 2004 e 2006).

Eichler et al. (2001) utilizaram os foraminíferos bentônicos como bioindicadores de influência marinha na Baía de Guanabara durante o inverno e, em 26 estações amostradas foram identificadas cinquenta e três espécies de foraminíferos pertencentes principalmente aos gêneros *Ammonia*, *Bolivina*, *Cassidulina*, *Discorbis*, *Elphidium* e *Quinqueloculina*. A espécie de *Cassidulina subglobosa* e o gênero *Discorbis* apresentaram-se abundantes nas estações localizadas na entrada e na porção central da baía.

Vilela et al. (2001) e Vilela et al. (2004) analisaram o efeito de alguns metais pesados em amostras de foraminíferos no porto de Niterói, Ilha da Conceição e na enseada de Jurujuá. A baixa concentração de foraminíferos e a dominância de espécies como: *Buliminella elegantissima*, *Ammonia tepida*, *Bolivina lowmani* e *Elphidium discoidale*, refletem ambientes sob estresse. Nas estações mais próximas ao porto, os valores de abundância e diversidade foram mais baixos e um grande número de testas malformadas e desgastadas revelou uma ferramenta em termos de análise de impacto em regiões costeiras.

Clemente et al (2010), Laut et al (2007) e Vilela et al. (2003) compartimentaram a Baía de Guanabara em três regiões como base nas assembleias de foraminíferos e em ambos foram encontrados ao longo de toda a baía as espécies: *Ammonia tepida*, *Ammonia parkinsoniana*, *Buliminella elegantissima*, *Quinqueloculina seminulum*, *Textularia erlandi* e *Elphidium* spp.

Kfoury et al. (2003) determinou 5 regiões dentro da baía através de uma correlação com a toxicidade do sedimento apresentada pela espécie de anfípoda *Triburionella viscana* e as assembleias de foraminíferos identificando áreas como: A – entrada da baía onde dominaram espécies de foraminíferos mixohalinas como *Ammonia beccarii*, *Buliminella elegantissima*, *Elphidium* spp., *Pararotalia* sp. e *Fursenkoina pontoni*; B – região centro-leste onde dominaram as espécies de *Bolivina striatula*, *Buliminella elegantissima* e *Quiqueloculina seminulum*; C – região nordeste da baía onde dominaram somente *Ammonia beccarii*, *Buliminella elegantissima* e *Pararotalia* sp., apresentando os menores valores de diversidade; D – APA de Guapimirim onde *Quiqueloculina seminulum* foi abundante associada aos menores valores de oxigênio e os maiores de enxofre; E – foz do rio Iguaçu e Estrela onde as espécies de *Elphidium* apareceram associadas à *Ammonia tepida* e a *Pararotalia* sp.

Com o intuito de avaliar os efeitos do acidente de janeiro de 2000, no oleoduto PEII da Refinaria de Duque de Caxias (REDUC-PETROBRAS), Eichler et al. (2003) coletaram amostras em 26 estações, seis meses e um ano após o acidente. No inverno, a riqueza e diversidade de espécies foram maiores. A espécie *Buliminella elegantissima* foi dominante em ambas as estações e *Elphidium* spp. foi dominante próximo ao rio Iguaçu durante o inverno e no verão nesta região não foram encontradas testas de foraminíferos.

Utilizando a dominância das espécies de foraminíferos *Ammonia tepida* e *Elphidium excavatum*, Vilela et al. (2006) propôs o uso de um índice numérico A/E calculado a partir da frequência de ambas as espécies, para se estimar a depleção do oxigênio dissolvido no sedimento. Um aumento gradativo do índice A/E, assim como, dos valores de carbono orgânico total puderam ser constatados nos últimos 530 anos na região noroeste da baía.

Já a correlação com metais pesados aplicados por Pereira et al. (2006) demonstrou que o ferro foi o que apresentou maior significância para as espécies. *Elphidium excavatum* e *Elphidium poyeanum* não apresentaram correlação com nenhum tipo de metal, contudo foram abundantes nas amostras com as maiores concentrações destes elementos.

Kfoury-Cardoso et al. (2006) identificaram os processos tafonômicos tais como abrasão, fragmentação e corrosão nas testas de foraminíferos de um testemunho (1,88 m) localizado na enseada de Jurujuba e constataram que o sedimento encontrava-se ácido (pH <7) com altas concentrações de Zn que implicam numa grande quantidade de testas desgastadas e quebradas.

Fontana et al. (2006 e 2007) analisaram sedimentos superficiais do manguezal do rio Suruí, área atingida pelo acidente de 2000, para avaliaram a atividade bacteriana (EST e

ATSA), bactérias metabolicamente ativas (COB), concentração de hidrocarbonetos aromáticos (HPAs), granulometria, matéria orgânica total e a distribuição das assembleias de foraminíferos. Foram identificadas vinte e nove espécies de foraminíferos aglutinantes com dominância de *Arenoparrella mexicana*, *Haplophragmoides wilberti*, *Ammotium salsum*, *Miliammina fusca* e *Ammonoastuta inepta*. Através de análises multivariadas em CCA foi possível identificar maior influência das atividades enzimáticas de ETSA e EST seguida pela porcentagem de matéria orgânica total na distribuição e abundância das espécies. Dentre os compostos de HPAs, os fenóis e o xileno foram os compostos com maior expressão na distribuição das espécies, no qual as espécies de trochaminiídeos (*Trochammina inflata*, *T. macrescens*, *Jadammina polystoma*, *Arenoparrella mexicana*, entre outras), *Ammobaculites* spp. e *Ammotium* spp. mostram-se mais tolerantes a estes compostos.

O estuário do rio Suruí foi compartimentado em três setores (estuário superior, intermediário e inferior) por Laut (2007) baseado na análise integrada das assembleias de foraminíferos e tecamebas, atividade bacteriana, parâmetros físico-químicos e sedimentológicos. Foram identificados vinte e nove táxons de foraminíferos com dominância de *Haplophragmoides wilberti*, *Arenoparrella mexicana* e *Trochammina salsa* e dezoito de tecamebas com dominância de *Centropyxis aculeata*, *Diffflugia capreolata*, *Pontigulasia compressa* e *Diffflugia oblonga*. As análises multivariadas em CCA demonstraram maior influência da concentração de bactérias metabolicamente ativas (COB) e da concentração de sedimentos finos (silte+argila) da distribuição dos organismos. *Miliammina fusca* e *Trochammina squamata* foram espécies de foraminíferos que apresentaram resposta mais negativa a esses parâmetros e as espécies de tecameba *Diffflugia oblonga* e *Diffflugia urceolata* foram as que responderam de forma mais positiva.

Análises ecológicas multivariadas com foraminíferos expressaram o reflexo da poluição na população de foraminíferos (SANTOS, 2007). Tais resultados foram obtidos com análise de agrupamento em modo Q e R. Além disso, foi feita a análise de espécie indicadora (ISA) que indicou a *Ammonia tepida* como a espécie que melhor indica o estado atual da baía de Guanabara.

Figueira et al.(2007) coletou três testemunhos próximos à Ilha de Paquetá, com o objetivo de reconstruir a evolução ambiental recente, avaliando a resposta local das assembleias com a ocorrência de impacto natural e/ou antropogênico. Foi feita uma datação de ^{14}C na base de um testemunho revelando uma idade de aproximadamente 4.210 ± 40 anos A.P. correlacionando este dado com a taxa de sedimentação observado por Godoy et al (1998) e as oscilações no nível médio do mar. Relacionou também, os dados sedimentológicos e

Carbono Orgânico Total e encontrou índices de diversidade baixos, enquanto os valores de COT aumentaram drasticamente em direção ao topo dos testemunhos. As espécies dominantes foram *Ammonia tepida*, *Elphidium spp.* e *Buliminella elegantissima*. O padrão de distribuição das espécies confirmou a influência da poluição antrópica em direção ao topo dos testemunhos.

Vilela et al. (2007) correlacionou a datação de ^{14}C com a taxa de sedimentação e COT de cinco testemunhos ao longo da baía. Verificou a relação de *Ammonia tepida* com sedimentos mais novos da parte mais superficial dos testemunhos e a matéria orgânica antropogênica relacionando-as com o período de colonização europeia e a *Buliminella elegantissima* com os sedimentos mais antigos da parte mais profunda do testemunho e matéria orgânica natural.

Todos esses trabalhos contribuíram de uma forma relevante para a caracterização e monitoramento ambiental, no entanto, devido a grande importância socioeconômica da Baía de Guanabara existe uma crescente necessidade de buscar estudos cada vez mais especializados que possam contribuir para um gerenciamento consciente dos recursos que ela pode oferecer.

2 ÁREA DE ESTUDO

2.1 Localização

A Baía de Guanabara, localizada no litoral do Estado do Rio de Janeiro é margeada pelas cidades do Rio de Janeiro, Niterói, Duque de Caxias, São Gonçalo, Itaboraí, Guapimirim e Magé. Encontra-se entre os paralelos $22^{\circ}24'$ e $22^{\circ}57'$ de latitude sul e entre os meridianos $42^{\circ}33'W$ e $43^{\circ}19'W$, onde a área continental abrange aproximadamente 4000 km^2 e o espelho d'água 400 km^2 com profundidades que variam entre 4 e 60 m (KJERFVE et al., 1997; SCHEEFFER, 2001).

A entrada da baía é estreita, com aproximadamente 1,6 km, entre as pontas de São João e de Santa Cruz (QUARESMA, 1997) e 30 km de extensão no seu maior eixo de direção N-S até o fundo da baía onde ocorre um alargamento na direção E-W até o máximo de 28 km (KJERFVE et al., 1997). Na entrada da barra observa-se um grande banco de dunas subaquáticas (*sand wave*) conforme descrito por Quaresma (1997) que se eleva desde profundidades de 20 m até o mínimo de 11 m nas coordenadas $22^{\circ} 56' 48''S$ e $043^{\circ} 07' 54''W$ (DHN, 1998).

2.2 Geologia

2.2.1. Evolução Geológica Regional

O Estado do Rio de Janeiro, em função das rochas metamórficas de alto grau do Arqueano e do Paleoproterozóico (Fonseca, 1998) possui características montanhosas. Sua litologia é constituída, basicamente, por gnaisses, granitos e migmatitos deformados durante o ciclo Brasileiro por esforços orogênicos (RADAMBRASIL, 1983).

A caracterização geológica do estado e de algumas áreas adjacentes foi dividida em função de diferentes domínios tectono-magmáticos (Figura 1), onde se pode observar que a área da bacia de drenagem da Guanabara se encontra condicionada pelos domínios Serra do Mar e parte de depósitos Cenozóicos (SILVA e CUNHA, 2001). O domínio Serra do Mar é composto por uma sucessão de arcos distintos com polaridade temporal e composicional de oeste para leste (arco Rio Negro, arco Serra dos Órgãos e arco Rio de Janeiro), além de rochas supracrustais metamorfizadas das fácies anfibólito (Complexo Paraíba do Sul), principalmente na parte central do domínio Serra do Mar, no contato com o oceano.

Dentro do domínio Serra do Mar foram definidos, a partir dos trabalhos de Hasui e Oliveira (1984) e Fonseca (1998) o Complexo Costeiro, Juiz de Fora e os domínios de rochas gnáissico-granítico, assim como rochas arqueano/proterozóicas referentes ao Complexo Paraíba do Sul e Embu, além de granitoides neoproterozoicos/neopaleozóicos.

2.2. Evolução Geológica do Gráben da Guanabara

O quadro regional referente aos principais condicionantes geológicos e geomorfológicos pode ser interpretado a partir dos principais eventos tectônicos a que foi submetida à área de estudo, que possibilitaram a individualização do corpo estuarino e das feições continentais observadas na bacia de drenagem.

A área de estudo faz parte do *gráben* da Guanabara, denominado por Almeida (1976) como *rift* da Guanabara, que abrange a área deprimida do relevo entre a Serra do Mar, na parte setentrional e maciços costeiros na porção meridional. Na região serrana os topos altimétricos alcançam alturas superiores a 2.000 metros, e nos maciços costeiros, as altitudes máximas raramente ultrapassam a cota de 1.000 metros. A extensão do *gráben* abrange a área entre a baía de Sepetiba no flanco ocidental, até as proximidades de Barra de São João, cidade pertencente ao Município de Casimiro de Abreu, no extremo leste da área (Figura 2).

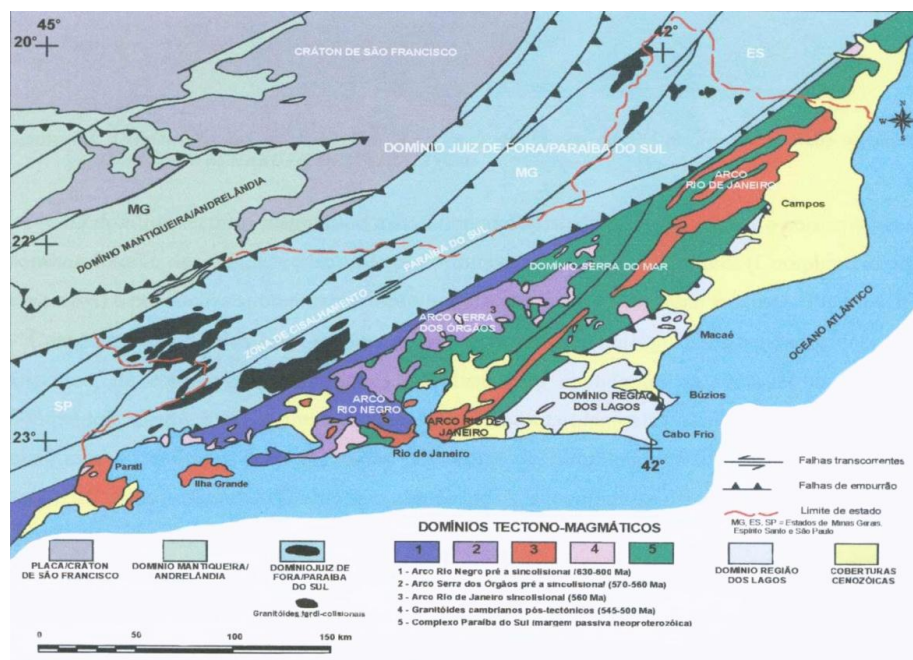


Figura 1 - Mapa geológico da área do estado do Rio de Janeiro mostrando os diversos arcos e domínios.

Fonte: SILVA e CUNHA, 2001.

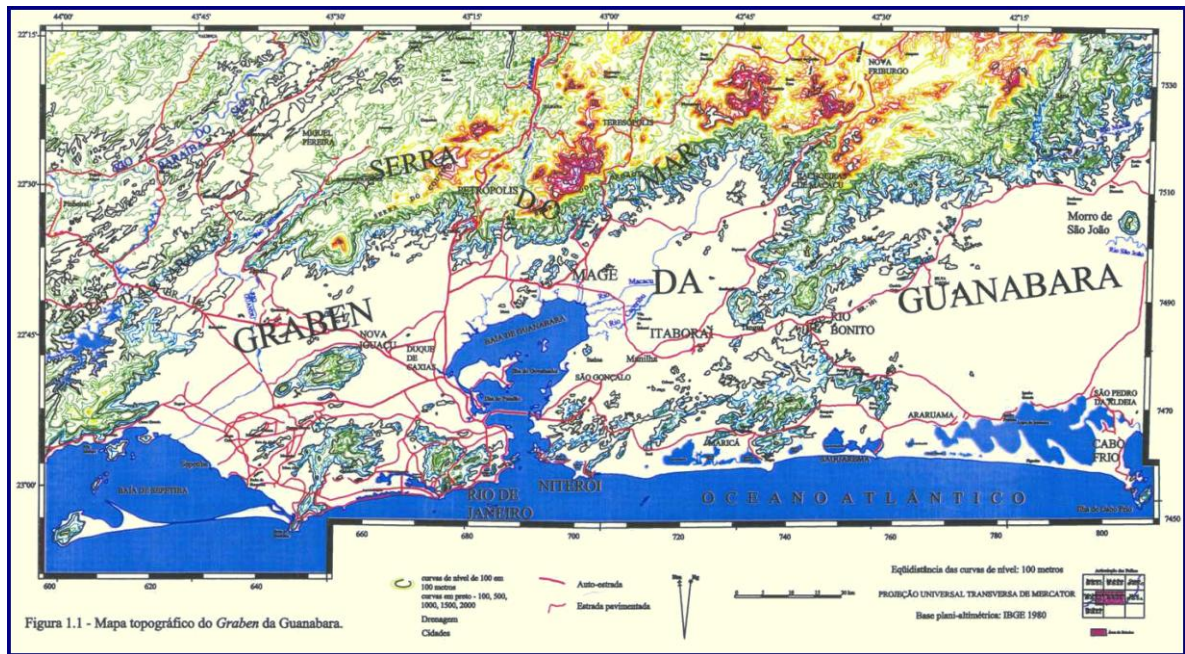


Figura 2 - Gráben da Guanabara que se estende desde a Baía de Sepetiba até a cidade de Barra de São João no município de Casemiro de Abreu.

Fonte: FERRARI, 2001.

A grande feição geológica em que se insere o *gráben* da Guanabara foi definida por Ricomini (1989) como *Rift* Continental do Sudeste do Brasil (RCSB), que abrange uma extensão próxima a 900 km de comprimento, por 100 km de largura, bordejando grande parte do litoral Sul e Sudeste do Brasil, a partir da bacia de Curitiba no Paraná até o *gráben* de São João da Barra no Estado do Rio de Janeiro. No RCSB são observadas diversas bacias tafrogênicas, como de Volta Redonda, Resende, São Paulo e Taubaté evidenciadas por diversos autores (ALMEIDA, 1976; ASMUS e FERRARI, 1978 entre outros) que associam a formação destas bacias a um evento tectônico cenozóico. De fato, uma série de trabalhos recentes comprova a relação existente entre a formação destas bacias continentais com eventos tectônicos rúpteis, onde são observados registros até o Holoceno (FERRARI, 2001; RICOMINI, 1989), indicando mesmo atividade neotectônica no sudeste brasileiro (GONTIJO, 1999).

Estudos que privilegiaram efeitos erosivos ou borda erosiva monoclinal estão representados em King (1956). Mais recentemente a utilização de modelos que propõem a predominância de eventos de deslizamento gravitacional como em Almeida (1976) e de compensação isostática interagindo com a evolução da margem continental (Asmus e Ferrari, 1978), se apresentaram como propostas mais consistentes para a morfogênese associada entre as bacias continentais e elevações do relevo. A proposta apontada por Azevedo Jr. (1991)

retoma o modelo erosivo, em que a serra do Mar seria um registro da migração continente adentro de uma frente erosiva. Desta forma, a serra seria um relevo residual.

Ferrari (1990) e Ferrari e Silva (1997) apontam evidências de diferentes taxas de erosão e do controle estrutural na morfologia do relevo na área interior do *gráben*, o que reforçaria a relação existente entre eventos tectônicos ocorridos no cenozóico com a evolução *gráben*.

As mais recentes considerações sobre os eventos geológicos, formadores do *gráben* da Guanabara, foram feitas por Ferrari (2001), a partir de evidências sedimentares das formações Macacu e São José do Itaboraí no sentido de se verificar a evolução tectono-sedimentar paleogeográfica, além de avaliar as consequências da tectônica rúptil dos maciços alcalinos preservados no interior do *gráben*, com o objetivo de se determinar as paleotensões observadas no Cretáceo Superior até o Eoceno. Desta forma, pode-se avaliar como ocorreu o controle tectônico dos diques de rochas alcalinas, associados aos campos de paleotensões presentes nos processos intrusivos.

De forma simplificada, o perfil geológico, a partir dos dados obtidos pelo autor, permitiu o destaque do controle tectônico exercido por paleotensões na área do *gráben*. Estas paleotensões foram determinadas pela análise estrutural de feições rúpteis encontradas não somente nos corpos alcalinos anteriores e contemporâneas a formação do *gráben*, mas também na análise do preenchimento sedimentar das bacias de Macacu e São José do Itaboraí.

Ferrari (2001) propôs um quadro evolutivo (Figura 3), que mostra que o *gráben* da Guanabara teve um importante controle tectônico por campo de paleotensões, não somente no magmatismo, mas também nos processos de sedimentação.

2.2.3 Compartimento baía de Guanabara

Constituindo uma área rebaixada ao longo de um eixo de falha que rompeu o maciço costeiro, a depressão assim formada abriu uma ligação entre o oceano e o *gráben* da Guanabara e serviu de convergência para o escoamento da rede de drenagem fluvial oriunda da escarpa da serra do Mar e do reverso do maciço costeiro. A baía de Guanabara, tal como se apresenta hoje, é resultado do afogamento, pela transgressão holocênica, dos baixos cursos desta rede de drenagem cujos talwegues podem ainda ser identificados pelas endentações das curvas batimétricas da baía (RUELLAN, 1944).

2.2.4 Sedimentologia

A caracterização do fundo da baía de Guanabara quanto à distribuição superficial dos sedimentos é de primordial importância dentro de um diagnóstico ambiental de uma dada área, pois as características físicas e químicas dos sedimentos exercem fortes influências no tipo da biota encontrada, assim como na fixação de poluentes (metais pesados, óleo, etc.), uma vez que os sedimentos finos (fração silte/argila) têm sido reconhecidos como importantes fixadores de poluentes (CATANZARO, 2002).

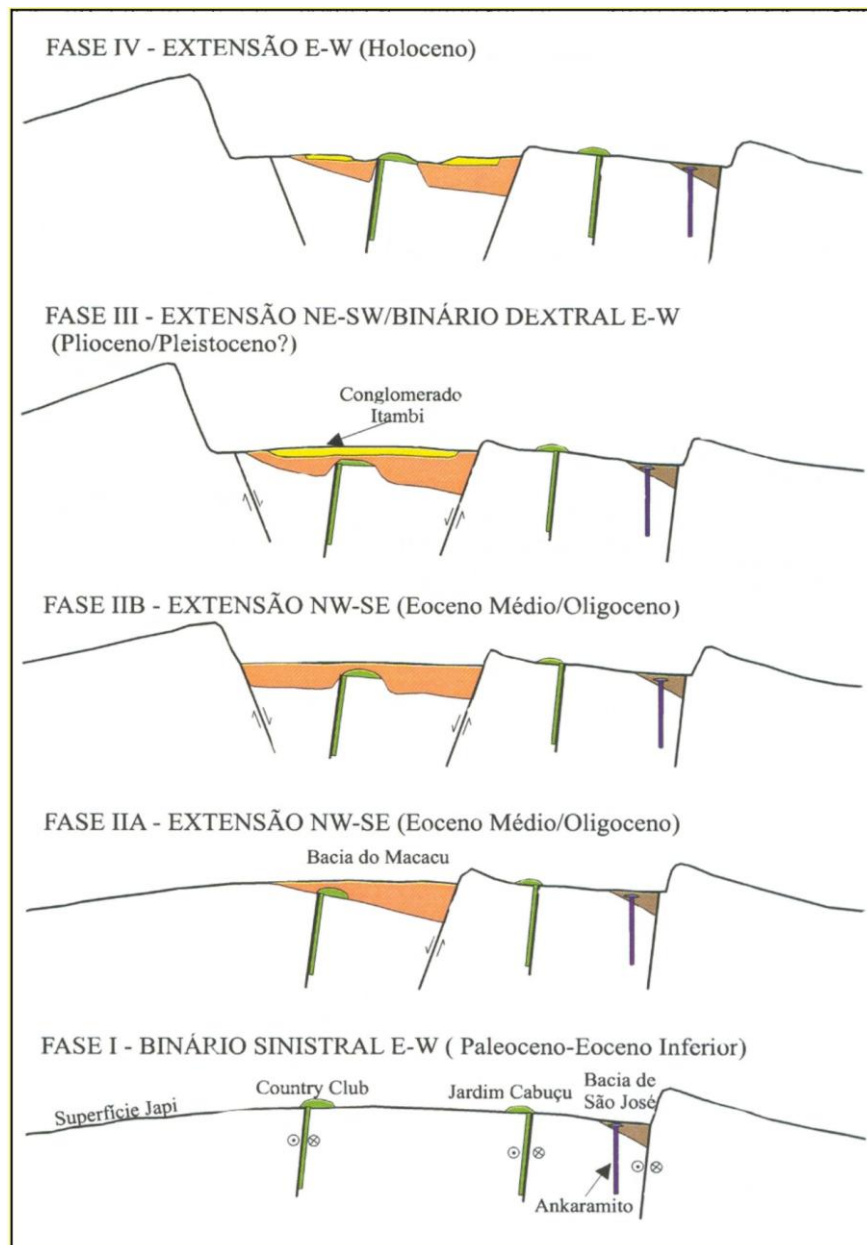


Figura 3- Esquema evolutivo do gráben da Guanabara

Fonte: FERRARI, 2001.

Quaresma (1997) destaca a importância de um banco arenoso na entrada da baía para a hidrodinâmica local, pois este se apresenta como obstáculo à livre circulação das correntes de maré, levando a uma canalização das correntes. Amador (1992) estende a faixa de sedimentos arenosos desde a entrada da barra até o leste da Ilha do Governador, enquanto que Quaresma et al. (2000) assinalam que estas areias ocorrem apenas até aproximadamente 3km ao sul da ponte Rio-Niterói. A maior dinâmica nesta área promove a remoção e impede a deposição das frações muito finas. Esta distribuição certamente está ligada ao selecionamento promovido pelas correntes de maré junto ao fundo, já que no alinhamento Forte de Gragoatá-aeroporto Santos Dumont ocorrem as maiores velocidades das correntes de maré, com máximos de 156 cm/s na maré enchente, não permitindo então a deposição de sedimentos com granulometria fina (KJERVE, 1996; QUARESMA et al., 2000).

Segundo Catanzaro (2002), os sedimentos de fundo da Baía de Guanabara variam de argila a areia grossa. A composição granulométrica dos sedimentos varia de 0 à quase 100% de areia, 0 à 92% de silte e 0 à 85% de argila. A área pode ser definida como uma área composta predominantemente por areia, indo desde areia média, pouco antes da boca da baía, à areia muito fina seguindo na direção do interior da mesma em sentido norte até aproximadamente 4 km após a ponte Presidente Costa e Silva (Rio-Niterói). Tais areias tendem a ser pobremente selecionadas a moderadamente bem selecionadas. De acordo com o mapa batimétrico da baía, estas areias acompanham o canal central, onde são mais fortes as correntes (Figura 4).

2.2.3 Evolução Quaternária da Baía de Guanabara

As flutuações do nível do mar resultam das variações reais do nível marinho (eustasia) e das modificações do nível dos continentes (tectonismo e isostasia). Desta forma, o nível do mar em um determinado ponto é o resultado momentâneo de interações complexas entre as superfícies do oceano e do continente, podendo ocorrer discrepâncias entre as reconstruções de posições de antigos níveis marinhos, de mesma época, em diversos pontos do globo. Tal fato pode ser bem observado nos últimos 7.000 anos. Antes disto, a velocidade de subida glacioeustática era tão pequena que poderia mascarar os componentes devido aos fatores locais ou regionais (PEREIRA, 1998).

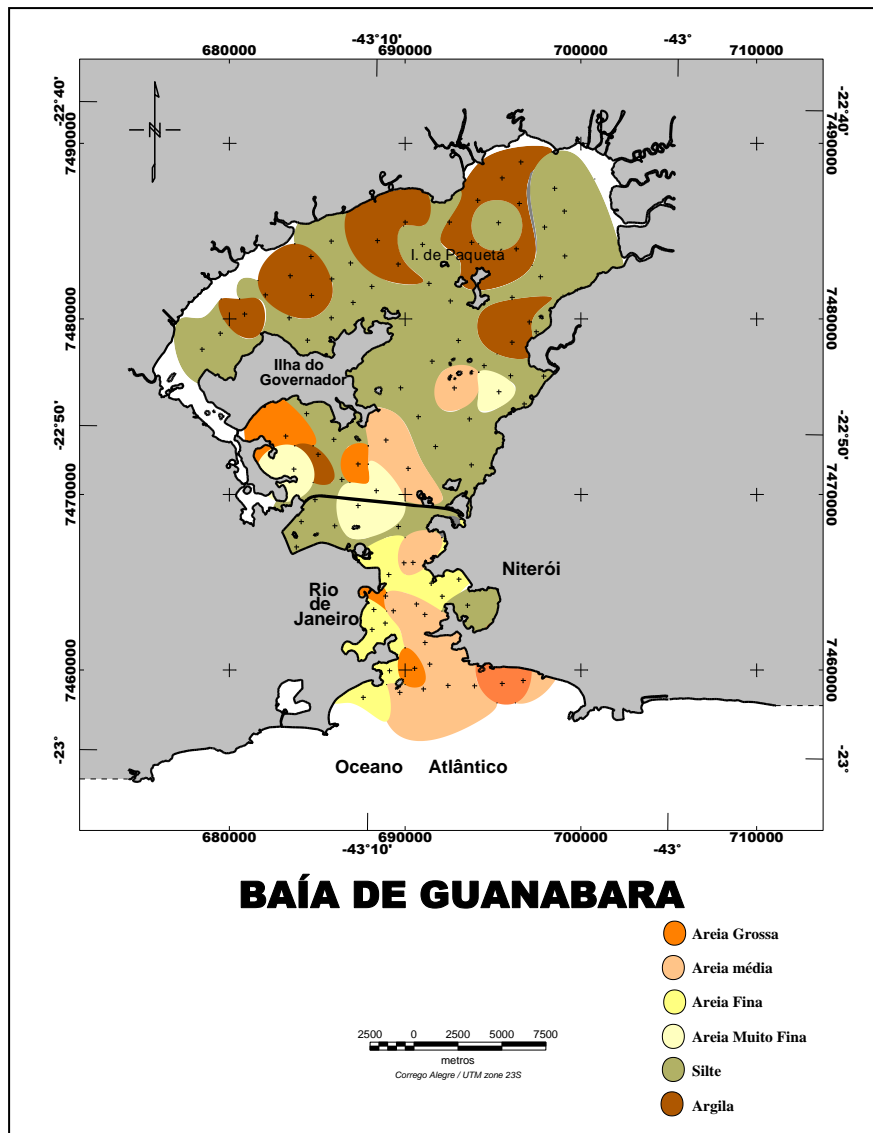


Figura 4 - Mapa de diâmetro médio dos sedimentos de fundo da Baía de Guanabara
Fonte: CATANZARO, 2002.

As oscilações quaternárias do nível do mar foram fundamentais para evolução da planície costeira. Neste período, o nível do mar sofreu várias oscilações resultantes da combinação de fatores globais (glacio-eustáticos) e locais (isostasia e tectonismo), com três grandes transgressões segundo Martin e Suguio (1978).

As feições atuais geomorfológicas da Baía de Guanabara são o resultado das flutuações do nível relativo do mar durante o Quaternário, que moldaram o litoral brasileiro deixando registros sedimentológicos, biológicos e pré-históricos. Registros da última transgressão podem ser encontrados na planície de Jacarepaguá (PEREIRA, 1998).

Segundo Amador (1997), há aproximadamente 18.000 anos na transição entre o Pleistoceno e Holoceno teve início a transgressão Guanabarina que esteve relacionada ao

aquecimento global e conseqüente derretimento das geleiras continentais, que produziu o afogamento da plataforma continental e dos vales fluviais pleistocênicos por águas marinhas. O evento embora gradual, não se processou de maneira contínua nem uniforme. Foi interrompida por curtas regressões e estabilizações que imprimiram paleolinhas de costa sobre a plataforma continental.

Segundo Corrêa et al. (1980), durante a estabilização do nível do mar, na fase transgressiva, houve o retrabalhamento das areias, as quais propiciaram a formação de cordões litorâneos. Estes estágios de estabilização do nível do mar e conseqüentemente a formação dos cordões litorâneos, que correspondem, provavelmente, aos níveis topográficos observados na Plataforma Continental do Rio de Janeiro. Os autores também identificaram cinco níveis de estabilização que partiram de um nível de mar de 110 e 130 abaixo do atual, estando alguns mais preservados do que outros.

Com a transgressão Guanabarina, iniciada no limite do Pleistoceno-Holoceno, o nível atual do mar foi atingido pela primeira vez há cerca de 7.000 anos A.P. Porém, o máximo transgressivo holocênico só foi alcançado no período chamado ótimo climático, que ocorreu aproximadamente entre 6.000 e 5.000 anos A.P. quando o nível do mar atingiu uma posição entre 4 e 3 metros acima do atual (BIGARELLA, 1971; FAIRBRIDGE, 1962).

Pelas curvas de variação do mar de Suguio et al. (1988) estabelecidas para o estado da Bahia, o nível máximo atingido por esta fase teria ocorrido por volta de 5.100 anos A.P. Nesta época a antiga bacia fluvial da Guanabara teria sido inteiramente afogada, atingindo a base da Serra do Mar e o maciço litorâneo. Com o afogamento marinho, todos os pequenos vales fluviais foram transformados em enseadas e sacos, reentrâncias que seriam posteriormente, ornamentadas por restingas e praias (AMADOR, 1997).

Com as ligeiras oscilações do nível do mar e climáticas, ocorridas após a transgressão Guanabarina, os canais fluviais procuravam se ajustar às mudanças paleoambientais, expandiam ou retraíam seus segmentos e modificavam a natureza e carga sólida. A Baía de Guanabara passou a funcionar como uma bacia de sedimentação, assoreando gradualmente seu leito (AMADOR, 1997).

Após atingir o nível máximo de transgressão, teve início um movimento regressivo do mar, que partiu de 4 m acima do nível atual para cerca de 1m abaixo deste mesmo nível, em torno de 4.200 anos A.P. Esse movimento foi responsável pela construção das restingas, terraços marinhos e lagunas, pela expansão dos manguezais junto aos estuários e pela união de algumas ilhas por corpos arenosos.

No litoral oceânico se desenvolveram campos de dunas, devido à ação dos ventos que se intensificaram devido ao clima ter ficado mais frio e seco, reativando as dunas de Itaipu, Ipanema e Copacabana, hoje destruídas, assim como os campos de dunas das regiões de Cabo Frio, Massambaba, Però, Maricá e Marambaía (AMADOR, 1997).

As lagunas relacionadas ao máximo transgressivo holocênico tiveram seu fechamento pelo desenvolvimento dos cordões de restinga regressivos, são exemplos deste fato as lagoas de Maricá, Piratininga, Rodrigo de Freitas e Jacarepaguá, bem como outras que se desenvolveram em Botafogo, Flamengo, Enseada de Inhaúma, Saco de São Diogo, Saco de São Francisco e Copacabana.

Entre 3.800 e 3.600 anos A.P. ocorreu uma nova fase transgressiva do nível do mar que elevou cerca de 1,5 a 2 m, acima do atual, produzindo uma nova linha de litoral, mais recuado e um sistema de praias fósseis. Os canais fluviais se readaptaram a um novo perfil de equilíbrio e reduziram o transporte de sedimento para a baía, diminuindo também o assoreamento dentro desta.

Há cerca de 3.000 anos A.P. deu-se uma segunda regressão holocênica do nível atual do mar, sendo atingida uma posição próxima a atual, ao seu término. Uma nova geração de restinga foi produzida, fechando as antigas lagunas e criando novas. Os manguezais passaram a ter um grande desenvolvimento com a rápida progradação do litoral fluvio-marinho. A vegetação de restinga colonizou as novas superfícies arenosas, quase uma centena de praias desenvolveu-se no litoral bastante recortado da baía. A Mata Atlântica, que teve sua expansão iniciada com a mudança climática do semiárido da última glaciação para o úmido pós-glacial, conclui a colonização das serras, morros e ilhas da baía (AMADOR, 1997).

2.3 Clima

A Baía de Guanabara se encontra em uma região de clima tropical úmido com fortes influências marinhas. Em vista da variação sazonal da pluviosidade, o clima da região pode ser dividido em um período seco, compreendendo os meses de junho a agosto, e um período úmido relativo aos meses de dezembro a abril. Da mesma forma, haverá uma sazonalidade na descarga de água doce para a baía, variando, em média, de $33 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ no período seco, a $186 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ no período úmido (Kjerfve et al., 1997). Esta característica demonstra uma diluição diferenciada da água marinha em seu interior ao longo do ano.

Durante os meses de inverno, uma média de treze frentes frias de origem polar chega à costa do Rio de Janeiro, com uma média de seis dias entre frentes consecutivas. Os

sistemas normalmente passam em menos que 12-24 h, com ventos de sul e sudoeste com intensidades que ultrapassam 25 m s^{-1} ao longo das praias oceânicas. Porém as frentes frias, não se limitam aos meses de inverno, mas ocorrem durante todo o ano. Geralmente os meses de verão são os períodos do ano de maior ocorrência de fortes ventos na Baía de Guanabara gerados por tempestades tropicais (FILIPO, 1997).

2.4 Oceanografia

A circulação de água no interior da baía pode ser considerada como a composição da circulação gravitacional e residual, modificada pela ação do vento (KJERFVE et al., 1997).

Os movimentos das correntes marítimas, marés, ventos e as descargas fluviais condicionam a circulação e a salinidade, uma vez que as descargas fluviais, além de gerar um componente de circulação que naturalmente se desloca para fora do sistema, ao diluir a água do mar produz diferenças de densidade e conseqüentemente movimentos sub-superficiais para o interior da baía (AMADOR, 1992).

Desta forma, a circulação gravitacional apresenta um movimento bidirecional com um sentido para o oceano pela superfície e um sentido para o continente pelo fundo (MIRANDA et al., 2002).

A circulação residual é definida como a média do campo de velocidade e densidade ao longo de um ou mais ciclos completos de maré (JAY e SMITH, 1990). Estes autores acreditam que a circulação residual se inicia a partir da assimetria da onda de maré, com transporte e processos de mistura diferenciados na enchente e na vazante. O resultado deste comportamento será o transporte de qualquer constituinte em uma determinada direção, seja para o continente ou para o oceano (MELO, 2004).

Estimar a circulação dentro da Baía de Guanabara é uma tarefa difícil, pois é um ambiente com uma geometria complexa e com diversas ilhas em seu interior, que alteram o movimento das águas. (EICHLER et al., 2000; JICA, 1994).

Guimarães et al. (2007) avaliaram a atuação das correntes de maré junto ao fundo na mobilização de sedimentos arenosos na entrada da Baía da Guanabara, onde se encontra um campo de dunas aquáticas. Neste estudo os autores concluíram que existe um transporte resultante para o interior da baía junto ao fundo, com velocidades de correntes de preamar atingindo valores acima da velocidade crítica de transporte de sedimentos. Além disso, foi observada a influência dos sistemas frontais na intensificação das correntes, favorecendo ainda mais o transporte junto ao fundo em direção ao interior da baía.

A região da entrada da Baía de Guanabara é uma área muito dinâmica, apresentando fortes correntes em resposta do confinamento do fluxo pelo estreitamento de sua geometria (GUIMARÃES et al., 2007; JICA, 1994; KJERFVE et al., 1997).

A área localizada entre o continente e a Ilha do Governador apresenta um comportamento diferenciado, com intensificação das correntes, embora estas mantenham as características assimétricas na sua forma. Essa intensificação se dá em decorrência do confinamento acentuado do fluxo nesta. O mesmo acontece na entrada da baía, como já mencionado anteriormente, onde se observam as maiores velocidades de corrente (MELO, 2004).

Outro aspecto importante é que a direção das correntes é orientada de acordo com os canais principais e secundários.

A atuação do vento pode ter importantes consequências no transporte residual. Melo (2004) simulou a influência do vento no transporte de partículas e constatou um deslocamento significativo da partícula sob a atuação dos ventos de Sul.

2.5 Vegetação

De acordo com as mudanças complexas e lentas que ocorreram na paisagem durante o tempo geológico, combinadas com as mudanças no clima e no nível do mar, a Bacia da Guanabara produziu diversificados e complexos ecossistemas nos quais estão inclusos a Mata Atlântica, Campos de altitude, manguezais, brejos, alagados, lagunas, restingas, dunas, praias, rios, estuários, enseadas, sacos, gamboas, ilhas, lajes, coroas, costões e pontões rochosos, falésias e feições ruiformes. Destes os que mais se destacam em área são os manguezais e a Mata Atlântica (AMADOR, 1997).

A mata Atlântica é um bioma composto por diversos ecossistemas situados próximos ao litoral, sendo típico da Serra do Mar, serras litorâneas, maciços isolados e ilhas da Guanabara. Apresenta variações decorrentes do solo, do clima, da topografia e da disposição do relevo em relação à trajetória das chuvas e das brisas úmidas do Oceano Atlântico (AMADOR, 1997).

Os manguezais são ecossistemas altamente produtivos, ricos em alimento, servindo de abrigo para diferentes espécies animais. Também funcionam como um filtro biológico, retendo terra e outros materiais trazidos pelos rios, evitando que se escoem para o mar (LAUT, 2003; WALSH, 1974).

Antes de serem aterrados e destruídos, os manguezais da Baía de Guanabara se estendiam por toda a desembocadura dos rios e em quase toda a sua orla. Hoje podemos encontrar manguezais em vários pontos do Recôncavo, na Ilha do Governador e na foz dos rios Iguaçu e Estrela, mas os mais preservados estão protegidos pelo IBAMA na Área de Proteção Ambiental de Guapi-Mirim (APA) e são abastecidos pela água doce dos rios Guapi/Macacu, Caceribu e Guaxindiba-Alcântara, Suruí e de outros rios menores (FEEMA, 1979).

Os manguezais atuais são constituídos principalmente por três espécies de árvores: o mangue vermelho ou bravo, o mangue branco e o mangue seriba ou seriuba (FEEMA, 1979), além de espécies invasoras favorecidas pelo desmatamento acentuado e poluição dos cursos d'água (LAUT, 2007).

Cada um destes ecossistemas possui um significado ecológico particular e uma inter-relação com o ecossistema da Guanabara como um todo, porém muitos destes foram destruídos durante a ocupação histórica, iniciada com a colonização europeia (AMADOR, 1997).

Em alguns pontos, pode-se observar a presença de espécies exógenas como gramíneas, amendoeira-da-praia, bambu, leguminosas e frutíferas. (MIRANDA-NETO, 2002).

2.6 Poluição

A Baía de Guanabara é considerada um dos ambientes mais degradados do país (REBELLO et al., 1988). Os municípios no seu entorno possuem alta densidade demográfica e desenvolvimento industrial e dentre eles destacam-se os municípios do Rio de Janeiro, Duque de Caxias, Magé, Niterói, São Gonçalo e Itaboraí, que juntos respondem por mais de oito milhões de habitantes, sendo que grande parte da população se encontra nos dois primeiros municípios. A baía recebe por dia, aproximadamente, 18 m³/s de esgotos domésticos, dos quais apenas 25% recebem tratamento secundário. Além da alta densidade populacional, possui o segundo polo industrial do país, compreendendo mais de 7.000 indústrias potencialmente poluidoras, que contribuem com 25% da poluição orgânica e mais de 90% da poluição por substâncias tóxicas e metais pesados (BARROCAS e WASSERMAN, 1995; PERIN et al, 1997).

A carência de um planejamento bem estruturado para o desenvolvimento dos centros urbanos no entorno da Baía de Guanabara, levou este ambiente ao atual estágio de degradação. Esta situação comprometeu não só atividades pesqueiras, com a queda dos estoques e da qualidade do pescado, mas também às atividades de recreação.

Com relação à poluição orgânica da Baía de Guanabara, a principal fonte é a dos efluentes domésticos não tratados, descartados diretamente na baía. A produção acentuada de efluentes com altos teores de matéria orgânica está diretamente relacionada à eutrofização das águas junto ao fundo e dos sedimentos superficiais. A população na região metropolitana do Rio de Janeiro é de aproximadamente 11 milhões, dos quais pelo menos 7 milhões descartam seus efluentes domésticos diretamente na baía (KJERFVE et al., 1997).

Segundo o relatório da Secretaria do Meio Ambiente - SEMA (1998), apenas 15% dos esgotos que são descartados na baía recebe algum tipo de tratamento. Segundo este mesmo relatório, Jica (1994) estimou o aporte de matéria orgânica de origem doméstica para a baía em 383 ton/dia. A este volume, soma-se a matéria orgânica de origem industrial, como por exemplo, das indústrias de beneficiamento de alimentos, principalmente o pescado no litoral de São Gonçalo e Niterói. Esta contribuição foi estimada como sendo de 80 ton/dia (JICA, 1994). As áreas a oeste e a noroeste da baía contribuem com 78% da carga orgânica total de origem doméstica e 70% da contribuição orgânica de origem industrial.

Em relação à poluição por metais pesados, diversos trabalhos (BAPTISTA NETO et al., 1999, 2000; BARROCAS e WASSERMAN, 1995; FARIA e SANCHEZ, 2001; LEAL e WEAGNER, 1993; PERIN et al., 1997; REBELLO et al., 1986; etc.) foram feitos no intuito de caracterizar o atual estado de contaminação por metais pesados da baía. Além destes, a FEEMA (Fundação Estadual de Engenharia do Meio Ambiente) também realizou estudos sobre metais nos sedimentos da baía nos períodos entre 1980-1986, 1992 e 1997 (SEMA, 1998). Estes estudos indicaram que os sedimentos estão contaminados por metais pesados, e que assim como no caso da poluição por matéria orgânica as regiões mais contaminadas são a norte, oeste e noroeste da baía. Na desembocadura dos rios, estão localizadas as maiores concentrações de indústrias, além de grande quantidade de favelas, como os rios Estrela, Iguaçú e São João de Meriti (SEMA 1998).

Barrocas e Wasserman (1995), determinaram as concentrações de metais pesados (Fe, Zn, Pb e Hg) no rio São João de Meriti, e os resultados indicaram uma evidente contaminação dos sedimentos por metais, com as concentrações aumentando em direção ao estuário, indicando que este rio é uma importante fonte de metais para a baía. Estes poluentes são originados pelos descartes industriais sem o devido tratamento das indústrias instaladas

tanto em seu entorno quanto em sua bacia de drenagem. Em seu entorno existem aproximadamente 6.000 indústrias, e outras 6.000 em sua bacia, duas refinarias de petróleo (Duque de Caxias e Mangueiras) responsáveis pelo refino de 17% de todo óleo processado no país, um porto comercial de grande porte, duas bases da marinha, e um grande número de embarcações de pequeno e médio porte (AMADOR, 1993; KJERFVE et al., 1997; SEMA, 1998). Ainda, segundo o relatório SEMA (1998) a Refinaria Duque de Caxias (REDUC) pode ser considerada como uma das principais fontes potenciais destas substâncias e seus efluentes líquidos contêm, metais pesados, óleos, graxas, fenóis, cianetos e carga orgânica.

As concentrações de metais pesados encontradas nos sedimentos superficiais da Baía de Guanabara determinados em estudos realizados por diversos autores, que usavam como *backgrounds* o folhelho-padrão e arenito-padrão (TUREKIAN e WEDEPOHL, 1961), foram considerados altamente poluídos e os sedimentos do fundo foram considerados como altamente contaminados, com teores bem acima das concentrações observadas nos sedimentos do *background*, e bastante similares aos estuários considerados como os mais poluídos por metais pesados (BAPTISTA NETO et al., 1999; FARIA E SANCHEZ, 2001).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Amostragens

3.1.1 Amostragem de sedimento superficial

A amostragem de sedimento superficial foi desenvolvida no ano de 2008, e consistiu na coleta de 30 estações de superfície de sedimento não revolvido ao longo de três perfis, distribuídos na Baía de Guanabara, utilizando uma draga *van-Veen* para sedimento arenoso fino e uma draga Eckman para sedimentos lamosos, pelo Laboratório de Palinofácies e Fácies Orgânicas - LAFO da Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ (Figura 5).

Os sedimentos foram acondicionados em sacos plásticos, destinados a estudos sedimentológicos e neontológicos. Estes últimos foram armazenados em sacos plásticos que continham uma solução de rosa de Bengala com o intuito de corar os organismos que estavam vivos no ato da coleta.

3.1.2 Amostragem de Testemunho

A testemunhagem foi realizada pelo Laboratório de Geologia Marinha – LAGEMAR da Universidade Federal Fluminense, no ano 2006 e consistiu na coleta de um testemunho (BG28) de 6 m de comprimento no fundo da Baía de Guanabara, mais precisamente no reverso da ilha do Governador (Figura 5).

Para a obtenção do testemunho citado utilizou-se testemunhador tipo *vibracore* com tubos de alumínio de 6 m de comprimento, 3” de diâmetro externo e paredes de 3 mm de espessura. A recuperação foi de 5,8 m que após a marcação topo e base foi cortado utilizando-se uma serra circular em duas seções longitudinais iguais, para descrição sedimentológica e amostragem que obedeceram à metodologia padrão utilizada em estudos dessa natureza.

O testemunho foi processado pelo Laboratório LAGEMAR - UFF. Na descrição foram observados cor, granulometria, presença de macroconchas, raízes e outros. Foram selecionadas amostras para granulometria, isótopos, datação absoluta (C14) e microfauna.

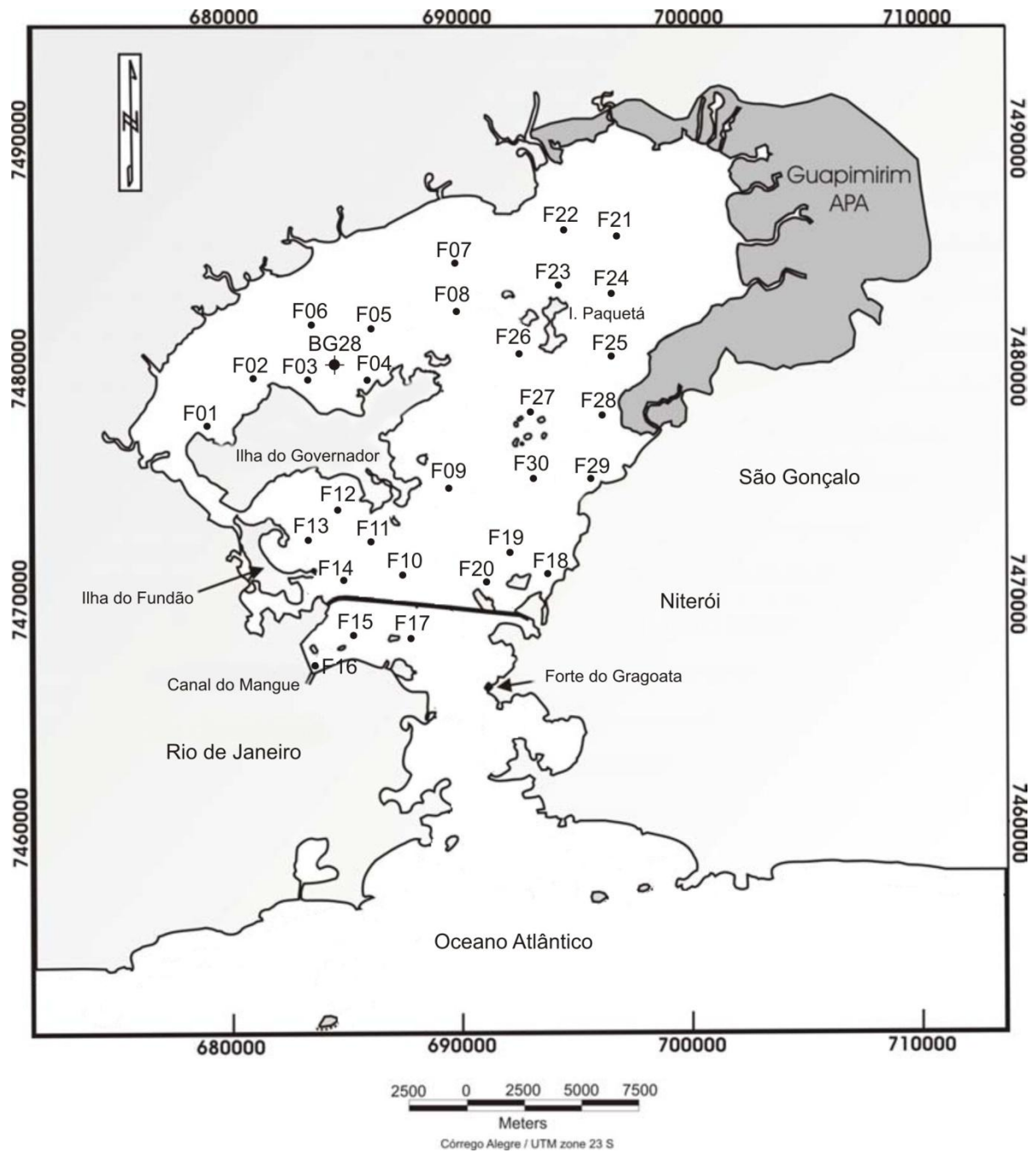


Figura 5 - Mapa de localização das amostras superficiais e do testemunho BG28.

A partir da análise descritiva do testemunho, a sub-amostragem do mesmo consistiu na coleta de 10 cm^3 de sedimento, em intervalos regulares de 2 cm totalizando 292 amostras. Das quais, foram selecionadas 173 para a análise de foraminíferos.

3.2 Análises Laboratoriais

3.2.1 Foraminíferos

Os procedimentos da amostragem de foraminíferos descritos a seguir estão documentados em Boltovskoy (1965), que consiste simplificada em passar o sedimento a úmido pelas peneiras de 0,500 mm e 0,062 mm, descartando-se as frações acima e abaixo deste intervalo. Entre uma lavagem e outra, as peneiras eram mergulhadas em corante Azul de Metileno, para coloração de organismos que porventura ficassem retidos na malha da peneira e que poderiam vir a contaminar as amostras subsequentes.

Todas as amostras foram secas em estufa sob temperatura de 50°C e os foraminíferos foram separados do material por flotação em tricloroetileno (C₂HCl₃). O material sobrenadante foi examinado sob microscópio estereoscópico com aumento de 80X.

3.2.2 Microscopia Eletrônica de Varredura

Após identificação prévia, os foraminíferos foram selecionados e fotografados em microscópio eletrônico de varredura (MEV) Zeiss modelo DMS 960 da UERJ para uma boa visualização dos espécimes encontrados.

3.2.3 Carbono Orgânico Total

As análises foram desenvolvidas pelo Laboratório de Palinofacies e fácies orgânicas da UFRJ, com tratamentos extrativos de diclorometano em ultrassom, em sedimento úmido, onde foi retirada a fração do extrato de diclorometano da amostra. A amostra foi seca para evaporar o resíduo do solvente (diclorometano) e se realizou a leitura em triplicata no aparelho SC 144 da LECO (SILVA, 2007).

3.2.4 Datação

O processo de datação foi feito pelo *Center for Applied Isotope Studies* (CAIS) e consistiu em dois métodos de medição de radiocarbono:

- a) *Low-Level* cintilação em líquido (LSC) onde a quantidade de C-14 em uma amostra foi determinada medindo a quantidade de decaimento radioativo na amostra. O carbono contido no material foi convertido primeiro em gás carbônico e, eventualmente, sobre a elevada pureza do benzeno por meio de um processo chamado

de síntese de benzeno. O benzeno foi medido para a atividade C-14 com baixo nível de cintilação em líquido e o resultado foi comparado com padrões NIST e corrigida para a atividade de fundo.

b) *Accelerator Mass Spectrometry* (MAS) na utilização da AMS, a quantidade de C-14 numa amostra é determinada pela contagem de átomos de carbono diretamente na amostra, e comparando a abundância relativa dos três isótopos naturais de carbono, C-14, C-13, e C-12. Normas e planos de fundo são medidas coincidentes com as amostras para fazer a determinação da atividade de C-14. (http://www.uga.edu/cais/programs_applications/radiocarbon_apps/index.htm)

3.2.5 Isótopos

A aplicação de isótopos estáveis em geologia baseia-se na diferença mínima de sua massa, que é função da quantidade de nêutrons presentes em seu núcleo. A energia de uma molécula depende em parte da frequência de vibração de seus átomos, que por sua vez é dependente de sua massa atômica. Assim, as moléculas de uma mesma substância que são constituídas por isótopos mais leves terão uma maior energia de vibração. Esta variação energética controla o fracionamento isotópico, ou seja, a partição isotópica entre as substâncias (AZEVEDO et al., 1997).

Os dados de isótopos estáveis são apresentados mediante o parâmetro δ definido por:

$$\delta (\text{‰}) = [(R_{\text{amostra}} - R_{\text{padrão}}) / (R_{\text{padrão}})] \times 1000$$

No qual, para o carbono e oxigênio, os valores de R correspondem respectivamente a C_{13}/C_{14} e O_{18}/O_{16} .

3.3 **Tratamento Estatístico dos Dados**

Para o tratamento estatístico foram utilizados os resultados da população total, ou seja, espécimes vivos e mortos, para que a sazonalidade de algumas espécies não interferisse na individualização dos ambientes de sedimentação. Foram descartadas as amostras com menos de 50 organismos e espécies com frequência menor de 4% para os resultados não fossem induzidos.

Os dados biológicos foram organizados em uma matriz ecológica, onde as linhas representaram às espécies e as colunas as estações amostradas (anexo 01).

Foram aplicados os índices ecológicos tais como: abundância relativa, constância, diversidade, equitabilidade e dominância. Além das análises multivariadas que tomaram como base a abundância relativa, foram aplicados com o propósito de estabelecer tanto os padrões de distribuição quanto os fatores ambientais condicionantes deste.

3.3.1. Índices Ecológicos

Em estudos ecológicos existe um grande número de variáveis bióticas e abióticas ligadas por uma complexa rede de inter-relações. Definir e descrever os padrões estruturais de um ecossistema, bem como formular hipóteses requer análises univariadas e multivariadas. Através destas pode-se, por exemplo, sugerir o nível de estresse de um determinado ambiente (Oliveira-Silva, 2003).

Como técnicas univariadas foram calculados os descritores biológicos de comunidade mais usados em ecologia, como abundância absoluta, abundância relativa, dominância e constância, riqueza (*S*) e diversidade (*H*) que estão expressos em tabelas e gráficos.

População Total/Abundância absoluta representa a quantidade de testas de foraminíferos na amostra (vivos + mortos).

Abundância relativa - expressa a relação quantitativa entre um dos componentes bióticos e o todo. Desta forma, a abundância é a porcentagem com que um indivíduo de uma determinada espécie ocorre em uma população total de uma amostra.

Número de espécies (Riqueza) - número total de espécies numa amostra.

Constância - é a relação entre as espécies e a amostra, expressa em porcentagem segundo a fórmula $C = p.100/P$, onde *p* é o número de amostras contendo a espécie considerada e *P*, é o número total de amostras. As espécies são consideradas constantes quando presentes em mais de 60% das amostras; são acessórias ou pouco constantes as que apresentam uma ocorrência entre 25 a 59%; e são consideradas acidentais ou raras as que ocorrem em menos de 25% das amostras (Tinoco, 1989).

Diversidade de Shanon-Wiener - é apropriado para amostras aleatórias de espécies de uma comunidade ou sub-comunidade de interesse, e é estimado através da seguinte equação: $H' = -\sum p_i \ln p_i$, onde P_i representa a porção da *i*-ésima espécie na amostra e \ln é o logaritmo natural (base *e*). Para o cálculo do índice de diversidade (*H'*) foi utilizado o Software MVSP 3.1.

Equitabilidade (J) - se refere à distribuição dos indivíduos entre as espécies, sendo proporcional a diversidade e inversamente proporcional a dominância. A medida de Equitabilidade ou Equidade compara a diversidade de Shanon-Wiener com a distribuição das espécies observadas que maximiza a diversidade. Este índice é obtido através da equação: $J = H' / \ln(S)$, onde S é a riqueza de espécies H' é o índice de diversidade de Shannon-Wiener e \ln é o logaritmo natural (base e).

Dominância - considera o número de espécies e o total de números de indivíduos (N), mas também a proporção do total de ocorrência de cada espécie é estimada através da seguinte equação: $\sum n_i (n_i - 1) / N(N - 1)$.

3.3.2 Análises Multivariadas

3.3.2.1 Análise de Agrupamento

Para as análises do comportamento multidimensional das associações na área estudada foram utilizadas técnicas multivariadas, como a análise de agrupamento (análise de Cluster) tanto para as amostras de superfície como para o testemunho, baseado na abundância relativa das espécies utilizando o *software* PCord 5.0. Este software de análise de agrupamento trata os dados em hierarquia ascendente.

Objetivando avaliar a similaridade entre as estações amostradas e identificar microambientes semelhantes do ponto de vista da distribuição faunística foi aplicado uma análise de agrupamento em modo - Q no *Software* Pcord5. A matriz de relação foi gerada usando os valores de abundância relativa das espécies identificadas transformadas em raiz quadrada de 0,5 para amenizar a diferença entre as espécies dominantes em relação às que apresentaram frequências muito baixas. Foi usada a distância Euclidiana para medir a proximidade entre os grupos, e o método *Ward* de ligação para arrumar os grupos dentro de um dendrograma hierárquico.

A associação entre as espécies foi obtida usando-se a mesma matriz de frequência relativa das espécies transformadas para raiz de 0,5 aplicando-se o coeficiente de correlação linear r-Pearson (modo-R). Como estratégia de agrupamento foi utilizado o Método de *Ward* no *Software* Pcord5. Este método quantifica a dependência linear entre os elementos, determinando a matriz de correlação e identificando a relação entre os micro-organismos.

3.3.2.2 Análise de Correspondência Canônica

A Análise de Correspondência Canônica (CCA) utilizada teve como objetivo plotar as estações, espécies e variáveis abióticas num mesmo plano, de forma que as estações estejam linearmente correlacionadas com as variáveis abióticas (TER BRAAK, 1986).

O CCA ignora estruturas de comunidades que não são correlatas com as variáveis ambientais. Em contraste, efetuar uma ordenação com só os dados de uma comunidade e então secundariamente relacionar a ordenação as variáveis ambientais, permite uma expressão clara de inclinação das comunidades, seguida por uma determinação independente da importância da mensuração das variáveis ambientais.

3.3.2.3 DCA (*Detrendet Correspondence Analysis*)

O DCA é uma técnica de ordenação baseada na média recíproca. É gerado para banco de dados ecológicos e a terminologia é baseada em amostras e espécies (LAUT, 2007).

Esse método implica usar uma distância equi-quadrada da distância medida, para as análises foi utilizado o software PCord 5 sendo necessária a elevação da abundância relativa das espécies a potência de 0,5 e minimização das espécies raras. Foram utilizadas as amostras que continham mais de 50 organismos com o intuito de evitar dados incoerentes com a verdade (LAUT, 2007).

3.4 Índice de Confinamento

Para a determinação do índice de confinamento foram utilizadas as assembleias de foraminíferos definidas por Clemente et al (2010) na Baía de Guanabara

Assembleia A - correspondente às espécies tipicamente de ambiente marinho (*Discorbis williamsoni*, *Buccella frigida*, *Miliolinella fichteliana*, *Poroeponides lateralis*, *Quinqueloculina lamarckiana*, *Rosalina bradyi*, *Textularia agglutinans* e *Textularia gramen*);
 B - correspondente às espécies típicas de ambientes como baías e bocas de estuário com alta circulação e baixa concentração de matéria orgânica (*Asterotrochammina compositi*, *Fursenkoina pontoni*, *Gaudryina exilis*, *Bulimina patagonica*, *Bolivina striatula*, *Bolivina translucens*, *Cassidulina subglobosa*, *Miliolinella subrotunda*, *Pseudononion atlanticum*, *Quinqueloculina gregaria*, *Quinqueloculina laevigata*, *Quinqueloculina polygona* e

Quinqueloculina seminulum) e; C – correspondente às espécies de região estuarina com hidrodinâmica baixa e concentração de matéria orgânica (*Ammonia parkinsoniana*, *Ammonia rolshauseni*, *Ammonia tepida*, *Bulimina elongata*, *Elphidium discoidale*, *Elphidium excavatum*, *Elphidium galvestonense*, *Elphidium gunteri* e *Elphidium poyeanum*).

A partir das assembleias pré-definidas foram estabelecidos os parâmetros para o cálculo do índice de confinamento de Debenay (1990) segundo a fórmula: $I_c = (C / (B + C) - A / (A + B) + 1) / 2$. Onde A, B e C correspondem à porcentagem da assembleia de foraminíferos definidas pelo dendrograma numa amostra: A = espécies marinhas; B = espécies de regiões abrigadas como baías e boca de estuários; e C = espécies de ambientes parálicos com lagoas e manguezais. O índice de confinamento varia de 0 = ambientes marinhos e 1 = regiões parálicas.

Este índice foi aplicado no testemunho objetivando facilitar possíveis interpretações do comportamento dos organismos relacionados a variações dos padrões ambientais, como influência de massas de água provenientes do mar.