



Universidade Federal
do Rio de Janeiro

Escola Politécnica

ESTUDO EXPERIMENTAL DE CONTAMINAÇÃO DE PRAIAS DA ILHA DO
GOVERNADOR – RIO DE JANEIRO POR DERRAMAMENTO DE DERIVADO DE
PETRÓLEO

Walmir de Souza Mariano Junior

Projeto de Graduação apresentado ao Curso de Engenharia de Petróleo da Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Engenheiro.

Orientador: João Wagner de Alencar Castro

Rio de Janeiro
Fevereiro 2010

ESTUDO EXPERIMENTAL DE CONTAMINAÇÃO DE PRAIAS DA ILHA DO
GOVERNADOR – RIO DE JANEIRO POR DERRAMAMENTO DE DERIVADO DE
PETRÓLEO

Walmir de Souza Mariano Junior

PROJETO DE GRADUAÇÃO SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DO CURSO DE
ENGENHARIA DO PETRÓLEO DA ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE
FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS
PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE ENGENHEIRO DO PETRÓLEO..

Examinado por:

Prof. João Wagner de Alencar Castro, D.Sc.
(Orientador)

Prof. Alexandre de Castro Leiras, D.Sc.

Prof. Paulo Couto, D.Sc.

RIO DE JANEIRO, RJ - BRASIL
FEVEREIRO de 2010

Mariano Junior, Walmir de Souza

Estudo Experimental de Contaminação de Praias da Ilha do Governador – Rio de Janeiro por Derramamento de Derivado de Petróleo / Walmir de Souza Mariano Junior. – Rio de Janeiro: UFRJ/ Escola Politécnica, 2010.

XI, 59 p.: il.; 29,7 cm.

Orientador: João Wagner de Alencar Castro

Projeto de Graduação – UFRJ/ Escola Politécnica/ Curso de Engenharia do Petróleo, 2010.

Referencias Bibliográficas: p. 56-59.

1. Sensibilidade ambiental de praias. 2. Granulometria. 3. Declividade. 4. Teste Experimental de percolação de óleo em sedimento. I. Castro, João Wagner de Alencar. II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola Politécnica, Curso de Engenharia do Petróleo. III. Título.

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho aos meus pais, Walmir de Souza Mariano e Vera Lúcia Oliveira Mariano, e ao meu irmão Vinícius Oliveira Mariano.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) através do Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica (PIBIC) pelo incentivo a pesquisa.

Ao Professor Dr. João Wagner Alencar Castro por todos os ensinamentos e oportunidades durante 3 anos de trabalho conjunto no LAGECOST – Laboratório de Geologia Costeira, Sedimentologia & Meio Ambiente - UFRJ.

À Ludimila Pinheiro e Paloma Guimarães pela ajuda na elaboração deste trabalho.

Ao todos os amigos da segunda turma de Engenharia de Petróleo – UFRJ, pela união durante os 5 anos de estudo.

A todos os professores do curso de Engenharia de Petróleo – UFRJ.

Ao Lars Solberg, CEO da empresa Aptomar, pelo auxílio e fornecimento de material.

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS	VIII
LISTA DE FIGURAS	IX
1 INTRODUÇÃO	1
2 OBJETIVOS	4
2.1 OBJETIVO GERAL	4
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	4
3 DIAGNÓSTICO AMBIENTAL	5
3.1 ASPECTOS GERAIS	5
3.2 GEOLOGIA	7
3.3 BATIMETRIA E MORFOLOGIA DO FUNDO SUBMARINO	8
3.4 ASPECTOS OCEANOGRÁFICOS	10
3.4.1 Classificação quanto ao tipo de estuário	10
3.4.2 Marés	11
3.4.3 Climas de Ondas	11
3.4.4 Salinidade e Temperatura	12
3.4.5 Circulação	12
3.5 Atividades degradadoras	13
4 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	14
4.1 BASE CONCEITUAL PARA O ESTUDO DA DECLIVIDADE DAS PRAIAS	14
4.2 BASE CONCEITUAL PARA O ESTUDO DA GRANULOMETRIA	15
4.3 BASE CONCEITUAL PARA Limpeza de praias	19
4.4 base conceitual para monitoramento ambiental	21
4.4.1 ESTADO DA ARTE – O Sistema SECurus	23
5 MATERIAL E MÉTODO	28
5.1 GRANULOMETRIA	29
5.1.1 Procedimentos em Campo	29
5.1.2 Procedimentos em Laboratório	30
5.2 DECLIVIDADE DAS PRAIAS	31
5.2.1 Procedimentos em campo	31

5.2.2	Procedimentos em Laboratório	34
5.3	SIMULAÇÃO DO TEMPO DE PERCOLAÇÃO DO ÓLEO NOS SEDIMENTOS	36
6	RESULTADOS	39
6.1	GRANULOMETRIA	39
6.1.1	Praia da Bica	39
6.1.2	Praia da Engenhoca	41
6.1.3	Praia da Freguesia	43
6.2	DECLIVIDADE DAS PRAIAS	45
6.2.1	Praia da Bica	45
6.2.2	Praia da Engenhoca	46
6.2.3	Praia da Freguesia	46
6.3	SIMULAÇÃO DO TEMPO DE PERCOLAÇÃO DO ÓLEO NO SEDIMENTO	47
6.3.1	Praia da Bica	47
6.3.2	Praia da Engenhoca	47
6.3.3	Praia da Freguesia	48
7	DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	50
7.1	Granulometria	50
7.2	declividade	50
7.3	PERcolação dO Óleo no sedimento	51
8	CONCLUSÃO	54
9	RECOMENDAÇÕES	55
	REFERÊNCIAS	56

Lista de Tabelas

TABELA 1: ÁREA DETECTÁVEL MÍNIMA EM METROS QUADRADOS EM FUNÇÃO DA ALTURA E DISTÂNCIA	27
TABELA 2: VOLUME DETECTÁVEL MÍNIMO EM LITROS EM FUNÇÃO DA ALTURA E DISTÂNCIA.	27
TABELA 3: TABELA COM A ESCALA AMERICANA DE WENTWORTH UTILIZADA A ANÁLISE GRANULOMÉTRICA.	31
TABELA 4: INFORMAÇÕES ACERCA DOS PERFIS REALIZADOS NAS PRAIAS BICA E FREGUESIA	33
TABELA 5: DESCRIÇÃO GRANULOMÉTRICA DAS AMOSTRAS DA PRAIA DA BICA	40
TABELA 6: DESCRIÇÃO GRANULOMÉTRICA DAS AMOSTRAS DA PRAIA DA ENGENHOCA	42
TABELA 7: DESCRIÇÃO GRANULOMÉTRICA DAS AMOSTRAS DA PRAIA DA FREGUESIA	44
TABELA 8: PROFUNDIDADE DE PERCOLAÇÃO EM RELAÇÃO AO TEMPO DE SIMULAÇÃO – PRAIA DA BICA	47
TABELA 9: PROFUNDIDADE DE PERCOLAÇÃO EM RELAÇÃO AO TEMPO DE SIMULAÇÃO – PRAIA DA ENGENHOCA	48
TABELA 10 PROFUNDIDADE DE PERCOLAÇÃO EM RELAÇÃO AO TEMPO DE SIMULAÇÃO – PRAIA DA FREGUESIA	49

Lista de Figuras

FIGURA 1: MAPA DE LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO. FONTE: MAPS.GOOGLE.COM.BR	3
FIGURA 2: EXTENSÃO DA BAIJA DE GUANABARA ENTRE O RIO MAGÉ E A PONTA DE COPACABANA.	6
FIGURA 3: MAPA BATIMÉTRICO DA BAIJA DE GUANABARA. FONTE: PINHEIRO, 2008.	9
FIGURA 4: ETAPAS DE UM SISTEMA DE DETECÇÃO AUTOMÁTICO DE ÓLEO E ASSEMBELHADOS.	23
FIGURA 5: UNIDADE SENSORA ESTABILIZADA, INSTALADA NA PARTE EXTERNA DA EMBARCAÇÃO	24
FIGURA 6: IMAGEM DA CAMERA INFRAVELHO COORDENANDO OPERAÇÃO EM CONJUNTO COM AS INFORMAÇÕES DO RADAR.	25
FIGURA 7: PERFIL DE PRAIA MOSTRANDO A LOCALIZAÇÃO DA COLETA DAS AMOSTRAS DE SEDIMENTOS.	29
FIGURA 8: RASTREADOR DGPS ASHTECH PROMARK 2. A ANTENA FIXA ESTÁ COM O TRIPÉ E A ANTENA MÓVEL APARECE AO FUNDO.	32
FIGURA 9: SIMULAÇÃO DO PROCESSO DE CONTAMINAÇÃO EM LABORATÓRIO	37
FIGURA 10: ARCO PRAIAL DA BICA LOCALIZADO NA ILHA DO GOVERNADOR – RIO DE JANEIRO	39
FIGURA 11: LOCALIZAÇÃO DOS PONTOS DE COLETA DE SEDIMENTOS NA PRAIA DA ENGENHOCA	41
FIGURA 12 LOCALIZAÇÃO DOS PONTOS DE COLETA NA PRAIA DA FREGUESIA – ILHA DO GOVERNADOR	43
FIGURA 13: DECLIVIDADE DO PERFIL 1 DA PRAIA DA BICA	45
FIGURA 14: DECLIVIDADE DO PERFIL 2 DA PRAIA DA BICA	45
FIGURA 15: DECLIVIDADE DO PERFIL DA PRAIA DA FREGUESIA (GUANABARA).	46
FIGURA 16: PROFUNDIDADE DE PERCOLAÇÃO EM RELAÇÃO AO TEMPO DE SIMULAÇÃO – PRAIA DA BICA	51
FIGURA 17: PROFUNDIDADE DE PERCOLAÇÃO EM RELAÇÃO AO TEMPO DE SIMULAÇÃO – PRAIA DA FREGUESIA	52
FIGURA 18: PROFUNDIDADE DE PERCOLAÇÃO EM RELAÇÃO AO TEMPO DE SIMULAÇÃO – PRAIA DA ENGENHOCA	52

Resumo do Projeto de Graduação apresentado à Escola Politécnica/ UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Engenheiro de Petróleo.

Estudo Experimental de Contaminação de Praias da Ilha do Governador – Rio de Janeiro
por Derramamento de Derivado de Petróleo

Walmir de Souza Mariano Junior

Fevereiro/2010

Orientador: Prof. João Wagner de Alencar Castro

Curso: Engenharia do Petróleo

Os padrões ambientais da indústria do petróleo estão cada vez mais rigorosos, aumentando significativamente os custos de operação das empresas operadoras de petróleo, logo é fundamental a compreensão dos impactos ambientais para que se possa adotar uma política ambiental eficaz. Neste trabalho analisou-se as praias da Bica, Engenhoca e Freguesia, localizadas na ilha do Governador, na baía de Guanabara, quanto ao índice de sensibilidade a um derramamento de óleo e derivados de petróleo, no que diz respeito aos parâmetros de declividade do perfil de praia e granulometria dos sedimentos. Além disso realizou-se um experimento de percolação de óleo em amostras das respectivas praias, o que ratificou a praia da Engenhoca como menos sensível a um derramamento de óleo devido ao menor diâmetro mediano do grão - D50 – 0,375 mm, com profundidade atingida pela frente de óleo de apenas 30% das demais praias. De certa forma procurou-se abordar problemas relacionados ao monitoramento ambiental tais como tecnologias de remediação de derramamento de óleo e limpeza de praia.

Palavras-chave: Baía de Guanabara, derramamento de óleo, sensibilidade de praia, limpeza de praia, monitoramento ambiental.

Abstract of Undergraduate Project presented to POLI/UFRJ as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Petroleum Engineer.

Experimental Study of Beach Contaminations at Ilha do Governador – Rio de Janeiro by
Oil Spill

Walmir de Souza Mariano Junior

February/2010

Advisor: Prof. João Wagner de Alencar Castro

Course: Petroleum Engineering

Environmental standards in Oil Industry are getting stricter each day, increasing operational costs of oil companies, so it is essential to improve knowledge in environmental impacts to adopt an effective environmental policy. This thesis has analyzed following beaches: Bica, Engenhoca and Freguesia, located in Ilha do Governador, Guanabara bay according their oil spill sensibility like slope profile and sediment sizes. Furthermore it contains an oil percolation experiment in sediment samples of each beach that confirmed Engenhoca as less sensible beach for oil spill due to its smaller medium sediment size, 0,375 mm. This experiment showed that depth reached by oil in Engenhoca is just 30% of depth reached in other beaches. Also this study stands out environmental monitoring issues such as oil spill remediation technologies and beach cleanup.

Keywords: Guanabara bay, oil spill, beach sensibility, beach cleanup, environmental monitoring.

1 INTRODUÇÃO

Os padrões ambientais da indústria do petróleo estão cada vez mais rigorosos, aumentando significativamente os custos de operação das empresas operadoras de petróleo. No entanto, o surgimento destes novos padrões tem proporcionado o surgimento de novas tecnologias cada vez mais eficientes que reduzem drasticamente os impactos ambientais na indústria de petróleo. Em relação ao derramamento de óleo no mar temos diversos órgãos reguladores em diversos níveis hierárquicos. A IMO – International Maritime Organization é a principal organização reguladora internacional e a partir da convenção de 1973 deu início a Regulamentação conhecida atualmente como MARPOL 73/78. A seguir temos as principais regulações para derramamento de óleo:

- Marpol 73/78: Convenção Internacional para a Prevenção da Poluição Causada por Navios, concluída em Londres, em 2 de novembro de 1973, alterada pelo Protocolo de 1978, concluído em Londres, em 17 de fevereiro de 1978, e emendas posteriores, ratificadas pelo Brasil;
- Lei Nacional 9966/00: Dispõe sobre a prevenção, o controle e a fiscalização da poluição causada por lançamento de óleo e outras substâncias nocivas ou perigosas em águas sob jurisdição nacional e dá outras providências;
- Resolução CONAMA 398/08: Dispõe sobre o conteúdo mínimo do Plano de Emergência Individual para incidentes de poluição por óleo em águas sob jurisdição nacional, originados em portos organizados, instalações portuárias, terminais, dutos, sondas terrestres, plataformas e suas instalações de apoio, refinarias, estaleiros, marinas, clubes náuticos e instalações similares, e orienta a sua elaboração.

Como uma das principais regiões de atividades petrolíferas na costa brasileira, a baía de Guanabara é uma das maiores baías do litoral brasileiro, com uma área de cerca de 380,0 Km², englobando praticamente toda a região metropolitana do Estado do Rio de Janeiro (FEEMA, 2007).

As praias dessa baía encontram-se em um ambiente restrito, próximas a áreas de armazenamento de combustível, terminais petrolíferos terrestres e aquaviários, refinaria de Duque de Caxias - REDUC e do porto da cidade do Rio de Janeiro (Figura 1). Devido ao potencial poluidor desses empreendimentos, o turismo, a pesca e outras atividades econômicas podem sofrer a ação direta e indireta dos impactos causados por derrames acidentais de óleo e derivados, gerando grande prejuízo na economia local e regional. Cabe destacar também os impactos negativos sobre os ecossistemas marinhos e costeiros, quase sempre de alta magnitude.

Nesse contexto, o presente trabalho pretende definir as praias da Bica, Freguesia, e Engenhoca, na baía de Guanabara, quanto ao grau de vulnerabilidade e sensibilidade a derramamentos de óleo, além de citar novas práticas para recuperação de derramamento de óleo. Para isso foram analisados os parâmetros sedimentológicos (substrato), de declividade e de percolação do óleo nas praias com maior probabilidade de contaminação por derramamento de óleo.

Estas praias foram selecionadas de acordo com os resultados apresentados em uma simulação de derramamento na baía de Guanabara por PINHEIRO 2008. Esta simulação indentificou que estas 3 praias apresentavam as maiores probabilidades de contaminação por derivado de petróleo devido a fatores hidrodinâmicos da baía de Guanabara.

Segundo SQA/MMA (2002), derramamento de óleo é qualquer forma de liberação de óleo para o ambiente, incluindo o despejo, escape, vazamento e transbordamento. O óleo deve ser entendido como petróleo e seus derivados, incluindo óleo cru, óleo

combustível, borra, resíduos de petróleo, produtos refinados e mistura de água e óleo em qualquer proporção.

Um gerenciamento adequado das atividades de exploração e produção do petróleo requer primeiramente um monitoramento constante que consiga identificar no menor intervalo de tempo a ocorrência do derramamento, além disso estudos detalhados sobre o comportamento e a previsão do destino de manchas de óleo em ambientes aquáticos advindas de possíveis vazamentos.

Ressalta-se a relevância destes estudos em algumas praias arenosas da baía de Guanabara, devido à proximidade de terminais e plataformas de petróleo, onde os derramamentos acidentais de óleo são riscos inerentes à atividade.

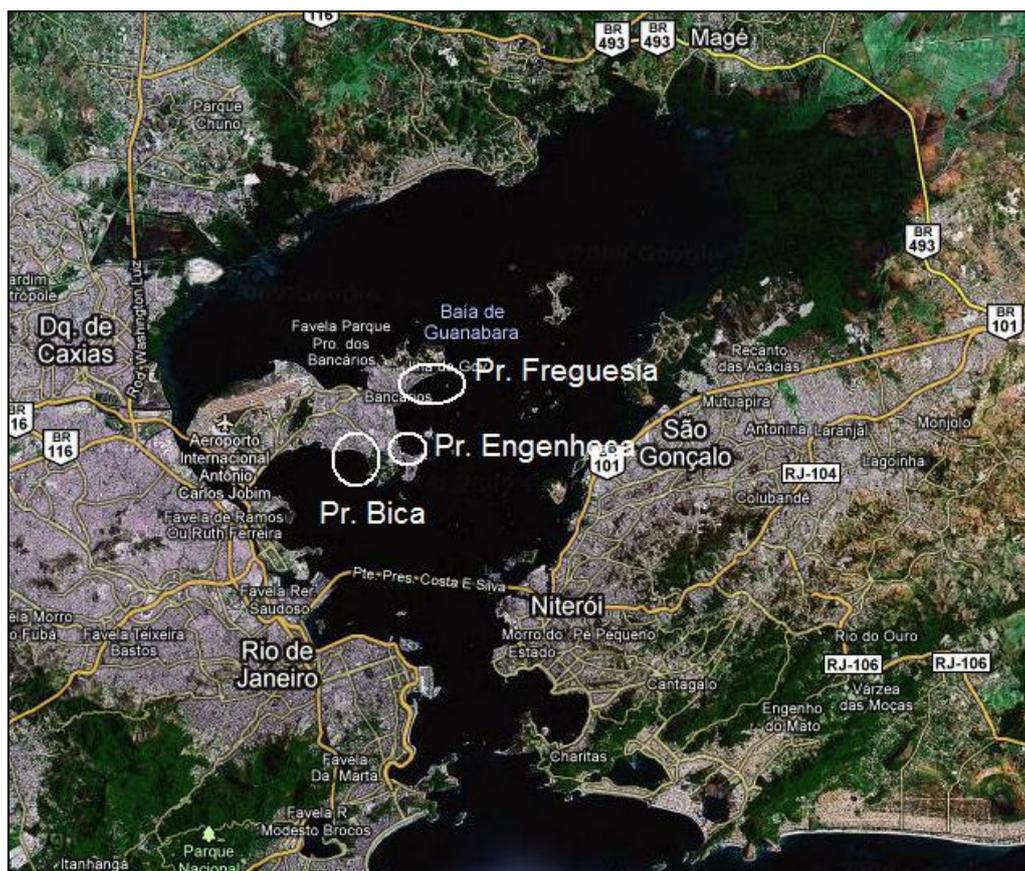


Figura 1: Mapa de localização da área de estudo. Fonte: maps.google.com.br

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

O presente trabalho tem como objetivo estudar os índices de sensibilidade das praias Bica, Freguesia e Engenhoca (Ilha do Governador), quanto ao derramamento de óleo e derivados de petróleo, descrevendo o comportamento de percolação do óleo no sedimento inconsolidado das praias estudadas complementado pela demonstração de novas tecnologias de monitoramento.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Avaliar os locais com maior probabilidade de contaminação diante de um derramamento de óleo e derivados de petróleo;
- Analisar as condições sedimentológicas das praias Bica, Freguesia e Engenhoca;
- Estudar as condições de declividade das praias Bica, Freguesia e Engenhoca;
- Analisar a vulnerabilidade e sensibilidade ambiental para as praias estudadas;
- Descrever a percolação do óleo no sedimento até sua chegada no lençol freático.

3 DIAGNÓSTICO AMBIENTAL

3.1 ASPECTOS GERAIS

Área de valor imensurável tanto histórico quanto ambiental, a baía de Guanabara é um ícone para o Estado do Rio de Janeiro. Engloba praticamente toda a região metropolitana da cidade do Rio de Janeiro (FEEMA, 2007). Localiza-se entre as coordenadas: latitude 22° 40' e 23° 00' Sul; Longitude 43° 00'e 43° 20' Oeste.

De acordo com AMADOR (1996), a superfície da baía de Guanabara é de 377,0 Km², excluindo suas ilhas e considerando seu limite externo no arco formado pelas pontas de Copacabana (Posto 6) e de Itaipu e as ilhas de Pai, Mãe e Menina. O perímetro é de 131,0 Km e o volume total de água de $3,058 \times 10^9$ m³. A maior extensão da baía, medida em linha reta entre a ponta de Copacabana e a foz do rio Magé, é de 36,0 Km. A menor extensão é de apenas 1,6 Km, no estreitamento entre os fortes Forte de São João e Fortaleza Santa Cruz (Figura 2).

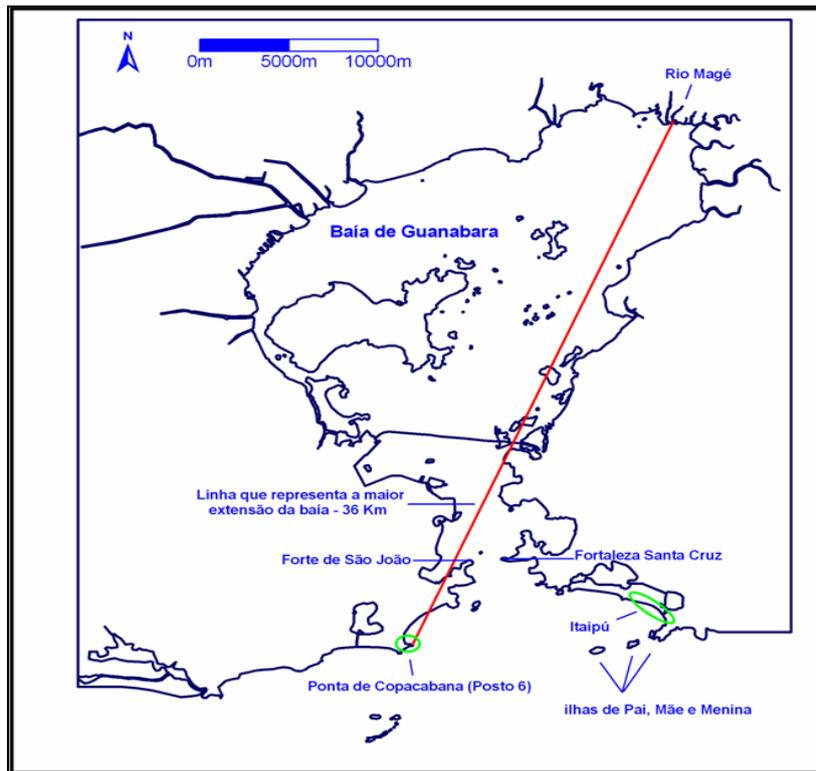


Figura 2: Extensão da baía de Guanabara entre o rio Magé e a ponta de Copacabana.

A profundidade média da baía de Guanabara é de 7,6 m, sendo de cerca de 3,0 m no fundo; 8,3 m na região entre a ilha do Governador e as pontas de Gragoatá e Calabouço e; de 16,9 m na entrada (AMADOR, 1982).

Segundo AMADOR (1996), as diversas ilhas e ilhotas da baía de Guanabara somam uma área de 52,0 Km², entre as quais se destacam:

- a Ilha do Governador, a maior de todas, onde está localizado o Aeroporto Internacional do Galeão Antônio Carlos Jobim;
- a Ilha do Fundão, onde se situa o principal *campus* da Universidade Federal do Rio de Janeiro; e
- a Ilha de Paquetá, recanto turístico onde não há tráfego de automóveis particulares.

3.2 GEOLOGIA

Segundo RUELLAN (1944) *apud* AMADOR (1982), a baía de Guanabara se originou de uma depressão de ângulo de falha entre dois grupos de blocos falhados: o da serra dos Órgãos (parte da serra do Mar) e dos pequenos maciços costeiros. A esta região rebaixada, RUELLAN (1944) *apud* FERRARI (1990) denominou *gráben* da Guanabara e ALMEIDA (1976) *apud* FERRARI (1990) denominou *rift* da Guanabara.

De acordo com FERRARI (1990), o *rift* da Guanabara se instalou sobre rochas Pré-Cambrianas de evolução complexa, constituídas essencialmente de gnaisses, migmatitos e granitos. Três fases de deformação são reconhecidas na área, sendo a segunda a mais importante, tendo produzido intensa transposição de uma xistosidade anterior, gerando extensivamente uma nova xistosidade plano axial e dobras fechadas a isoclinais, de direção NE e ENE. Nessa fase desenvolveram-se localmente faixas de rochas miloníticas, que possuem uma única expressão de importância na área estudada, junto à extremidade norte do *rift*, na serra das Araras, com o lineamento do Ribeirão das Lages. Uma terceira fase produziu dobras de grande amplitude, localmente caracterizáveis, com eixos dominantes para NNE.

Assim, para FERRARI (1990), o *rift* da Guanabara é do tipo *semigraben*, com blocos adernados para NW, com desnivelamento topográfico mais intenso na borda norte. O início de sua implantação deve ser reportado à formação da bacia de São José de Itaboraí, no Eopaleoceno. O *rift* é subcompartimentado, transversalmente, em blocos limitados por falhas NNE. Esses blocos tiveram movimentação vertical distinta, de até 3,0 Km.

A geologia do substrato da baía de Guanabara foi definida por AMADOR (1996) da seguinte forma:

→ sedimentos estuarinos holocênicos: correspondem à sedimentação da baía após o afogamento marinho que a originou;

- sedimentos fluviais da Formação Caceribu: idades situadas entre 40.000 e 12.000 anos, constituídos por areias grosseiras feldspáticas;
- embasamento cristalino bastante dissecado, constituído por gnaisses e migmatitos diversos.

Do ponto de vista da evolução geológica há cerca de 3.000 anos o contorno da baía de Guanabara já era bastante similar ao atual. Entretanto, na retaguarda da linha de costa, segmentos primitivos da baía, truncados pela sedimentação mais recente (marinha e fluvial), proporcionavam a ocorrência de lagunas e vastos manguezais, que adentravam, em muitos quilômetros, os sistemas fluviais mais importantes.

3.3 BATIMETRIA E MORFOLOGIA DO FUNDO SUBMARINO

Segundo AMADOR (1996), devido à origem por afogamento marinho de uma antiga bacia fluvial pleistocênica, a baía de Guanabara tem um fundo muito irregular, sendo as batimétricas orientadas por antigos talwegues fluviais, hoje parcialmente ou totalmente soterrados pela sedimentação estuarina (Figura 3). Vários talwegues com profundidades que oscilam entre 5,0 e 10,0 m confluem para um grande talwegue central de orientação geral N - S, segundo o eixo principal da baía, onde as profundidades são superiores a 20,0 m. O canal principal se distribui desde a entrada até as proximidades das ilhas de Nhanquetá e Paquetá. As maiores profundidades do canal principal, que ultrapassam 50,0 m, estão confinadas no estreitamento da baía, entre as pontas de São João e de Santa Cruz.

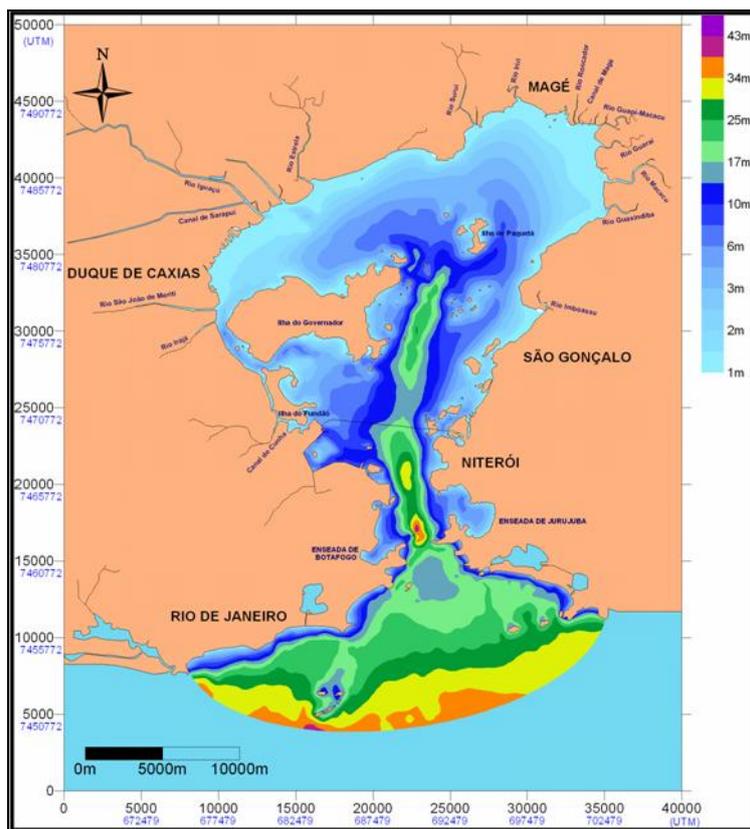


Figura 3: Mapa batimétrico da baía de Guanabara. Fonte: Pinheiro, 2008.

De acordo com DIAS E QUARESMA (1996) *apud* ANÍSIO (2006), o canal central no interior da baía de Guanabara é relativamente plano, com largura média de 400,0 m, definido aproximadamente pela isóbata de 30,0 m, excetuando-se pela depressão que atinge 59,0 m, próxima a entrada da baía. Existem ainda vários afloramentos do embasamento cristalino, com morfologia típica do “Pão de Açúcar”, oferecendo riscos a navegação. Ao norte do alinhamento Santos Dumonto – Gragoatá, o canal central perde suas características de confinamento, alargando-se até 900,0 m e tornando-se progressivamente mais raso. Sob o vão central da ponte Rio-Niterói, sua profundidade é de 20,0 m. Deste trecho em direção ao interior da baía, as profundidades tornam-se muito rasas e o canal natural desaparece, em função da intensa sedimentação lamosa. A profundidade chega a 3,0 m na região do fundo da baía.

Na margem leste do canal central da baía de Guanabara, existe um campo de dunas subaquosas, entre as profundidades de 10,0 e 26,0 m, com alturas entre 2,5 e 0,5 m e

comprimentos de onda entre 20,0 e 100,0 m. Em direção ao interior da baía observa-se uma diminuição progressiva de tamanho dessas dunas, que desaparecem completamente a NW da ilha de Boa Viagem. E na entrada da baía encontra-se um banco arenoso externo de grandes dimensões (DIAS E QUARESMA, 1996).

3.4 ASPECTOS OCEANOGRÁFICOS

Grandes baías são comuns na linha de costa de todos os continentes, particularmente em regiões que foram tectonicamente ativas. As baías podem exibir localmente processos típicos de estuários de planície costeira. Entretanto, esses corpos de água são muito grandes e complexos para serem definidos simplesmente como estuário e, por terem o componente tectônico para sua formação, podem ser classificados como uma categoria separada de ambiente estuarino (PRITCHARD, 1952b *apud* MIRANDA *et. al.*, 2002).

SAMPAIO (2003) definiu a baía de Guanabara como o maior e mais importante sistema estuarino do Estado do Rio de Janeiro. Entende-se por sistema estuarino, um complexo ambiente formado por diversos estuários. De acordo com DYER (1997), estuários são ecossistemas de transição entre o continente e o oceano, áreas de encontro dos rios com o mar, resultando em corpos de água costeiros semi-confinados, que possuem ligação livre com o oceano aberto, estendendo-se rio-acima até o limite da influência da maré, sendo que em seu interior a água do mar é mensuravelmente diluída pela água doce, proveniente da drenagem continental.

3.4.1 Classificação quanto ao tipo de estuário

PRITCHARD (1952b *apud* DYER, 1997), tem separado os estuários em dois grupos: positivo e negativo. Por este critério, a baía de Guanabara é classificada como um estuário positivo, já que a entrada de água doce proveniente da descarga fluvial e precipitação excede a saída de água pela evaporação, e a salinidade dentro da baía é

inferior à encontrada no oceano. Existem outros tipos de classificação como: por maré, quanto à geomorfologia, à morfologia, à estrutura salina, no entanto não é objetivo do trabalho uma completa classificação quanto ao tipo de estuário.

3.4.2 Marés

Segundo AMADOR (1996), as marés da baía de Guanabara são classificadas como semi-diurnas, com período de cerca de 12,5 horas. São ainda com desigualdades, ou seja, as curvas apresentam diferenças nas alturas de preamar e baixa-mar consecutivas e, com a aproximação dos períodos de quadratura. De acordo com KJERFVE (1997), estas desigualdades ocorrem em função da pequena contribuição da componente diurna de maré.

A maré medida na estação maregráfica da ilha Fiscal, apresenta altura máxima de 1,4 m, altura média de sizígia de cerca de 1,2 m, altura média de quadratura de 80 cm e altura mínima de 20 cm, sobre o nível de referência das cotas hidrográficas da Marinha do Brasil. São marés de pequena altura e do tipo irregular. As dimensões na baía não favorecem a ocorrência de marés astronômicas, geradas pelo desnível produzido por fenômenos astronômicos, sendo predominantes marés oceânicas, que têm origem na troca de águas com o oceano (AMADOR, 1996).

3.4.3 Climas de Ondas

Devido ao estreitamento de sua entrada, a baía de Guanabara é bastante protegida quanto à propagação de ondas. As ondas de tempo bom, com ventos de NE e ESE, possuem maior frequência no Estado do Rio de Janeiro, só atingem a entrada da baía após terem sido consideravelmente refratadas. As ondas de tempestade, originadas de ventos de S e SSW, possuem menor frequência no litoral, embora também sejam refratadas, conseguem penetrar na baía até as proximidades da ponte Rio - Niterói, devido ao seu elevado nível de energia (AMADOR, 1996).

3.4.4 Salinidade e Temperatura

De acordo com dados coletados pela JICA (1992 *apud* AMADOR, 1996), percebe-se que a comunicação restrita da baía de Guanabara com o oceano funciona como um filtro regulador das trocas entre os dois ambientes. Os perfis de temperatura e salinidade revelam que a descarga dos rios faz os valores de salinidade decrescerem em direção ao interior da baía enquanto que os de temperatura aumentam. Na estação seca (maio/junho), os valores de salinidade variam de 29 ppm para 35 ppm do fundo até a entrada da baía, enquanto que a temperatura passa de 25,9°C para 24°C. Na estação chuvosa, seguindo a mesma direção, os valores de salinidade se situam entre 21 ppm e 34 ppm e os de temperatura entre 26°C e 22°C.

3.4.5 Circulação

Os movimentos de circulação dentro de um estuário são gerados por variações do nível do mar, pela descarga de água doce, pelo gradiente de pressão devido à influência termohalina da salinidade sobre a densidade, pela circulação da plataforma continental e pelo vento agindo diretamente sobre a superfície livre (MIRANDA *et. al.*, 2002).

KJERFVE (1997) considerou que a circulação residual na baía de Guanabara é proveniente da combinação dos efeitos da corrente de maré residual com a aceleração de Coriolis, regime de ventos dominantes, atrito com o fundo e geometria do corpo d'água.

Segundo AMADOR (1996), a direção e intensidade das correntes de maré são geradas pela combinação da força de maré com a geometria do ambiente. Assim, a direção das correntes na baía de Guanabara segue, predominantemente, o alinhamento do canal central e dos canais secundários. E a intensidade das correntes é reduzida nos trechos com maior seção transversal e é aumentada nos trechos de

menor seção transversal. Dessa forma as maiores velocidades de corrente são encontradas na área mais estreita, correspondente à entrada da baía de Guanabara.

JICA (1994 *apud* KJERFVE, 1997) encontrou velocidades mais rápidas para as correntes de enchente do que para as correntes de vazante na baía de Guanabara. O pico da corrente de enchente alcançou 1,56 m/s na superfície, enquanto que a máxima velocidade superficial na vazante chegou a 1,37 m/s.

3.5 ATIVIDADES DEGRADADORAS

Segundo CIBJ (2001), a baía de Guanabara é o corpo receptor final de todos os efluentes líquidos gerados nas suas margens e nas bacias dos 55 rios que a alimentam. A qualidade de suas águas não poderia deixar de ser influenciada pela carga poluidora lançada nos rios de seu entorno e no seu espelho d'água. Contribuem para este quadro as inúmeras fontes potenciais de poluição existentes, entre as quais se destacam:

- 14.000 estabelecimentos industriais;
- 14 terminais marítimos de carga e descarga de produtos oleosos;
- 2 portos comerciais;
- diversos estaleiros;
- 2 refinarias de petróleo;
- cerca de 1.000 postos de combustíveis e;
- rede de transporte de matérias-primas, combustíveis e produtos industrializados.

De acordo com Consórcio Ecologus-Agrar (2005), destacam-se como principais atividades degradadoras da baía de Guanabara:

- Lançamento de esgotos sanitários;
- Lançamento de efluentes industriais e;
- Desmatamento, erosão e assoreamento.

4 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

4.1 BASE CONCEITUAL PARA O ESTUDO DA DECLIVIDADE DAS PRAIAS

Conforme SUGUIO (2003), o ambiente de praia corresponde à zona perimetral de um corpo aquoso, dominada por ondas e composta de material granular inconsolidado. Quase sempre, tanto sua morfologia externa quanto suas características internas podem apresentar modificações induzidas por atividades de correntes longitudinais e de maré. Estende-se desde o limite de profundidade de interação das ondas com o substrato até a linha de vegetação permanente ou onde haja mudanças na fisiografia, representando o limite das ondas de tempestade.

A declividade e a largura de uma praia dependem muito da granulometria dos sedimentos que a constituem, e o nível está relacionado ao tamanho das ondas e às amplitudes das marés. Em geral, tanto mais grossos os sedimentos, mais inclinadas e estreitas se apresentam as praias, e esta correlação está ligada à maior permeabilidade dos sedimentos mais grossos, que favorece a infiltração e diminui muito o volume de águas de retorno superficial (SUGUIO, 2003).

A forma do perfil transversal de uma praia é função de inúmeros fatores sedimentológicos e hidrodinâmicos. Segundo DAVIS & FOX (1968 *apud* SUGUIO, 2003), uma das variáveis que interferem na forma do perfil praiial é de caráter sazonal, de modo que, no inverno, tem-se a concavidade para cima e, no verão, para baixo. Embora, esses autores destaquem que a deposição e a erosão de praias não são fenômenos unicamente sazonais, sendo também controlados pela frequência e intensidade dos processos associados a tempestades.

De acordo com WRIGHT *et al.* (1987 *apud* SUGUIO, 2003) e SHORT (1991 *apud* SUGUIO, 2003), as praias podem apresentar diferentes estados morfodinâmicos. Assim, no estado dissipativo, a praia e a zona de surfe são largas e exibem baixos gradientes topográficos, enquanto que no estado reflexivo, os gradientes topográficos da praia e do fundo submarino adjacente são elevados, praticamente sem zona de surfe. Existe ainda um estado intermediário, com características mais instáveis.

O estudo dos perfis de praia neste trabalho está associado à análise da sensibilidade ambiental ao petróleo e derivados. Neste contexto, NOAA (1997, *apud* SQA/MMA, 2002) descreveu que a importância principal do tipo de inclinação é o seu efeito na reflexão e quebra das ondas. Litorais muito inclinados levam ao rompimento abrupto e reflexão das ondas, com elevadas velocidades de espraiamento e refluxo na encosta ou face da praia, e o tempo de permanência do óleo será, provavelmente, mínimo, com rápida limpeza natural da área atingida, a não ser que ocorra transposição das ondas (“overwash”), levando parte do óleo para a zona à retaguarda da praia. Costas de baixa declividade, como planícies de maré e faixas de mangue, não só estão sujeitas a níveis de energia mais baixos (tempo de permanência do óleo mais prolongado e menor ação de limpeza natural), como têm uma superfície intermarés que permite o estabelecimento de comunidades biológicas como, por exemplo, leitos de mexilhões e comunidades de plantas/ algas, etc. (NOAA, 19978).

Segundo SQA/MMA (2002), a inclinação do litoral determina a extensão da zona intermarés. Esta inclinação pode ser caracterizada como alta (maior que 30°), moderada (entre 30° e 5°) e pequena ou plana (menor que 5°).

4.2 BASE CONCEITUAL PARA O ESTUDO DA GRANULOMETRIA

Segundo PINHEIRO (2008), a granulometria é expressa pelo diâmetro das partículas em sedimentos detríticos. O padrão granulométrico da região é de suma importância

para que tenhamos resultados quantitativos em relação a percolação do óleo no sedimentação já que este evento está extremamente relacionado a esta propriedade, a granulometria.

De acordo com SQA/MMA (2002), o tipo de substrato determina ou afeta alguns parâmetros, como permeabilidade, mobilidade do sedimento, permanência do óleo e, trafegabilidade na região. Este último é fundamental para a utilização de determinados equipamentos de resposta.

A permeabilidade do substrato estabelece uma correlação direta com a infiltração potencial e, portanto, com a permanência do petróleo; quanto maiores forem os diâmetros dos sedimentos, tanto mais profunda será a infiltração do óleo. Penetrações maiores são esperadas para sedimentos grossos. Em praias de cascalho, a penetração de mais de um metro pode ocorrer. Praias de areia são diferenciadas nas categorias do diâmetro do grão (fina, média e grossa), que são distintos quanto ao grau de permeabilidade e potencial de penetração do óleo. Sedimentos lamosos têm a menor permeabilidade e também tendem a serem saturados de água; conseqüentemente, a penetração do óleo é muito limitada. Os substratos não consolidados têm tendência à mobilidade sedimentar pela ação das ondas, a qual é acelerada durante as tempestades. O movimento dos sedimentos pode diminuir o tempo de permanência do óleo ou, ao contrário, incorporá-lo aos estratos sedimentares inferiores. Durante tempestades, o óleo em praias de cascalho pode ser enterrado pela construção de bermas de cascalho ou barreiras. Ao longo da costa com padrões de fortes tempestades sazonais podem ocorrer ciclos anuais de erosão/deposição nos perfis de praia e padrões de distribuição dos sedimentos. Essas costas têm o mais alto potencial para enterramento, particularmente se o óleo for aprisionado no começo do período deposicional (SQA/MMA, 2002).

O tipo de substrato também afeta a trafegabilidade. As praias de areia fina, que são tipicamente compactadas e duras, permitem o tráfego de equipamentos. Em substratos lamosos, o uso de equipamentos de limpeza ou proteção não é, em geral, possível, devido à sua consistência. Em substratos vegetados, tais como marismas e manguezais, os equipamentos de limpeza não devem ser utilizados. Nesses ambientes, admite-se apenas limpeza manual (SQA/MMA, 2002).

Segundo SQA/MMA (2002), os substratos litorâneos podem ser classificados como:

- Substratos rochosos: podem ser subdivididos em semipermeáveis e impermeáveis, dependendo da presença de depósitos na superfície da rocha;
- Substrato sedimentar: subdivididos conforme o diâmetro do grão em:
 - Lama, consistindo de silte e argila, menos do que 0,06 mm de diâmetro;
 - Areia muito fina a média, de 0,06 a 1 mm;
 - Areia grossa, de 1 a 2 mm;
 - Grânulo, de 2 a 4 mm;
 - Seixos, de 4 a 64 mm;
 - Calhaus, de 64 a 256 mm;
- Substratos vegetados
 - Banhados (terrenos alagadiços);
 - Planícies fluviais (bancos vegetados);
 - Manguezais;
 - Restingas (região ocupada pela comunidade halófitas; faixa sujeita à ação de ressacas);
- Estruturas artificiais
 - Rip-rap, ou enrocamentos com pedras de vários tamanhos, normalmente seixos ou maiores, que são permeáveis à penetração do óleo;

- Muros e outras estruturas constituídas de material sólido, tais como concreto, madeira e aço, impermeáveis à penetração do óleo;

No que diz respeito à distribuição dos sedimentos na costa, NANZ (1955 *apud* SUGUIO, 2003) determinou que os grãos de areia das praias dispõem-se paralelamente à direção de propagação das ondas. Dessa forma, no presente trabalho, analisou-se a distribuição granulométrica nos subambientes praias: face de praia, limite médio de preamar e pós-praia.

A pós-praia representa a porção mais alta das praias, além do alcance das ondas e marés comuns, sendo lavada apenas durante as marés de sizígia. A face de praia situa-se entre os limites comuns de preamar e baixa-mar e normalmente sofre a ação das marés e os efeitos de espraiamento das ondas. A antepraia estende-se do limite de baixa-mar comum até além da zona de arrebentação, onde as ondas já não mobilizam o fundo.

De acordo com WRIGHT *et. al.* (1979), as areias das praias são predominantemente formadas por quartzo e variáveis, porém significativas, quantidades de fragmentos de concha. O tamanho do grão varia entre os subambientes praias, indo dos finos até o cascalho. Segundo MCLAREN (1981), o sedimento é erodido da fonte, transportado e depositado completamente. A erosão do sedimento da fonte ocorre se a magnitude de energia nos processos, tais como correntes e quebra das ondas, for capaz de remover os depósitos ou frações granulométricas. A deposição dos sedimentos decresce do grosso ao fino, quanto menor o nível de energia atuante. Assim, nas praias os sedimentos mais grossos se encontram, normalmente, na antepraia e os mais finos na pós-praia.

4.3 BASE CONCEITUAL PARA LIMPEZA DE PRAIAS

Os métodos para limpeza de praias, apresentados como disponíveis segundo API (1985), são: absorção, remoção manual, bombeamento a vácuo, remoção mecânica, biodegradação induzida, dispersão química, queima, limpeza natural e jateamento.

Considerando os trabalhos de GUNDLAUCH & HAYES (1978) e NOAA (2000) a limpeza deve se concentrar em remover, manualmente, o óleo do médio e supralitoral; desta maneira, a quantidade de areia removida é menor, devendo ser mínima em praias de areia fina. Para praias mistas de areia e cascalho a limpeza natural, a remoção mecânica e manual do óleo são as mais indicadas. Para praias de cascalho, a limpeza acaba por remover grandes quantidades de sedimento podendo resultar em impactos adversos; portanto, a limpeza deve se concentrar na linha de maré alta através de remoção manual e mecânica. Deve-se evitar o tráfego de veículos e pessoas, de modo a impedir que o óleo se misture ainda mais ao sedimento. O jateamento a baixa pressão pode ser usado para direcionar e acumular o óleo a ser recolhido por *skimmers* e absorventes. O jateamento a alta pressão deve ser evitado, pois pode transportar material contaminado para outros locais, causar impacto mecânico na fauna, desalojar a fauna e remover sedimentos.

A limpeza natural é plausível para praias expostas onde a ação das ondas é suficiente para remover o óleo (IPIECA, 2000). Também é recomendada para praias abrigadas onde outros procedimentos podem causar danos adicionais ao ambiente. Quando a limpeza natural não é apropriada (e.g., área com fraca hidrodinâmica, biota ou recursos socioeconômicos importantes sob ameaça), outras opções podem ser consideradas: jateamento a baixa pressão para sedimentos firmes com baixa declividade; remoção manual e mecânica; absorventes; bombeamento a vácuo; biorremediação. Com relação ao último método não há evidências conclusivas a respeito de suas vantagens (IPIECA, 2000).

No Brasil, os métodos empregados sempre visaram à recuperação estética das praias afetadas, e por isso, muitos procedimentos danosos à comunidade biológica têm sido utilizados. No litoral do Estado de São Paulo, os principais métodos utilizados foram o recolhimento manual com pás e enxadas e uso de máquinas pesadas, causando a retirada de grande quantidade de areia das praias, especialmente da zona intermarés. Estes procedimentos acabavam por perturbar gravemente as comunidades biológicas, uma vez que a maioria dos organismos habita os primeiros 10 - 15 cm do substrato, justamente a faixa retirada pela limpeza (LOPES & MILANELLI).

Após vários estudos e avaliações de métodos utilizados, MILANELLI & LOPES (2001) definiram diretrizes para a limpeza de praias, que foram adotadas com sucesso pela CETESB, desde o grande acidente TEBAR V, em São Sebastião (LOPES *et al.* 1996). Naquele episódio ficou comprovado que a ação das ondas e marés é extremamente eficiente no deslocamento do petróleo e na limpeza natural, devendo ser aproveitada ao máximo, durante os procedimentos. Também ficou claro que na zona entremarés deve-se evitar qualquer procedimento mecânico de limpeza, incluindo circulação de veículos e máquinas pesadas, uma vez que este segmento da praia é o mais rico e sensível biologicamente. O recolhimento manual do petróleo deve ser efetuado apenas no mediolitoral superior e supralitoral, retirando-se o mínimo de areia possível.

É recomendado o uso de rodos de madeira para remover o óleo (pás e enxadas devem ser utilizadas apenas para retirar os montes de óleo agregados pelos rodos). Uma vez recolhida a maior parte do petróleo, o uso de absorventes é de grande eficiência na limpeza fina da praia. O produto deve ser espalhado na franja do infralitoral, sempre nas marés baixas. Após a preamar, o produto deve ser recolhido manualmente na franja do supralitoral, respeitando-se as faixas inferiores da praia. Todo o óleo recolhido deve ser retirado da praia preferencialmente em tambores ou “*big bags*” lacrados.

Muitos países usam dispersantes na limpeza de praia. Todavia, a biota pode ficar exposta aos efeitos tóxicos do produto e do óleo dispersado (IPIECA 2001). O produto também não é recomendado para praias arenosas, lodosas e de cascalho (CETESB 2005). No Brasil a aplicação de dispersantes em praias é proibida pela legislação ambiental (BRASIL 2000).

Com relação à biorremediação, testes feitos em praias mostraram que a adição de fertilizantes foi eficiente no aumento da taxa de biodegradação em locais que foram severamente atingidos por óleo (LEE & LEVY 1991 *apud* MICHEL 1992). Em outros estudos, a adição de nutrientes não foi eficiente devido à lixiviação e lavagem dos sedimentos pelas ondas, marés e correntes. Estudos mais avançados são necessários, observando-se que a biorremediação só pode ser utilizada se estiver em concordância com a legislação ambiental Brasileira e for autorizada pelo órgão ambiental competente.

Pode-se concluir que para praias, procedimentos como recolhimento de óleo com máquinas, tráfego de veículos na zona entremarés, manipulação da zona entremarés inferior, retirada indiscriminada de areia e a aplicação de dispersantes na areia são contra-indicados. Métodos como recolhimento manual criterioso, bombeamento a vácuo, o uso de absorventes para fazer a limpeza mais fina e a limpeza natural, aproveitando a ação das ondas, são os mais indicados para praias. Há um conflito muito intenso com relação aos aspectos ecológicos e sociais, já que praias são muito importantes economicamente. As pressões para que o ambiente seja limpo a qualquer custo são muito fortes. Entretanto, é fundamental que a limpeza seja o menos impactante possível para que, com isso, o ecossistema se recupere mais rapidamente.

4.4 BASE CONCEITUAL PARA MONITORAMENTO AMBIENTAL

Devido a política atual de redução de impactos ambientais a tendência mundial da indústria de petróleo é a otimização do monitoramento ambiental de forma que cada

vez mais diminua o tempo de detecção de qualquer forma de derramamento de óleo. A redução do tempo de detecção do derramamento de óleo propicia respostas mais eficazes e otimização da recuperação do óleo derramado.

Até pouco tempo este monitoramento ambiental era realizado apenas por radares de abertura sintética (synthetic aperture radar - SAR) através de sistemas para detecção automática de vazamentos de óleo que estão sendo desenvolvidos desenvolvidos para otimizar e auxiliar a interpretação das imagens SAR (SOLBERG et al., 2005; SOLBERG, 2005).

A cadeia de processamentos considera prioritariamente as áreas oceânicas, emitindo um alarme quando uma região escura, de baixo retroespalhamento, for identificada como uma suspeita de mancha de óleo (KERAMITSOGLOU et al., 2006). Estes sistemas geralmente são compostos por quatro etapas (Figura 4): a) pré-processamento das imagens; b) individualização de regiões escuras nas imagens, utilizando técnicas de segmentação e de agrupamento; c) cálculo de atributos para cada região escura detectada, e; d) classificação das regiões escuras como óleo e/ou evento assemelhado com base nos atributos calculados (BREKKE & SOLBERG, 2005).

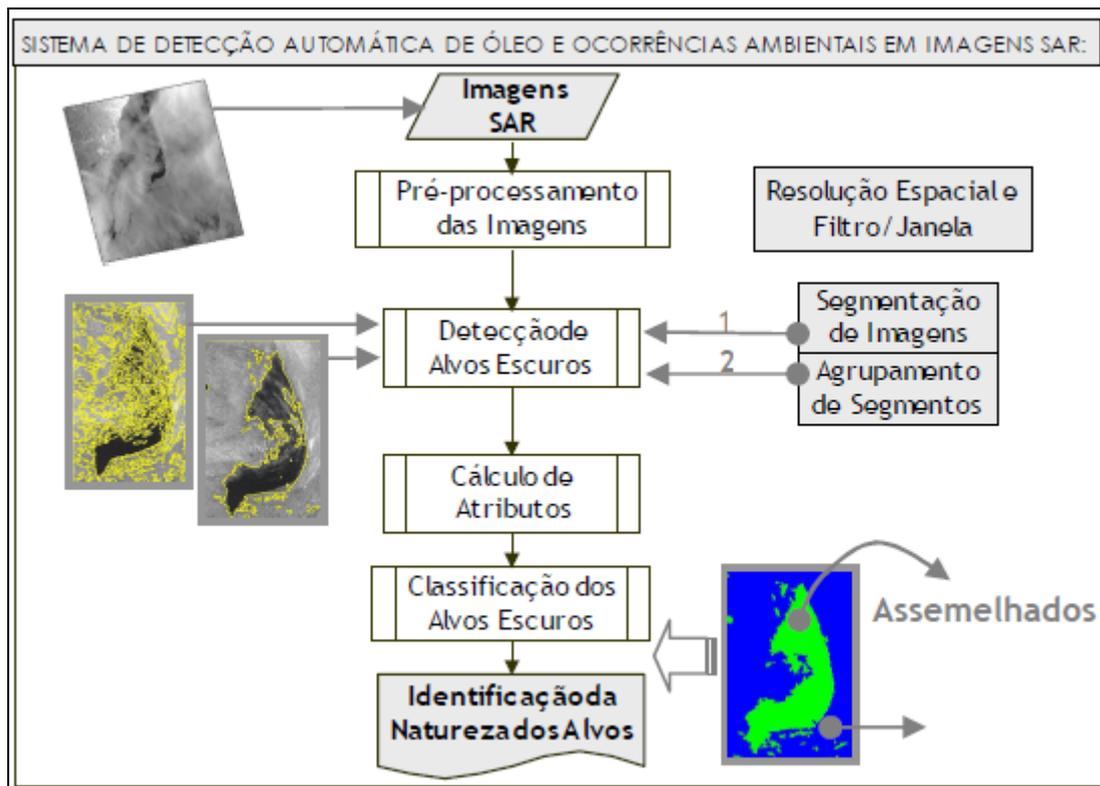


Figura 4: Etapas de um sistema de detecção automático de óleo e assemelhados.

No entanto, o sistema de detecção automática por radar apresenta diversas limitações como imprecisão de informação e muitas vezes conduz a alarmes falsos de derramamento de óleo. Devido a esta necessidade de um sistema que pudesse auxiliar o sistema de radar, a empresa Aptomar criou o sistema SECurus que entre outras funções auxilia sistemas de radar no monitoramento de derramamento de óleo.

4.4.1 ESTADO DA ARTE – O Sistema SECurus

O sistema desenvolvido pela Aptomar, chamado SECurus, é capaz de melhorar diversos aspectos de SMS de uma embarcação (Figura 5).

O sistema é composto de uma unidade sensora estabilizada que inclui uma câmera de vídeo para luz visível, uma câmera de infravermelho – que opera tanto de dia quanto à noite – e um holofote, juntos eles têm a finalidade de auxiliar em serviços como busca e salvamento, segurança marítima, vigilância e monitoramento de derramamento de

óleo. Neste trabalho abordaremos apenas a função de monitoramento de derramamento de óleo.



Figura 5: Unidade sensora estabilizada, instalada na parte externa da embarcação

O sistema SECurus pode ser instalado nas salas de comando tanto de navios e FPSOs quanto de plataformas. Além disso, ainda é possível integrar a saída de múltiplos sistemas SECurus em monitores de centros de controle dos armadores ou operadores, fornecendo em tempo real, uma Imagem Operacional Comum durante operações de resposta e emergências (Figura 6).



Figura 6: Imagem da camera infravelho coordenando operação em conjunto com as informações do radar.

A solução SECurus da Aptomar se revelou tão bem sucedida na indústria offshore que foi incorporada por organizações e agências governamentais, às especificações obrigatórias de frotas e requerimentos regulatórios. Pode-se citar:

- Grandes organizações do setor de E&P especificaram o Sistema SECurus para todas as novas embarções como a Melhor Tecnologia Disponível tanto para operações de busca e resgate quanto para derramamentos.
- A agência norueguesa NOFO, de combate a derramamento de petróleo, especificou a tecnologia SECurus na classe ERRV - *Emergency Response Rescue Vessel*, embarcação de resgate e reposta a emergências.
- Novas regulamentações brasileiras exigem medidas de estimar a espessura relativa de diferentes áreas de um derramamento de óleo. O sistema SECurus é atualmente a única tecnologia que satisfaz estas regulamentações.

Estas novas regulamentações que exigem a capacidade de se realizar estimativas das espessuras dos derramamentos de óleo se devem ao fato de que operações eficazes dependem da rápida compreensão da localização, extensão e configuração do derramamento. Estima-se que 90% do volume do óleo se concentra em 10% ou menos da área da mancha, e uma melhor resposta pode ser alcançada pela estimativa da espessura das diferentes partes da mancha.

A câmera infravermelho ativa do SECurus possibilita a detecção e nítida identificação de um derramamento de óleo, possibilitando:

- Cálculo automático da localização do derramamento e exibição dos seus limites em uma carta náutica.
- Estimativa da espessura do derramamento de óleo a até 2,2 milhas náuticas (4,0 Km) de distância para localizar a área ideal para a aplicação de métodos de recuperação.
- Compartilhamento da localização do derramamento e status em tempo real com todas as partes interessadas em terra, no mar e ar.

As tabelas 1 e 2 a seguir mostram a capacidade mínima exata de detecção de derramamento de óleo tanto em função da área quanto em função do volume.

Tabela 1: Área detectável mínima em metros quadrados em função da altura e distância

		Distância [m]					
		100	500	1000	2000	5000	10000
Altura [m]	30	1,06	126	1053	9241	203864	5211047
	40	0,85	94	773	6610	130490	1863208
	50	0,73	75	611	5146	95956	1134416
	60	0,66	63	506	4213	75878	815458
	70	0,62	54	431	3568	62750	636502

Tabela 2: Volume detectável mínimo em litros em função da altura e distância.

		Distância [m]					
		100	500	1000	2000	5000	10000
Altura [m]	30	0,0000212	0,0025	0,0211	0,1848	4,1	104,2
	40	0,0000169	0,0019	0,0155	0,1322	2,6	37,3
	50	0,0000146	0,0015	0,0122	0,1029	1,9	22,7
	60	0,0000132	0,0013	0,0101	0,0843	1,5	16,3
	70	0,0000124	0,0011	0,0086	0,0714	1,3	12,7

5 MATERIAL E MÉTODO

Para o desenvolvimento do estudo foram realizadas etapas de gabinete, combinadas em todas as fases da pesquisa, a um controle sistemático de campo (monitoramento). Este trabalho analisou, *in situ*, 3 praias, localizadas na ilha do Governador, na baía de Guanabara, quanto ao índice de sensibilidade a um derramamento de óleo e derivados de petróleo, no que diz respeito aos parâmetros de declividade do perfil e granulometria dos sedimentos.

Identificando-se as praias com maior probabilidade de contaminação por derramamento de petróleo na baía de Guanabara de acordo com PINHEIRO (2008), durante as campanhas de campo foram selecionadas as praias Bica, Engenhoca e Freguesia, na ilha do Governador. Os critérios de escolha devem-se também, às atividades relacionadas ao uso e recreação pela população e secundariamente, à importância ambiental em porções distintas da ilha estudada, representando assim, diferentes possibilidades de contaminação pela mancha de óleo.

Assim as principais características das praias selecionadas são:

- A praia da Bica representa a área de lazer mais importante para os moradores da região e está voltada para a direção sul da ilha.
- A praia da Engenhoca como a praia da Bica também é importante área de lazer e núcleo de comunidades pesqueiras, além de estar próxima a importantes terminais petrolíferos, voltada para a direção leste da ilha.
- A praia da Freguesia encontra-se muito próxima a um elevado número de terminais petrolíferos e sua localização está voltada para a direção leste da ilha.

5.1 GRANULOMETRIA

5.1.1 Procedimentos em Campo

Nas três praias deste estudo (Bica, Engenhoca e Freguesia) foram coletadas amostras de sedimentos em 2 pontos estratégicos da praia, que podem ser afetados por um possível derramamento de óleo, são eles: face de praia e limite médio de preamar (Figura 7). Esta coleta ocorreu em apenas uma única estação do ano, inverno 2009.

Segundo PINHEIRO (2008) a região da ilha do Governador não apresenta significativa variação das propriedades granulométricas entre o período mais energético (estação de inverno) e o período menos energético (estação de verão). No entanto, julho se caracteriza como o mês mais frio do ano, e a ocorrência de frentes frias se intensifica a partir de maio. Sendo assim, espera-se que a granulometria dos sedimentos apresente características sedimentológicas para condições de inverno, sedimento grosso.

Os sedimentos foram coletados na superfície da praia numa quantidade de aproximadamente 1,5 kg. Posteriormente foram acondicionados em sacos plásticos transparentes. As amostras foram distribuídas da seguinte forma:

→ Amostra A: coletada na face de praia ou zona de espraiamento.

→ Amostra B: coletada no limite de maré alta de sizígia.

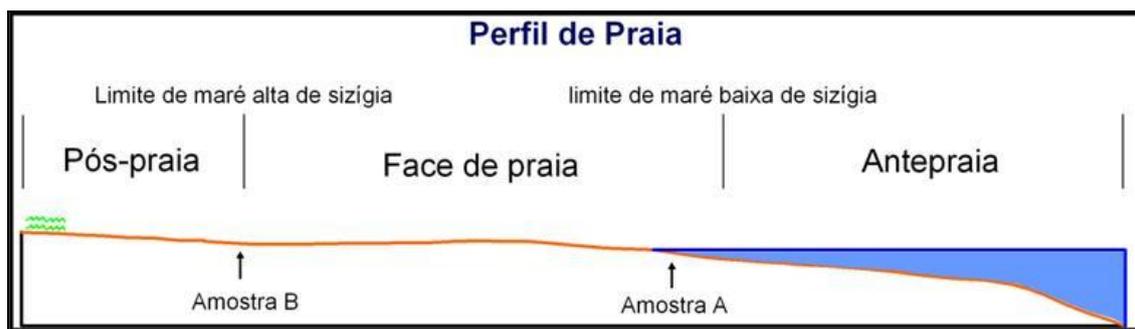


Figura 7: Perfil de praia mostrando a localização da coleta das amostras de sedimentos.

5.1.2 Procedimentos em Laboratório

As amostras foram tratadas e processadas no LAGECOST - Laboratório de Geologia Costeira, Sedimentologia e Meio Ambiente - Museu Nacional / UFRJ. Durante o tratamento utilizou-se água destilada para retirada do sal. De acordo com ANÍSIO (2006), este processo é importante, pois a presença de sal pode mascarar a granulometria original, causando alterações como floculação de argilas ou agregações de cristais de sais aos grãos. Em seguida, as amostras foram levadas para a estufa de secagem e esterilização (modelo 315 SE), com temperatura média de 100° C, durante cerca de 5 horas, até se encontrarem totalmente secas. Após essa etapa, as mesmas foram pesadas e, em seguida, desagregadas com o auxílio de um bastão de madeira (Tabela 3).

A análise granulométrica foi realizada através do método de peneiramento com a escala de Wentworth, no qual se utilizou um processador com 6 peneiras variando de 2,0 a 0,063 mm de malha. As amostras foram processadas durante 20 minutos, com velocidade 5.

Tabela 3: Tabela com a escala americana de Wentworth utilizada a análise granulométrica.

Diâmetro da malha (mm)	Escala americana de Wentworth
	Grânulos
2	
	Areia muito grossa
1	
	Areia grossa
0,500	
	Areia média
0,250	
	Areia fina
0,125	
	Areia muito fina
0,0625	
	Silte grosso

Por fim, foi retirado o peso da fração de sedimentos que ficou retida nas peneiras, ou seja, da fração de sedimentos com tamanho maior do que a malha utilizada. Esses pesos foram comparados, de forma percentual, em relação ao peso total da amostra.

5.2 DECLIVIDADE DAS PRAIAS

5.2.1 Procedimentos em campo

Segundo PINHEIRO (2008) as condições de perfis de praia na baía de Guanabara pouco se alteram ao longo das estações do ano, devido principalmente a pouca sensibilidade a ondas na região.

Por isso utilizo-se apenas os resultados decorrente de campanha realizada no inverno, em 14/09/2007 nas praias da Bica e Freguesia.

A análise do perfil da praia da Engenhoca não pode ser realizada devido a problemas de logística uma vez que não houve disponibilidade simultânea de todos os recursos necessários para a realização da atividade.

Em cooperação com PINHEIRO (2008) na região, em cada praia foi feito um levantamento topográfico com o auxílio de dois rastreadores DGPS (Differential Global Positioning System), da marca Ashtech, modelo ProMark2. O DGPS funciona como um GPS comum. A diferença é a presença de um segundo GPS fixo que realiza as correções das medidas efetuadas pelo GPS móvel (KNEIP, 2004). Este equipamento é muito eficiente no que diz respeito à precisão dos dados obtidos. Entretanto, apresenta grande desvantagem, pois impossibilita o fechamento do perfil, visto que o mesmo não pode ser molhado, ou seja, os pontos em áreas com profundidade superior a 1,0 m ficam prejudicados. Todavia, como o trabalho em questão analisa apenas a declividade de praias de baías, com perfil dissipativo, acredita-se que o não fechamento do perfil não prejudique o objetivo pretendido (Figura 8).



Figura 8: Rastreador DGPS Ashtech Promark 2. A antena fixa está com o tripé e a antena móvel aparece ao fundo.

Em campo, primeiramente foi determinado um local para a antena fixa. O importante nesta etapa do trabalho foi escolher um ambiente aberto, longe da interferência de prédios ou árvores, que pudessem prejudicar a acurácia dos dados obtidos pelo receptor. Este ponto foi referenciado por suas coordenadas em UTM, a fim de ser facilmente encontrado no momento da realização da segunda campanha de campo. Em seguida foram realizados de 1 a 2 perfis transversais à praia, devido a diferenças de comprimento entre as 3 praias analisadas. O método escolhido para aferição dos perfis no DGPS foi o *stop and go*, que alia um pequeno tempo de permanência em cada ponto a uma alta precisão dos dados obtidos. Os pontos foram obtidos a uma distância entre 0,5 m a 1,5 m conforme variações morfológicas do perfil de praia. Dessa forma, o levantamento topográfico (perfil de praia) foi realizado da seguinte forma para cada uma das praias:

5.2.1.1 Praia da Bica e praia da Freguesia

A antena fixa do rastreador DGPS na ilha do Governador localizou-se na praia Bica, no ponto correspondente às coordenadas em UTM 7475424,86 N e 684991,391 S. Em seguida foram realizados dois perfis transversais na praia da Bica e um na praia Freguesia, conforme a tabela a seguir (Tabela 4).

Tabela 4: Informações acerca dos perfis realizados nas praias Bica e Freguesia

Perfil	Localização do primeiro ponto
Praia Bica I	7475439,841 N 684990,163 S
Praia Bica II	7475438,964 N 684981,562 S
Praia Freguesia	7478153,68 N 687832,311 S

5.2.1.2 Praia da Engenhoca

Por questões de logística de equipamentos e indisponibilidade de pessoas, não foi possível realizar a campanha prevista para a praia da Engenhoca.

5.2.2 Procedimentos em Laboratório

Conforme PINHEIRO (2008), os dados obtidos pelo DGPS foram processados através do programa Ashtech Solutions, próprio para a conversão dos dados gerados pelo equipamento para um banco de dados de latitude, longitude e altitude (x,y,z), que são as informações utilizadas para a elaboração dos perfis.

O processamento dos dados foi realizado com a utilização das informações da Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo (RBMC), disponibilizadas pelo IBGE.

Nas aplicações geodésicas e topográficas do GPS está implícita a utilização do método relativo, isto é, ao menos uma estação de coordenadas conhecidas é também ocupada simultaneamente à tomada dos pontos desejados. Antes da RBMC, o usuário interessado em obter, com GPS, as coordenadas geodésicas de um ponto qualquer em território nacional era obrigado a trabalhar com dois receptores ocupando o ponto de seu interesse e um marco do Sistema Geodésico Brasileiro (SGB) próximo. As estações da RBMC desempenham justamente o papel do ponto de coordenadas conhecidas, eliminando a necessidade de que o usuário imobilize um receptor em um ponto que, muitas vezes, oferece grandes dificuldades de acesso. Além disso, os receptores que equipam as estações da RBMC são de alto desempenho, proporcionando observações de grande qualidade e confiabilidade (IBGE, 2007).

As configurações do programa ashtech solutions seguiram o manual proposto pela Equipe de Suporte Técnico Alezi Teodolini (2004). O sistema de coordenadas utilizado foi o Grid (Planas UTM), com o processamento através de Universal Transverse

Mercator (S), ZN_23 (42°W – 48°W). A altitude elipsoidal foi selecionada. A acurácia horizontal foi definida para 0,005 m e a vertical para 0,01 m, com limite de confiança do erro padrão (68%).

Após o processamento foi gerado um banco de dados com as seguintes informações:

- Identificação do ponto;
- Latitude (UTM);
- Longitude (UTM);
- Altitude elipsoidal (m);
- Erro padrão da latitude;
- Erro padrão da longitude;
- Erro padrão da altitude.

Em seguida, foi calculada a altitude ortométrica relativa ao datum vertical brasileiro de Imbituba, através da seguinte fórmula:

$$H = h + M$$

Onde:

- H: Altura ortométrica
- h: Altura elipsoidal
- M: Ondulação elipsoidal

Para o cálculo da distância transversal percorrida na praia entre os pontos de um mesmo perfil, foi utilizado o *Teorema de Pitágoras*. Os catetos caracteriza-se pela latitude e a longitude.

Assim, os perfis foram realizados utilizando-se as informações de altura ortométrica e distância transversal percorrida na praia.

A declividade do perfil foi obtida para cada par de pontos subseqüentes, dividindo-se a diferença de nível entre um ponto e outro, pela distância entre os mesmos. Desta forma, foi calculada a média destas declividades pontuais, a fim de se obter um valor único para a declividade de todo o perfil. Esse valor médio foi aferido em 1,0 m de altitude para X metro de distância transversal da praia, por exemplo, declividade média = 1/8.

5.3 SIMULAÇÃO DO TEMPO DE PERCOLAÇÃO DO ÓLEO NOS SEDIMENTOS

Como ponto fundamental deste trabalho foi a simulação do tempo de percolação do óleo no sedimento das praias estudadas. O objetivo desta simulação é identificar as praias em relação a sua sensibilidade a percolação, ou seja, praias onde ocorram percolações com velocidades elevadas serão consideradas mais sensíveis. Conseqüentemente praias mais sensíveis requerem respostas remediadoras em um menor espaço de tempo.

Esta etapa de trabalho foi desenvolvida no Laboratório de Geologia Costeira, Sedimentologia e Meio Ambiente – LAGECOST / UFRJ. Utilizou-se provetas com 35,0 cm de altura e raios de 3,0 cm. Estas provetas apresentam graduação de até 1000 ml com escala de 10 ml, por isso optou-se por trabalhar com o volume de areia e de óleo em ml (Figura 9).



Figura 9: Simulação do processo de contaminação em laboratório

A caracterização de óleo utilizado é óleo usado de motor de carro. Limitações técnicas não possibilitaram a determinação de propriedades do óleo como a viscosidade e densidade.

A amostra selecionada de cada praia para este experimento foi à amostra que apresentou característica granulométrica mais próxima da característica granulométrica média da respectiva praia. Por isso na praia na Bica utilizamos a amostra 2 (areia grossa), enquanto que na Engenhoca utilizamos a amostra de número 4 (areia média) e na Freguesia amostra 3 (areia grossa).

Como norma para o experimento utilizou-se 900 ml de areia. Já a quantidade de óleo foi determinada de acordo com valores reais de espessuras de mancha de óleo, logo

adotamos como norma para o experimento uma espessura de 0,7 cm na proveta de experimento, o que representa 20 ml.

Além disso marcou-se um eixo vertical na proveta denominado de eixo z com origem no topo da areia e orientado para baixo, então no tempo $t=0$ a frente de óleo estaria localizada em $z=0$ e com o decorrer do tempo esta frente de óleo percorreria o eixo z com valores crescentes positivos.

A aquisição do posicionamento da frente de percolação foi obtida com a escala de tempo em horas devido esta ser a escala de tempo da maré, principal agente dinâmico do processo.

6 RESULTADOS

Os resultados obtidos foram compartimentados em granulometria, declividade das praias e simulação de percolação de óleo nas amostras de sedimento das praias estudadas.

6.1 GRANULOMETRIA

6.1.1 Praia da Bica

Para uma melhor visualização dos resultados obtidos, identificou-se na Figura 10 o posicionamento do local onde cada amostra foi coletada.



Figura 10: Arco praial da Bica localizado na Ilha do Governador – Rio de Janeiro

Os padrões granulométricos apresentaram de modo geral características de areia grossa com um D50 médio de 0,60 mm. Em todos os pontos, exceto no ponto 6 localizado próximo a linha d'água no extremo leste da praia apresentou característica de areia média com diâmetro mediano do grão de 0,25 mm.

Na tabela 5, verifica-se a descrição do resultado granulométrico de cada ponto.

Tabela 5: Descrição granulométrica das amostras da praia da Bica

			Amostras – Praia da Bica					
			1	2	3	4	5	6
Diametro (mm)	Phi (Φ)	Escala Wentworth (americana)	Peso (%)	Peso (%)	Peso (%)	Peso (%)	Peso (%)	Peso (%)
256	-8,0	Matacão	-	-	-	-	-	-
64	-6,0	Bloco	-	-	-	-	-	-
4	-2,0	Seixo	0,32	0,35	0,4	0,67	0,56	0,34
2	-1,0	Grânulo	1,28	5,41	2,88	1,55	2,93	0,58
1	0,0	Areia muito grossa	11,88	20,87	6,57	1,68	3,77	0,51
0,500	+1,0	Areia grossa	81,42	52,83	58,14	78,65	69,46	3,35
0,250	+2,0	Areia média	2,11	11,12	22,81	13,33	12,84	29,69
0,125	+3,0	Areia fina	0,85	5,87	6,46	2,30	5,98	39,43
0,0625	+4,0	Areia muito fina	0,21	1,44	1,85	0,49	0,63	2,68
0,03125	+5,0	Silte grosso	-	-	-	-	-	-
0,015625	+6,0	Silte médio	-	-	-	-	-	-
0,0078125	+7,0	Silte fino	-	-	-	-	-	-
0,00390625	+8,0	Silte muito fino	-	-	-	-	-	-
0,00195	+9,0	Argila grossa	-	-	-	-	-	-
0,00097	+10,0	Argila média	-	-	-	-	-	-
0,00048		Ultra-argila	-	-	-	-	-	-
Perdas(%)			1,83	1,67	0,8	1,3	3,79	23,54
Mediana (mm)			0,76	0,74	0,58	0,64	0,63	0,25
			Ag	Ag	Ag	Ag	Ag	Ag
Mediana (Φ)			+0,4	+0,45	+0,79	+0,65	+0,68	+2,01

6.1.2 Praia da Engenhoca

Na praia da Engenhoca foram realizados 4 (quatro) amostragens conforme Figura 11.



Figura 11: Localização dos pontos de coleta de sedimentos na praia da Engenhoca

De modo geral, a Praia da Engenhoca caracteriza-se por areia média com D50 médio igual a 0,375 mm. O único ponto que não condiz com a classificação de areia média é o ponto 1 que apresentou características de areia grossa com diâmetro mediano do grão igual a 0,56 mm.

A seguir apresenta-se a descrição da granulometria das amostras (Tabela 6). Infelizmente durante a manipulação dos resultados perdeu-se o percentual contido em cada peneira da amostra 2, restando apenas o resultado desta amostra.

Tabela 6: Descrição granulométrica das amostras da praia da Engenhoca

			Amostras - Praia da Engenhoca			
			1	2	3	4
Diametro (mm)	Phi (Φ)	Escala Wentworth (americana)	Peso (%)	Peso (%)	Peso (%)	Peso (%)
256	-8,0	Matacão	-	-	-	-
64	-6,0	Bloco	-	-	-	-
4	-2,0	Seixo	0,80		0,97	0,86
2	-1,0	Grânulo	4,96		6,31	2,41
1	0,0	Areia muito grossa	8,97		7,79	3,22
0,500	+1,0	Areia grossa	50,53		31,58	30,10
0,250	+2,0	Areia média	19,77		31,56	30,35
0,125	+3,0	Areia fina	8,17		13,73	18,33
0,0625	+4,0	Areia muito fina	1,92		5,19	8,03
0,03125	+5,0	Silte grosso	-	-	-	-
0,015625	+6,0	Silte médio	-	-	-	-
0,0078125	+7,0	Silte fino	-	-	-	-
0,00390625	+8,0	Silte muito fino	-	-	-	-
0,00195	+9,0	Argila grossa	-	-	-	-
0,00097	+10,0	Argila média	-	-	-	-
0,00048		Ultra-argila	-	-	-	-
Perdas(%)			4,73	1,70	2,25	0,54
Mediana (mm)			0,56	0,28	0,37	0,29
			Ag	Am	Am	Am
Mediana (Φ)			0,84	1,84	1,45	1,81

6.1.3 Praia da Freguesia

Devido ao estreitamento de grande parte da praia da Freguesia e pouca variação do padrão granulométrico no eixo pós praia - antepraia adotamos outra estratégia que privilegiasse amostras na face da praia. No entanto, em locais onde a praia não apresentou tal estreitamento coletou-se amostras também no limite médio de preamar.

Na Figura 12, mostra-se a localização dos pontos de coleta das amostras.



Figura 12 Localização dos pontos de coleta na praia da Freguesia – Ilha do Governador

De acordo com os resultados das amostras classifica-se a praia da Freguesia como areia grossa na parte sudoeste e areia média na parte central. A parte nordeste da praia não pode ser amostrada devido a insegurança apresentada na região. A seguir tem-se a descrição granulométrica das amostras da praia da Freguesia que apresentaram D50 médio igual a 0,578 mm (Tabela 7).

Tabela 7: Descrição granulométrica das amostras da praia da Freguesia

			Amostras – Praia da Freguesia			
			1	2	3	4
Diametro (mm)	Phi (Φ)	Escala Wentworth (americana)	Peso (%)	Peso (%)	Peso (%)	Peso (%)
256	-8,0	Matacão	-	-	-	-
64	-6,0	Bloco	-	-	-	-
4	-2,0	Seixo	0,40	1,24	0,54	0,08
2	-1,0	Grânulo	1,01	4,84	2,47	0,20
1	0,0	Areia muito grossa	13,19	22,65	17,04	0,20
0,500	+1,0	Areia grossa	76,49	41,51	35,43	12,86
0,250	+2,0	Areia média	3,10	21,55	32,16	65,76
0,125	+3,0	Areia fina	4,01	6,27	8,40	17,16
0,0625	+4,0	Areia muito fina	0,71	0,71	0,74	1,14
0,03125	+5,0	Silte grosso	-	-	-	-
0,015625	+6,0	Silte médio	-	-	-	-
0,0078125	+7,0	Silte fino	-	-	-	-
0,00390625	+8,0	Silte muito fino	-	-	-	-
0,00195	+9,0	Argila grossa	-	-	-	-
0,00097	+10,0	Argila média	-	-	-	-
0,00048		Ultra-argila	-	-	-	-
Perdas(%)			1,06	1,63	3,14	2,59
Mediana (mm)			0,7 Ag	0,7 Ag	0,58 Ag	0,33 Am
Mediana (Φ)			0,51	0,54	0,86	1,61

6.2 DECLIVIDADE DAS PRAIAS

6.2.1 Praia da Bica

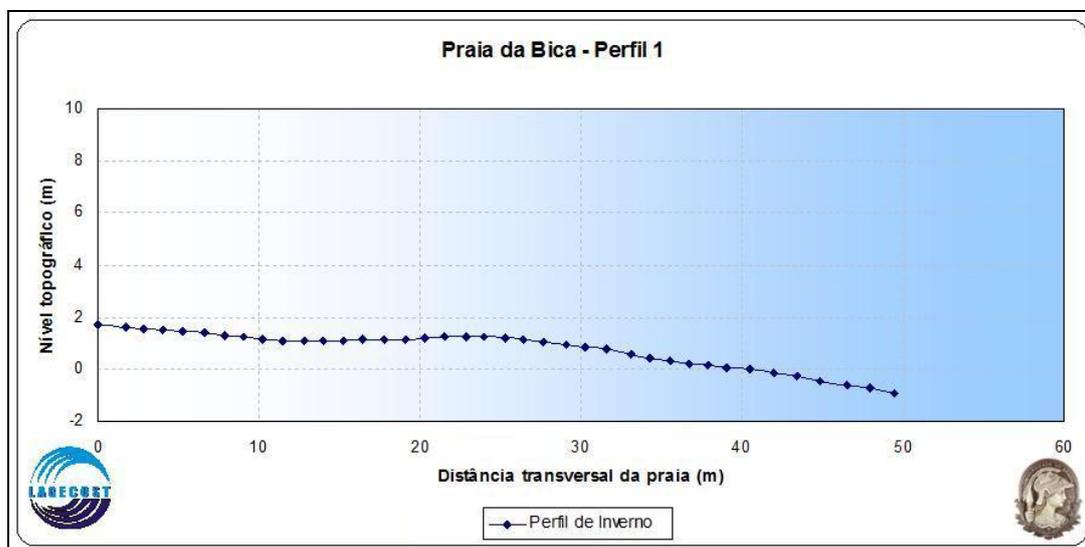


Figura 13: Declividade do perfil 1 da praia da Bica

No perfil anterior (Figura 13), a declividade na zona de intermaré, zona entre os pontos de distância transversal da praia igual a 30 e 50 m, é de 6° . Tal resultado significa que a praia apresenta baixa declividade, aumentando assim as proporções de um possível impacto ambiental devido o aumento da área da superfície de contato com o óleo derramado. Tal declividade também é constatada no segundo perfil da praia da Bica, mostrado a seguir (Figura 14).

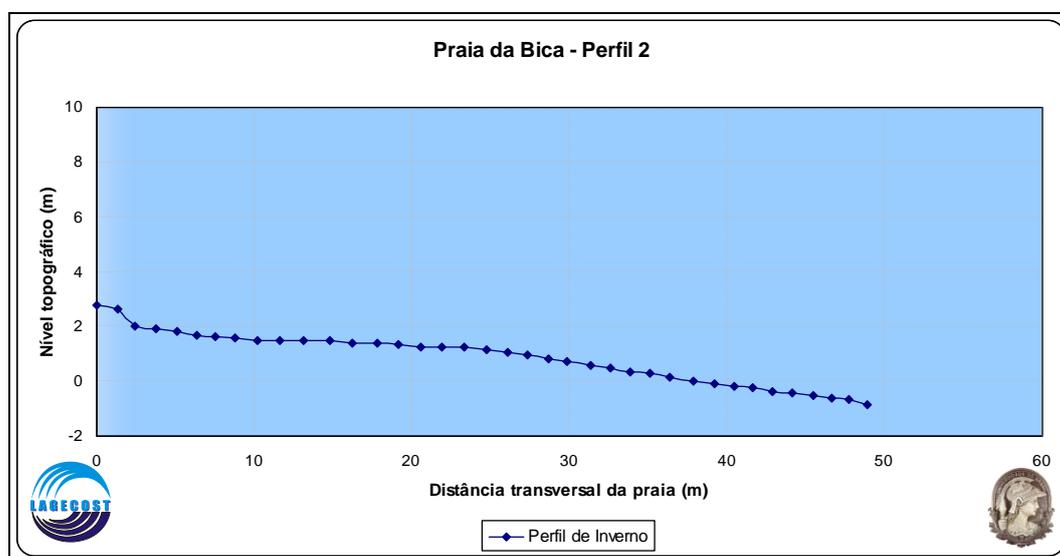


Figura 14: Declividade do perfil 2 da praia da Bica

6.2.2 Praia da Engenhoca

Como já foi explicado infelizmente não obteve-se uma campanha de medição da declividade na praia da Engenhoca. Porém a partir de uma análise visual e generalista podemos citar que esta praia apresenta o mesmo perfil de declividade das duas outras praias estudadas. Características semelhantes que são observadas não apenas nestas três praias mas sim em todas as praias existentes ao longo da ilha do Governador, ou seja, praias com baixa declividade.

6.2.3 Praia da Freguesia

A praia da Freguesia apresenta uma declividade de 9° na zona de intermaré, o que lhe atribui o título de praia com maior grau de declividade deste trabalho (Figura 15). No entanto, esta faixa de declividade das praias estudadas nos mostra que as praias da baía de Guanabara são muito sensíveis ao derramamento de óleo em função da baixa declividade.

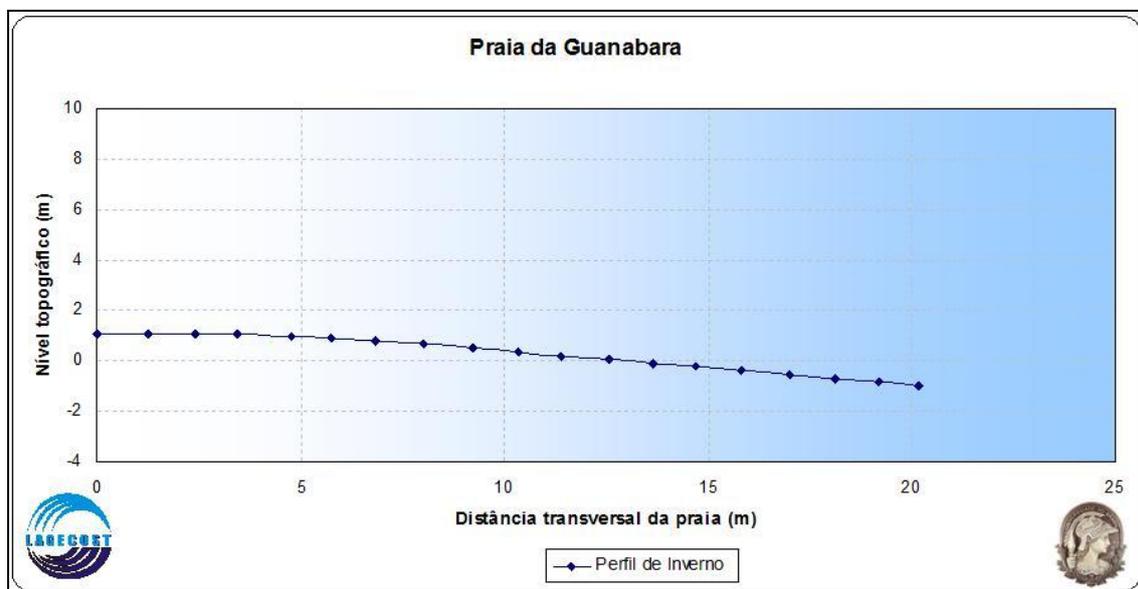


Figura 15: Declividade do perfil da praia da Freguesia (Guanabara).

6.3 SIMULAÇÃO DO TEMPO DE PERCOLAÇÃO DO ÓLEO NO SEDIMENTO

6.3.1 Praia da Bica

O experimento foi realizado durante 5 horas, caracterizando o intervalo entre marés mínima e máxima. Utilizou-se sedimentos nativos da praia com D50 de 0,64 mm (amostra 2), próximo do D50 médio da praia que é 0,60mm (Tabela 8).

A profundidade máxima atingido foi de aproximadamente 10,0 cm, sendo que a frente média apresentou uma tendência de estabilização a 4,0 cm de profundidade.

Tabela 8: Profundidade de percolação em relação ao tempo de simulação – praia da Bica

Praia da Bica - Amostra 2 (cm)		
Tempo	Frente Média	Frente Máx.
00:00:00	0	-
00:10:00	-1,98	-
00:20:00	-2,31	-
00:30:00	-2,475	-
01:00:00	-2,64	-
01:30:00	-2,97	-9,24
02:00:00	-3,3	-9,57
02:30:00	-3,3	-9,9
03:00:00	-3,3	-9,9
03:30:00	-3,63	-9,9
04:00:00	-3,63	-9,9
04:30:00	-3,63	-9,9
05:00:00	-3,63	-10,23

6.3.2 Praia da Engenhoca

Conforme tabela 9, o experimento foi realizado durante 5 horas utilizando sedimento nativo da praia com D50 de 0,29 mm (amostra 4), próximo do D50 médio da praia que é 0,375 mm.

A percolação apresentou característica de homogeneidade sem a presença de uma frente máxima avançada. A profundidade máxima alcançada ficou em torno de 3,0 cm.

Tabela 9: Profundidade de percolação em relação ao tempo de simulação – praia da Engenhoca

Praia da Engenhoca - Amostra 4 (cm)		
Tempo	Frente Média	Frente Máx.
00:00:00	0	-
00:10:00	-1,44	-
00:20:00	-1,98	-
00:30:00	-2,16	-
01:00:00	-2,16	-
01:30:00	-2,16	-
02:00:00	-2,16	-
02:30:00	-2,16	-
03:00:00	-2,34	-
03:30:00	-2,52	-
04:00:00	-2,88	-
04:30:00	-3,06	-
05:00:00	-3,06	-

6.3.3 Praia da Freguesia

O experimento foi realizado durante 5 horas utilizando sedimento nativo da praia com D50 de 0,58 mm (amostra 3), próximo do D50 médio da praia que é 0,578 mm (Tabela 10).

As semelhanças granulométricas com a praia da Bica refletiram-se nos resultados do experimento. A profundidade máxima alcançada foi de 9,5 cm sendo que a frente de percolação média apresentou tendência de estabilização a uma profundidade de aproximadamente 4,0 cm.

Tabela 10 Profundidade de percolação em relação ao tempo de simulação – praia da Freguesia

Praia da Freguesia - Amostra 3 (cm)		
Tempo	Frente Média	Frente Máx.
00:00:00	0	-
00:10:00	-1,26	-
00:20:00	-1,8	-
00:30:00	-1,98	-
01:00:00	-2,16	-
01:30:00	-2,52	-
02:00:00	-2,88	-5,4
02:30:00	-3,6	-7,2
03:00:00	-3,6	-7,56
03:30:00	-3,6	-7,56
04:00:00	-3,6	-8,28
04:30:00	-3,6	-8,64
05:00:00	-3,6	-9,36

7 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

7.1 GRANULOMETRIA

As praias analisadas apresentaram padrões granulométricos variando entre areia média e areia grossa. Em relação a sensibilidade ambiental quanto mais elevado o D50 da praia, maior o índice de sensibilidade ambiental desta. Por isso a praia da Bica apresenta a maior sensibilidade ambiental com D50 médio igual a 0,60 mm (areia grossa). Em seguida tem-se a praia da Engenhoca com D50 médio igual a 0,578 mm (areia grossa). Tal observação também foi comprovada por ANÍSIO (2006) *apud* PINHEIRO (2008).

A praia com menor índice de sensibilidade ambiental em relação ao padrão granulométrico foi a praia da Engenhoca que apresentou D50 médio de 0,375 mm (areia média). Segundo CASTRO (2008) quanto menor for o padrão granulométrico menor será o índice de percolação do óleo.

7.2 DECLIVIDADE

Em relação à declividade verificou-se que as praias da ilha do Governador são, de modo geral, bastante sensíveis a um possível derramamento de óleo, uma vez que suas declividades estão em uma faixa de 6° (praia da Bica) a 9° (praia da Freguesia). Tal observação também foi comprovada por ANÍSIO (2006) *apud* PINHEIRO (2008)

Isto significa que em uma condição de maré com amplitude de 1,0 metro, comum na região, tem-se uma extensão de praia exposta ao derramamento de 7,0 a 10,0 metros. Tal fato dificulta a recuperação da praia ao derramamento se comparado com praias de declividade elevada onde o óleo se depositará em uma faixa estreita de areia.

7.3 PERCOLAÇÃO DO ÓLEO NO SEDIMENTO

Constatou-se que a praia da Engenhoca apresenta menor sensibilidade a percolação de óleo, uma vez que a profundidade máxima alcançada em um período de intermaré foi de apenas 30% da profundidade máxima alcançada pelo óleo nas outras praias (Bica e Freguesia).

O experimento de percolação de óleo durante o período de 5 horas atingiu uma profundidade aproximada de 10,0 cm na praia da Bica (Figura 16) e de 9,5 cm na praia da Freguesia (Figura 17). Já na praia da Engenhoca (Figura 18), a frente de percolação de óleo atingiu apenas 3,0 cm de profundidade. Tal fato está de acordo com os resultados obtidos por CASTRO (2008).

Observa-se ainda que a percolação na praia da Engenhoca ocorreu de forma homogênea, sem a presença de frentes máximas de percolação. As figuras 16, 17 e 18 demonstram claramente essa tendência.

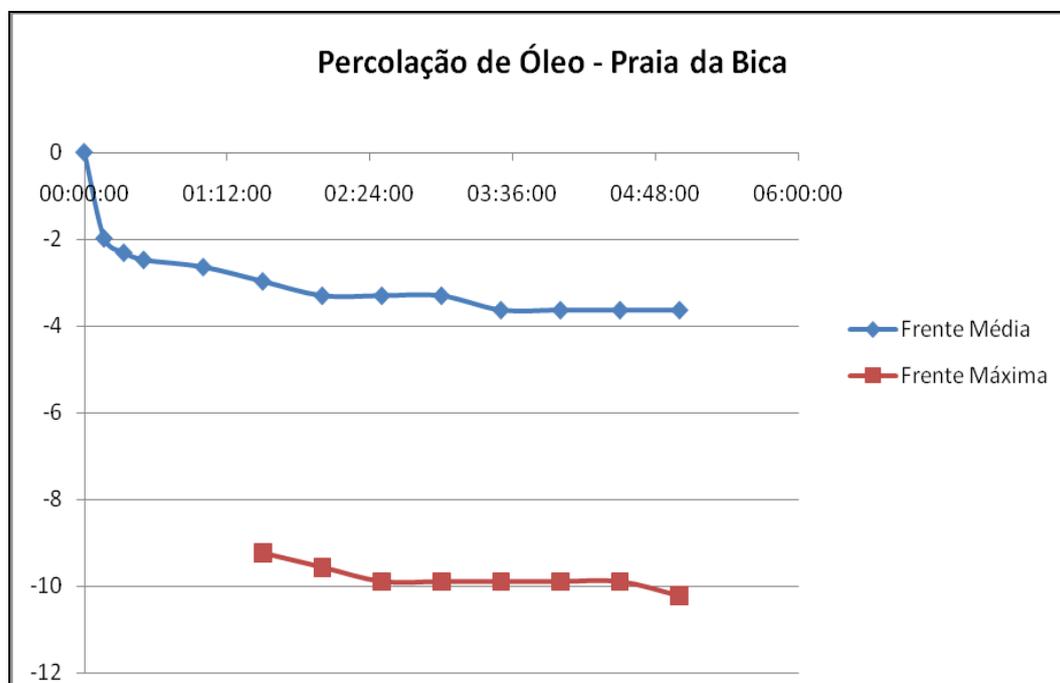


Figura 16: Profundidade de percolação em relação ao tempo de simulação – praia da Bica

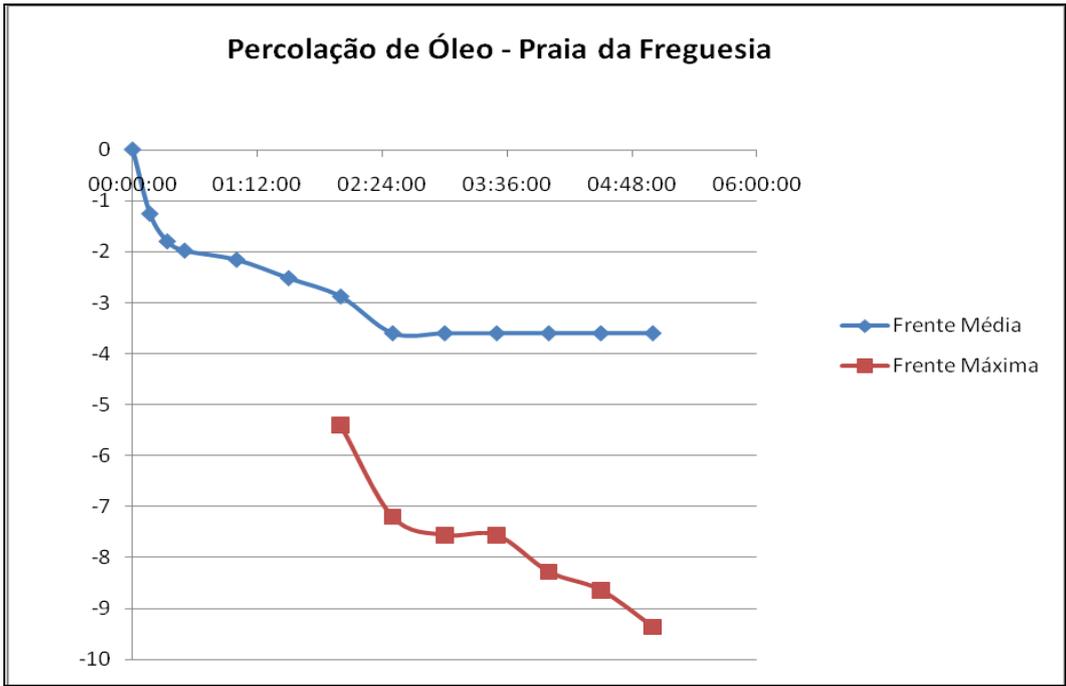


Figura 17: Profundidade de percolação em relação ao tempo de simulação – praia da Freguesia

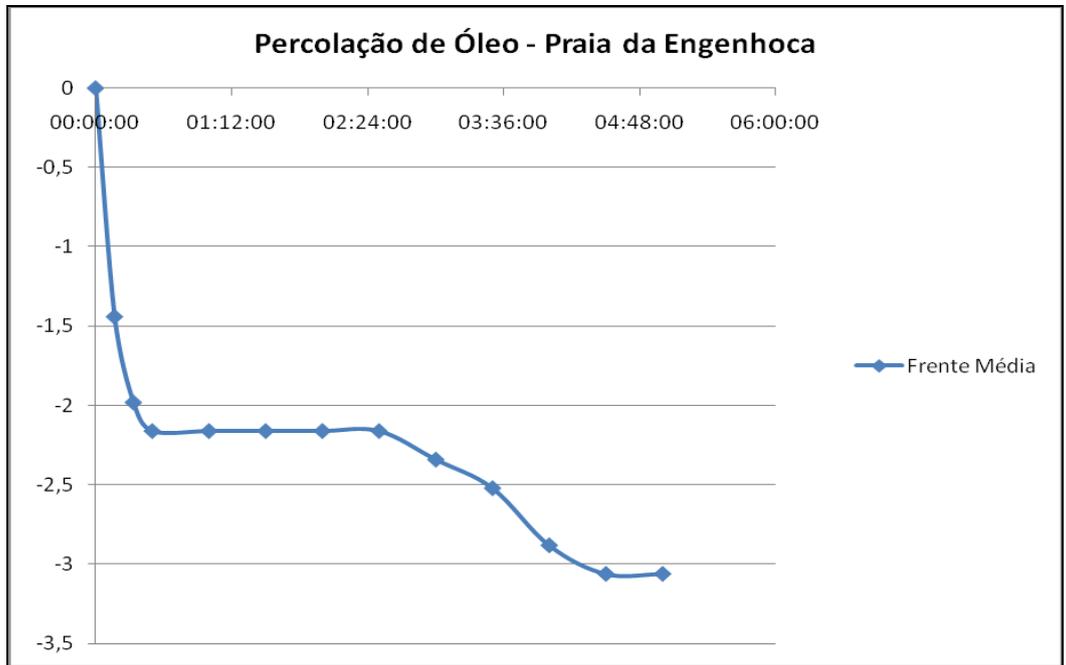


Figura 18: Profundidade de percolação em relação ao tempo de simulação – praia da Engenhoca

Quando considera-se esta diferença de profundidade em conjunto com a extensão da praia e o comprimento da área de intermaré pode-se ter uma melhor dimensão das diferentes proporções de impacto ambiental causado em praias com diferentes padrões granulométricos.

8 CONCLUSÃO

De acordo com os resultados obtidos chegou-se às seguintes conclusões quanto ao experimento realizado nas praias da Bica, Engenhoca e Freguesia na ilha do Governador, cidade do Rio de Janeiro:

- A praia mais sensível ao derramamento de óleo é a praia da Bica com o maior D50 médio, igual a 0,60 mm, areia grossa. A declividade apresentada nesta praia foi de 6°. A profundidade máxima de percolação no período de 5 horas foi de aproximadamente 10,0 cm.
- A segunda praia mais sensível ao derramamento de óleo é a praia da Freguesia que apresentou D50 médio igual a 0,58 mm, areia grossa. A declividade de 9° faz com que essa praia apresente menor probabilidade de deposição de óleo uma vez que a faixa intermaré é reduzida em comparação a praia da Bica. A profundidade máxima de percolação de óleo em 5 horas foi de aproximadamente 9,5 cm.
- A praia menos sensível ambientalmente é a praia da Engenhoca, única com características de areia média, D50 médio igual a 0,375 mm. A profundidade máxima de percolação de óleo no período de 5 horas foi de 3,0 cm, ou seja, apenas 30% da profundidade máxima das outras praias.

Portanto, concluiu-se que os resultados obtidos através desse experimento visam subsidiar e fornecer informações no intuito de colaborar com os processos de contenção e limpeza do óleo, caso ocorra algum derrame em terminais petrolíferos, instalações de armazenamento e refino, oleodutos ou acidentes de navegação na área de influência direta ou indireta da região estudada.

9 RECOMENDAÇÕES

Recomenda-se uma melhor caracterização da percolação do óleo em cada praia uma vez que não foram realizados ensaios de laboratório referente a viscosidade do fluido.

Recomenda-se também descrição matemática da frente de percolação acompanhada de programas de monitoramento do processo de percolação.

Para futuros estudos seria interessante não só a abordagem de tais fatores supracitados como também outras formas de experimento mais fáceis de serem implementadas, tais como:

- Experimento de percolação para diversos graus de compactação da mesma amostra de sedimento;
- Preparo da superfície interna da proveta de modo que ratifique-se que não existe caminho preferencial na zona periférica do experimento. Pode-se usar parafina, por exemplo, para o preparo da superfície interna;
- Medida da viscosidade do óleo utilizado no experimento de percolação. Recomenda-se a utilização de derivados de petróleo com viscosidades diferentes para comparação dos resultados.

Referências

ALCÂNTARA, E. H de.; SANTOS, M. C. F. V dos. Mapeamento de áreas de sensibilidade ambiental ao derrame de óleo na região portuária do Itaqui, São Luís, MA – Brasil. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 12., 2005, Goiânia. Anais do XII Simpósio... Goiânia: INPE, 2005. p. 3605-3617.

AMADOR, E. S. Assoreamento da Baía de Guanabara – Taxas de sedimentação. Anais da Academia Brasileira de Ciência. v. 52, n. 4, p. 723 – 742, 1980

_____. Taxas de Assoreamento da Baía de Guanabara (Variação por tempo e por área). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 13., 1982. Anais do XIII Congresso Brasileiro de Geologia, v. 4, p. 1474 – 1488. 1982.

_____. Baía de Guanabara e Ecossistemas Periféricos: Homem e Natureza. 1996. 539 f. Tese (Doutorado em Geografia). Centro de Ciências Matemáticas e da Natureza, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 1996.

AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE - API. 1985. *Oil spill cleanup: Options for minimizing adverse ecological impacts*. Washington: Health and Environmental Science Department, 580p.

ANÍSIO, L. C. C. Análise da Contaminação Atual da Baía de Guanabara Através da Utilização de Modelagem Hidrodinâmica Probabilística e Avaliação de Dados Geoquímicos de Sedimentos de Praia. 2006. 137 f. Dissertação (Mestrado em Geologia) – Centro de Ciências matemáticas e da Natureza, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2006.

ANISIO, L. C. C.; LIMA, T. C. S.; CASTRO, J. W. A.; *et al.* Vulnerabilidade e sensibilidade geológica e ambiental da Ilha do Governador (Rio de Janeiro) para derramamentos de óleo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 43., 2006, Aracajú. Anais XLIII SBG - Sociedade Brasileira de Geologia “Geociências e as sociedades do futuro”. Salvador: SBG - Núcleo SE – BA, 2006. p. 178-178

ARAUJO, S. I de.; SILVA, G. H da.; MUEHE, D. Mapas de sensibilidade ambiental a derrames de óleo: Ambientes costeiros, estuarinos e fluviais. Rio de Janeiro. Petrobras. 166 p. 2006.

BRASIL, Lei 9.966 de 28 de Abril de 2000. Diário Oficial da União, Poder Executivo, Brasília, 28 abril. 2000. Ed. Extra.

BRASIL, Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº 269 de 14 de Setembro de 2000. Acessível em http://www.pgr.mpf.gov.br/pgr/4camara/grupos_trabalho/residuos/residuos_solidos/269_2000. Acesso em: 20 jan. 2009.

BRASIL, Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº. 293, de 12 de Dezembro de 2001. Acessível em http://www.pr.gov.br/meioambiente/pdf/res_293_2001.pdf. Acesso em 20 jan. 2009

BRASIL, Decreto No 4.871, de 6 de Novembro de 2003. Diário Oficial da União, Poder Executivo, Brasília, DF, 7 de Novembro, 2003. Ed. 21

BREKKE C., SOLBERG A. H. S. *Oil spill detection by satellite remote sensing – Review. Remote Sensing of Environment* (95), pp 1-13, 2005.

CANTAGALLO, C. *et al.* Limpeza de ambientes costeiros brasileiros contaminados por petróleo: uma revisão. *Pan-American Journal of Aquatic Sciences* (2007) 2 (1): 1-12

CASTRO, J. W. A.; Vulnerabilidade e sensibilidade geológica e ambiental da Ilha do Governador (Rio de Janeiro) para derramamentos de óleo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 44., 2008, Curitiba. Anais XLIII SBG - Sociedade Brasileira de Geologia “Geociências e as sociedades do futuro”. , 2008. p. 176-179

Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental – CETESB. Cadastro de Acidentes Ambientais da Cetesb. 2005. Acessível em [http:// www.cetesb.sp.gov.br](http://www.cetesb.sp.gov.br). Acesso em: 15 ago. 2009

CONSÓRCIO ECOLOGUS – AGRAR. Plano Diretor de recursos hídricos da região hidrográfica da baía de Guanabara. Rio de Janeiro. 2005.

DIAS, G. T. M.; QUARESMA, V. S. Baía de Guanabara – Evolução geomorfológica do fundo submarino. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 39., 1996. Anais do XXXIX Congresso Brasileiro de Geologia, v. 4, p. 514 – 517. 1996.

DYER, K. R. *Estuaries, A Physical Introduction*. 2 Ed. Chichester: John Wiley & Sons, 1997. 195 pp

EQUIPE DE SUPORTE TÉCNICO ALEZI TEODOLINI. Ashtech Solutions – Guia Prático de Processamento de Dados. São Paulo. Setembro, 2004. 20p.

FERRARI, A. L. A geologia do “Rift” da Guanabara (RJ) na sua porção Centro-Ocidental e sua relação com o embasamento Pré-Cambriano. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 36, Natal, 1990. Anais do Congresso Brasileiro de Geologia, 1990, v. 6, p. 2858 – 2872.

Fundação Estadual de Engenharia do Meio Ambiente - FEEMA. Disponível em: <http://www.feema.rj.gov.br/baia-guanabara.asp?cat=75>. Acesso em 21 out. 2007

GENOVEZ, P. *et al.*, Detecção de Óleo e Ocorrências Ambientais em Imagens SAR: Avaliação de Diferentes Parâmetros de Pré-processamento e Diferentes Segmentadores. Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Natal, Brasil, 25-30 abril 2009, INPE, p. 6903-6910.

GUNDLACH, E. R. & HAYES, M. O. 1978. *Vulnerability of coastal environments to oil spill impacts. Journal of Marine Technology Society*. Carolina do Sul, 12 (4): 18-27.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE. Disponível em <http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/geodesia/rbmc/rbmc.shtm>. Acesso em 21 out. 2007

International Petroleum Industry Environmental Conservation Association – IPIECA. 2000. *Biological Impacts of Oil Pollution: Sedimentary Shores*. v. 9. Disponível em <http://www.ipieca.org>. Acesso em 13 out. 2009

International Petroleum Industry Environmental Conservation Association. 2000. *Choosing Spill Response Options to Minimize Damage- Net Environmental Benefit Analysis*. v.10. Acessível em <http://www.ipieca.org>. Acesso em 21 mar. 2009

KERAMITSOGLOU I., CARTALIS C., KIRANOUDIS C. *Automatic Identification of oil spills on satellite images. Environmental Modelling & Software* (21), pp 640-652, 2006

KJERFVE, B.; RIBEIRO, C. H. A.; DIAS, G. T. M.; FILIPPO, A. M.; QUARESMA, V. S. *Oceanographic characteristics of an impacted coastal bay: Baía de Guanabara, Rio de Janeiro, Brazil. Continental Shelf Research.* v. 17, n. 3, p. 1603 – 1643, 1997.

KNEIP, A. O Povo da Lagoa: Uso do SIG para Modelamento e Simulação na Área Arqueológica do Camacho. 2004. 171 f. Tese (Doutorado em ciências). Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004

LIMA, T. C. do S. Caracterização Ambiental e Geológica da Ilha do Governador (Rj), para Derramamento de Óleo. 2006. 25 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Geologia). Centro de Ciências matemáticas e da Natureza, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2006.

LOPES, C. F., Milanelli, J. C. C., Prospero, V. A., Zanardi, E. & Truzzi, A. C. 1996. Avaliação dos danos ecológicos causados pelo derrame de óleo TEBAR V (maio/1994), sobre comunidades de costões rochosos. São Paulo, CETESB, Relatório Técnico, 25p.

MILANELLI, J. C. C. & LOPES, C. F. 2001. Recuperação de praias atingidas por derrames de óleo - procedimentos emergenciais adotados pela CETESB. 14ª Semana Nacional de Oceanografia - Oceanografia e Sociedade: Um desafio à Teoria e Prática, Rio Grande, Trabalho 83.

McLAREN, P. 1981. *An interpretation of trends in grain size measures. Journal of Sedimentary Petrology*, vol 51, no 2, p. 0611-0624.

MENDONÇA FILHO, J. G.; MENEZES, T. R.; OLIVEIRA, E. A.; IEMMA, M. B. Caracterização da Contaminação por Petróleo e Seus Derivados na Baía de Guanabara: Aplicação de Técnicas Organogeoquímicas e Organopetrográficas. Anuário do Instituto de Geociências/UFRJ, Rio de Janeiro, v. 26. p. 69-78. 2004.

MICHEL, J., SHIGENAKA, G. & HOFF, R. 1992. p. 1-103. *Oil Spill Response and Clean up Techniques. In: An Introduction to Coastal Habitats and Biological Resources for Oil Spill Response.* NOAA, Seattle, 401 p.

MIRANDA, L. B.; CASTRO, B.M.; KJERFVE, B. Princípios de oceanografia física de estuários. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2002. 424 p.

MONTEIRO, D. S. Sensibilidade Ambiental a Derramamento de Óleo das Praias de Mar Aberto da Cidade do Rio de Janeiro – Rj. 2007. 42 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Geologia). Centro de Ciências matemáticas e da Natureza, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2007.

NEGREIROS, D. H de. Nossos Rios. Instituto Baía de Guanabara. 2002. Disponível em: <http://www.portalbaiadeguanabara.org.br/portal/downloads.asp>. Acesso em 22 out. 2007

National Oceanic and Atmospheric Administration - NOAA. 2000. *Characteristic Coastal Habitats - Choosing Spill Response Alternatives.* NOAA, Seattle, 87 p.

NEGREIROS, D. H de. Nossos Rios. Instituto Baía de Guanabara. 2002.

PINHEIRO, L. A. Vulnerabilidade E Sensibilidade Ambiental De Praias Da Baía De Guanabara Ao Derramamento De Petróleo E Derivados. Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geologia UFRJ, 2008

SAMPAIO, M. Estudo da Circulação Hidrodinâmica e Troca de Massas D'água na Baía de Guanabara - RJ. 2003. 213 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2003.

SEMADS – Secretaria do Estado do Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável do Rio de Janeiro. Bacias Hidrográficas e Rios Fluminenses – Síntese informativa por macroregião ambiental: Projeto Planágua SEMADS/GTZ, v. 3, 2001.

SCHEEFER, M. Uma avaliação do controle industrial do programa de despoluição da Baía de Guanabara: o caso das 55 indústrias prioritárias. Mestrado em ciências em planejamento. Universidade Federal do Rio de Janeiro. 2001.

SQA/MMA. 2002. Especificações e Normas Técnicas para Elaboração de Cartas de Sensibilidade Ambiental para Derramamentos de Óleo/ Ministério do Meio Ambiente. Secretaria de Qualidade Ambiental nos Assentamentos Humanos. Programa de Gerenciamento Ambiental Territorial. Projeto de Gestão Integrada dos Ambientes Costeiros e Marinhos. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 107p.

SOLBERG, A. *Automatic Oil Spill Detection Based on ENVISAT, RADARSAT and ERS Images. Proceedings of the ENVISAT & ERS Symposium, Salzburg, Austria, ESA SP-572, 2005.*

SOLBERG A., CLAYTON P., Indregard M. *D2 – Report on benchmarking oil spill recognition approaches and best practice. Kongsberg Satellite Services – Norway Archive No.: 04-10225-A-Doc, Issue/Revision : 2.1, 2005*

SOLBERG, A. Apresentação da Aptomar: *Oil Spill Monitoring*. Brasil 2009.

SUGUIO, K. Geologia Sedimentar. São Paulo: Edgard Blücher, 2003. 400p.

WRIGHT, L. D.; CHAPPELL, J.; THOM, B. G.; BRADSHAW, M. P. & COWELL, P. 1979. *Morphodynamics of reflective and dissipative beach and inshore system, Southern Australia. Marine Geology, 32: 105-140.*