



Paula Elias Benedetti

**Caracterização Geoambiental dos Sedimentos da
Lagoa de Jacarepaguá - RJ**

Dissertação de Mestrado

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da PUC-Rio como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. José Tavares Araruna Júnior
Co-orientador: Patrício José Moreira Pires



Paula Elias Benedetti

Caracterização Geoambiental dos Sedimentos da Lagoa de Jacarepaguá - RJ.

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da PUC-Rio como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil. Aprovada pela Comissão Examinadora abaixo citada.

Prof. José Tavares Araruna Júnior
Orientador

Departamento de Engenharia Civil – PUC-Rio

Patrício José Moreira Pires
Co-orientador
UFES

Prof. Michéle Dal Toé Casagrande
Departamento de Engenharia Civil - PUC-Rio

Prof. Maria Cláudia Barbosa
UFRJ

Prof. Antônio Roberto Martins Barboza de Oliveira
Departamento de Engenharia Civil – PUC-Rio

Prof. Renato da Silva Carreira
Departamento de Química – PUC-Rio

Prof. José Eugenio Leal
Coordenador Setorial do Centro Técnico Científico – PUC-Rio

Rio de Janeiro, 30 de Setembro de 2011

Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução total ou parcial do trabalho sem autorização da universidade, da autora e do orientador.

Paula Elias Benedetti

Graduou-se em Engenharia Ambiental, pela Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, em 2008. Durante a graduação, atuou nas áreas de resíduos sólidos urbanos, geotecnia experimental e investigação e remediação de solos e águas subterrâneas contaminados por hidrocarbonetos do petróleo. Após, dedicou-se a área de investigação de áreas contaminadas. Ingressou no curso de mestrado em Engenharia Civil (Geotecnia) no ano de 2009, atuando na área de geotecnia ambiental. Desenvolveu pesquisa na Lagoa de Jacarepaguá, com a classificação dos tipos de sedimentos e suas características geotécnicas e com a contaminação dos mesmos.

Ficha Catalográfica

Benedetti, Paula Elias

Caracterização geoambiental dos sedimentos da Lagoa de Jacarepaguá - RJ / Paula Elias Benedetti ; orientador: José Tavares Araruna Júnior ; co-orientador: Patrício José Moreira Pires. – 2011.

235 f. : il. (color.) ; 30 cm

Dissertação (mestrado)–Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Engenharia Civil, 2011.

Inclui bibliografia

1. Engenharia civil – Teses. 2. Lagoa de Jacarepaguá. 3. Sedimento. 4. Batimetria. 5. Caracterização. 6. Geotecnia. 7. Análises químicas. I. Araruna Júnior, José Tavares. II. Pires, Patrício José Moreira. III. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Departamento de Engenharia Civil. IV. Título.

CDD: 624

Aos meus pais, com muito amor.

"Há uma força motriz mais poderosa que o vapor,
a eletricidade e a energia atômica:
a vontade."
(Albert Einstein)

Agradecimentos

Agradeço aos meus pais, Rita de Cássia e Aloysio, pelo amor, dedicação e apoio, não só durante o mestrado, mas por toda a minha vida.

Ao meu melhor amigo, Ricardo Froitzheim, que depois de muitos anos de amizade se transformou no melhor namorado! Por sempre estar ao meu lado nos momentos bons e ruins, pela cumplicidade, pelo carinho e amor.

Ao meu orientador Prof. José Tavares Araruna Júnior, agradeço pelos ensinamentos compartilhados durante esse período.

Ao meu co-orientador Patrício José Moreira Pires, um grande profissional e amigo. Pelas ajudas nos trabalhos de campo, por sempre fazer tudo ser mais simples, pelas risadas, pelos conselhos e muitas conversas.

Agradeço ao professor, amigo, conselheiro, Antonio Roberto, por quem tenho grande admiração. Pelas conversas, conselhos, amizade, respeito e atenção.

À Professora Michèle Dal Toé Casagrande pelo apoio nos momentos difíceis dos últimos meses de Dissertação.

Ao Professor Tácio Mauro de Campo por sempre estar disponível e disposto a ajudar, independente da natureza do assunto.

À Mônica Moncada por estar sempre disponível e disposta a ajudar, resolver problemas e tirar minhas dúvidas quanto aos ensaios realizados no Laboratório de Geotecnia.

Ao Rogério Ross pelo bom humor, pelas histórias engraçadas, pela amizade e não menos importante, pela ajuda nos trabalhos de campo e na realização dos ensaios no laboratório.

Agradeço ao Amaury e ao Josué, técnicos do Laboratório de Geotecnia, pela ajuda na realização dos ensaios, sempre com muito bom humor.

Aos professores do departamento de Engenharia Civil da PUC-Rio pelos conhecimentos transmitidos ao longo do curso de mestrado e de graduação.

Ao amigo, Rafael Nunes, pelo auxílio no programa ArcGIS.

Ao meu amigo-irmão, Thiago Carnavale, por ser uma fonte de inspiração quando o assunto é superação! Pela grande amizade, pelas risadas e infinitas conversas.

Agradeço aos amigos da Família Ambiental, Gabriel Góes, Letícia Freire, Aline Guidry, Branca Delmonte, Marcio Belleti, Antonio Sant'Anna, Luiz Lobo, Flavio Molina, Olivia Julianelli, Ricardo Vitalino, Raphael Rieboldt, Thiago Pessoa e Alexandre Conti, que mesmo de longe, ajudaram muito!

Às amigas, Thais Monnerat e Maria Luiza Burdman, que mesmo sendo de áreas completamente diferentes, sempre tiveram paciência e interesse para ouvir minhas explicações sobre geotecnia.

Às amigas do primeiro período da graduação, Priscila Chami e Luise Ribeiro, que me acompanham desde o início.

Aos amigos da 614, pelas viagens, risadas e principalmente pela ajuda nos estudos.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela bolsa concedida.

Enfim, agradeço a todos aqueles que de algum modo contribuíram para a realização deste trabalho.

Resumo

Benedetti, Paula Elias; Araruna Jr., Jose Tavares (orientador); Pires, Patrício José Moreira (co-orientador). **Caracterização Geoambiental dos Sedimentos da Lagoa de Jacarepaguá – RJ**. Rio de Janeiro, 2011. 235p. Dissertação de Mestrado - Departamento de Engenharia Civil, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

A presente dissertação tem como objetivo realizar um levantamento sobre o relevo de fundo, o tipo de material e a qualidade dos sedimentos quanto a contaminação, da Lagoa de Jacarepaguá, Rio de Janeiro, para auxiliar os programas ambientais de revitalização do Complexo Lagunar da Baixada de Jacarepaguá, que estão sendo desenvolvidos na área, focando as Olimpíadas de 2016. Na primeira etapa realizou-se a batimetria da Lagoa. Foram adquiridas profundidades georreferenciadas em campo e gerados modelos batimétricos em 2 e 3 dimensões, nos quais foram identificadas cavidades e um platô de baixa profundidade no interior da Lagoa. Na segunda etapa foram coletadas amostras de sedimentos da Lagoa, em variadas profundidades, para os ensaios da caracterização geotécnica. Com estes resultados identificou-se a presença predominante de 2 tipos de sedimentos, arenosos localizados no platô raso e siltosos nas cavidades, e alto teor de matéria orgânica e baixa densidade nas amostras siltosas. Complementarmente, foram ensaiadas duas amostras arenosas para determinação dos parâmetros de permeabilidade e de resistência ao cisalhamento, visando gerar dados adicionais para possível aproveitamento deste material como aterro, caso dragado. Na terceira, e última etapa, foi realizada uma nova coleta de sedimentos, para análise química dos metais Bário, Cádmiio, Chumbo, Cobre, Cromo, Ferro, Manganês, Mercúrio, Níquel e Zinco e Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos (HPA's), cujos resultados indicaram uma acumulação de alguns metais na área de influência de deságüe do Arroio Pavuna. Concatenando os resultados obtidos nas 3 etapas, considera-se necessário e emergencial o cessamento das descargas de efluentes, nos rios afluentes à Lagoa, e a dragagem do sedimento arenoso localizado no platô, resultando em um canal central mais profundo, um aumento da coluna d'água que implicará no melhoramento do fluxo de troca de água entre a Lagoa e o mar, acelerando a recuperação do ecossistema lagunar de uma forma geral.

Palavras-chave

Lagoa de Jacarepaguá; Sedimento; Batimetria; Caracterização; Geotecnia; Análises Químicas.

Abstract

Benedetti, Paula Elias; Araruna Jr., Jose Tavares (advisor); Pires, Patrício José Moreira (co-advisor). **Geoenvironmental Characterization of Jacarepaguá Lagoon Sediments - RJ**, Rio de Janeiro, 2011. 235p. M.Sc. Dissertation – Departamento de Engenharia Civil, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

The present dissertation aims at conducting a survey on the bottom morphology, the material type and quality of sediment contamination, in the Jacarepaguá Lagoon, Rio de Janeiro, to assist the environmental programs working on the revitalization the Lagoon area, focusing on the 2016 Olympics. In the first stage the bathymetry of the Lagoon was executed. Georeferenced depth measurements were acquired in the field and bathymetric models in 2 and 3 dimensions were generated, where cavities and a shallow plateau inside the Lagoon were identified. In the second stage, sediment samples of the Lagoon were collected - from varied depths - for the geotechnical characterization tests. Based on the results, the presence of two predominant types of sediments was identified, sandy sediments located on the shallow plateau and silty sediments on the cavities, as well as high content of organic matter and low density in silty samples. In addition, two sandy samples were tested to determine the permeability and shear strength parameters in order to gather additional data for possible use of this material in civil construction (if dredged). In the third and final stage new sediment samples were collected for chemical analysis of the metals Barium, Cadmium, Lead, Copper, Chromium, Iron, Manganese, Mercury, Nickel and Zinc as well as Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAH's). The results indicated an accumulation of some metals in the drainage area of the Pavuna Creek. Concatenating the results obtained in these three stages, it is considered necessary and urgent to stop the effluent discharges into the Lagoon's tributary rivers as well as to dredge the sandy sediment located in the plateau, that would result in a deeper central channel, an increase of water column leading to an improved flow of water exchange between the Lagoon and the sea, accelerating the recovery of the Lagoon's ecosystem in general.

Keywords

Jacarepaguá Lagoon; Sediment; Bathymetry; Characterization; Geotechnical; Chemical Analysis.

Sumário

1	Introdução	24
1.1.	Organização do Trabalho	28
2	Caracterização da Área de Estudo	30
2.1.	Localização	30
2.2.	Formação da Planície Costeira de Jacarepaguá	32
2.3.	Cursos d'água contribuintes	36
2.4.	Crescimento Populacional	37
3	Batimetria	42
3.1.	Equipamentos Utilizados	43
3.1.1.	Veículo Anfíbio	43
3.1.2.	<i>Global Position System</i> - GPS	44
3.1.2.1.	Descrição do Sistema GPS	44
3.1.2.2.	Utilização do Sistema GPS neste trabalho	46
3.1.2.2.1.	Calibração do Sonar	48
3.2.	Metodologia em Campo	50
3.3.	Margem da Lagoa	51
3.4.	Resultados	52
3.4.1.	Tratamento dos Dados no <i>Excel</i>	52
3.4.2.	Tratamento dos Dados no Programa <i>RockWorks 14</i>	54
3.4.2.1.	Modelo Batimétrico em 3D	57
3.4.2.2.	Modelo Batimétrico em 2D	59
3.4.3.	Variação do Nível D'água	61
3.4.4.	Discussão dos Resultados	64
4	Caracterização Geotécnica dos Sedimentos	66
4.1.	Metodologias	66
4.1.1.	Amostragem	66
4.1.2.	Preparação das amostras para realização dos ensaios	69
4.2.	Ensaio realizados	71
4.2.1.	Matéria Orgânica	71
4.2.2.	Densidade Relativa dos Grãos	72
4.2.3.	Umidade Higroscópica	72

4.2.4. Granulometria	72
4.2.5. Limites de Atterberg	72
4.3. Resultados	73
4.3.1. Discussão dos resultados	79
4.4. Ensaio complementares	83
4.4.1. Finalidade: Aterro hidráulico	84
4.4.1.1. Preparação das amostras	84
4.4.1.1.1. Índice de vazios máximo ($e_{máx}$)	85
4.4.1.1.2. Índice de vazios mínimo ($e_{mín}$)	85
4.4.1.2. Resistência ao cisalhamento	86
4.4.1.3. Permeabilidade	97
4.4.2. Finalidade: Agregado para concreto	101
4.4.3. Discussão dos resultados	102
5 Análise da Qualidade dos Sedimentos	104
5.1. Legislação Específica para Qualidade de Sedimentos	104
5.2. Parâmetros analisados	105
5.2.1. Estudos Anteriores	106
5.2.1.1. Junho de 1992	106
5.2.1.2. Maio de 1996	108
5.2.1.3. Outubro de 1996	110
5.2.1.4. Dezembro de 1998	112
5.2.1.5. Janeiro de 2011	114
5.2.2. Atividades presentes no entorno da Lagoa de Jacarepaguá	116
5.2.3. Metais	118
5.2.4. Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos (HPA's)	127
5.3. Metodologia de amostragem	131
5.4. Resultados	134
5.4.1. Discussão dos Resultados	143
6 Conclusões e Sugestões	148
6.1. Conclusões	148
6.2. Sugestões	150
7 Referências Bibliográficas	152
APÊNDICE I	158

APÊNDICE II	180
APÊNDICE III	186
APÊNDICE IV	217
APÊNDICE V	231

Lista de Figuras

Figura 1.1 – Projeto do sistema de coleta do esgoto sanitário elaborado pela CEDAE (Jornal O Globo, 2010).....	26
Figura 1.2 – Processo de eutrofização na Lagoa de Jacarepaguá ocasionada pelo crescimento de algas microscópicas. (a) Vista W-E, ponte sobre o Rio Marinho (SOS Rios do Brasil, 2008) e (b) Vista SW-NE (SOS Rios do Brasil, 2009).....	27
Figura 1.3 – Despejo de esgoto sanitário na Lagoa de Jacarepaguá pelo Rio Pavuninha (Jornal O Globo, 2011).	27
Figura 2.1 – Mapa de Localização do Complexo Lagunar de Jacarepaguá a partir de imagens do <i>Google Earth</i>	31
Figura 2.2 – Bacia Hidrográfica do Complexo Lagunar de Jacarepaguá e suas sub-bacias (Prefeitura do Rio de Janeiro, 2011).....	32
Figura 2.3 – Perfil esquemático da Baixada de Jacarepaguá (Roncarati e Neves, 1975).....	33
Figura 2.4 – Estágio 1: 7.000 a 5.000 anos BP – Estabelecimentos da primeira ilha-barreira e da primeira zona lagunar (adaptado de Maia <i>et al.</i> , 1984)...	34
Figura 2.5 – Estágio 2: Regressão de 5.100 a 3.000 anos BP – Construção da primeira zona de progradação (adaptado de Maia <i>et al.</i> , 1984).....	34
Figura 2.6 – Estágio 3: Máximo de 3.500 anos BP – Estabelecimento da segunda ilha-barreira e da segunda laguna (adaptado de Maia <i>et al.</i> , 1984).	35
Figura 2.7 – Estágio 4: Regressão de 3.500 até o presente – Construção da segunda zona de progradação (adaptado de Maia <i>et al.</i> , 1984).	36
Figura 2.8 – Croqui de Lucio Costa para os eixos do Plano Piloto da Baixada de Jacarepaguá (Cardoso, 1989 <i>apud</i> Silva, 2006).	38
Figura 2.9 – Foto do Complexo Lagunar da Baixada de Jacarepaguá em 1980 (Castro e Custódio, 2005)	40
Figura 2.10 – Foto do Complexo Lagunar da Baixada de Jacarepaguá em 2002. (Araruna, 2008).....	40
Figura 2.11 – Imagem do <i>Google Earth</i> do Complexo Lagunar da Baixada de Jacarepaguá em 2009.	41
Figura 3.1 – Esquema de funcionamento do ecobatímetro (Wikipédia, 2011)....	42
Figura 3.2 – Veículo Anfíbio com (a) capota fechada e (b) capota aberta.	43
Figura 3.3 – Vista traseira do anfíbio com a base para o motor de popa (a) levantada e (b) abaixada.....	44

Figura 3.4 – Fusos, Bandas e Zonas do Sistema de Coordenadas UTM (adaptado de Friedmann, 2009).....	45
Figura 3.5 – Segmentos do Sistema GPS (adaptado de Friedmann, 2009).	46
Figura 3.6 – Monitor do GPS e Sonar modelo A50D 5" <i>Chartplotter/ Fishfinder</i> . 47	
Figura 3.7 – (a) Monitor do GPS acoplado ao painel do veículo e (b) Sonar instalado na traseira do veículo.....	47
Figura 3.8 – Imagem da tela do GPS.....	48
Figura 3.9 – Instrumento de medição manual da profundidade.....	48
Figura 3.10 – Gráfico da leitura manual vs leitura do sonar da profundidade.	49
Figura 3.11 – Imagem do <i>Google Earth</i> com a divisão das áreas e a indicação do limite da área de estudo.	50
Figura 3.12 – Gráfico latitude vs longitude dos pontos da Área 1.	52
Figura 3.13 – Gráfico latitude vs longitude dos pontos da Área 2. Elaborado no programa <i>excel</i>	53
Figura 3.14 – Gráfico latitude vs longitude dos pontos da Área 3.	53
Figura 3.15 – Gráfico latitude vs longitude dos pontos da Área 4.	54
Figura 3.16 – Modelo batimétrico 3D da Lagoa de Jacarepaguá com o seu limite em <i>.dxf</i> (30V:1H).....	57
Figura 3.17 – Modelo batimétrico 3D da Lagoa de Jacarepaguá com o seu limite em <i>.dxf</i> (30V:1H).....	58
Figura 3.18 – Vista lateral do lado norte do modelo batimétrico 3D da Lagoa de Jacarepaguá (50V:1H).	58
Figura 3.19 – Vista lateral do lado sul do modelo batimétrico 3D da Lagoa de Jacarepaguá (50:1).....	59
Figura 3.20 – Modelo batimétrico em 2D.	60
Figura 3.21 – Modelo batimétrico 2D com coordenadas em UTM com <i>datum</i> WGS84.	60
Figura 3.22 – Modelo batimétrico 2D visualizado no <i>Google Earth</i>	61
Figura 3.23 – Medidor de nível d'água.	61
Figura 3.24 – Imagem do <i>Google Earth</i> com a indicação dos pontos de medição do nível d'água.....	62
Figura 3.25 – Medição do nível d'água no (a) Rio Pavuna e na (b) ligação com a Lagoa do Camorim.....	62
Figura 3.26 – Gráfico da variação do nível d'água nos dois pontos.	64
Figura 4.1 – Imagem do <i>Google Earth</i> da Lagoa de Jacarepaguá com os pontos de amostragem de sedimentos para a caracterização geotécnica.	68
Figura 4.2 – Draga Van Veen, (a) fechada e (b) aberta.	68

Figura 4.3 – Procedimento para a coleta das amostras de sedimento: (a) lançamento da draga, (b) transferência da amostra para o saco plástico e (c) amostra de sedimento coletado acondicionada no saco plástico.	69
Figura 4.4 – Amostras acondicionadas nas caixas plásticas ao chegarem ao laboratório. (a) pontos A1-P2 e A1-P3 e (b) pontos da Área 2.....	70
Figura 4.5 – Amostras secas ao ar, antes de serem destorroadas: (a) ponto A2-P1 e (b) ponto A2-P3.	70
Figura 4.6 – Amostra do ponto A3-P2: (a) antes da secagem ao ar e (b) após a secagem.	70
Figura 4.7 – Limites de Atterberg correspondentes as mudanças de estado de consistência (adaptado de Pinto, 2006).	73
Figura 4.8 – Curvas granulométricas das amostras analisadas da Área 1.	76
Figura 4.9 – Curvas granulométricas das amostras analisadas da Área 2.	76
Figura 4.10 – Curvas granulométricas das amostras analisadas da Área 3.	77
Figura 4.11 – Curvas granulométricas das amostras analisadas da Área 4.	77
Figura 4.12 – Curvas granulométricas de todas as amostras analisadas.....	78
Figura 4.13 – Modelo batimétrico 2D com pontos de amostragem de matriz arenosa.....	79
Figura 4.14 – Modelo batimétrico 2D com pontos de amostragem de matriz siltosa.....	80
Figura 4.15 – Identificação dos 2 principais tipos de sedimento presentes na Lagoa de Jacarepaguá.....	82
Figura 4.16 – Representação do máximo índice de vazios em um solo granular com partículas perfeitamente esféricas (Almeida, 2005).	85
Figura 4.17 – Representação do mínimo índice de vazios em um solo com partículas perfeitamente esféricas (Almeida, 2005).....	86
Figura 4.18 – Mecanismos de resistência ao cisalhamento (Adaptado de Gerscovich, 2010).....	86
Figura 4.19 – Representação gráfica do critério de ruptura de Mohr-Coulomb. .	87
Figura 4.20 – Esquema do equipamento do ensaio de cisalhamento direto com deformação controlada (Gerscovich, 2010).....	88
Figura 4.21 – Gráfico da tensão cisalhante (KPa) vs o deslocamento horizontal (mm) da amostra A2-P3.....	90
Figura 4.22 – Gráfico do deslocamento vertical (mm) vs o deslocamento horizontal (mm) da amostra A2-P3.....	91
Figura 4.23 – Gráfico do critério de ruptura Mohr-Coulomb com os dados de ruptura dos 3 ensaios realizados da amostra A2-P3.	93

Figura 4.24 – Gráfico da tensão cisalhante (KPa) vs o deslocamento horizontal (mm) da amostra A3-P5.....	94
Figura 4.25 – Gráfico do deslocamento vertical (mm) vs o deslocamento horizontal (mm) da amostra A3-P5.....	95
Figura 4.26 – Gráfico do critério de ruptura Mohr-Coulomb com os dados de ruptura dos 3 ensaios realizados da amostra A3-P5.	97
Figura 4.27 – Esquema do ensaio de permeabilidade a carga constante.	98
Figura 4.28 – Gráfico do tempo (s) vs leitura (g) dos ensaios para a amostra A2-P3.....	99
Figura 4.29 – Gráfico do tempo (s) vs a leitura (g) dos ensaios para a amostra A3-P5.....	100
Figura 5.1 – Mapa de localização dos pontos de amostragem das análises químicas realizadas em junho de 1992 (adaptado de Fernandes <i>et al.</i> , 1994).....	106
Figura 5.2 – Mapa de localização dos pontos de amostragem das análises químicas realizadas em maio de 1996 (adaptado de Fernandes, 1997)...	108
Figura 5.3 – Mapa de localização dos pontos de amostragem das análises químicas realizadas em dezembro de 1996 (adaptado de COPPETEC, 1996).....	111
Figura 5.4 – Mapa de localização dos pontos de amostragem das análises químicas realizadas em dezembro de 1998 (adaptado de COPPETEC, 1998).....	112
Figura 5.5 – Mapa de localização dos pontos de amostragem das análises químicas realizadas em janeiro de 2011. Imagem do <i>Google Earth</i>	115
Figura 5.6 – Esquema do fracionamento da matéria orgânica no solo (adaptado de Sparks, 1995).....	126
Figura 5.7 – Esquema dos possíveis caminhos percorridos pela MO no ambiente (adaptado de Sparks, 1995).....	127
Figura 5.8 – Estrutura dos 16 HPA's analisados (adaptado de Vieira, Soares e Jardim, 2007).	131
Figura 5.9 – Imagem do <i>Google Earth</i> com a localização dos pontos de amostragem de sedimentos para análise química.....	132
Figura 5.10 – Gráfico dos resultados de metais para o ponto RM.....	137
Figura 5.11 – Gráfico dos resultados de metais para o ponto C1.....	137
Figura 5.12 – Gráfico dos resultados de metais para o ponto C2.....	138
Figura 5.13 – Gráfico dos resultados de metais para o ponto LJ1	138
Figura 5.14 – Gráfico dos resultados de metais para o ponto LJ2.	139

Figura 5.15 – Gráfico dos resultados de metais para o ponto RC.	139
Figura 5.16 – Gráfico dos resultados de metais para o RPi.	140
Figura 5.17 – Gráfico dos resultados de metais para o ponto LC.	140
Figura 5.18 – Gráfico dos resultados de metais para o ponto RP.	141
Figura 5.19 – Gráfico dos resultados de metais para o ponto C3.	141
Figura 5.20 – Gráfico dos resultados de metais para o ponto C4.	142
Figura 5.21 – Gráfico dos resultados de metais para o ponto LJ3.	142
Figura 5.22 – Gráfico dos resultados de metais para o ponto LJ4.	143
Figura 5.23 – Pontos com concentrações acima do Nível 1 para Cádmiu.	144
Figura 5.24 – Pontos com concentrações acima do Nível 1 para Cobre.	144
Figura 5.25 – Pontos com concentrações acima do Nível 1 para Chumbo.	144
Figura 5.26 – Pontos com concentrações acima do Nível 1 para Níquel.	144
Figura 5.27 – Pontos com concentrações acima do Nível 1 para Zinco.	145
Figura 5.27 – Modelo batimétrico em 2D e com os pontos de amostragem que obtiveram concentrações acima do limite Nível 1 para pelo menos um dos parâmetros analisados.	147
Apêndice II 1 – Vista do ponto localizado no Rio Marinho (RM).	180
Apêndice II 2 – Ponto de coleta RM (Rio Marinho).	180
Apêndice II 3 – Casa localizada à margem do Rio Marinho. Detalhe para a saída de uma tubulação ao lado desta casa na Lagoa de Jacarepaguá.	181
Apêndice II 4 – Ponto de coleta C1 (Córrego 1).	181
Apêndice II 5 – Ponto de coleta RPi (Rio Pavuninha).	181
Apêndice II 6 – Comunidade à margem da Lagoa de Jacarepaguá, próxima ao Rio Pavuninha (RPi).	182
Apêndice II 7 – Ponto de coleta Rio Camorim (RC).	182
Apêndice II 8 – Ponto de coleta Rio Pavuna (RP).	182
Apêndice II 9 – Detalhe da margem do Rio Pavuna vista da ponte na Avenida Abelardo Bueno.	183
Apêndice II 10 – Ponto de coleta Lagoa do Camorim (LC). Vista da ciclovia sobre a ligação entre a Lagoa de Jacarepaguá e a Lagoa do Camorim.	183
Apêndice II 11 – Saída de uma tubulação na Lagoa de Jacarepaguá. Detalhe para a cor escura do líquido que saía da mesma.	184
Apêndice II 12 – Ponto de coleta Córrego 3 (C3).	184
Apêndice II 13 – Ponto de coleta Córrego 4 (C4).	185
Apêndice V 1 – Gráfico dos resultados de Ba para os pontos amostrados.	231
Apêndice V 2 – Gráfico dos resultados de Ca para os pontos amostrados.	232
Apêndice V 3 – Gráfico dos resultados de Pb para os pontos amostrados.	232

Apêndice V 4 – Gráfico dos resultados de Cr para os pontos amostrados.	233
Apêndice V 5 – Gráfico dos resultados de Cu para os pontos amostrados.	233
Apêndice V 6 – Gráfico dos resultados de Fe para os pontos amostrados.	234
Apêndice V 7 – Gráfico dos resultados de Mn para os pontos amostrados.	234
Apêndice V 8 – Gráfico dos resultados de Ni para os pontos amostrados.	235
Apêndice V 9 – Gráfico dos resultados de Zn para os pontos amostrados.	235

Lista de Tabelas

Tabela 2.1 – Área de lâmina d'água e cursos d'água contribuintes às lagoas do Complexo Lagunar de Jacarepaguá (adaptado de FEEMA, 2006).....	37
Tabela 2.2 – Crescimento populacional na Área de Planejamento 4 (adaptado de Cezar, 2002).	39
Tabela 3.1 – Leituras manuais e do sonar da profundidade.....	49
Tabela 3.2 – Informações dos trabalhos de campo para o mapeamento batimétrico.	51
Tabela 3.3 – Coordenadas em UTM e datum SAD69 dos pontos nos quais foram realizadas as medições do nível d'água da Lagoa de Jacarepaguá.	62
Tabela 3.4 – Dados da variação da altura do nível d'água nos dois pontos.	63
Tabela 3.5 – Média das profundidades.	65
Tabela 4.1 – Dados específicos dos pontos de amostragem do sedimento.	67
Tabela 4.2 – Pontos amostrados e caracterizados tátil-visualmente.	71
Tabela 4.3 – Resultados dos ensaios realizados nas amostras da Área 1.....	74
Tabela 4.4 – Resultados dos ensaios realizados nas amostras da Área 2.....	74
Tabela 4.5 – Resultados dos ensaios realizados nas amostras da Área 3.....	74
Tabela 4.6 – Resultados dos ensaios realizados nas amostras da Área 4.....	75
Tabela 4.7 – Classificação das amostras segundo o SUCS.....	75
Tabela 4.8 – Significado de cada sigla utilizada na classificação dos sedimentos.	75
Tabela 4.9 – Níveis de Plasticidade (adaptado de Caputo, 1998).....	81
Tabela 4.10 – Classificação do nível de plasticidade das amostras de sedimento com de granulometria fina da Lagoa de Jacarepaguá.....	81
Tabela 4.11 – Informações das amostras A2-P3 e A3-P5.....	84
Tabela 4.12 – Dados dos ensaios de cisalhamento direto realizados na amostra A2-P3.....	89
Tabela 4.13 – Dados de tensão normal e tensão cisalhante nos pontos de ruptura dos 3 ensaios realizados da amostra A2-P3.	92
Tabela 4.14 – Parâmetros de resistência ao cisalhamento da amostra A2-P3...	93
Tabela 4.15 – Dados dos ensaios de cisalhamento direto realizados na amostra A3-P5.....	94
Tabela 4.16 – Dados de tensão normal e tensão cisalhante nos pontos de ruptura dos 3 ensaios realizados da amostra A3-P5.	96
Tabela 4.17 – Parâmetros de resistência ao cisalhamento da amostra A3-P5...	97

Tabela 4.18 – Resultado do ensaio de permeabilidade para a amostra A2-P3.	100
Tabela 4.19 – Resultado do ensaio de permeabilidade para a amostra A3-P5.	101
Tabela 4.20 – Ensaio especiais para agregado miúdo (ABNT NBR 7211, 2009).	102
Tabela 4.22 – Valores típicos da condutividade hidráulica dos solos saturados (adaptado de Das, 2007).....	103
Tabela 4.23 – Discriminação das frações dos tipos de areia das amostras ensaiadas.....	103
Tabela 5.1 – Nível de classificação química do material a ser dragado (CONAMA, 2004).....	105
Tabela 5.2 – Resultados da análise de metais pesados nos sedimentos da Lagoa de Jacarepaguá e rios afluentes a esta lagoa – junho de 1992 (adaptado de Fernandes <i>et al.</i> , 1994).	107
Tabela 5.3 – Resultados da análise de metais pesados nos sedimentos da Lagoa de Jacarepaguá e rios afluentes a esta lagoa - maio de 1996 (adaptado de Fernandes, 1997).....	109
Tabela 5.4 – Resultados da análise de metais pesados nos sedimentos da Lagoa de Jacarepaguá e rios afluentes a esta lagoa - dezembro de 1996 (adaptado de COPPETEC, 1996).	111
Tabela 5.5 – Resultados da análise de metais pesados nos sedimentos da Lagoa de Jacarepaguá e rios afluentes a esta - dezembro de 1998 (adaptado de COPPETEC, 1998).	113
Tabela 5.6 – Resultados da análise de metais pesados nos sedimentos da Lagoa de Jacarepaguá e rios afluentes a esta lagoa – janeiro de 2011 (adaptado de InterDraga, 2011).	115
Tabela 5.7 – Principais contaminantes de diferentes tipos de atividade (adaptado de EPA, 1999).....	117
Tabela 5.8 – Lista de Alguns Metais Carcinogênicos a Humanos (adaptado de Csuros, 2002).	119
Tabela 5.9 – Comparação da colocação dos metais analisados na <i>CERCLA Priority List</i> dos anos de 1997, 1999, 2001, 2003, 2005 e 2007 (adaptado de ATSDR, 1997; ATSDR, 1999; ATSDR, 2001; ATSDR, 2003; ATSDR, 2005 e ATSDR, 2007).....	125
Tabela 5.10 – Uso dos HPA's e meios de exposição industrial (adaptado de Queensland Government, 2010).	128
Tabela 5.11 – Valores dos coeficientes de sorção de carbono orgânico por composto de HPA (adaptado de IPCS, 1998).	129

Tabela 5.12 – Classes de meia vida (horas) sugeridos a HPA's (adaptado de Mackay <i>et al.</i> ,1992 <i>apud</i> IPCS,1998).....	129
Tabela 5.13 – Classes de meia vida dos compostos de HPA's em variados compartimentos ambientais (adaptado de Mackay <i>et al.</i> ,1992 <i>apud</i> IPCS,1998).	130
Tabela 5.14 – Comparação da colocação do grupo dos HPA's em 1997, 1999, 2001, 2003, 2005 e 2007 (adaptado de ATSDR, 1997; ATSDR, 1999; ATSDR, 2001; ATSDR, 2003; ATSDR, 2005 e ATSDR, 2007).....	130
Tabela 5.15 – Informações dos pontos de amostragem de sedimentos para análise química	132
Tabela 5.16 – Relação entre os pontos amostrados.....	133
Tabela 5.17 – Resultados das análises químicas para metais (mg/kg).	135
Tabela 5.18 – Resultados das análises químicas para HPA's das amostras coletadas dentro da Lagoa (mg/kg).....	136

Lista de Abreviaturas e Siglas

2D	2 dimensões
3D	3 dimensões
ABGE	Associação Brasileira de Geologia de Engenharia
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AP	Área de Planejamento
ATSDR	<i>Agency for Toxic Substances e Disease Registry</i>
BP	<i>Before Present</i>
BTEX	Benzeno, Tolueno, Etilbenzeno e Xileno
C1	Córrego 1
C2	Córrego 2
C3	Córrego 3
C4	Córrego 4
CBF	Confederação Brasileira de Futebol
CEDAE	Companhia Estadual de Águas e Esgotos
CERCLA	<i>The Comprehensive Environmental Response, Compensations and Liability Act</i>
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
COPPETEC	Coordenação de Projetos, Pesquisas e Estudos Tecnológicos
CPT	<i>Cone Penetration Test</i>
CR	Compacidade Relativa
DR	Densidade Relativa
EPA	<i>Environmental Protection Agency</i>
ETE	Estação de Tratamento de Esgoto
FEEMA	Fundação Estadual de Engenharia do Meio Ambiente – RJ
GPS	<i>Global Position System</i>
HPA	Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos
HS	<i>Humic Substances</i>
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia Estatística
INEA	Instituto Estadual do Ambiente – RJ
IP	Índice de Plasticidade
IPCS	<i>International Program on Chemical Safety</i>
LabGIS	Laboratório de Geoprocessamento
LAMMA	Laboratório de Avaliação, Monitoramento e Mitigação Ambiental
LC	Lagoa do Camorim
LD	Limite de Detecção

LJ1	Lagoa de Jacarepaguá 1
LJ2	Lagoa de Jacarepaguá 2
LJ3	Lagoa de Jacarepaguá 3
LJ4	Lagoa de Jacarepaguá 4
LQ	Limite de Quantificação
MO	Matéria Orgânica
NBR	Norma Brasileira
NHS	<i>Non-humic Substances</i>
OH	Silte orgânico – pelo SUCS
PAH	<i>Polycyclic Aromatic Hydrocarbons</i>
PCB	<i>Polychlorinated Biphenyls</i>
PUC-Rio	Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro
RC	Rio Camorim
RM	Rio Marinho
RP	Região Administrativa
RP	Arroio Pavuna
RPi	Rio Pavuninha
SAD69	<i>South American Datum</i> de 1969
SIG	Sistema de Informação Geográfica
SM	Areia Siltosa – pelo SUCS
SMAC	Secretaria Municipal de Meio Ambiente
SP-SM	Areia Mal Graduada com Silte – pelo SUCS
SPT	<i>Standart Penetration Test</i>
SUCS	Sistema Unificado de Classificação dos Solos
SW-SM	Areia Bem Graduada com Silte
UFRJ	Universidade Federal do Rio de Janeiro
UTM	<i>Universal Transversa de Mercator</i>
VOC	Compostos Orgânicos Voláteis
vs	<i>Versus</i>
WGS84	<i>World Geodetic System</i> de 1984
W _L	Limite de Liquidez
W _P	Limite de Plasticidade

Lista de Símbolos

A	Área
Ba	Bário
c	Coesão
Cd	Cádmio
Cr	Cromo
Cu	Cobre
e	Índice de Vazios
$e_{máx}$	Índice de Vazios Máximo
$e_{mín}$	Índice de Vazios Mínimo
G	Densidade Relativa dos Grãos
H	Alta Plasticidade – pelo SUSC
Hg	Mercúrio
i	Gradiente Hidráulico
k	Condutividade Hidráulica ou Coeficiente de Permeabilidade
M	Silte – pelo SUSC
m	Massa
Mn	Manganês
Ni	Níquel
O	Orgânico – pelo SUSC
P	Mal graduado – pelo SUSC
Pb	Chumbo
Q	Vazão
S	Areia – pelo SUSC
V	Volume
w	Umidade Higroscópica
W	Bem graduado – pelo SUSC
Zn	Zinco
ρ_g	Massa Específica dos Grãos
ρ_s	Massa Específica Seca
σ	Tensão Normal
τ	Tensão Cisalhante
ϕ	Ângulo de Atrito
k_{oc}	Coeficientes de sorção de carbono orgânico