

RELAÇÃO ENTRE O CRESCIMENTO POPULACIONAL E A  
QUALIDADE SANITÁRIA EM ECOSISTEMAS AQUÁTICOS  
COSTEIROS DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO

**MARGARETHA DENISE MARIA VAN WEERELT**

UNIVERSIDADE DO NORTE FLUMINENSE DARCY RIBEIRO –  
UENF

CAMPOS DOS GOYTACASES – RJ  
JUNHO 2015

RELAÇÃO ENTRE O CRESCIMENTO POPULACIONAL E A  
QUALIDADE SANITÁRIA EM ECOSISTEMAS AQUÁTICOS  
COSTEIROS DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO

**MARGARETHA DENISE MARIA VAN WEERELT**

Tese apresentada ao Centro de Biociências e Biotecnologia, da Universidade Estadual Norte Fluminense Darcy de Oliveira, como parte das exigências para obtenção do título de Doutor em Ecologia e Recursos Naturais.

Orientador: Dr. Alex Enrich Prast

CAMPOS DOS GOYTACASES, RJ  
JUNHO DE 2015

FICHA CATALOGRÁFICA

Preparada pela Biblioteca do Centro de Biociências e Biotecnologia  
da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro

680 / 2017

van Weerelt, Margaretha Denise Maria

Relação entre o crescimento populacional e a qualidade sanitária  
ecossistemas aquáticos costeiros do Estado do Rio de Janeiro /  
Margaretha Denise Maria van Weerelt. -- Campos dos Goytacazes, 2015.  
115 f. : il.

Tese (Doutorado em Ecologia e Recursos Naturais) – Universidade  
Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. Centro de Biociências e  
Biotecnologia.

Área de concentração: Ecologia de Ecossistemas

Orientador: Prast, Alex Enrich

Bibliografia: f. 99-113

1. *Enterococcus* 2. Coliformes totais e fecais 3. Bactérias  
heterotróficas cultiváveis totais 4. Baía da Guanabara 5. Lagoa Rodrigo  
de Freitas I. Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro II. Título

577.27  
V217r

RELAÇÃO ENTRE FATORES SOCIAIS E ECONÔMICOS E A QUALIDADE  
SANITÁRIA DE CORPOS AQUÁTICOS COSTEIROS DO ESTADO DO RIO  
DE JANEIRO

MARGARETHA DENISE MARIA VAN WEERELT

Tese apresentada ao Centro de  
Biotecnologia e Biotecnologia, da  
Universidade Estadual Norte  
Fluminense Darcy de Oliveira, como  
parte das exigências para obtenção  
do título de Doutor em Ecologia e  
Recursos Naturais.

Aprovada em 16 de junho de 2015

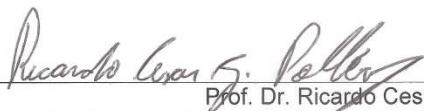
Comissão Examinadora



Prof.<sup>a</sup> Marina Satika Suzuki  
Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro



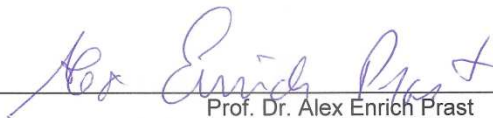
Prof. Dr. Marcos Sarmet Moreira de Barros Salomão  
Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro



Prof. Dr. Ricardo Cesar G. Pollery  
Professor Colaborador - Universidade Federal do Rio de Janeiro



Prof. Dr. Humberto Marotta Ribeiro,  
Universidade Federal Fluminense.



Prof. Dr. Alex Enrich Prast  
Universidade Federal do Rio de Janeiro  
(Orientador e presidente da banca)

"Nada na vida deve ser temido, somente compreendido.  
Agora é hora de compreender mais, para temer menos."  
Marie Curie (Polônia, 1867-1934).

## AGRADECIMENTOS

Este trabalho só foi possível graças ao esforço de um grupo enorme de pessoas: amigos, familiares, alunos, estagiários, professores, colegas de trabalho e companheiros do curso de pós-graduação. Sem o seu auxílio, boa vontade, compreensão, carinho e amizade esta jornada não teria sido possível. A todas estas pessoas: o meu “muito, muito obrigada” vocês foram fundamentais e possibilitaram a minha chegada ao fim deste caminho, com êxito!

Ao Prof. Alex Enrich Prast, por você estar sempre disponível, escutar, orientar, auxiliar e buscar soluções para os problemas e dificuldades. Agradeço infinitamente por acreditar que seria possível reiniciar e, sobretudo terminar esta empreitada, mesmo quando eu estava certa que era impossível. Meu eterno carinho, respeito e amizade e o meu muitíssimo obrigado, estou eternamente em dívida com você.

Aos meus mestres Dr. Carlos Chagas Filho (*in memoriam*), Dr. Gerard Milhaud, Prof. Mello Leitão (*in memoriam*), Dr. Wolfgang C. Pfeiffer, Dr. Eduardo Penna Franca (*in memoriam*), Dr. Allen N. Hagler, D<sup>ra</sup> Leda Cristina Mendonça, Dr. Jan Dick van Elsas, Dr. Maluori C. Cabral e D<sup>ra</sup> Isabel Madeira Liberto por seus ensinamentos e contribuições essenciais à minha formação profissional.

A todos os professores do Programa de Pós Graduação em Ecologia e Recursos Naturais da Universidade Estadual do Norte Fluminense, muito obrigada por seus ensinamentos, sua ajuda e sua atenção ilimitados. Quero deixar registrado meu particular agradecimento aos coordenadores a D<sup>ra</sup>. Marina Satika Suzuki, o Dr. Carlos Ramon Ruiz-Miranda e o Dr. Leandro Rabello Monteiro.

A Elizabete Costa (Bete) agradeço a sua infinita paciência e por estar sempre disposta a me ajudar e aconselhar ao longo destes anos

Ao Prof. Dr. Francisco de Assis Esteves e a toda equipe do Laboratório de Limnologia agradeço por compartilhar os dados do projeto ECOlagos.

Agradeço também a equipe do Professor Francisco Esteves no NUPEM/UFRJ em Macaé por sempre me acolherem sempre que foi preciso estar lá, em particular a Lena e ao João Marcelo, aos amigos da administração como a Ana Lucia da biblioteca e os professores Ana Cristina Petry, Alexandre Azevedo,

Angélica Soares, José Nepomuceno da Silva, Lisia de Souza Gestinari e Tatiana U. P. Konno.

Ao INEA agradeço por fornecer os dados de seu monitoramento da baía de Guanabara, da Lagoa Rodrigo de Freitas e das praias do Município do Rio de Janeiro, para nossos estudos.

Ao Clube Naval Piraquê por permitir o uso de suas instalações. Aos alunos de graduação Bruno Cavalcante Rego e Joyce Pereira Santos pelo apoio fundamental no trabalho de campo na Lagoa Rodrigo de Freitas.

Ao Francisco Mattos (Xicão) e toda equipe de coleta do PELD pelo auxílio nesta etapa tão importante neste trabalho. Em particular aos alunos do Laboratório de Biogeoquímica, Bruno Cavalcante, Lívia Cosme, Andrea Novo e Tainá.

Ao Dr. Jean Valentin, muito obrigada por todo auxílio nas análises estatísticas, multivariadas ou não e por, junto com Dr. Marotta, ajudar a compreender o que os dados tinham a revelar e achar a melhor forma de transmitir este conhecimento.

Agradeço ao Dr. Humberto Marotta por toda ajuda na organização, análise e para tentar compreender o que os dados tinham a revelar além de estar sempre disponível, para ajudar, mesmo aos finais de semana. Agradeço por sua disponibilidade de fazer parte das inúmeras bancas de avaliação, pelas críticas, sugestões e correções, que foram necessárias para chegarmos ao final deste processo.

A Eliane Silva, querida Lia, que se transformou ao longo do tempo de aluna em amiga e até colega de pós-graduação. Muito obrigada por sua ajuda e colaboração sempre presente, pela amizade, pelas inúmeras ajudas com idas a UENF, em Campos e, por nossa colaboração no trabalho na Lagoa de Imboassica, em Macaé.

A Dra. Gisele Parno Guimarães e a Camila Signori por todo apoio no trabalho de campo, nas diversas etapas deste trabalho, tanto na Baía de Guanabara quanto na Lagoa Rodrigo de Freitas, em particular pela ajuda com os programas de mapeamento e valiosas sugestões para este projeto como um todo.

Gostaria de agradecer, particularmente, a D<sup>ra</sup> Angela M. Sanseverino e ao Victor S. Enrich, um muito obrigado carinhoso e um pedido de desculpas por ocupar o tempo do marido e pai, mas, foi por uma boa causa!

A equipe de trabalho do laboratório de Biogeoquímica do Instituto de Biologia da Universidade Federal do Rio de Janeiro por toda ajuda, pelas conversas, críticas, sugestões revisões e explicações fundamentais para este trabalho e para meu aprendizado e, pelos ensinamentos de vida: Ana Lucia Santoro, Andre Breves, Bruno Cavalcante, Camila Signori, Cristiane Caetano, Flavia Sanseverino, Fausto Silva, Juliana Valle, Laura Masuda, Leandro Pontual, Levenson, Livia Cosme, Luana Pinho, Lucienne Valladares, Luis Bento, Maria Carolina, Nayara Gomes, Nadjane Noval, Roberta Peixoto, Silvia Rivera, Tainá, Viviane Figueiredo. Agradeço especialmente ao Dr. Ricardo Pollery e ao Dr. Vinicius Peruzzi, por se disporem a fazer parte das bancas examinadoras em diversas fases deste processo, pelas sugestões, correções e críticas sempre construtivas ao nosso trabalho. Muito Obrigada!

A toda equipe do Laboratório de Microbiologia Aquática do Instituto de Biologia da Universidade Federal do Rio de Janeiro, os alunos e aos estagiários: Ana Paula, Andre, Adriana, Camila, Carine, Cristina Elizabeth, Danielle Cormack, Driele, Gabriela, Henrique Jabor, Janaina Eduardo, Juliana Diamantaras, Karen, Kátia Boffoni, Keli, Livia Farias, Luciana, Marcelo Vidal, Mauricio, Patrícia, Priscila, Rachel, Raulianne, Rodolpho Piccolli, Nathália, Natália, entre tantos que fizeram parte desta equipe nestes 20 anos, pelas análises de laboratório, pelas discussões e ideias de trabalho. Sem vocês eu certamente não conseguiria terminar os projetos, trabalhar com alegria e força de vontade, muitíssimo obrigada, sobretudo por fazer com que o trabalho seja estimulante e recheado de valiosas lições de vida.

À Sonia Peres Vieira que se tornou ao longo do tempo não só uma valiosa colaboradora do Laboratório de Microbiologia Aquática, como também uma amiga e irmã de todas as horas muito obrigada pela formatação deste texto, por me substituir na frente de trabalho sempre que foi necessário, pela torcida e ajuda profissional até na área de Biologia e Microbiologia.

Ao Jorge Alberto Gutierrez (Lole), muito obrigada não só pela colaboração ao Laboratório de Microbiologia, mas, sobretudo pela amizade e a torcida, sempre presentes.

Aos colegas do Depto de Biologia Marinha e do Instituto de Biologia da Universidade Federal do Rio de Janeiro que torceram por mim nesta jornada, Prof<sup>a</sup>. Helena Passeri e ao grupo do laboratório de Bentos, Prof. Jean Valentin,



Prof<sup>a</sup> Catarina Ramis Nogueira (*in memoriam*), Prof<sup>a</sup>. Gisela Mandali e o grupo de Plancton, Prof<sup>a</sup>. Leticia Mayr, Prof. Marcelo Vianna e o grupo do Necton, Prof<sup>a</sup>. Yocie Yoneshigue Valentin, Prof<sup>a</sup>. Maria Fernanda Quintela, Prof<sup>a</sup>. Doris Falkenstein, Prof<sup>a</sup>. Cristina Ostrovski, Prof. Vinícius Farjalla, Dr<sup>a</sup> Benedita Aglai O. da Silva, Prof<sup>a</sup>. Anaise, Miriam S. dos Santos, Francisco de Assis, Suelly Valério, Jerônimo Valério, Gustavo, Fernando, Walmir, Gercino, Gilson, Jorginaldo Oliveira, entre tantos, muito obrigada!

Aos meus companheiros alunos da Pós Graduação em Ecologia e Recursos Renováveis da Universidade Estadual do Norte Fluminense, em particular aos amigos da disciplina “Ecologia de Comunidades” obrigada pela torcida, por toda ajuda e amizade: Albany, Anna Mandarino, Bruna, Deivid, Douglas, Fabio, Gabriela, Juliana Sobreira, Livia, Mariana, Natalia, Phillipe, Pitter, Tatiane e Vinicius.

Aos amigos do Instituto de Biofísica Carlos Chagas Filho, entre eles os professores Olaf Malm, João Paulo e Jean Remy; Vanessa, Marlise, Eli, Alexandre, Raquel, Gabriela, Rosa, Eric, Luzia, entre outros, do Instituto de Microbiologia Prof. Paulo de Góes; da faculdade de Farmácia, os professores Ana Vieira, Rangel entre tantos. Muito Obrigada pela torcida e atenção sempre carinhosa.

Agradeço a Jorgiane Dib, Maria Eugenia, Geraldo, Antonio, Elizabeth, toda sua ajuda e assistência, obrigada pela amizade e o carinho.

A D<sup>ra</sup>. Wanda Borges pela assistência e os bons conselhos diante dos problemas que enfrentamos muito obrigada!

A Eloyana, Sonia, Marco Aurélio, Iara, Daniel, Margaret, Chico Monteiro e toda família de Rio Novo (MG), Jose Carlos Rodrigues e ao Lindenberg, pela ajuda física, emocional e espiritual. Muito obrigada pelo carinho e a torcida!

Aos amigos e irmãos que a vida me deu e que me mantêm ligada ao que é verdadeiramente essencial na vida: Amélia Gonzalez (*in memoriam*), Beatriz e Mariana Rietman, Arildo, Bebeu Aboim, Claudia, Cristina Henriques, Cristina Pierotti e a família Pierotti, Denise Molina Gomes, Doia Messeder, Inge Schoot, Isa, Jomar Carvalho, Kieran Craik, Lauren e Tien e toda família Oie, Liryss Crispin, Madalena Castro, Márcia Attias, Marcus Batistela, Margaret Neira, Pedro e Isabel Schuback, Rosa Esteves, Sonia M, Viviane, Ucha, Ricardo e família, a família Baxter, Vera, Livia e a família Carneiro, Christopher e a família Roessingh.

Minha profunda gratidão às minhas avós Maria da Glória (Poupon) Proença (*in memoriam*) e Margaretha E.M.(Grethe) Perquin van Weerelt (*in memoriam*), que me mostraram que nós mulheres podemos ser fortes e doces ao mesmo tempo e que nos é dado a escolha de trilhar caminhos diferentes daqueles que aparentemente nos foram destinados.

Aos meus avôs João Proença Filho (*in memoriam*), que me ensinou o caminho da ética e caráter e também o da valsa e Adrianus A. M. van Weerelt (*in memoriam*), que me mostrou o caminho das ideias revolucionárias e o da superação dos limites físicos.

Aos meus pais, Regina Proença e Bert (*in memoriam*) van Weerelt, meus irmãos Willem, Robert e Stella van Weerelt, minha cunhada Marcela Leifert van Weerelt, a nossa lindinha e muito amada Sofia Leifert van Weerelt, meus tios, primos e as famílias Proença, Barata, Nabuco e, também as famílias de alémmar, os van Weerelt e os Strack van Schijndel, por sua paciência e compreensão com as minhas ausências e, sobretudo por todo seu amor, carinho, alegria, pela música e a filosofia. Obrigada pelo amor e a alegria que confortam, fortalecem e ajudam a viver!

À minha afilhada e irmã Stella, um “muito obrigado”, especial pela torcida e ajuda nas horas mais difíceis, pelo amor e carinho incondicionais e por me lembrar do que é feito um ser humano de caráter e retidão.

Enfim, não podia deixar de mencionar meus amigos especiais que encheram minha vida de um companheirismo e de lições que só os animais podem oferecer, entre eles o Pipoca. Um presente que o NUPEM e o Prof. Alex E. Prast me ofereceram. Tem sido meu companheiro fiel, desde a época que nos conhecemos, quando ministramos, eu, Prof. Alex e o Prof. Vinícius Farjalla, um curso para alunos da graduação em Ciências Biológicas da UFRJ, no NUPEM em 2004. Você me faz feliz apenas por existir!

## SUMÁRIO

<b>LISTA DE FIGURAS</b>	x
<b>LISTA DE TABELAS</b>	xii
<b>LISTA DE ABREVIACÕES E SIGLAS</b>	xii
<b>RESUMO</b>	xvii
<b>ABSTRACT</b>	xix
<b>1. INTRODUÇÃO GERAL</b>	20
1.1. O ESTADO DO RIO DE JANEIRO	20
<b>2. OBJETIVOS</b>	22
2.1. OBJETIVO GERAL	22
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	22
<b>3. O USO DE INDICADORES MICROBIANOS PARA MONITORAR A QUALIDADE DE ÁGUA EM ECOSISTEMAS COSTEIROS SUBMETIDOS AO APORTE DE ESGOTOS DOMÉSTICOS</b>	23
<b>4. CONSEQUÊNCIAS DA CONSTRUÇÃO DAS ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ESGOTO (ETES) SOBRE A EVOLUÇÃO SANITÁRIA DA BAIÁ DE GUANABARA</b>	31
4.1. INTRODUÇÃO	31
4.2. MATERIAL E MÉTODOS	35
4.2.1. Área de Estudos	35
4.2.2. Coleta de dados	37
4.2.3. Análises Estatísticas	38
4.3. RESULTADOS	39
4.3.1. Variação Temporal - Longo Prazo (1980-2014)	39
4.3.1.1. Análise de Agrupamento	40
4.3.1.1.1. Grupo A	41
4.3.1.1.2. Grupo B	42
4.4. DISCUSSÃO	45
4.5. CONCLUSÕES	53
<b>5. HETEROGENEIDADE DA DEGRADAÇÃO SANITÁRIA DE UMA LAGOA COSTEIRA TROPICAL URBANA INFLUENCIADA PELO CRESCIMENTO POPULACIONAL</b>	55
5.1. INTRODUÇÃO	55
5.2. A CIDADE DE MACAÉ	56
5.3. MATERIAL E MÉTODOS	58
5.4. RESULTADOS	59

5.4.1. Coliformes totais	59
5.4.2. Coliformes termotolerantes	60
5.5. DISCUSSÃO	64
5.6. CONCLUSÕES	66
<b>6. BALNEABILIDADE DA LAGOA RODRIGO DE FREITAS: VARIAÇÃO TEMPORAL E ESPACIAL</b>	<b>68</b>
6.1. INTRODUÇÃO	68
6.2. ÁREA DE ESTUDO	69
6.3. MATERIAL E MÉTODOS	75
6.4. RESULTADOS	77
6.4.1. Análise temporal	77
6.4.2. Análise espacial	79
6.4.3. Análise do componente principal - PCA	86
6.4.3.1. Variação temporal	86
6.4.3.2. Variação espacial	89
6.5. DISCUSSÃO	90
6.6. CONCLUSÕES	94
<b>7. CONCLUSÃO GERAL</b>	<b>96</b>
<b>8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>98</b>

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b>	A Baía de Guanabara e os Municípios do seu entorno (fonte CIBG, 2001).	31
<b>Figura 2</b>	Localização do Brasil, do Estado do Rio de Janeiro e da Baía de Guanabara.	36
<b>Figura 3</b>	Localização das estações de amostragem (fonte INEA, 2014).	39
<b>Figura 4</b>	Análise de Agrupamento através do método das distâncias Euclidianas, ligação completa, para as estações de monitoramento de qualidade de água utilizadas pelo INEA durante o período de 1980 a 2014	40
<b>Figura 5</b>	Porcentagem (%) dos níveis de coliformes termotolerantes acima de 1000 NMP.100mL <sup>-1</sup> nas estações do grupo A, durante o período de 1980 a 2014, separados por décadas.	41
<b>Figura 6</b>	Porcentagem (%) dos níveis de coliformes termotolerantes acima de 1000 NMP.100mL <sup>-1</sup> nas estações do grupo B, durante o período de 1980 a 2014, separados por décadas.	43
<b>Figura 7</b>	Regressão linear da média dos níveis de coliformes termotolerantes (NMP.100mL <sup>-1</sup> ) das estações consideradas Impróprias (grupo A) no período de 1980 a 1999 e de 2000 a 2014. Dados INEA 1980-2014.	47
<b>Figura 8</b>	Regressão linear da média dos níveis de coliformes termotolerantes (NMP.100mL <sup>-1</sup> ) das estações consideradas Próprias (grupo B) no período de 1980 a 1999 e de 2000 a 2014. Dados INEA 1980-2014.	48
<b>Figura 9</b>	Vazão de esgoto bruto gerado e tratado na bacia da Baía da Guanabara	50
<b>Figura 10</b>	Foto aérea da lagoa de Imboassica, Macaé, RJ. Os números referem-se as estações de coleta do projeto ECOlagoas. Os números marcados são das estações cujos dados foram utilizados neste estudo.	58
<b>Figura 11</b>	Níveis de dispersão de coliformes totais (A) e termotolerantes (b) em escala logarítmica no período de 1992 a 2005 nas estações 1, 2 e 5. A reta em B indica 1000 coliformes termotolerantes/100 mL limite para que a água seja considerada satisfatória para balneabilidade, segundo a Resolução CONAMA 274/2000	61
<b>Figura 12</b>	Frequência relativa de ocorrência dos níveis de coliformes totais (A) e termotolerantes (B) distribuídos em 5 faixas. Estação 1: 1992-1995 (n=39), 1996-2000 ("A" n=31, "B" n=30), 2001-2005 ("A" n=60, "B" n=59), Estação 2 1992-1995 (n=25), 1996-2000 (n=31), 2001-2005 (n=59), Estação 5 1992-1995 (n=8), 1996-2000 (n=22), 2001-2005 (n=60).	62
<b>Figura 13</b>	Níveis de coliformes totais (A) e termotolerantes (B) em NMP/100 mL nas estações 1 e 2, nos períodos meso-eutrófico e eutrófico da lagoa. Letras diferentes indicam diferenças	

	significativas (Kruskal-Wallis, $p < 0,05$ ). Nos gráficos detalhados estão representados os pontos em que as diferenças não foram significativas (Kruskal-Wallis, $p > 0,05$ ).	63
<b>Figura 14</b>	Localização das estações de coleta – ponto fixo LRF_Piraquê e variação espacial LRF00, LRF01, LRF04, LRF05, LRF08 e LRF_J.Alah – amostradas em agosto de 2011.	70
<b>Figura 15</b>	Variação temporal dos fatores abióticos – temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ), salinidade, oxigênio dissolvido (mg/L), carbono orgânico dissolvido (ppm), pH e transparência (m) – na superfície e no fundo nos horários de 06h:00min, 12h:00min e 18h:00min, na estação fixa na Lagoa Rodrigo de Freitas, Rio de Janeiro, Brasil.	77
<b>Figura 16</b>	Variação (NMP.100mL <sup>-1</sup> ) dos coliformes totais (a), termotolerantes (b) e <i>Enterococcus</i> (c) ao longo da campanha amostral, nos horários de 06h:00min, 12h:00min e 18h:00min, na estação fixa na Lagoa Rodrigo de Freitas, Rio de Janeiro, Brasil.	81
<b>Figura 17</b>	Variação (NMP.100mL <sup>-1</sup> ) de Coliformes Totais, Termotolerantes e <i>Enterococcus</i> em relação aos limites máximos estabelecidos pelo CONAMA (2000, 2005) nos seis pontos de coleta da Lagoa Rodrigo de Freitas, Rio de Janeiro, Brasil	84
<b>Figura 18</b>	Variação (NMP.100mL <sup>-1</sup> ) de Coliformes Totais (a), Termotolerantes (b) e <i>Enterococcus</i> (c) em relação aos limites máximos estabelecidos pelo CONAMA (2000, 2005) nos seis pontos de coleta da Lagoa Rodrigo de Freitas, Rio de Janeiro, Brasil.	85
<b>Figura 19</b>	Análise do Componente Principal para os resultados observados durante uma semana na estação fixa às 06 horas.	87
<b>Figura 20</b>	Análise do Componente Principal para os resultados observados durante uma semana na estação fixa às 12 horas.	88
<b>Figura 21</b>	Análise do Componente Principal para os resultados observados durante uma semana na estação fixa às 18 horas.	88
<b>Figura 22</b>	Análise do Componente Principal para os resultados observados durante a campanha em diferentes estações na Lagoa Rodrigo de Freitas.	89

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1</b>	Evolução do tratamento de esgotos na bacia da Baía da Guanabara	34
<b>Tabela 2</b>	Porcentagem da população de alguns municípios da Região Metropolitana do Rio de Janeiro nos anos de 2012 e 2013.	50
<b>Tabela 3</b>	Varição na superfície (S) e no fundo (F) dos fatores abióticos - temperatura (°C), salinidade, oxigênio dissolvido ( $\text{mg.L}^{-1}$ ), carbono orgânico dissolvido (ppm), pH e transparência (m) – e dos coliformes totais, termotolerantes e <i>Enterococcus</i> ( $\text{NMP.100mL}^{-1}$ ) nos seis pontos de coleta da Lagoa Rodrigo de Freitas, Rio de Janeiro, Brasil.	83
<b>Tabela 4</b>	Comparação dos níveis de Coliformes Termotolerantes ( $\text{NMP.100mL}^{-1}$ ) obtidos para amostras de água em diversas estações da Lagoa Rodrigo de Freitas, RJ, no presente trabalho com estudos executados nos períodos de 1994 a 1998 e no ano de 2000.	92
<b>Tabela 5</b>	Comparação entre os valores de variáveis abióticas encontrados para amostras de água em trabalhos anteriores e no presente estudo, para diversas estações da Lagoa Rodrigo de Freitas, RJ.	92

## LISTA DE ABREVIações E SIGLAS

ANOVA	Análise de variância
APHA	Associação Americana de Saúde Pública (American Public Health Association)
ATM	Atmosfera
BG	Baía de Guanabara
CBB	Centro de Biociências e Biotecnologia
CEDAE	Companhia Estadual de Água e Esgoto
CEPERJ	Centro Estadual de Estatísticas, Pesquisas e Formação de Servidores Públicos do Estado do Rio de Janeiro
CIBG	Centro de Informações Baía de Guanabara
CLVBB	Caldo lactosado verde brilhante, bile a 2%
COD	Carbono orgânico dissolvido
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
ECOLagoas	Estudos Ecológicos nas Lagoas Costeiras do Norte Fluminense
EMB	Agar eosina azul de metileno
EPA	Agência de Proteção Ambiental (Environmental Protection Agency)
ETE	Estação de tratamento de esgoto
FAO	Organização das Nações Unidas para Alimentos e Agricultura) Food and Agriculture Organization of the United Nations
FEEMA	Fundação Estadual de Engenharia do Meio Ambiente
FUN/F	Fundo
g	Gramma
GERCO	Gerenciamento Costeiro do Ministério do Meio Ambiente
GESAMP	Grupo de Especialistas nos Aspectos Científicos da Poluição Marinha (Joint Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine Pollution)
h	Horas



IAEA	Agencia Internacional de Energia Atomica (International Atomic Energy Agency)
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IDH	Índice de Desenvolvimento Humano
IDHM	Índice de Desenvolvimento Humano Municipal
IMCO	Organização Marítima de Consultoria Intergovernamental (Intergovernmental Maritime Consultative Organization)
INEA	Instituto Estadual de Ambiente
IPHAN	Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional
IPP	Instituto Municipal de Urbanismo Pereira Passos
JICA	Agencia de Cooperação Internacional do Japão (Japan International Cooperation Agency)
L	Litro
Log	Logaritmo
LRF	Lagoa Rodrigo de Freitas
m	Metro
m <sup>3</sup>	Metro cúbico
mg	Miligrama
min	Minuto
mL	Mililitro
mm	Milímetro
MMA	Ministério do Meio Ambiente
MoNaCagarras	Monumento Natural das Ilhas Cagarras
NMP	Número Mais Provável
OD	Oxigênio dissolvido
OMS	Organização Mundial de Saúde
PCA	Análise do Componente Principal

PDBG	Programa de Despoluição da Baía de Guanabara
PELD	Pesquisa Ecológica de Longa Duração
PIB	Produto Interno Bruto
PMSB	Plano Municipal de Saneamento Básico
PNGC	Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro
PNUMA	Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente
PPGERN	Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Recursos Naturais
PROF	Profundidade
PSAM	Programa de Saneamento Ambiental dos Municípios do Entorno da Baía de Guanabara
RJ	Estado do Rio de Janeiro
sal	Salinidade
SEA	Secretaria Estadual de Ambiente
SNIS	Sistema Nacional de Saneamento
SUP/S	Superfície
SURSAN	Superintendência de Urbanização e Saneamento
t	Tonelada
TEMP	Temperatura
T°C	Temperatura em graus Celsius
TRANSP	Transparência
UENF	Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro
UFC	Unidades Formadoras de Colônias
UFRJ	Universidade Federal do Rio de Janeiro
UN	Nações Unidas (United Nation)
UNEP	Programa das Nações Unidas de Proteção Ambiental (United Nation Environmental Program)

UNESCO	Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura
USEPA	Agencia de Proteção Ambiental dos Estados Unidos da América do Norte (Unites States Environmental Protection Agency)
VBNC	Viável, mas não cultivável
WHO	Organização Mundial da Saúde (World Health Organization)
WMO	Organização Mundial de Meteorologia ) World Meteorological Organization)
ZC	Zona Costeira

## RESUMO

O Estado do Rio de Janeiro tem um litoral com cerca de 19.000 km<sup>2</sup> de extensão e cerca de 34 municípios litorâneos, entre eles o Rio de Janeiro e Macaé. Os indicadores sociais (IDHM) e econômicos (PIB) indicam que este Estado vem melhorando ao longo dos últimos 20 anos e é considerado o estado mais urbanizado do país, com 97% de seus habitantes vivendo nos centros urbanos. Os brasileiros produzem mais de 14 milhões m<sup>3</sup> de esgoto por dia dos quais a metade é coletada e destes somente 38% é tratado. O objetivo deste estudo foi avaliar de que maneira o crescimento populacional e econômico no Estado do Rio de Janeiro afetou a qualidade sanitária de seus corpos hídricos em regiões com distintas evoluções demográficas e econômicas. Foram estudados 3 ecossistemas: uma baía tropical (Baía da Guanabara) e 2 lagoas costeiras (Lagoa de Imboassica, em Macaé e a Lagoa Rodrigo de Freitas no Rio de Janeiro). Na Baía de Guanabara analisamos os dados fornecidos pelo INEA de 1980 a 2014 e os resultados mostraram que a região noroeste da baía de Guanabara continua sendo a de pior qualidade ambiental, A melhoria dos níveis dos indicadores microbianos fecais só pode ser observada nas porções central e nordeste e pode estar ligada ao aumento da infraestrutura de esgotamento sanitário, mas, por outro lado também pode estar ligada às condições do hidrodinamismo natural deste ecossistema. O crescimento populacional e econômico do entorno da baía de Guanabara foi acompanhado, parcialmente, pelo aumento da infraestrutura de esgotamento sanitário, mas, as melhorias observadas para a coleta e o tratamento dos esgotos não acompanharam aqueles observados para o fornecimento de água no mesmo período. Os dados de coliformes (totais e termotolerantes) obtidos em 13 anos de pesquisa do projeto ECOlagoas. Foram descobertos diferentes pontos de esgoto doméstico na margem da lagoa de Imboassica, pertencente à cidade de Macaé o que favoreceu a degradação da lagoa. O crescimento populacional na zona industrial tem contribuído para aumento do aporte de esgoto na porção oeste da lagoa. Para avaliar a variabilidade temporal de curto prazo (dias) e a distribuição espacial da qualidade sanitária da coluna de água da Lagoa Rodrigo de Freitas, RJ, foram avaliadas variáveis físicas, químicas e microbiológicas (coliformes e *Enterococcus*), em um ponto fixo e em 06 estações deste ecossistema. Os dados deste estudo indicam

que, apesar das melhorias já implementadas para captação de esgoto, ainda há a descarga de esgotos, mesmo que irregular na Lagoa Rodrigo de Freitas. A Lagoa Rodrigo de Freitas continua sendo um ecossistema altamente eutrofizado, com a qualidade de sua coluna d'água afetada tanto por seu padrão de circulação quanto pela entrada de esgoto doméstico. Concluimos que, diante dos problemas que ainda observamos nestes ecossistemas, ainda são necessárias ações mais efetivas de implantação de sistemas de saneamento básico, em particular, aqueles que dizem respeito à coleta e ao tratamento de esgoto produzido por uma população sempre crescente. Não se vislumbra, mesmo após anos de diversos programas e de muito dinheiro gasto, que tenhamos encontrado e colocado em ação as soluções que sejam definitivas para resolver os problemas que levam à degradação ambiental deles.

## ABSTRACT

The State of Rio de Janeiro has a coastline of 19.000 km<sup>2</sup> of extension with 34 coastal cities including Rio de Janeiro and Macaé. The social (IDHM) and economic (PIB) indicators show that this State has improved during the last 20 years and can be considered the most urbanized state of the country, with 97% of its inhabitants living in urban centers. The Brazilians produce more than 14 million m<sup>3</sup> of sewage daily, half of which is collected and of these only but only 38% of the sewage that is collected are treated. The objective of this study was to evaluate how the population and economic growth in the State of the Rio de Janeiro has affected the sanitary quality of its aquatic ecosystems that have different demographic and economic evolutions. We studied three ecosystems: a tropical bay (Guanabara Bay) and 2 coastal lagoons (Imboassica Lagoon, Macaé and the Rodrigo de Freitas Lagoon, Rio de Janeiro). In Guanabara Bay we analyzed the data supplied by the INEA for the period of 1980 to 2014 and the results show that the northwest region of Guanabara bay has been the area with the worse environmental quality for the last 34 years .Improvement of the levels of the fecal indicators were observed in the central and northeast portions of this bay possibly as the result of an increase in the sanitary infrastructure. Imboassica Lagoon located in Macaé, RJ showed different points of domestic sewage on its margin leading to an increased degradation of this lagoon. The study of Rodrigo de Freitas Lagoon, Rio de Janeiro, to evaluate short term (days) variability and spacial distribution of microbiological indicators in the water column indicate Rodrigo de Freitas lagoon remains a highly eutrophic ecosystem, with the water column quality affected both by its circulation pattern and the entry of domestic sewage. After more than 30 years of different environmental programs and at the expense of a lot of money, we still observe environmental problems in these ecosystems as consequence of sewage pollution. So we conclude that more effective actions are necessary to improve the sanitary infrastructure, especially those regarding the collection of sewage and other effluents produced by a increasing population.

## 1. INTRODUÇÃO GERAL

As regiões costeiras englobam menos de 20% da superfície do planeta, no entanto, atualmente mais de 45% da população humana vive nestas áreas. É onde estão localizadas 75% das cidades com mais de 10 milhões de habitantes. Na verdade quase metade da população mundial (47%) vive em áreas urbanas, e espera-se que esse número cresça cerca de 2% ao ano entre 2000 e 2015 (PNUMA, 2003 e 2004).

São ambientes extremamente dinâmicos para onde convergem processos terrestres, oceânicos e atmosféricos, alterando constantemente suas características, além de ser uma área onde ocorre um grande crescimento e desenvolvimento urbano e industrial; é ainda um importante reservatório da biodiversidade biológica, dos quais depende o funcionamento do planeta (PNUMA, 2003 e 2004).

O Brasil tem uma das maiores faixas costeiras do mundo, com mais de 7.406 km de extensão entre a foz dos rios Oiapoque (4°52'45"N) e Chuí (33°45'10"S). A região costeira brasileira está situada em duas regiões climáticas distintas: a zona tropical, que envolve os estados do Norte, Nordeste e Sudeste; e zona temperada, que compreende os estados do Sul do país. (Ministério do Meio Ambiente, 2007).

### 1.1. O ESTADO DO RIO DE JANEIRO

O Estado do Rio de Janeiro está compreendido entre as latitudes 21 e 23°S e longitudes 41 e 45° W. Possui um litoral com extensão de 635 quilômetros de extensão e uma faixa continental que agrega 34 municípios litorâneos (PNUMA, 2003 e 2004; Brasil - PNGC, 2012). que vai da foz do Rio Itabapoana, no limite nordeste com o Estado do Espírito Santo, até a Ponta da Trindade, no limite oeste com o Estado de São Paulo e que é banhado pelo Oceano Atlântico. É considerada a terceira costa do Brasil, em extensão, superada em tamanho, apenas, pelos estados da Bahia e do Maranhão.

A sua Zona Costeira (ZC) abrange uma área de aproximadamente 19.000 km<sup>2</sup> e compreende uma faixa marítima de 12 milhas náuticas de extensão

É dos estados pertencentes à Região Sudeste e localiza - se na porção leste desta região. Possui uma área de 43.766,6 km<sup>2</sup> e está dividido em 92 municípios. É um dos menores estados do Brasil, mas, concentra cerca de 8% da população do país (IBGE, 2014). Seus limites são: o estado de Minas Gerais ao norte e noroeste; o Oceano Atlântico ao sul e também a leste; o estado de São Paulo a sudeste e, a nordeste o estado do Espírito Santo.

Os indicadores sociais e econômicos como, por exemplo, o IDH (Índice de desenvolvimento humano) indicam uma melhora, ao logo dos últimos 20 anos, no Estado do Rio de Janeiro que em 2010 era de 0,761, colocando - o em 4º lugar do Brasil neste quesito. E em relação PIB (Produto Interno Bruto), o estado do RJ é considerado a segunda maior economia do Brasil com uma participação no produto interno bruto nacional de 15,8%, abaixo apenas de São Paulo, (Menicone *et al*, 2012; IBGE, 2014).

De acordo com o censo demográfico de 2010, o Estado do Rio de Janeiro tinha 15.993.583 habitantes, sendo o terceiro em população, depois de São Paulo (41.252.160 hab.) e Minas Gerais (19.595.309 hab.). É considerado o estado mais urbanizado do país, com 97% de seus habitantes vivendo nos centros urbanos (IBGE, 2010).

Considerando se a importância dos ambientes costeiros e a quantidade de dejetos oriundos dos habitantes dos centros urbanos localizados no litoral, é importante considerar a necessidade do monitoramento a curto e a longo prazo, da qualidade dos ecossistemas aquáticos costeiros com a finalidade de justificar e prever ações que garantam a sobrevivência das futuras gerações no seu entorno de maneira salutar e humanitária.



## 2. OBJETIVOS

### 2.1. OBJETIVO GERAL

Avaliar de que maneira o crescimento populacional e econômico no Estado do Rio de Janeiro afetou a qualidade sanitária de seus corpos hídricos em regiões com distintas evoluções demográficas e econômicas.

### 2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Avaliar as mudanças apresentadas na qualidade sanitária das águas de uma baía tropical (Baía da Guanabara) nas últimas 4 décadas, enfocando no papel das Estações de Tratamento de Esgoto - ETE instaladas sobre a evolução de suas condições sanitárias

2. Analisar a degradação sanitária de uma lagoa costeira urbana provocada pelo rápido crescimento populacional em uma cidade costeira, Macaé (RJ, Brasil).

3. Avaliar a variabilidade temporal de curto prazo (dias) e a distribuição espacial da qualidade sanitária (segundo algumas variáveis físicas, químicas e microbiológicas) da coluna de água da Lagoa Rodrigo de Freitas, Rio de Janeiro e se esta variabilidade afeta os níveis de balneabilidade deste ambiente.

### **3. O USO DE INDICADORES MICROBIANOS PARA MONITORAR A QUALIDADE DE ÁGUA EM ECOSISTEMAS COSTEIROS SUBMETIDOS AO APORTE DE ESGOTOS DOMÉSTICOS**

As atividades humanas nas regiões costeiras resultam na produção de resíduos que resultam na introdução de nutrientes, na alteração ou destruição de habitats, em alterações na sedimentação, na poluição industrial, principalmente de poluentes persistentes e constituem-se nos maiores impactos ambientais na zona costeira mundial e brasileira (PNUMA, 2003 e 2004; Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE, 2000 e 2011; Abessa *et al*, 2012).

Segundo resultados do GERCO (Gerenciamento Costeiro do Ministério de Meio Ambiente – MMA), o litoral brasileiro recebe mais de 3000 toneladas de poluentes líquidos por dia (Brasil - PNGC, 2012). Estes resultados indicam que os despejos poluidores são constituídos, principalmente de efluentes industriais e esgotos domésticos. Os 4 estados que recebem a maior carga tóxica são: Rio de Janeiro, Bahia, São Paulo e Espírito Santo. No Rio de Janeiro, das 119.600 toneladas de efluentes industriais lançados ao oceano, 64 mil são da indústria tóxica (Brasil - PNGC, 2012).

Dentre os resíduos produzidos e despejados nos ecossistemas litorâneos, pode-se destacar os esgotos domésticos, o agente poluidor mais generalizado regiões costeiras mundiais. Os esgotos domésticos têm altas concentrações de particulados em suspensão e nutrientes além de metais, hidrocarbonetos, pesticidas e outras substâncias potencialmente tóxicas (Abessa *et al*, 2012).

No Brasil, 2.595 (44,8%) municípios não tem rede coletora de esgoto que significa que uma população de 34,8 milhões de pessoas ou 18% da população não possuem esgotamento sanitário (IBGE, 2011). Os brasileiros produzem mais de 14 milhões m<sup>3</sup> de esgotos por dia, mas, menos de 50% da população brasileira tem acesso à coleta de esgoto e destes somente 38% são tratados, levando ao despejo diário de cerca de 6 bilhões de litros de esgoto sem tratamento no ambiente (IBGE, 2011; Instituto Trata Brasil, 2015).

Na Região Sudeste mais da metade da população (69,8%) tem acesso a rede geral de esgoto, mas ainda há 1,2 milhões de pessoas sem coleta (IBGE, 2011).

O esgoto pode agir como um fertilizante, mas, pode se tornar um problema de saúde pública, uma vez que ele contém também organismos patogênicos tais como bactérias, vírus e larvas de parasitas, que irão contaminar o ecossistemas aquáticos em geral e, particularmente, as águas costeiras causando, em consequência, doenças e outros problemas para a saúde humana (PNUMA, 2003; PNUMA, 2004; Turbow *et al*, 2007).

As doenças veiculadas pela água são a maior causa de mortalidade no mundo, segundo a Organização Mundial da Saúde - OMS (Sanchez, 1999). A destinação inadequada de efluentes domésticos e industriais ajuda a explicar porque ainda estamos às voltas com males do século XIX, como febre amarela, hepatite, diarreia e mesmo a dengue. Calcula-se que no Brasil que ocorram em torno de 400 mil internações como consequência de diarreias, dos quais 53% são de crianças entre 0 e 5 anos de idade (Instituto trata Brasil, 2015).

A contaminação ambiental, associada à proliferação de bactérias, tem sido descrita em muitos ecossistemas aquáticos mundiais e corpos d'água contaminados por esgotos domésticos podem expor banhistas a bactérias, vírus e protozoários (Kolm *et al*, 1997, Sanchez, 2003; Gonzalez *et al*, 2010). Devido ao risco de exposição ou ingestão desses microrganismos, vários países adotam programas de monitoramento das águas destinadas à recreação de contato primário. Esses padrões estabelecem as densidades máximas para o indicador microbiano de qualidade da água, associadas aos riscos à saúde (Araújo, 1989; Sanchez, 2003).

Para avaliação da qualidade água, do ponto de vista bacteriológico, é imprescindível a utilização de organismos indicadores de contaminação fecal e tem-se buscado desenvolver métodos que determinem ou indiquem a pureza das águas utilizadas pelo homem (Hagler e Mendonça – Hagler, 1988; Mayr, 1998, American Public Health Association – APHA, 2000, Galvão, 2004; CONAMA, 2005).

Dentre os grupos microbianos que têm sido propostos como indicadores de poluição fecal, os mais aceitos e utilizados são os coliformes totais, coliformes termotolerantes (antes denominados de coliformes fecais), estreptococos fecais e *Clostridium perfringens* (Hagler e Mendonça – Hagler, 1988; Mendonça-Hagler *et al*, 2001; Weerelt *et al*, 2003).

A avaliação dos indicadores microbiológicos é realizada com os objetivos de monitorar, classificar e restringir o uso das águas, delimitando o grau de risco à saúde do usuário. Alguns aspectos importantes de um organismo indicador são:

1. O número de microrganismos indicadores deve estar correlacionado com o índice de poluição;
2. Ser facilmente evidenciado por técnicas laboratoriais padronizadas;
3. Sobreviver melhor e por mais tempo na água do que os microrganismos patogênicos;
4. Estar presente em maior número do que os patogênicos (sendo facilmente evidenciado);
5. Ser aplicável a todos os tipos de água.

Não se conhece nenhum microrganismo ou grupo de microrganismos que atenda a todos esses requisitos, porém, a determinação de bactérias do grupo coliformes é tradicionalmente realizada para diagnosticar onde existe ou existiu recentemente o lançamento de fezes de animais de sangue quente, principalmente do homem. Para sua quantificação são utilizadas técnicas microbiológicas que são, em geral, simples e relativamente de custo reduzido (Pelczar, 1996).

As bactérias do grupo coliforme satisfazem uma definição funcional, isto é são bactérias que fermentam a lactose, produzindo gás e acidificando o meio. Estas características são utilizadas nos métodos que utilizam meios de cultura com lactose em sua formulação. (Edberg *et al*, 2000).

As bactérias do grupo coliformes totais são caracterizadas como bacilos Gram-negativos, não formadores de esporos, facultativos (anaeróbios ou anaeróbios facultativos), que fermentam a lactose a 35-37°C com produção de ácido e gás, em um período de 24- 48 horas de incubação. Neste grupo incluem-se os gêneros *Escherichia*, *Klebsiella*, *Citrobacter* e *Enterobacter*. Estes gêneros são encontrados em ambientes naturais, tais como: solo, águas subterrâneas, vegetação e não estão necessariamente associadas à contaminação fecal, com exceção da *E. coli*.

Os coliformes termotolerantes são bactérias Gram-negativas, em forma

de bacilos, oxidase negativa, identificados pela fermentação da lactose a  $45 \pm 0,2^{\circ}\text{C}$ , com produção de ácido, gás e aldeído, após 24 horas de incubação. Este sub-grupo inclui *Escherichia coli* e estirpes termotolerantes do gênero *Klebsiella*.

As razões que fazem com que os coliformes fecais não sejam um indicador ideal são inúmeras. Pode-se citar como mais importante, a sua suscetibilidade às radiações solares e à salinidade. Os raios ultravioleta têm poder germicida e a concentração alta de sais na água do mar são fatores limitantes à sobrevivência das bactérias da cepa *Escherichia coli* nos ambientes costeiros (Fujioka, 1981; Hagler, 1986; Alkan *et al*, 1995; Menon *et al*, 2003; Galvão, 2004; Korajkic *et al*, 2013).

Por outro lado, nem sempre o nível dos indicadores que está associado à condições de ausência de risco à saúde, está bem definido e os padrões aplicados não são universais, com variações que dependem do local e do uso pretendido ((Hagler e Mendonça – Hagler, 1988; Soares, 1991; Carvalho, 1993; Pelczar *et al*, 1996 e Weerelt *et al*, 2003; Galvão, 2004).

Por outro lado, outros estudos mostram a forte correlação da presença destes organismos com microrganismos potencialmente patogênicos, tais como *Candida* e *Streptococcus faecalis* (Hagler, 1986; Gonzalez *et al*, 2010) e apesar das críticas e controvérsias levantadas quanto ao uso dos coliformes como indicadores de poluição de origem fecal e de poluição orgânica, os demais grupos de microrganismos não apresentaram vantagens capazes de superar a tradição do emprego de coliformes para a análise microbiológica da água.

Ademais, a utilização difundida mundialmente da medida da concentração dessas bactérias para o monitoramento de corpos d'água torna possível fazer comparações com outras regiões, sendo ainda um respeitado indicador de balneabilidade e potabilidade para qualificação das águas (Carvalho, 1993; Mayr, 1998).

Outros microrganismos naturais da água do mar podem ser utilizados como indicadores complementares de poluição, estando o aumento do seu nível relacionado ao aumento de matéria orgânica, isto é, podem ser indicadores indiretos do nível trófico em que se encontra este ambiente. Dentre esses microrganismos estão as bactérias heterotróficas cultiváveis totais, o

*Staphylococcus aureus*, a *Pseudomonas aeruginosa* e as leveduras, entre outros (Soares, 2003).

Atualmente a legislação federal (CONAMA) também recomenda a determinação das bactérias do grupo denominado de *Enterococcus*, que são bactérias gram-positivas, anaeróbicas facultativas, na forma de cocos, que podem ocorrer como células isoladas em pares ou sob a forma de pequenas cadeias.

No Brasil, o estudo qualitativo e quantitativo de bactérias patogênicas e o monitoramento da qualidade sanitária das águas marinhas e estuarinas são de suma importância e segundo Kolm e Andretta (2003), poucos estudos foram efetuados em ambientes litorâneos do sul do país.

A baixa quantidade de publicações no Brasil é surpreendente diante da importância sanitária de se investigar a presença de coliformes como indicadores da qualidade da água em ecossistemas costeiros. Dentre os trabalhos encontrados há uma concentração de trabalhos publicados que se referem a áreas urbanas costeiras e os resultados encontrados mostram que estes ecossistemas se encontram fora dos padrões recomendados.

Percebe-se também que no Brasil há uma concentração de trabalhos publicados por alguns grupos que atuam nos estados do nordeste, sudeste e sul, tais como no Ceará, na Bahia, no Rio de Janeiro, em São Paulo, no Paraná e Rio Grande do Sul e os dados encontrados se referem a áreas urbanas costeiras.

No Ceará existem os estudos efetuados por Vieira *et al* (2001 e 2004), que estudaram a qualidade sanitária das águas e areias do litoral de Fortaleza. Podemos citar também os trabalhos de Nascimento *et al* (2001), Souza *et al* (2004) e Vieira *et al* (2004), que determinaram os níveis e isolaram *Vibrio parahaemolyticus*, *Vibrio cholerae*, *Vibrio vulnificus* e *Vibrio alginolyticus*, *Providencia* sp, *Klebsiella* sp, *Morganella morganii*, bactérias dos grupos das famílias das Enterobacteriaceae e Pseudomonaceae, tais como as das espécies *Escherichia coli*, *Klebsiella pneumoniae*, *Enterobacter cloacae*, *Pantoea agglomerans* e *Pseudomonas aeruginosa*, além de detectarem a presença de *Salmonella* sp em moluscos e crustáceos.

No estado do Rio de Janeiro existem diversos estudos das águas e da biota do litoral, com especial atenção para a Baía de Guanabara, as praias dos municípios do Rio de Janeiro e Niterói e suas lagoas costeiras. Podemos citar os

trabalhos de Araujo, 1989, sobre a qualidade microbiana das águas destinadas ao contato primário e extração de moluscos; a determinação de *Staphylococcus aureus* e *Streptococcus faecalis* em águas naturais e marinhas do Rio de Janeiro (Araújo *et al*, 1990) e a classificação das águas urbanas costeiras do Rio de Janeiro, baseado nas contagens de coliformes (Araujo *et al*, 1991).

Estudos com *Pseudomonas aeruginosa* e outros indicadores de poluição fecal em águas naturais e marinhas, com bactérias aquáticas de lagoas costeiras de Maricá, e na Lagoa Rodrigo de Freitas, RJ foram efetuados por Guimarães *et al* (1993), Gomes (1997); Gomes *et al* (1998); Gonzalez e Lutterbach (2000) e Gonzalez (2001).

Uma série de artigos sobre diversos indicadores microbiológicos dos níveis de poluição do estado do Rio de Janeiro e de águas tropicais e subtropicais foram publicados por Hagler *et al* (1981, 1986, 1988) e Kosawa da Costa (1988 e 2003) e Kosawa da Costa *et al*. (1991) têm diversos estudos sobre a qualidade da água e do mexilhão *Perna perna* da Baía de Guanabara e de praias do Rio de Janeiro e Niterói.

Os trabalhos de Mayr (1998), Mayr *et al* (1999); Paranhos *et al* (1995) na Baía de Guanabara e os de Taketani *et al* (2003) na Lagoa Rodrigo de Freitas, mostram o aumento crescente da contaminação das águas costeiras do Estado do Rio de Janeiro.

Segundo Kolm e Andretta (2003) poucos estudos foram efetuados em ambientes litorâneos do sul do país. Podemos citar os estudos sobre a produção do fitoplâncton e a cadeia trófica na Lagoa dos Patos no Rio Grande do Sul, a dinâmica bacteriana e sua relação com a produção fitoplanctônica e o material em suspensão e a relação significativa entre as bactérias e os níveis de fosfato (Abreu e Odebrecht, 1995).

As bactérias ao longo das Baías de Paranaguá e Antonina no Paraná foram estudadas por Kolm *et al* (2002) e os autores concluíram que há uma correlação positiva com o índice pluviométrico e influência das águas da plataforma continental e das águas continentais.

Além destes existem estudos efetuados na costa de São Paulo, como os de Sanchez *et al* (1986) que avaliaram a qualidade sanitária das águas e areias usadas para recreação ou de contato primário das praias do Estado de São Paulo

e os de Braga *et al* (2000) bem com os de Oliveira *et al* (2007) que estudaram a eutrofização da Baixada Santista.

Nestes trabalhos, entre outros foram determinados os níveis de coliformes totais e o termotolerantes. Os dados levantados mostram que 64% dos ecossistemas se encontram com a água fora dos padrões recomendados pelo CONAMA em suas Resoluções 274 de 29/11/2000 que revisa os critérios de balneabilidade em águas brasileiras e a 357 de 17/03/2005, que dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, mostram que estes níveis estão relacionados com a crescente contaminação da costa por esgotos e galerias pluviais contaminadas e que levam esta contaminação para os ambientes costeiros urbanos brasileiros estudados. Em alguns estudos a presença destes indicadores está diretamente correlacionada com a presença de microrganismos patogênicos presentes na água ou em organismos de importância comercial.

Os organismos potencialmente patogênicos chegam às extensões hídricas procedentes das excreções intestinais do homem e de outros animais homeotérmicos. Assim, uma alternativa para a avaliação da qualidade sanitária da água é a pesquisa de organismos não patogênicos constituintes da microbiota normal das fezes de animais homeotérmicos. A presença de tais organismos indica a ocorrência de contaminação fecal, evidenciando o risco da presença de patógenos (Carvalho, 1993; Taketani *et al*, 2003; Bonilla *et al*, 2007).

O termo qualidade de água é utilizado para descrever as propriedades físicas, químicas, biológicas e estéticas da água de acordo com critérios estabelecidos que determinem suas condições quanto aos diversos usos e quanto à proteção da sustentabilidade dos ecossistemas aquáticos. Um monitoramento, com análises de amostras de água, permite acompanhar as alterações e/ou perturbações de um determinado ambiente aquático. As análises podem abordar todos os parâmetros citados ou, ainda, uma combinação destes e outros que possam tornar o estudo mais específico.

No Brasil, a legislação federal classifica os corpos hídricos pertencentes ao Território Nacional através das Resoluções do CONAMA nº 357 que estabelece os limites e padrões para os indicadores físicos, químicos e



microbiológicos de acordo com a qualidade requerida para seus usos preponderantes.

A Resolução CONAMA nº 274, de 29 de novembro de 2000 que dispõe sobre a balneabilidade em águas brasileiras, define a recreação de contato primário: como aquela que existe quando houver o contato direto do usuário com os corpos de água. De acordo com esta resolução as águas consideradas próprias poderão ser subdivididas nas seguintes categorias:

1. Excelente: quando em 80% ou mais de um conjunto de amostras obtidas em cada uma das cinco semanas anteriores, colhidas no mesmo local, houver, no máximo, 250 coliformes termotolerantes ou 200 *Escherichia coli* ou 25 *Enterococcus* por 100 mL;
2. Muito boa: quando em 80% ou mais de um conjunto de amostras obtidas em cada uma das cinco semanas anteriores, colhidas no mesmo local, houver, no máximo, 500 coliformes termotolerantes ou 400 *Escherichia coli* ou 50 *Enterococcus* por 100 mL;
3. Satisfatória: quando em 80% ou mais de um conjunto de amostras obtidas em cada uma das cinco semanas anteriores, colhidas no mesmo local, houver, no máximo, 1000 coliformes termotolerantes ou 800 *Escherichia coli* ou 100 *Enterococcus* por 100 mL.

Em resumo, são consideradas próprias ao contato primário, águas que apresentarem no máximo 1000 NMP.100mL<sup>-1</sup> de coliformes termotolerantes para 80% ou mais de um conjunto de amostras colhidas no mesmo local ou se transformado em Log<sub>10</sub>, no máximo 3 NMP.100mL<sup>-1</sup>. Isto significa que até 20% das amostras analisadas podem apresentar resultados acima do estabelecido pela legislação.

## 4. CONSEQUÊNCIAS DA CONSTRUÇÃO DAS ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ESGOTO (ETEs) SOBRE A EVOLUÇÃO SANITÁRIA DA BAIÁ DE GUANABARA

### 4.1. INTRODUÇÃO

A Região Metropolitana da cidade do Rio de Janeiro concentra 74% (11.838.752 habitantes) da população do Estado com uma densidade demográfica de 2.226 hab/km<sup>2</sup> e mais de 2/3 dessa população estão no entorno da Baía de Guanabara (CIBG, 2001).

Na capital do estado, a cidade do Rio de Janeiro, vivem 6.323.037 pessoas, de acordo com o censo de 2010 (IBGE, 2010), mas, as estimativas para 2014 são de que já ultrapassamos a marca dos 6.400.000 habitantes (IBGE, 2014<sup>a</sup>).

A bacia hidrográfica da Baía de Guanabara tem cerca de 4.000km<sup>2</sup> e é formada pelos municípios de Duque de Caxias, São João de Meriti, Belford Roxo, Nilópolis, São Gonçalo, Magé, Guapimirim, Itaboraí, Tanguá e partes dos municípios do Rio de Janeiro, Niterói, Nova Iguaçu, Cachoeiras de Macacu, Rio Bonito e Petrópolis, a maioria localizada na Região Metropolitana do Rio de Janeiro (figura 1) (CIBG, 2001).



**Figura 1:** A Baía de Guanabara e os Municípios do seu entorno (fonte CIBG, 2001).

Os processos de modernização e urbanização da cidade do Rio de Janeiro com a ocupação desordenada aliada a falta de condições de saneamento básico foram e são fatores fundamentais no processo de contaminação por lixo, esgoto e efluentes industriais das águas da Baía de Guanabara, contribuindo, portanto, para a destruição do habitat desta baía (Pereira, 2003).

Na cidade do Rio de Janeiro, cerca de 50% (47,18%) do esgoto coletado não recebe tratamento, o que coloca o Rio de Janeiro em 56º lugar no ranking das 100 maiores cidade do Brasil em termos de saneamento básico (Instituto Trata Brasil, 2015; IBGE, 2000 e 2011).

A falta de tratamento dos esgotos sanitários é a principal fonte de poluição da Baía. As redes coletoras são insuficientes e, nas áreas mais carentes da bacia, correm a céu aberto. O que observamos é que a baía é o receptor final de todos os rios, canais e galerias, isto é, dos esgotos que chegam *in natura* (Coelho, 2007).

A baía recebe cerca de 18,6 m<sup>3</sup>/s de esgoto bruto provenientes de uma população de mais de 11 milhões de pessoas que lança diariamente seus esgotos não tratados (uma carga orgânica estimada em 470 t de DBO) e 5,5 t de lixo. (FEEMA, 1990 e 1998, Coelho, 2007, Menicone *et al* 2012).

Já foram realizados diversos estudos referentes a qualidade sanitária na Baía de Guanabara. Podemos citar, entre outros, os estudos de Hagler *et al* (1986); Kosawa da Costa (1988 e 2003); Araújo *et al* (1989, 1990 e 1991); Kosawa da Costa *et al* (1991); Guimarães *et al* (1993); Paranhos *et al* (1995); Gonzalez *et al* (2000); Paranhos *et al* (2001); Paranhos (2002); Macedo *et al* (2002); Ribeiro e Kjerfve (2002); Andrade *et al* (2003); Brito *et al* (2006); Vieira *et al* (2007<sup>a</sup> e 2007<sup>b</sup>) e Signori (2014).

Estes trabalhos incluíram também a determinação dos níveis de coliformes totais e o termotolerantes e os resultados mostram que 64% das amostras de água da Baía de Guanabara das áreas estudadas nestes trabalhos estão fora dos padrões recomendados pelo CONAMA em suas Resoluções nº 274 de 29/11/2000 e nº 357 de 17/03/2005,

Devido à importância econômica e reconhecida degradação ecológica e sanitária deste ecossistema, diversos programas foram desenvolvidos para tentar recuperar a qualidade das águas da baía. Entre tantos, podemos citar: programa

de despoluição da Baía de Guanabara do Ministro Andreazza, na década de 80; o projeto de recuperação gradual do ecossistema da Baía da Guanabara, coordenado pela FEEMA, o acordo de cooperação técnica com a Japan International Cooperation Agency (JICA) e, o Programa de Despoluição da Baía de Guanabara (PDBG) teve início em 1994 (Amador, 1997).

A implantação de estações de tratamento de esgoto (ETE) teve início no século XIX (tabela 1). Percebe-se que há hiatos na implantação das ETE's de 1949 a 1960 (Coelho, 2007). Outro hiato ocorre entre 1970 e 1994, quando foi implantada a estação de tratamento de esgotos (ETE) da Penha e nada foi feito até 1994, quando houve a implantação da lagoa de estabilização do Jardim Gramacho. Na década de 1980 não houve qualquer tipo de investimento em obras para o esgotamento sanitário (Coelho, 2007).

Até 1979 a vazão acumulada de esgoto tratado era de  $4.198,20 \text{ l.s}^{-1}$ , até o final da década de 1990 era de  $5.889,20 \text{ l.s}^{-1}$ , o que significa um aumento de 40% no volume de esgoto tratado. Entre os anos de 2000 e 2007 a vazão acumulada de esgoto tratado passou de  $6.889,20$  para  $14.242,20$ , ou seja, mais de 100% de aumento no volume de esgoto tratado (Coelho, 2007).

**Tabela 1:** Evolução do tratamento de esgotos na bacia da Baía da Guanabara (Fonte: modificado de Coelho, 2007)

ETE	Data	Vazão (l/s)	Vazão acumulada (l/s)	Tipo de tratamento
Glória	1864	28.00	28,00	Primário/Químico
Gamboa	1865	35.00	63,00	Primário/Químico
Arsenal	1866	50.00	113,00	Primário/Químico
São Cristóvão	1877	30.00	143,00	Primário/Químico
Botafogo	1878	30.00	173,00	Primário/Químico
Alegria	1884	25.00	198,00	Primário/Químico
Paquetá	1910	5.00	203,00	Filtro biológico
Penha	1940	70.00	273,00	Primário
Icaraí	1944	168.00	441,00	Secundário/Filtro biológico
Penha	1949	140.00	581,00	Primário
Penha	1960	434.00	1.015,00	Secundário/Filtro biológico
Realengo	1966	38.00	1.053,00	Filtro biológico
Galeão	1966	34.50	1.087,50	Secundário incompleto
Vila Kennedy	1967	3.50	1.091,00	Vala de oxidação
ETIG	1969	200.00	1.291,00	Lodos ativados
Coqueiro	1970	3.50	1.294,50	Vala de oxidação
Realengo	1972	70.00	1.364,50	Filtro biológico
Acari	1973	70.00	1.434,50	Secundário/compacta
Pavuna	1973	2.40	1.436,90	Vala de oxidação
Ceasa	1974	22.00	1.458,90	Aeração prolongada
Morro União	1976	25.00	1.483,90	Vala de oxidação
Acari	1976	210.00	1.693,90	Secundário/compacta
Vila Kennedy	1977	8.30	1.702,20	Vala de oxidação
Galeão	1977	60.00	1.762,20	Secundário completo
Icaraí	1978	650.00	2.412,20	Lodos ativados
Palmares	1979	100.00	2.512,20	Vala de oxidação
Penha	1979	1,686.00	4.198,20	Lodos ativados /Fil.biológ.
Jd. Gramacho	1994	374.00	4.572,20	Lagoa de estabilização
Paquetá	1998	27.00	4.599,20	Secundário
ETIG	1998	525.00	5.124,20	Lodos ativados
São Gonçalo	1998	765.00	5.889,20	Primário convencional e lodos ativados
Pavuna Meriti	2000	1,000.00	6.889,20	Primário
Sarapuí	2000	1,000.00	7.889,20	Primário
Alegria	2001	5,000.00	12.889,20	Primário
Mocanguê	2002	15.00	12.904,20	Biológico/Nível secundário
Icaraí	2003	975.00	13.879,20	Primário/Emissário Submarino
Toque-Toque	2004	220.00	14.099,20	Biológico/Nível secundário
Jurujuba	2005	30.00	14.129,20	Biofiltro aerado
Barreto	2007	120.00	14.249,20	Biológico/Nível secundário

Segundo a Secretaria de Meio Ambiente do Estado do Rio de Janeiro, a partir de 2007 as últimas ações previstas no PDBG foram finalizadas e então teve início o Programa de Saneamento dos Municípios do Entorno da Baía de Guanabara (PSAM) – uma das principais iniciativas do “Plano Guanabara Limpa” (Rio de Janeiro - SEA, 2014).

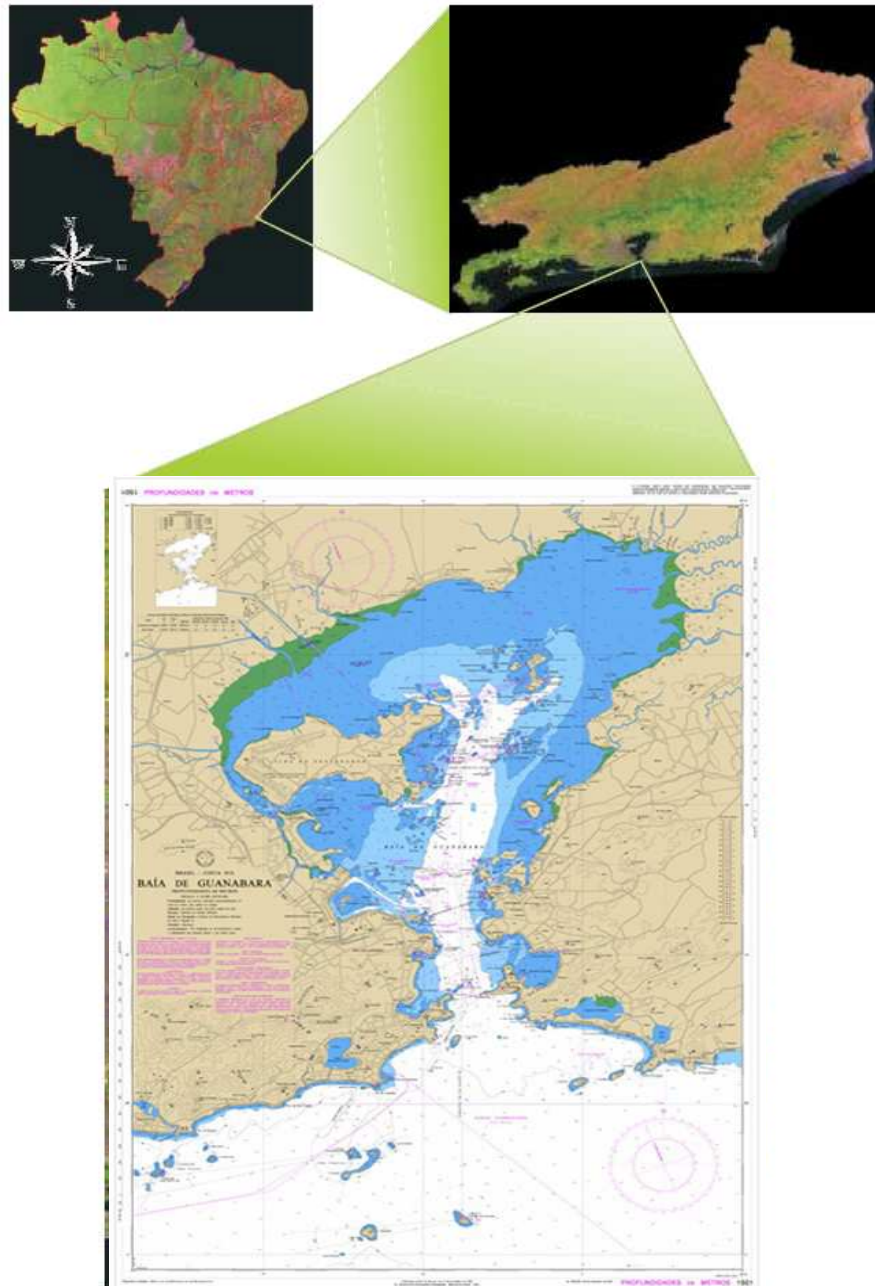
Dados do governo do estado do Rio mostram resultados significativos: para o período de 2007 a 2012, com a quantidade de esgoto tratado passando de 2 mil litros por segundo para 6 mil litros por segundo. A meta do Governo do Estado é ampliar esse tratamento, em regime secundário, para 16 mil litros de esgoto por segundo até a realização dos Jogos Olímpicos, em 2016 (Rio de Janeiro - SEA, 2014).

Este capítulo teve como objetivo avaliar as mudanças apresentadas na qualidade sanitária das águas da BG nas últimas 4 décadas, enfocando no papel das ETE instaladas no início dos anos 2000 sobre a evolução das condições sanitárias

## 4.2. MATERIAL E MÉTODOS

### 4.2.1. Área de Estudos

A Baía de Guanabara está localizada na zona costeira do Estado do Rio de Janeiro, sudeste do Brasil (figura 2) em uma região subtropical úmida (22°57' e 22°41' S; 43°02' e 43°16' O).



**Figura 2:** Localização do Brasil, do Estado do Rio de Janeiro e da Baía de Guanabara. Miranda, E. E. de; Coutinho, A. C. (Coord.). "Brasil Visto do Espaço". Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2004. Disponível em: <[www.cdbrasil.cnpm.embrapa.br/](http://www.cdbrasil.cnpm.embrapa.br/)>. E <http://www.cartasnauticasbrasil.com.br> Acesso em: 17 nov. 2005.

Com uma área total de 396 Km<sup>2</sup> e um espelho de água tem 350 km<sup>2</sup>, é a segunda baía em tamanho na costa brasileira. No seu entorno e na sua bacia hidrográfica estão localizados 80% da Região Metropolitana do Rio de Janeiro e nesta região moram 80% da população do Estado do Rio de Janeiro (Menicone *et al*, 2012).

A sua bacia de drenagem de 4.000 km<sup>2</sup> é limitada ao norte por uma cadeia de montanhas com até 2.260 m de altitude, o que favorece a lixiviação na época de chuvas, com isso a baía pode receber um volume de aproximadamente 25 m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup> de água doce nos seus 2x10<sup>9</sup> m<sup>3</sup> de água salina (FEEMA, 1990 e 1998; Coelho, 2007; Menicone *et al*, 2012).

A circulação das águas é intensa, regulada, principalmente pelas marés, a topografia e os ventos (Filippo *et al*, 2012). O canal central da baía apresenta profundidades máximas de 50 m e seu comprimento pode chegar a 1600 m da entrada da baía. Este canal central ocupa cerca de ¾ do eixo longitudinal da baía, está posicionado transversalmente à costa e a sua entrada é protegida por paredões de rocha.

Mayr *et al*. (1989) definiu os setores por seu grau de deterioração ambiental, grau de troca de água do mar, entre outros fatores.

#### 4.2.2. Coleta de dados

Para o estudo da variação temporal entre 1980 e 2014 analisamos os resultados das estações de amostragem do INEA (FEEMA) cedidas para este estudo pelo órgão, mantendo sua denominação original (figura 3).

Para este estudo foram utilizados 2 grupos de dados, a saber:

- 1- Dados fornecidos pelo INEA (FEEMA) referentes às coletas de 1980 a 2010.
- 2- Dados obtidos do projeto Baía Limpa (acesso ao site em 03/12/2014), relativos às coletas de 2013 e 2014 pelo INEA.

Todas as técnicas utilizadas pela FEEMA para determinação dos coliformes termotolerantes estão descritos no “Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater” editado por APHA (1998) e as



comparações foram analisados de acordo com os limites estabelecidos pelas Resoluções nº 357 de 17 de março de 2005 e a de nº 274 de 29 de novembro de 2000 do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA.

#### 4.2.3. Análises estatísticas

Os dados foram testados quanto à sua normalidade usando-se os testes de Shapiro-Wilk, D'Agostino e Pearson e K2 para todos os dados. Quando os dados microbiológicos não passavam neste teste foram transformados em  $\text{Log}_{10}(\text{NMP} \cdot 100\text{mL}^{-1})$  e testados quanto a normalidade.

Os resultados do INEA (1980 a 2014) foram submetidos a uma análise de agrupamento (Cluster), utilizando a métrica das distancias euclidianas e a regra de amalgamação da ligação completa (“complete linkage”).

Para verificar diferenças significativas entre estações e para diferentes períodos de tempo, utilizamos os testes paramétricos *t* de Student e a ANOVA e os testes não paramétricos Mann-Whitney e Wilcoxon, Spearman e a ANOVA de Friedman.

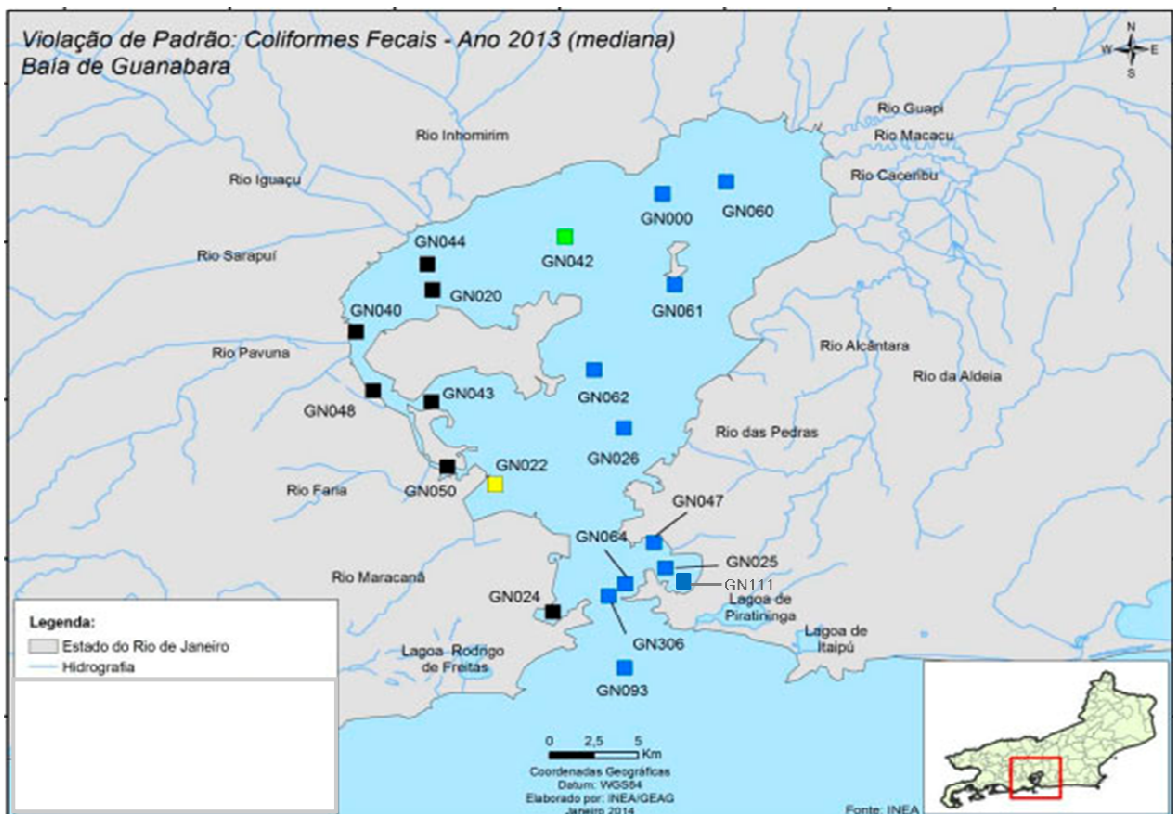
Todos os testes mencionados e utilizados foram executados com auxílio dos programas GraphPadPrism<sup>®</sup> versão 6.0.1 e Statistica<sup>®</sup> versão 7 (StatSoft Inc) e estão descritos em Gotelli & Ellison (2011) e Motulsky (2007).

As estações de amostragem foram classificadas como Próprias quando apresentassem resultados abaixo de  $1000 \text{ NMP} \cdot 100\text{mL}^{-1}$  em 80% ou mais das amostras, conforme as Resoluções nºs. 274 de 29 de novembro de 2000 e 357 de 18 de março de 2005 do CONAMA.

## 4.3. RESULTADOS

### 4.3.1. Variação temporal - Longo prazo (1980-2014)

Do total de estações de amostragem utilizadas pelo INEA (figura 3) ao longo destes 34 anos, muitas foram abandonadas e novas estações foram incluídas ao longo do tempo.



**Figura 3:** Localização das estações de amostragem (fonte INEA, 2014)

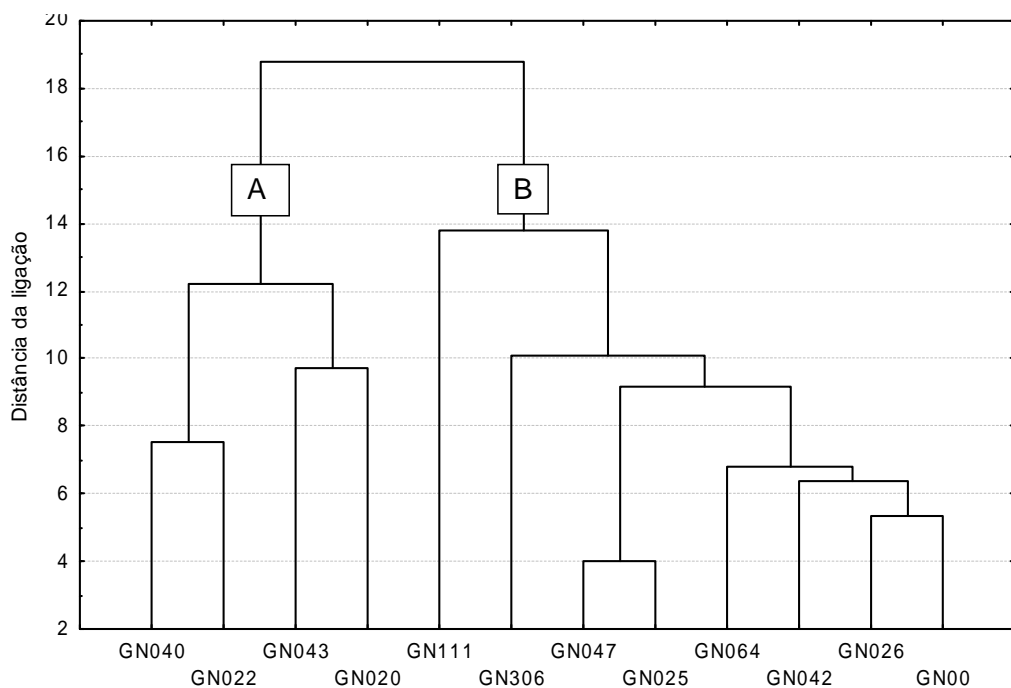
Para a análise da variação temporal no período de 1980 a 2014, analisamos somente os resultados das estações que apresentaram resultados de, no mínimo, 02 décadas, ou seja, de 1980 a 2014 e de 1990 a 2014. Todos os resultados foram transformados para  $\text{Log}_{10} (\text{NMP} \cdot 100 \text{ mL}^{-1})$  e testados quanto a sua normalidade. Algumas séries de dados passaram o teste de normalidade e outras não, portanto, optamos por aplicar os testes estatísticos não paramétricos.

O teste da ANOVA de Friedman mostrou que as diferenças entre as estações são significativas ( $p < 0,05$ ). Se levarmos em conta todas as estações

monitoradas pelo INEA no período de 1980 a 2014, as medianas dos coliformes termotolerantes variaram entre de 1,00 e 4,964  $\text{Log}_{10}$  (NMP.100  $\text{mL}^{-1}$ ) e mínimo e máximo entre 1,00 e 6,699  $\text{Log}_{10}$  (NMP.100  $\text{mL}^{-1}$ ).

#### 4.3.1.1. Análise de Agrupamento

O resultado da análise de agrupamento agrupou as estações em 02 grandes grupos (figura 4) denominados de A e B.



**Figura 4:** Análise de Agrupamento através do método das distâncias Euclidianas, ligação completa, para as estações de monitoramento de qualidade de água utilizadas pelo INEA durante o período de 1980 a 2014

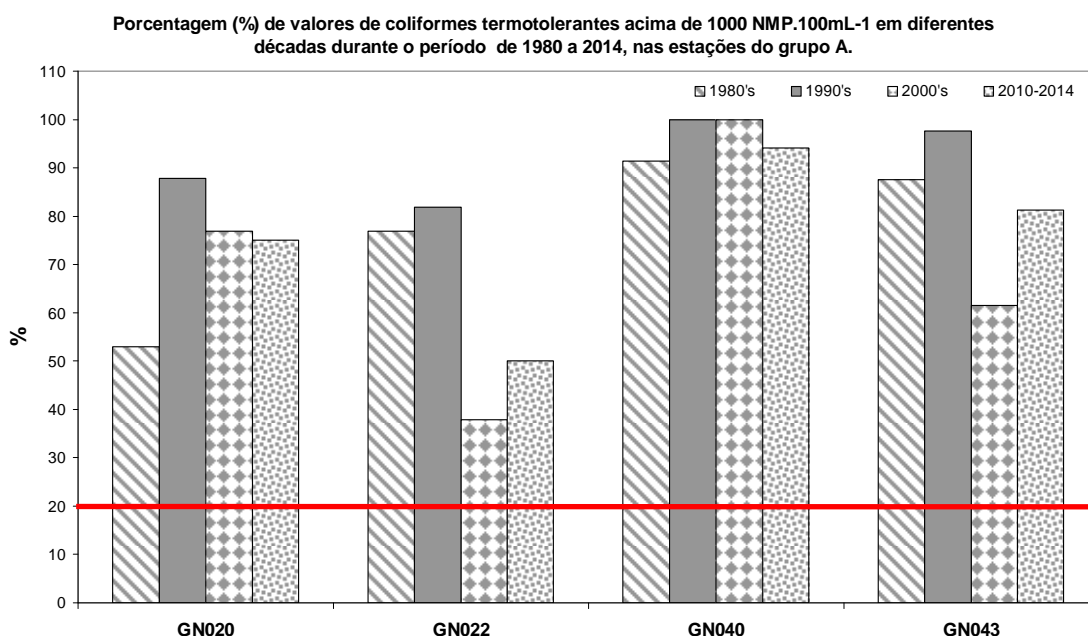
No grupo A, estão incluídas as estações GN0020, GN0022, GN0040, GN0043 e no grupo B estão as estações: GN00, GN025, GN026, GN042, GN047, GN064 GN111 e GN0306 (figura 4).

#### 4.3.1.1.1. Grupo A

Todas as estações do grupo A, estão localizadas na região mais impactada da Baía de Guanabara (noroeste), já descrita por Mayr *et al* (1996), Guimarães (2009) e Signori (2014). As medianas do grupo A variaram entre 330 e 160.000 NMP.100mL<sup>-1</sup> e as médias entre 4.827 e 311.764 NMP.100mL<sup>-1</sup>

Analisando os dados apresentados ao longo dos 34 anos, separados em décadas (1980-1989; 1990-1999; 2000-2009 e de 2010 a 2014) para as estações do grupo A, observamos que os valores de coliformes termotolerantes ficaram entre 37,93% e 100% acima do limite estabelecido pela legislação brasileira, portanto, todas as estações podem ser consideradas como Impróprias ao contato primário ao longo destes 34 anos de monitoramento (figura 5).

O período com maiores níveis de transgressão aos limites foi entre 1990 e 1999, para todas as estações. Nas décadas seguintes houve uma diminuição da porcentagem de resultados fora do limite, com exceção das estações GN022 e GN043 que apresentaram um aumento percentual de resultados acima do limite no período de 2010 a 2014, de 75.00% e 81.25%, respectivamente (figura 5).



**Figura 5:** Porcentagem (%) dos níveis de coliformes termotolerantes acima de 1000 NMP.100mL<sup>-1</sup> nas estações do grupo A, durante o período de 1980 a 2014, separados por décadas.

#### 4.3.1.1.2. Grupo B

As estações do grupo B estão localizadas na região nordeste da Baía de Guanabara, em várias praias de Niterói, entre a Ilha do Governador e a Ilha de Paquetá e no Canal Central da Baía de Guanabara. Algumas, apesar de estarem situadas na região 3 da divisão hidrográfica sugerida por Mayr *et al* (1996), apresentam menores níveis de coliformes termotolerantes, possivelmente por estarem sob maior influência da circulação de água do próprio Canal Central da Baía de Guanabara, essa região é considerada menos impactada (Mayr *et al*, 1999; Coelho, 2007, Menicone *et al*, 2012).

As medianas do grupo do grupo B variaram entre 45 e 230 NMP.100mL<sup>-1</sup> e as médias entre 747 e 4125 NMP.100mL<sup>-1</sup>.

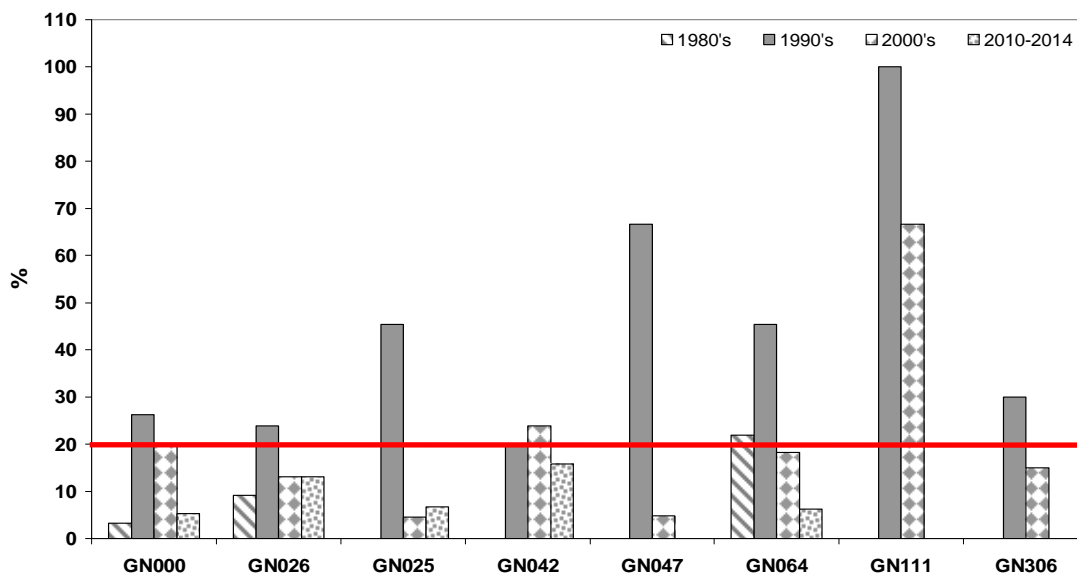
Analisando os resultados apresentados ao longo dos 34 anos, separados em décadas (1980-1989; 1990-1999; 2000-2009 e de 2010 a 2014) para as estações do grupo B, observamos que os valores de coliformes termotolerantes acima do limite estabelecido pela legislação brasileira para as estações variaram entre 0% e 100% (figura 6).

Nas estações estudadas durante a década de 1980 todas podem ser consideradas próprias, com exceção da GN064 que apresentou 21,88 % de resultados fora do limite de 1000 NMP.100mL<sup>-1</sup>(figura 6).

Assim como para o grupo A, no período de 1990 a 1999 todas as estações estiveram acima do limite de 20% de tolerância da legislação. Portanto, todas as estações podem ser consideradas como impróprias, neste período (figura 6).

Na década seguinte, com exceção da estação GN042 os níveis de coliformes termotolerantes diminuíram. As estações durante os anos 2000 a 2009 poderiam ser consideradas como próprias ao contato primário, excetuando-se a GN042 (23,81%) e GN111 (66,67%) (figura 16).

Durante o período de 2010 a 2014 todas as estações analisadas apresentaram condições próprias ao banho (figura 6).



**Figura 6:** Porcentagem (%) dos níveis de coliformes termotolerantes acima de 1000 NMP.100mL<sup>-1</sup> nas estações do grupo B, durante o período de 1980 a 2014, separados por décadas.

Para verificar a tendência dos resultados de coliformes termotolerantes ao longo dos 34 anos (1980-2014) separamos os resultados em 2 grupos:

- A: estações consideradas impróprias, ou seja, aquelas em os níveis de coliformes termotolerantes estiveram acima de 1000 NMP.100 mL<sup>-1</sup> em mais de 20% das amostras analisadas no período, em 2 períodos, o primeiro de 1980 a 1999 e o segundo de 2000 a 2014 e,
- B: estações consideradas próprias, ou seja, aquelas em que os níveis de coliformes termotolerantes estiveram abaixo de 1000 NMP.100 mL<sup>-1</sup> em 80% ou mais das amostras analisadas no período, em 2 períodos, o primeiro de 1980 a 1999 e o segundo de 2000 a 2014.

Esta divisão foi baseada na porcentagem de transgressões aos limites de propostos pelo CONAMA para o contato primário (figuras 5 e 6).

Observamos que tanto para o grupo A (estações Impróprias) quanto para o grupo B (estações Próprias) havia um aumento dos resultados de coliformes termotolerantes acima do limite estabelecido na década de 90 e que no período seguinte esta tendência parecia diminuir.

Os resultados de coliformes termotolerantes (NMP.100mL<sup>-1</sup>) foram testados mais quanto a sua normalidade e depois transformados em Log<sub>10</sub> NMP.100mL<sup>-1</sup> e novamente testados quanto à sua normalidade. No primeiro caso nenhum dos grupos testados passaram o teste e, no segundo caso apenas 1 grupo passou o teste de normalidade.

Para sabermos se os resultados observados seguem os critérios estabelecidos para o cálculo da regressão linear e podermos observar se há ou não, uma tendência futura, precisamos responder a algumas perguntas (Motulsky, 2007), como por exemplo:

1. A relação entre X e Y pode ser descrita em um gráfico por uma reta?
2. A nuvem de pontos ao redor da linha central segue uma distribuição Gaussiana (Normal) (mesmo que aproximadamente)?
3. A variabilidade é sempre a mesma?

Os dados deste estudo não preenchem nenhum destes critérios, portanto, optamos por calcular a correlação de Spearman para cada um dos grupos mencionados acima.

A correlação de Spearman para os resultados do grupo A (Impróprias) não foram significativos ( $p < 0,05$ ) para os 2 períodos analisados,  $r_s = 0.1819$  (1980-1999) e  $0.1983$  (2000-2014).

A correlação de Spearman para os resultados do grupo B (Próprias) foram significativos ( $p < 0,05$ ) para os 2 períodos analisados,  $r_s = 0.5558$  (1980-1999) e  $-0,3647$  (2000-2014).

Estes resultados sugerem que os níveis de coliformes termotolerantes para as estações Próprias (B), apresentam uma tendência significativa de aumento entre 1980 e 1999 e depois uma tendência significativa de declínio no período de 2000 a 2014, enquanto que, as estações Impróprias (A) se mantiveram com níveis acima daquelas permitidas para o contato primário ao longo dos 34 anos de estudo.

#### 4.4. DISCUSSÃO

A Baía de Guanabara apresenta distintas regiões com classes de uso, indo da conservação dos recursos naturais (classe especial), pesca, banho (contato primário- classe 1), prática de esportes como a vela, contato secundário (classe 2), navegação, entre outros. A comparação dos nossos resultados com os limites impostos pela legislação para o contato primário por um lado nos pareceu menos restritivo do que compará-los com aqueles impostos para as áreas de proteção ambiental (ausência de coliformes) ou mesmo para o cultivo de moluscos bivalves destinados à alimentação humana (43 NMP.100mL<sup>-1</sup>).

Não devemos esquecer, porém, que mesmo na prática de esportes como a vela, há contato com a água e a Organização Mundial de Saúde (OMS, 1998) preconiza que mesmo em ambientes com 50 NMP.100mL<sup>-1</sup> de *Streptococcus faecalis*, o que está dentro dos limites aceitáveis para o contato primário, a água pode infectar ou causar doenças em 5% dos banhistas (Wagener *et al*, 2012).

Os resultados dos dados analisados aqui mostram que a região noroeste da baía de Guanabara continua sendo a de pior qualidade ambiental. Esta porção da baía exibe esta característica desde a década de 80 ( Mayr, 1997, Valentin *et al*, 1999; Coelho, 2007; Guimarães, 2009; Menicone *et al*, 2012; Signori, 2014).

É uma área classificada como muito degradada, que sofreu muitos aterros (Amador, 1997; Mayr *et al*, 1999; Guimarães, 2009; Menicone *et al*, 2012; Signori, 2014) e que ainda recebe as águas dos rios São João de Meriti, Faria, Pavuna, Sarapuí, Iguaçú e Inhomirim, todos com altos índices de coliformes termotolerantes e lixo (Mayr *et al*, 1999; Coelho, 2007, Menicone *et al*, 2012, Signori, 2014).

Os diferentes graus de comprometimento da coluna de água da Baía de Guanabara seriam consequência da distribuição desigual dos focos de poluição bem como da dinâmica da circulação de água, o que possibilitaria uma diluição diferenciada dos efluentes que chegam a este ambiente (Mayr *et al*, 1999; Coelho, 2007, Menicone *et al*, 2012, Filippo *et al*, 2012).

Em relação à hidrodinâmica, a água da Baía de Guanabara é renovada diariamente, de acordo com as marés. O volume de água transportado na enchente chega a 17.620 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup> e na vazante a 5.731 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup> (Filippo *et al*, 2012). A renovação de 50% volume de água leva 11,4 dias, o que é considerado uma



renovação rápida, mas, este tempo não é o mesmo para todas as áreas da baía (Filippo, *et al*, 2012).

O noroeste da baía é a região de pior circulação de correntes. Filippo *et al*, (2012), observa que as correntes na baía são mais intensas na região nordeste (“lado direito da entrada da baía”) em comparação com aquelas observadas para a região noroeste. As correntes de superfície exibem velocidades entre  $0.65 \text{ m.s}^{-1}$  (vazante) e  $0,85 \text{ m.s}^{-1}$  (enchente) na Ilha de Villegagnon, enquanto que, na Ilha de Gragoatá (Niterói) as velocidades das correntes vão de  $1,37 \text{ m.s}^{-1}$  a  $1,56 \text{ m.s}^{-1}$ , respectivamente para vazante e enchente (Filippo *et al*, 2012).

Os autores afirmam, ainda que a região entre a Ilha do Governador e o continente também exibe diferentes intensidades nas correntes, devido ao estreitamento que existe entre a ilha e o continente (Filippo *et al*, 2012). Esta característica (a menor renovação de água) aliada ao fato de que a região noroeste da baía, também é aquela com os municípios de maior densidade populacional (Menicone *et al*, 2012) poderia explicar os níveis de comprometimento desta área.

Ao analisarmos a variação dos níveis dos coliformes termotolerantes durante as décadas de 1980-1989; 1990-1999, 2000-2009 e 2010 a 2014, nas estações desta região percebe-se que o nível destes indicadores ultrapassaram entre 37,93% e 100% os limites estabelecidos pelo CONAMA, 357 de 2005, para contato primário. Parece haver um aumento entre os anos 1980 e 1990, uma diminuição entre os anos 1990 e 2000, voltando a crescer no período de 2000 a 2014.

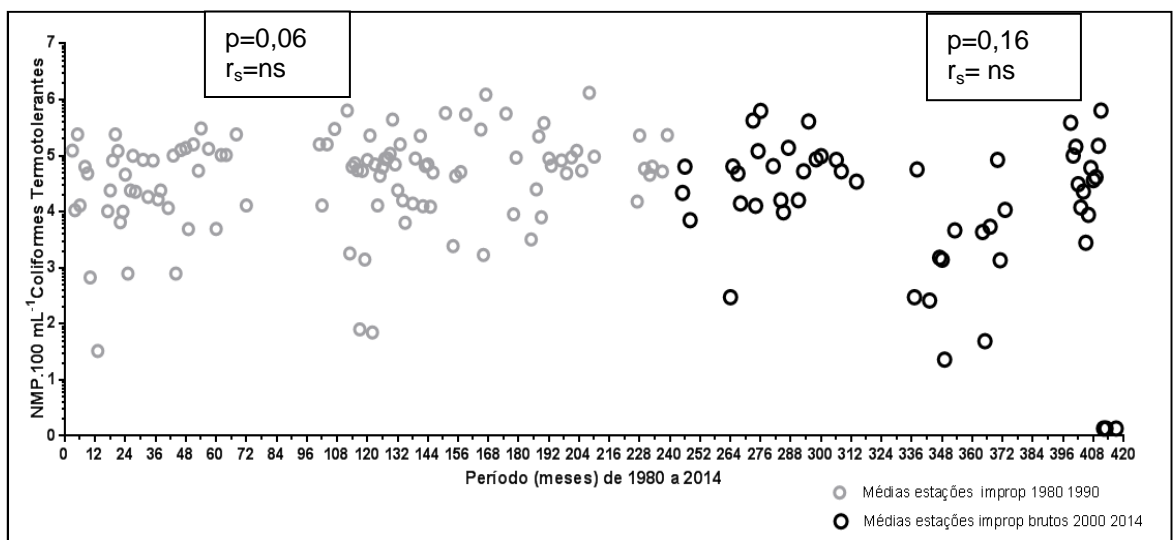
A correlação de Spearman, no entanto, não mostrou diferenças significativas entre o período de 1980 a 1999 e o período de 2000 a 2014. Mesmo os dados não satisfazendo as premissas da regressão linear, fizemos este cálculo e os resultados mostram que as retas, tanto de um período quanto de outro, não são significativamente diferentes de zero. O que nos leva a concluir que, apesar de algumas variações observadas, esta região apresenta um comprometimento ambiental desde a década de 80, e que as aparentes melhoras, quanto aos indicadores microbianos estudados aqui, não parecem ser significativas.

Os resultados observados para as estações do grupo denominado de B, classificadas como Próprias para a variação dos níveis dos coliformes

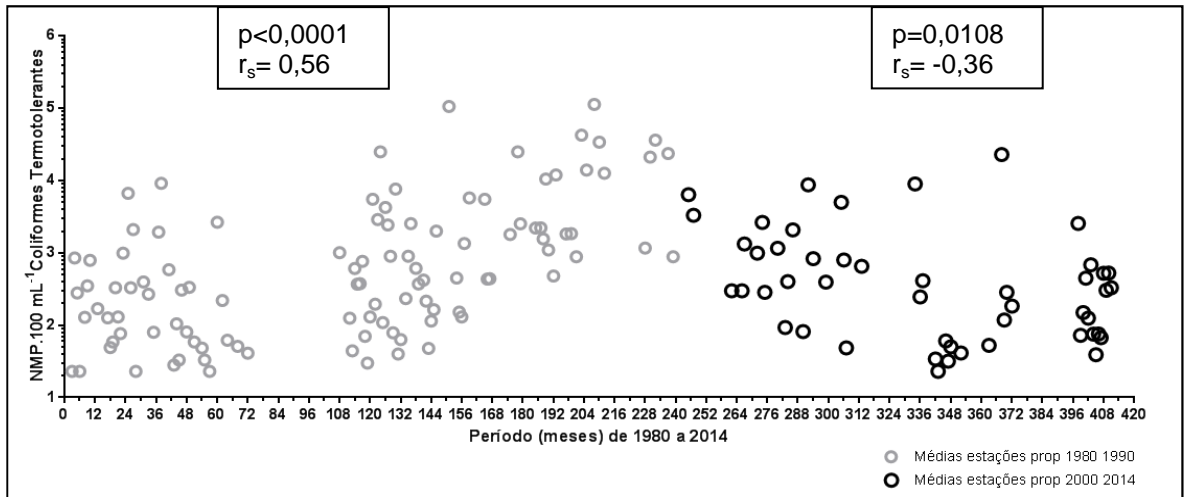
termotolerantes durante as décadas de 1980-1989; 1990-1999, 2000-2009 e 2010 a 2014, mostraram um aumento da década de 80 para a de 90, quando todas as estações estavam Impróprias ao contato primário. Após este período esta região voltou a apresentar níveis abaixo dos limites estabelecidos pelo CONAMA. São estações localizadas na região Central e Nordeste da baía, que apresenta maior circulação de água e correntes com maior velocidade.

A correlação de Spearman, tanto para o período de 1980 a 1999 quanto para o período de 2000 a 2014, mostrou correlações significativas, confirmando tanto a tendência de aumento nos níveis de coliformes termotolerantes para o primeiro período, quanto a tendência de diminuição nos níveis de coliformes termotolerantes para o segundo período.

Mesmo os dados não satisfazendo as premissas da regressão linear, fizemos o cálculo para tal (figuras 7 e 8) e os resultados mostram que as retas de um período e de outro eram significativamente diferentes de zero. Uma mostrando o aumento até o final dos anos 90 e a outra mostrando a tendência ao declínio para o período de 2000 a 2014. O que nos leva a concluir que, houve períodos quando, mesmo a área classificada como menos impactada da baía, esteve imprópria ao contato primário.



**Figura 7:** Regressão linear da média dos níveis de coliformes termotolerantes (NMP.100mL<sup>-1</sup>) das estações consideradas Impróprias (grupo A) no período de 1980 a 1999 e de 2000 a 2014. Dados INEA 1980-2014.



**Figura 8:** Regressão linear da média dos níveis de coliformes termotolerantes (NMP.100mL<sup>-1</sup>) das estações consideradas Próprias (grupo B) no período de 1980 a 1999 e de 2000 a 2014. Dados INEA 1980-2014.

O aumento da população gera maior volume de esgoto, que deveria ser coletado e tratado. A Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007, estabelece as diretrizes nacionais e a política federal para o saneamento básico.

Nesta lei saneamento básico é definido como: “...o conjunto de serviços de infraestrutura e de instalações operacionais de abastecimento de água potável, de esgotamento sanitário, de limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos e de drenagem de águas pluviais...” (Rio de Janeiro-SEA, 2015).

No seu artigo 2 ela diz que: os serviços de saneamento deverão ser prestados baseados em alguns princípios, tais como: todos deverão ter acesso ao abastecimento de água, ao esgotamento sanitário, à limpeza urbana e ao manejo dos resíduos sólidos, que todas as ações deverão ser executadas com o máximo de eficácia e realizados de formas adequadas à saúde pública e à proteção do meio ambiente

Segundo o Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento- SNIS (IBGE, 2014; Galvão *et al*, 2015; Instituto Trata Brasil, 2015) houve sim um aumento no volume de esgoto coletado entre 1995 e 2010 no Estado do Rio de Janeiro. Na região sudeste 95,1% dos municípios possui coleta de esgoto, mas, menos da metade desses (48,4%) tem sistema de tratamento de esgoto (IBGE, 2008; Dantas *et al*, 2012)

Por outro lado, a porcentagem da população urbana na Região Metropolitana do Rio de Janeiro, atendida com coleta de esgoto foi de apenas 38% em 2008 (Dantas *et al*, 2012) e passou para 58% em 2010 (CEPERJ, 2013). Em 2000, o volume de esgoto coletado diariamente no Município do Rio de Janeiro era de 802.401m<sup>3</sup>. dia<sup>-1</sup>, sendo 48% (385.307m<sup>3</sup>.dia<sup>-1</sup>) tratados, tratamento esse que, em geral, vai até a etapa secundária (IPP, 2005).

Em 2009, 75% da população do Município do Rio de Janeiro tinha coleta de esgoto e 48% deste era tratado, em 2014, 87,36% da população tinha acesso à coleta de esgoto e 53,34% deste esgoto era tratado (IBGE, 2011; Instituto Trata Brasil, 2015).

Ao compararmos os dados de 2000, 2009 e 2014, entre 2000 e 2009 a porcentagem de esgoto tratado não mudou, mas, houve um aumento em 2014, tanto para a quantidade relativa da população com acesso à rede coletora de esgoto, quanto para a porcentagem de esgoto tratado, indicando uma melhora tanto na coleta quanto na quantidade de esgoto tratado (IPP, 2005 IBGE, 2011; Instituto Trata Brasil, 2015).

Ao analisarmos, porém, a situação dos municípios da Região Metropolitana do Rio de Janeiro e, em particular, aqueles do entorno da Baía de Guanabara, percebemos que ainda há muito que fazer em relação a instalação da estrutura necessária para tanto coleta quanto para o tratamento dos esgotos produzidos pela população destas cidades.

Entre os municípios em pior situação estão São João do Meriti (RJ), que tem uma população de cerca de 460 mil habitantes, mas, a população atendida com esgotamento sanitário não chega a 50% e o esgoto tratado é de 27,35%, Belford Roxo (RJ) com cerca de 500 mil habitantes e apenas 4,26% tem algum serviço de esgotamento sanitário e Duque de Caxias (RJ) com uma população de 867mil habitantes e apenas 1% do esgoto com tratamento de esgoto (CEPERJ, 2013<sup>a</sup>, 2013<sup>b</sup>, 2013<sup>c</sup>).

Comparando-se os anos de 2012 e 2013 (tabela 2) em relação à quantidade relativa da população de alguns dos municípios da Região Metropolitana do Rio de Janeiro, percebe-se que alguns apresentaram uma melhora significativa na coleta de esgoto enquanto que outros mantiveram os

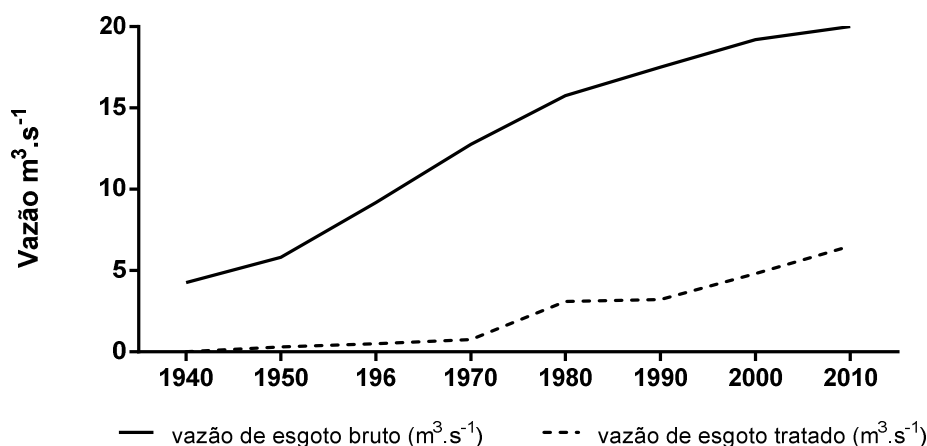
mesmo patamares ou até apresentaram uma piora em relação à porcentagem da população atendida com esgotamento sanitário (CEPERJ, 2013).

**Tabela 2:** Porcentagem da população de alguns municípios da Região Metropolitana do Rio de Janeiro nos anos de 2012 e 2013.

	Porcentagem da população com esgotamento sanitário (%) - 2012	Porcentagem da população com esgotamento sanitário (%) - 2013
Rio de Janeiro	64	81
Belford Roxo	41	34
Duque de Caxias	44	44
Niterói	32	93
Nova Iguaçu	45	45
São Gonçalo	39	39

Nota: Tabela modificada a partir das informações contidas nas tabelas do ANUÁRIO ESTATÍSTICO DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO – 2013, FUNDAÇÃO CEPERJ -

Se olharmos para o entorno da Baía de Guanabara, Coelho (2007) descreve que a vazão de esgotos brutos gerados e tratados na bacia da baía de Guanabara aumentou entre 1940 e 2010 sem que houvesse o mesmo aumento no tratamento dos esgotos (figura 9).



**Figura 9:** Vazão de esgoto bruto gerado e tratado na bacia da Baía da Guanabara.

Esta diferença seria consequência da falta de investimento na infraestrutura de saneamento básico, especificamente na coleta e no tratamento de esgotos e a consequência imediata da falta de investimento, neste período, foi o responsável pelo aumento nos níveis de coliformes termotolerantes na década de 1990, como já descrito anteriormente, em que mesmo as estações do grupo B, da região da baía considerada menos impactada apresentaram níveis acima dos permitidos para contato primário.

Mesmo com algumas melhoras, o número de residentes na Região Metropolitana do Rio de Janeiro aumentou e o acesso da população aos serviços de esgotamento sanitário, bem como o tratamento dos esgotos coletados não acompanhou este crescimento. Então porque não estamos observamos um aumento significativo nos níveis das bactérias do grupo dos coliformes?

Por um lado temos uma baía cujo tempo de renovação para 50% da sua água é de 11,4 dias, como já mencionado anteriormente (Filippo *et al*, 2012), o que confere a este ecossistema uma capacidade de renovar rapidamente a água contaminada.

Uma evidência deste fenômeno é que ela se torna fonte de contaminação para outras áreas costeiras do Rio de Janeiro, como pode ser evidenciado no entorno do Monumento Natural das Ilhas Cagarras (MoNa Cagarras). Nesta localidade os níveis encontrados para coliformes termotolerantes na estação da entrada da baía, em frente à Ilha do Cotunduba, eram comparáveis àqueles encontrados no Emissário Submarino de Ipanema (Weerelt *et al*, 2013).

Por outro lado, o decaimento das bactérias do grupo dos coliformes tem sido amplamente estudado e fatores tais como: irradiação solar (particularmente em ambiente marinhos), salinidade, temperatura e predação entre outros, podem afetar as densidades das bactérias entéricas cultiváveis (Gonzalez *et al*, 1992; Souza, 2008; Korajkic *et al* 2013<sup>a</sup> e 2013<sup>b</sup>).

A competição com a microbiota existente na coluna de água, bem como predação por protistas podem ser fatores fundamentais para eliminação destas bactérias dos ambientes aquáticos naturais (Gonzalez *et al*, 1992; Korajkic *et al* 2013<sup>b</sup>).

Korajkic *et al* (2013<sup>a</sup> e 2013<sup>b</sup>) observaram que, quando as populações de microrganismos que compõem as comunidades microbianas de ambientes

aquáticos, tais como lagos, são retirados, o decréscimo no número de células de *E. coli* era menor, apesar da exposição ao sol, do que o decréscimo observado na população destas bactérias na presença de outros microrganismos (Korajkic *et al* 2013<sup>a</sup> e 2013<sup>b</sup>). Portanto, a influência da radiação solar no controle da população das células de *E.coli* pode ser diminuída com a presença de outros microrganismos da comunidade aquática.

Em ambientes eutrofizados, também observa-se uma diminuição na taxa de mortalidade das populações de *E.coli* por radiação solar, estes microrganismos, quando presentes em ambientes com grande disponibilidade de nutrientes e matéria orgânica são considerados bons competidores, isto é, apresentam uma taxa de sobrevivência maior (Souza, 2008).

Então, a presença de outras populações de microrganismos da comunidade da Baía de Guanabara e o grau de eutrofização deste ecossistema poderia resultar na manutenção da população de *Escherichia coli* neste estuário, mas, esta baía recebe não só os esgotos domésticos, como também os efluentes de 14 mil indústrias, 14 terminais marítimos de carga e descarga de produtos oleosos e mais de 1000 postos avançados de combustível e transporte de matéria prima, tais como, combustíveis e produtos industrializados na zona urbana (Wagener *et al*, 2012). Das 14 mil indústrias, 400 são responsáveis por 80% da contaminação da baía e são fontes de, entre outros, de altas concentrações de hidrocarbonetos, ftalatos, dioxinas, dibenzofuranos, organoclorados (Wagener *et al*, 2012).

O esgoto doméstico também carrega metais pesados, substâncias orgânicas persistentes, fármacos, como por exemplo: antibióticos, hormônios, analgésicos e outros produtos sintéticos que foram incorporadas às atividades domésticas como os detergentes e os solventes (Wagener *et al*, 2012).

Ainda não podemos esquecer que em 2000, um oleoduto de óleo combustível se rompeu, despejando na Baía de Guanabara 1300m<sup>3</sup> de óleo diesel e óleo combustível pesado Wagener *et al* (2012) e mesmo 10 anos depois são encontradas concentrações de HPA's comparáveis aquelas de locais com as chamadas fontes intensas de hidrocarbonetos, como o Golfo de Omã (Wagener *et al*, 2012).

Todas estas substâncias, podem dificultar e mesmo impedir a sobrevivência das bactérias, aí incluídas as do grupo dos coliformes. Staley e colaboradores (2011), estudando os efeitos de pesticidas (atrazina, malation e clorotalonila) e fertilizadores inorgânicos na sobrevivência de *Escherichia coli* e *Enterococcus* mostraram que nos microcosmos expostos à luz, a atrazina diminuiu significativamente as densidades de *E. coli* na coluna de água e aumentou nos sedimentos, ou seja, esta substância parece não afetar diretamente a sobrevivência dos microrganismos fecais, mas, sim sua distribuição através da alteração da comunidade fitoplanctônica (Staley *et al*, 2011).

Concluimos que a taxa de sobrevivência das populações de *E.coli* pode, por um lado, ser garantida por fatores tais como: a presença de outros microrganismos pertencentes a sua comunidade natural, ambiente ser eutrofico e, por outro lado, a taxa de mortalidade dos coliformes pode ser aumentada por radiação solar, aumento de salinidade da coluna de água, aumento na densidade de organismos predadores e, a presença de substâncias tóxicas, como as mencionadas acima.

Finalmente é preciso ressaltar que, mesmo com a variabilidade espacial e temporal observada neste estudo, os níveis de coliformes termotolerantes estão longe de poderem ser considerados dentro dos limites classificados como próprios para este ecossistema, uma vez que a área da baía mais impactada continua com densidade de coliformes termotolerantes muito acima daqueles permitidos para o contato primário.

#### 4.5. CONCLUSÕES

Esta baía, com sua bacia de drenagem, suas praias e os manguezais do seu entorno é, portanto, um dos sistemas costeiros mais severamente eutrofizados, mas, ainda apresenta enorme potencial em recursos vivos, uma vez que muitas de suas enseadas apresentam diferentes níveis de qualidade de água (FEEMA, 1990 e 1998, Paranhos, 1998, Mayr *et al*, 1999, Marazzo e Valentin 2003 a e b Coelho, 2007, Menicone, 2012)

Os resultados dos dados analisados aqui mostram que a região noroeste da baía de Guanabara continua sendo a de pior qualidade ambiental, O nível dos coliformes termotolerantes para as estações localizadas nesta região, durante os



34 anos analisados neste estudo, mostram que estes estiveram sempre acima daqueles indicados pelo CONAMA, 357 de 2005, para contato primário.

A melhoria dos níveis dos indicadores microbianos fecais só pode ser observada nas regiões central e oeste da baía de Guanabara e pode estar ligada ao aumento da infraestrutura de esgotamento sanitário nos municípios desta região.

Diante dos problemas que ainda observamos neste ecossistema vital para as populações que vivem em seu entorno ainda são necessárias ações efetivas de saneamento, não se vislumbra, mesmo após anos de diversos programas e de muito dinheiro gasto que tenhamos encontrado e colocado em ação soluções que sejam definitivas para a histórica degradação ambiental da baía

A baía pode se tornar fonte de contaminação para outras áreas costeiras do Rio de Janeiro, como pode ser evidenciado no entorno do Monumento Natural das Ilhas Cagarras (MoNa Cagarras), onde os níveis encontrados para coliformes termotolerantes na estação da entrada da baía, em frente à Ilha do Cotunduba, eram comparáveis àqueles encontrados no Emissário Submarino de Ipanema (Weerelt *et al*, 2013)

Estes resultados mostram que estas áreas não deveriam ser destinadas as atividades tais como: a recreação de contato primário, para a prática de esportes aquáticos e mesmo para a extração ou para o cultivo de espécies marinhas comestíveis. Estes dados ajudam a explicar porque ainda estamos às voltas com males do século XIX, como febre amarela, a hepatite, a diarreia e mesmo a dengue (IBGE,2000)

Por outro lado, não explica a falta de estudos publicados sobre estes indicadores tão importantes. É necessário que haja um banco de dados atualizados sobre os ecossistemas costeiros brasileiros

## 5. HETEROGENEIDADE DA DEGRADAÇÃO SANITÁRIA DE UMA LAGOA COSTEIRA TROPICAL URBANA INFLUENCIADA PELO CRESCIMENTO POPULACIONAL

### 5.1. INTRODUÇÃO

O ambiente aquático apresenta uma variedade de nichos ecológicos com características peculiares que permitem a sustentação uma enorme e diversa biota. Uma destas características é a alta capacidade de solubilização de compostos orgânicos e inorgânicos que possibilitam aos organismos, especialmente os autotróficos, que absorvam através da superfície do corpo, nutrientes necessários à sua sobrevivência. Além disso, a distribuição diferenciada de gases dissolvidos, nutrientes, sais minerais, temperatura, incidência de luz, influenciam e muito a distribuição da biota, especialmente a microbiota (Esteves, 1998; Kirshman, 2000; Rheinheimer, 1994; Tanaka *et al*, 2007).

Os ecossistemas aquáticos costeiros são importantes reservatórios de água, fundamentais para a sobrevivência de organismos, plantas e animais. As demandas industriais, agrícolas e o crescimento populacional geram permanentemente pressão sobre esses ecossistemas e sobre os seus múltiplos usos (Tundisi, 2003).

As atividades antropogênicas deixam as lagoas costeiras susceptíveis a eutrofização devido ao aumento do aporte de nutrientes, como nitrogênio e fósforo (Liikanen, 2003) e a utilização destes ecossistemas como receptores de esgotos favorecem também a degradação sanitária do ecossistema aumentando a possibilidade de doenças entéricas (Tundisi, 2003).

A crescente pressão sobre os corpos hídricos, correlacionada com a densidade populacional que utiliza a bacia hidrográfica, leva a diminuição da quantidade e da qualidade de água disponível, além de aumentar os custos para o seu tratamento (Margalef, 1983).

## 5.2. A CIDADE DE MACAÉ

A cidade de Macaé pertence à Região Norte Fluminense, que também abrange os municípios de Campos dos Goytacazes, Carapebus, Cardoso Moreira, Conceição de Macabu, Quissamã, São Fidélis, São Francisco de Itabapoana e São João da Barra. Macaé está localizada a latitude de 22,37° Sul e longitude de 41,79° Oeste (IBGE, 2000) e faz divisa com as cidades de Quissamã, Carapebus e Conceição de Macabu, ao Norte; Casimiro de Abreu, ao Sul; Trajano de Moraes e Nova Friburgo, a Oeste; Rio das Ostras, a Sudoeste e com o Oceano Atlântico, a Leste, (IBGE, 2000).

O município tem uma área total de 1.215 Km<sup>2</sup> (IBGE, 1997), correspondentes a 12,5% da área da Região Norte Fluminense. Está localizada entre duas importantes capitais de Estado, Rio de Janeiro e Vitória, distando da primeira 182 quilômetros e tendo como principais acessos a BR-101 e a Rodovia Amaral Peixoto (RJ 106). A cidade possui malhas rodoviária e ferroviária, um aeroporto e um porto, hoje operado pela Petróleo Brasileiro (PETROBRAS).

O ciclo do petróleo tem sido o responsável pelo desenvolvimento da cidade nos últimos 20 anos. Em alto-mar, está a mola mestra da economia de Macaé. Retirando de profundidades de quase dois mil metros, o petróleo movimenta um contingente de 46 mil pessoas na exploração e produção nas plataformas da PETROBRAS na Bacia de Campos (Macaé, 2006).

Desde a década de 70, quando a PETROBRAS escolheu Macaé para sua sede na Bacia de Campos, a cidade deu um salto no crescimento. Mais de quatro mil empresas se instalaram no município e a população urbana foi multiplicada por três – de acordo com o último Censo Demográfico, realizado em 2000 pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), 132.461 habitantes residem no município. Os dados mostram que 126.007 pessoas moram na área urbana, enquanto 6.454 residem na área rural.

Marotta (2004) ressalta que o crescimento populacional de Macaé ocorreu principalmente na área urbana, após a instalação da PETROBRAS. Entre o período de 1970 a 2000 houve um aumento de cerca de 206% da população urbana com decréscimo da população rural em cerca de 75%. O crescimento urbano na cidade de Macaé ultrapassou o crescimento do município e estado do Rio de Janeiro, do Norte-Fluminense e do Brasil.

A economia da cidade cresceu 500% desde 1997. Levantamento feito em 2004 pelo IBGE demonstrou que o Produto Interno Bruto (PIB) per capita da cidade foi de R\$ 11 mil por ano, 30% maior do que a média nacional (Macaé, 2006). Marotta (2004) considera a expansão econômica e demográfica da cidade de Macaé graças a instalação da PETROBRAS em 1978, o que contribuiu para o expressivo aumento do PIB e crescimento populacional de cerca de 40% apenas na década de 1991 a 2000.

O crescimento, além de investimentos expressivos, também trouxe problemas para o município. Atraídas pela fama de novo eldorado, pessoas do país inteiro chegaram à cidade em busca de uma vida melhor. Sem qualificação profissional que as colocasse na indústria do petróleo, elas acabaram ficando à margem do desenvolvimento. Surgiram bolsões de pobreza na periferia da cidade, aumentaram os índices de violência e muitos moradores não conseguiram atingir o nível educacional estabelecido pelo exigente mercado *offshore* (Macaé, 2006).

Para Marotta (2004) o período de rápido crescimento para uma cidade quase rural à época da instalação da PETROBRAS, não ofereceu devida infraestrutura a expansão urbana, especialmente em redes de águas, esgoto e até luz, compondo um crescimento urbano desordenado. Áreas de restinga, próximas ao Parque Nacional da Restinga de Jurubatiba, foram utilizadas para construção irregular de habitação, principalmente pela população mais carente. Áreas de alagadiço também foram ocupadas, contribuindo para malefícios aos próprios ocupantes, como enchentes e disseminação de doenças.

Assim, ainda segundo Marotta (2004), Macaé é uma cidade onde convivem juntas a riqueza e a carência de infra-estruturas. Apesar de investimentos da PETROBRAS para a cidade, há muita desigualdade social e problemas urbano-ambientais, causado muitas das vezes por impactos da própria estatal.

Assim, este trabalho teve por objetivo analisar a degradação sanitária de uma lagoa costeira urbana provocada pelo rápido crescimento populacional em uma cidade costeira, Macaé (RJ, Brasil).

### 5.3. MATERIAL E MÉTODOS

Foram utilizadas as mensurações de coliformes totais e termotolerantes obtidas por monitoramento limnológico mensal realizado pelo projeto ECOlagos no período de 1992 a 2005 na lagoa Imboassica, localizada no perímetro urbano da cidade de Macaé, Rio de Janeiro. A lagoa compreende uma área de 3,26 km<sup>2</sup> e possui profundidade máxima de 2,2 m no ponto central e profundidade média de 1,1 m. A largura e comprimento máximo atingem 1,3 e 5,3 km, respectivamente (Petrucio, 1998; Petrucio e Furtado, 1998).

Próxima ao mar a lagoa é uma excelente paisagem para o lazer e para a especulação imobiliária que contribuiu para o adensamento populacional em torno da mesma, além do crescimento do município pelas atividades industriais no eixo que engloba o ecossistema, intensificando os impactos sobre a mesma.

As coletas foram realizadas em três regiões distintas da lagoa (figura 10): Estação 1 mais próxima ao mar (50 m da barra de areia), Estação 2 distante 300 m da estação 1 e receptora de um canal de esgoto e Estação 5 correspondente a área central.



**Figura 10:** Foto aérea da lagoa de Imboassica, Macaé, RJ. Os números referem-se as estações de coleta do projeto ECOlagos. Os números marcados são das estações cujos dados foram utilizados neste estudo.

Para as análises de coliformes o projeto utilizou o método dos tubos múltiplos, optando pelo substrato de caldo lactosado no período de 1992 a 1996, segundo APHA (1998) e pelo substrato enzimático (Colilert<sup>®</sup>) de 1997 a 2005, conforme APHA (1998). Os resultados foram expressos em NMP.100 mL<sup>-1</sup>.

Para este trabalho, os resultados foram tratados diferentemente. Primeiramente foram tabelados e gerou-se uma frequência relativa de ocorrência dos coliformes que foi analisada a partir de 3 períodos estabelecidos: 1992-1995, 1996-2000 e 2001-2005 onde os resultados foram distribuídos em cinco faixas: faixa I com valores menores que 10<sup>3</sup>, faixa II com valores entre 10<sup>3</sup> a 10<sup>4</sup>, faixa III entre 10<sup>4</sup> a 10<sup>5</sup>, faixa IV entre 10<sup>5</sup> a 10<sup>6</sup> e faixa V com valores superiores a 10<sup>6</sup>. Segundo a Resolução CONAMA 274/2000 o limite permitido para contato primário é de até 1.000 NMP.100 mL<sup>-1</sup>, o que corresponderia apenas à faixa I.

Ainda com essas mensurações, os dados das estações 1 e 2 foram submetidos a testes estatísticos não paramétricos, utilizando-se o teste de Kruskal-Wallis (p<0,05) seguindo pelo *post-test* de Dunn. Para essa análise, foram considerados os períodos meso-oligotrófico e eutrófico da lagoa, proposto por Salas & Martino (1991).

Posteriormente os resultados foram logaritmizados em base natural com a utilização do programa GraphPad Prism<sup>®</sup> versão 4, fornecendo a dispersão de coliformes nas estações da lagoa.

## 5.4. RESULTADOS

### 5.4.1. Coliformes totais

Os gráficos de dispersão (figura 11A) mostram que todas as estações apresentaram ampla variação de níveis de coliformes com valores entre 20 e 1.600.000 NMP.100 mL<sup>-1</sup>. As estações 1 e 2 se destacaram mostrando uma variação de 700 a 1.600.000 NMP.100 mL<sup>-1</sup> entre 1996 e 2005.

Analisando a frequência relativa de ocorrência (figura 12A) verificou-se que os maiores percentuais de ocorrência para a faixa I foi obtida no período 1992-1995, com 90, 75 e 60% nas estações 1, 2 e 5 respectivamente. Nos anos subsequentes o que se observa é uma queda desta faixa em todas as estações

em detrimento do aumento das demais faixas, sendo estas com valores superiores a 1000 NMP.100 mL<sup>-1</sup>.

A análise estatística sobre as estações 1 e 2 (figura 13A) apontam para diferenças não significativas no período denominado meso-oligotrófico (Dunn;  $p > 0,05$ ) e diferenças significativas para as estações (Dunn;  $p < 0,05$ ) no período eutrófico.

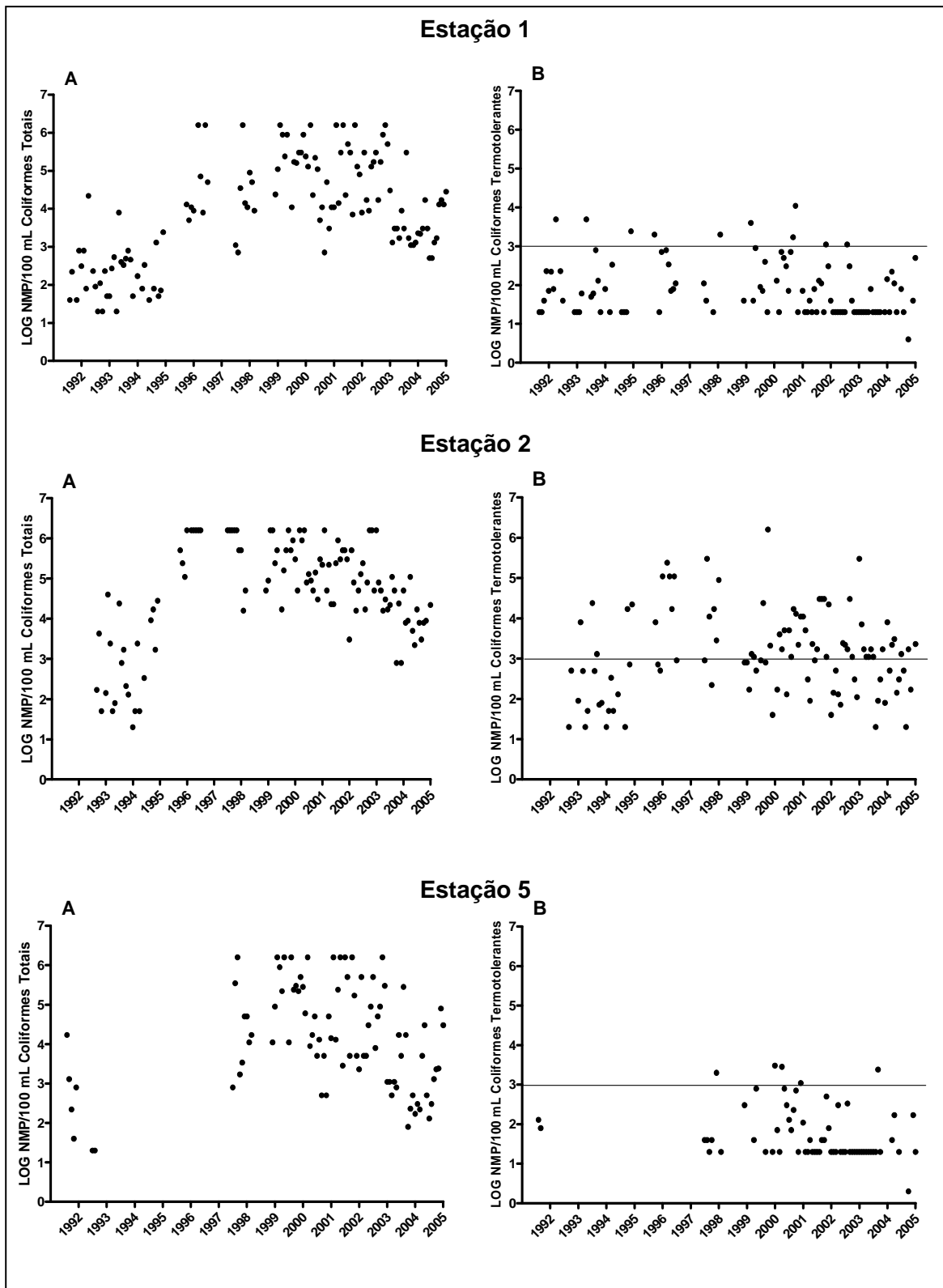
#### 5.4.2. Coliformes Termotolerantes

No período de 1992-1995 a dispersão dos coliformes termotolerantes (figura 11B) indicou uma variação de 0 a 24.000 NMP.100 mL<sup>-1</sup>, principalmente na estação 2. De 1996 a 2005 os valores continuaram variando até 1.600.000 NMP.100 mL<sup>-1</sup>, enquanto que a estação 1 variou com níveis de coliformes entre 0 e 11.000 NMP.100 mL<sup>-1</sup> e a estação 5 entre 0 a 3.000 NMP.100 mL<sup>-1</sup>.

Analisando a frequência relativa de ocorrência (figura 12B) as estações 1 e 5 apresentaram percentuais superiores a 90% para a faixa I nos 03 períodos estudados. Entretanto, apesar do percentual ser inferior a 10% a estação 1 apresentou ocorrência de coliformes nas faixas 2 e 3, ocorrendo aumento dos níveis ao longo dos períodos. A estação 2 foi fortemente marcada pelos elevados percentuais de ocorrência para as faixas II a IV e decréscimo da faixa I.

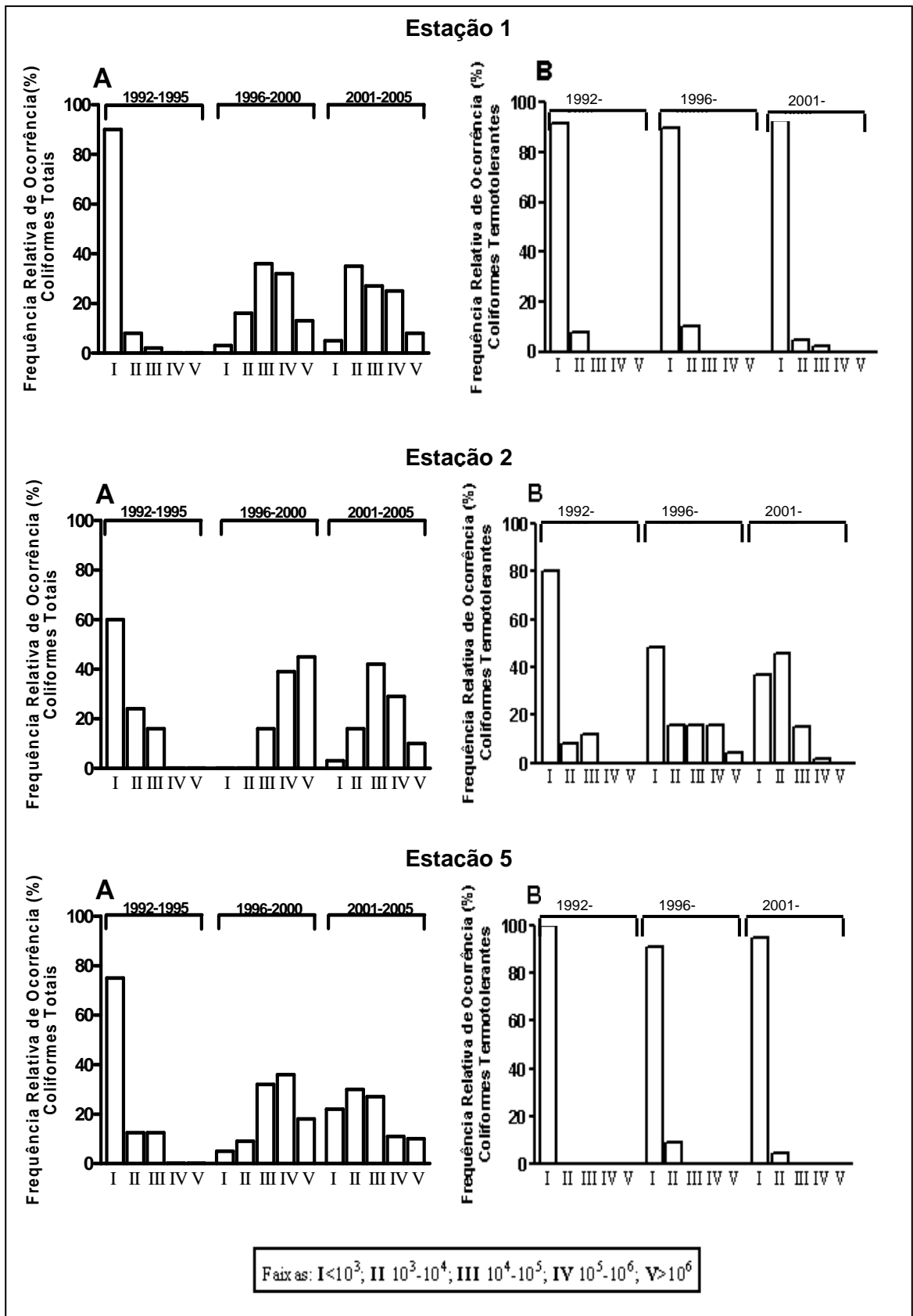
A análise estatística para o período meso-oligotrófico indicou diferença não significativa entre as estações 1 e 2. No período eutrófico verificou-se diferença significativa entre as estações 1 e 2 (Dunn;  $p < 0,05$ ). E, ainda, a estação 2 apresentou diferença significativa nos níveis de coliformes quando comparados os dois períodos (figura 13B).

Os gráficos em detalhe na figura 13B sinalizam para o aumento, apesar deste ainda não ser significativo, dos níveis de coliformes termotolerantes na estação 1 nos períodos estudados.

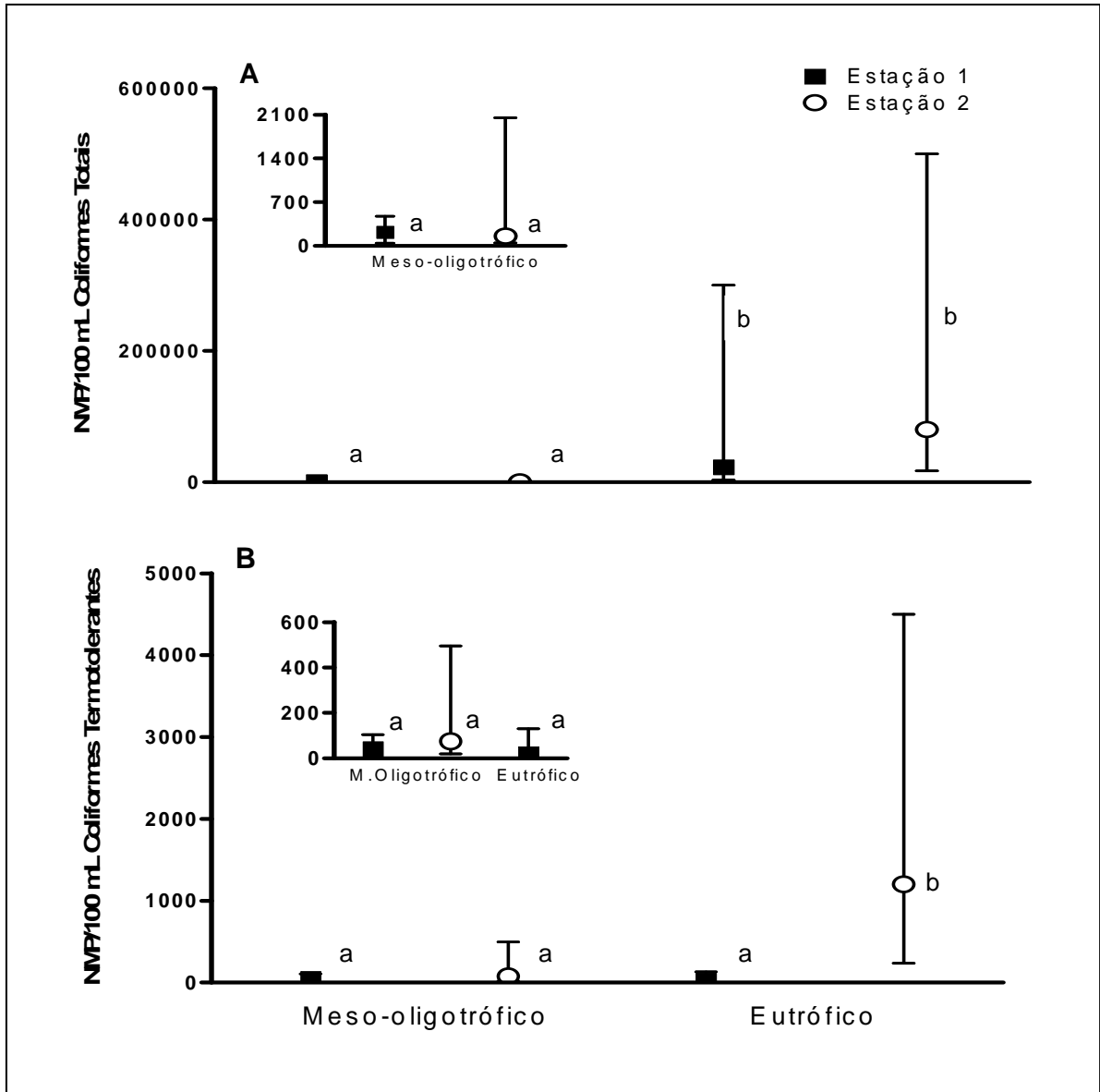


**Figura 11:** Níveis de dispersão de coliformes totais (A) e termotolerantes (b) em escala logarítmica no período de 1992 a 2005 nas estações 1, 2 e 5. A reta em B indica 1000 coliformes termotolerantes.100 mL<sup>-1</sup> limite para que a água seja considerada satisfatória para balneabilidade, segundo a Resolução CONAMA 274/2000.





**Figura 12:** Frequência relativa de ocorrência dos níveis de coliformes totais (A) e termotolerantes (B) distribuídos em 5 faixas. Estação 1: 1992-1995 (n=39), 1996-2000 (“A” n=31, “B” n=30), 2001-2005 (“A” n=60, “B” n=59), Estação 2 1992-1995 (n=25), 1996-2000 (n=31), 2001-2005 (n=59), Estação 5 1992-1995 (n=8), 1996-2000 (n=22), 2001-2005 (n=60).



**Figura 13:** Níveis de coliformes totais (A) e termotolerantes (B) em NMP.100 mL<sup>-1</sup> nas estações 1 e 2, nos períodos meso-eutrófico e eutrófico da lagoa. Letras diferentes indicam diferenças significativas (Kruskal-Wallis,  $p < 0,05$ ). Nos gráficos detalhados estão representados os pontos em que as diferenças não foram significativas (Kruskal-Wallis,  $p > 0,05$ ).

## 5.5. DISCUSSÃO

Um impacto conhecido e persistente em diversas lagoas costeiras é o lançamento indevido de esgotos que contribuem consideravelmente para a degradação sanitária do ecossistema. Em Macaé, é fato que o mesmo acontece com a lagoa Imboassica, principalmente próximo a estação 2, onde encontra-se um antigo valão.

O lançamento de esgotos favorece a eutrofização do ambiente pelo aporte de nutrientes (Margalef, 1983; Esteves, 1998) e causa a diminuição da qualidade da água pela contaminação com coliformes (Roitman *et al*, 1998). Os elevados níveis de coliformes totais encontrados na lagoa (figuras 11A e 12A) indicam o acréscimo do aporte de matéria orgânica no ecossistema. Os níveis destes coliformes fornecem um indicativo da qualidade microbiológica da água (Neill, 2004).

Favorecendo este quadro está o crescimento populacional acentuado na cidade de Macaé a partir da década de 1970, quando foi instalada a sede da PETROBRAS na região. Segundo o IBGE (Censo Demográfico de 2000) mais de 132.000 habitantes residem no município, com mais de 125.000 concentradas na área urbana, o que representa o triplo da população em relação a 1970.

O período de rápido crescimento não ofereceu devida infra-estrutura à expansão urbana, especialmente em redes de água, esgoto e até luz, compondo um crescimento urbano desordenado (Marotta, 2004). Assim, a degradação sanitária que se apresenta na lagoa Imboassica pode ser considerada um reflexo da ascensão da cidade.

Em Oklahoma (Texas) em marinas do lago Texoma, a presença de *Escherichia coli* foi associada a contaminação fecal humana e de animais de sangue quente durante todas as estações do ano. Durante o verão foram obtidos os menores níveis de *E.coli* pela contribuição de dois fatores: menor aporte de material fecal pelo “runoff” e menor sobrevivência microbiana devido a condições ecológicas como temperatura, predação por protozoários, radiação solar, etc. Por outro lado, na mesma estação foram obtidos os maiores níveis para coliformes totais. Entretanto, quando os níveis de coliformes termotolerantes foram elevados foi associado às atividades esportivas com utilização de barcos, responsáveis em

revolver o sedimento, liberando partículas onde as bactérias estariam agregadas (Youn-Joo *et al*, 2002).

A estação 2 esteve imprópria para o contato primário no decorrer dos anos de 1996 a 2005 segundo a Resolução 274 de 2000 do CONAMA, levando-se em conta os níveis de coliformes termotolerantes. A estação 1, por outro lado, a 300 m da estação 2, apresentou níveis de coliformes próximos ao estabelecido pelas normas com mais frequência, se assemelhando ao resultados apresentados na estação 5 (figuras 11B e 12B).

A lagoa Imboassica é um ecossistema de pouca profundidade e com alto hidrodinamismo. A maior pista de vento está localizada na região da estação 5 (Panosso, 1998). Estes fatores podem ter contribuído para a semelhança no padrão de dispersão das bactérias entre as estações 1 e 5.

Na zona de contato entre o lago Kinneret e rio Jordão o hidrodinamismo tem sido o responsável pela distribuição das bactérias entéricas por afetar os mecanismos de sedimentação e diluição, levando a diminuição da abundância das mesmas (Ben-Dan *et al*, 2001).

Ainda segundo Panosso (1998) o predomínio de ventos Nordeste na lagoa tende a dispersar os poluentes da estação 2 (margem norte) em direção a estação 1 (margem sul). A estação 1 é a região mais utilizada por banhistas e a mais próxima do mar. Tal probabilidade alerta para a possibilidade do comprometimento da qualidade sanitária da região o que pode afetar a saúde pública local.

Apesar dos resultados indicarem que a estação 1 esteve com os níveis de coliformes termotolerantes sempre próximos daquele sugerido pelo CONAMA, eles também sinalizam que estas bactérias persistiram no decorrer dos anos estudados com aumento dos seus níveis. Por vezes, a região também poderia ser considerada inapropriada para banho (figuras 11B e 12B).

A persistência e ubiquidade de *E. coli* no lago Michigan (Indiana Dunes State Park), Indiana, também foi estudada através da realização de um monitoramento semanal durante um ano. Eles verificaram que a presença de *E.coli* é comum na bacia de Dunes Creek. Com isso, a qualidade de água da praia de Indiana Dunes State Park é afetada possivelmente pela lavagem do solo que estaria contribuindo para os níveis de coliformes encontrados no ambiente.

Este padrão também foi identificado em outros sistemas em Indiana, Derby Ditch, e Michigan, Warren Dunes e Warren Woods (Byappanahalli *et al*, 2003).

Mais pesquisas devem ser desenvolvidas na identificação de outras fontes de coliformes, principalmente quando estes persistem em regiões sem evidente lançamento de esgoto. No lago Canyon, um pequeno reservatório utilizado para servir água na Califórnia, os pesquisadores concluíram, após testes em campo e laboratório, que os altos níveis de coliformes encontrados no ambiente, ultrapassando as normas da USEPA, são devidos principalmente ao crescimento de coliformes no próprio lago e por isso não é potencial o risco a saúde humana, já que sua presença não reflete o *input* fecal de outros microrganismos patogênicos como *Cryptosporidium*, protozoários e vírus (Davis, 2005).

## 5.6. CONCLUSÕES

Os diferentes níveis de coliformes identificados em cada estação demonstram a heterogeneidade espacial intralagunar e sinaliza para que programas de monitoramento abranjam toda a extensão de uma lagoa. No caso específico da Imboassica, há evidências que nas regiões da lagoa mais afastadas do mar tem ocorrido o processo de urbanização, motivado pela proximidade com um polo industrial. Com isto, estas áreas também estão sob influência de aporte de esgoto, afetando a qualidade ambiental dessa outra extremidade do ecossistema.

Como pode ser visto, os coliformes são um indicativo da degradação da qualidade da água de um ecossistema aquático, seja pelo aumento de matéria orgânica, evidenciado por coliformes totais, ou pela contaminação fecal, que pode afetar a saúde pública.

As atividades de monitoramento devem buscar contemplar o máximo de estações que reflitam as diferentes condições e impactos ao que o ambiente está sujeito. Os resultados dessas pesquisas devem ser disponibilizados e servirem de base para orientações em tomada de decisões que norteiem minimizar a influência negativa de atividades antrópicas e conservação dos recursos aquáticos.

Para a conservação dos ecossistemas aquáticos costeiros, entre eles as lagoas, é importante acompanhar a qualidade sanitária do ambiente continuamente, de modo a assegurar a preservação do ambiente em questão, bem como a saúde pública.

As cidades que tenham no seu patrimônio natural recursos hídricos importantes devem acompanhar o desenvolvimento da sociedade, estruturando e planejando o desenvolvimento urbano com objetivo de proteger tais recursos dos impactos decorrentes do crescimento populacional desordenado.

## 6. BALNEABILIDADE DA LAGOA RODRIGO DE FREITAS: VARIAÇÃO TEMPORAL E ESPACIAL

### 6.1. INTRODUÇÃO

Dentre os inúmeros ecossistemas existentes no litoral, as lagoas costeiras ocupam 13% da região costeira mundial e se caracterizam por serem áreas de transição entre os ambientes continentais, dulcícolas, e os ambientes marinhos (Kjerfve, 1994; Enrich-Prast *et al*, 2008). Estes ecossistemas destacam-se por serem ecossistemas com um metabolismo muito dinâmico, influenciado pela entrada de água doce e pelos processos de troca com o mar adjacente; por apresentarem uma alta produtividade e diversidade biológica; por serem pouco profundos; acumularem matéria orgânica; estarem submetidos a ventos frequentes e apresentarem uma coluna d'água relativamente homogênea (Esteves, 1998; Duarte *et al*, 2002; Lloret *et al*, 2008; Enrich-Prast *et al*, 2008).

As lagoas costeiras são consideradas ambientes marinhos frágeis, particularmente expostos aos processos de eutrofização, que ocorrem em resposta ao aumento da densidade populacional no seu entorno e pelo uso de fertilizantes na agricultura na bacia hidrográfica que as cercam (Lloret *et al*, 2008). Os impactos decorrentes dessas atividades têm transformado a maioria das lagoas costeiras em ambientes com elevado processo de eutrofização e ocorrendo, conseqüentemente, florações de microalgas, águas turvas, com diferentes colorações, fortes odores e a depleção repentina de oxigênio, além da possibilidade de eventos de mortandade de peixes (Lloret *et al*, 2008; INEA, 2011).

As lagoas costeiras são muito abundantes no litoral brasileiro e variam de pequenas depressões preenchidas com água da chuva e/ou do mar, de caráter temporário, até corpos d'água de grandes extensões como a lagoa dos Patos no Rio Grande do Sul (Esteves, 1998). As lagoas costeiras do Estado do Rio de Janeiro se caracterizam por apresentarem, além da pouca profundidade, uma elevada razão superfície/volume. Estes ambientes são submetidos à forte estresse por estarem localizadas em áreas urbanizadas entre a costa e o mar e, em função das diversas atividades humanas que ocorrem no seu entorno (INEA, 2011). Segundo Soffiati (1998), desde a época do Brasil colônia já se observavam

impactos ambientais sobre as lagoas do norte fluminense, com reduções do espelho d'água por dragagem e pelo aterro de suas margens. A utilização destes ecossistemas como receptores de esgotos favorece também a degradação sanitária do ecossistema, aumentando a possibilidade de doenças entéricas (Tundisi, 2003).

O objetivo deste capítulo foi avaliar a variabilidade temporal de curto prazo e a distribuição espacial da qualidade sanitária (segundo algumas variáveis físicas, químicas e microbiológicas) da coluna de água da Lagoa Rodrigo de Freitas, Rio de Janeiro e se esta variabilidade afeta os níveis de balneabilidade deste ambiente.

## 6.2. ÁREA DE ESTUDO

A Lagoa Rodrigo de Freitas (LRF) e o bairro no seu entorno (Bairro Lagoa Rodrigo de Freitas) estão localizados na cidade do Rio de Janeiro (22°57'02"S; 043°11'09"W), dentro de uma região densamente povoada ao sul do município e está cercada pelos bairros do Leblon, Ipanema, Copacabana, Humaitá, Jardim Botânico e Gávea (Serratine, 2007) (figura 14).

Sua bacia hidrográfica está inserida na Região Hidrográfica da Baía de Guanabara e localiza-se na base da face sul da Serra da Carioca (Bacia Drenante da Vertente Sul da Serra da Carioca), que integra o Maciço da Tijuca (Pereira e Medeiros, 2009).

O bairro Lagoa Rodrigo de Freitas tem 5,11km<sup>2</sup> e 18.221 habitantes, o que corresponde a cerca de 0,41% da área total da cidade. Possui 39% de área urbanizada e 61% de áreas naturais com baixa densidade demográfica, é um dos bairros mais protegidos do município, onde não existem favelas e as atividades comerciais são muito restritas pela legislação urbanística e pela pouca oferta de espaços (Serratine, 2007; Pereira e Medeiros, 2009; Pinheiro e Pinheiro, 2009).

A grande demanda por imóveis na região a torna um dos espaços mais valorizados da cidade do Rio de Janeiro. Além disso, tanto a VI Região Administrativa quanto o bairro possuem um dos maiores índices de desenvolvimento humano (IDH) do Rio, sendo 0,786 e 0,854, respectivamente, o que ilustra o grande valor econômico e a representatividade política e social



dessa região no cenário da cidade (Pereira e Medeiros, 2009; Pinheiro e Pinheiro, 2009).



**Figura 14:** Localização das estações de coleta - ponto fixo LRF\_Piraquê e variação espacial LRF00, LRF01, LRF04, LRF05, LRF08 e LRF\_J.Alah - amostradas em agosto de 2011. (Fonte: Google Earth, 2011).

A Lagoa possui um espelho d'água de 2,2 km<sup>2</sup> profundidade média de 2,8m e 7,8km de perímetro, com volume de aproximadamente 6.200.000 m<sup>3</sup> (Pinheiro e Pinheiro, 2009).

O espelho d'água foi tombado em 1990 e em 2000 o IPHAN determinou a preservação do espelho de água e estabeleceu os parâmetros para a ocupação do seu entorno de modo a proteger a paisagem a sua volta.

Sua ligação com o mar e, portanto, o controle e a regulação das trocas da água entre a lagoa e o mar são efetuados através do canal do Jardim de Alah. Este canal tem 835 metros de comprimento, entre 10 e 18 metros de largura e é, freqüentemente, bloqueado por depósitos de sedimento (INEA, 2011; Lutterbach *et al*, 2001).

A entrada da água do mar é suave e superficial, não afetando as camadas mais profundas e o tempo de residência da água é longo e há pouca troca de água com o mar, o que classifica como uma lagoa sufocada (Neves *et al*, artigo submetido). É uma importante área de lazer e é usada para prática de esportes aquáticos, tais como: remo, barco a vela e esqui aquático e muitos habitantes do seu entorno ainda utilizam a lagoa para praticar a pesca como meio de sobrevivência (INEA, 2011; Lutterbach *et al*, 2001).

A Lagoa apresenta duas ilhas, a ilha Piraquê na margem oeste, que abriga o Departamento Esportivo do Clube Naval e a ilha Caiçaras na margem sul, abriga o Clube dos Caiçaras, onde se realizaram as provas de esqui aquático do Pan Americano em 2007. A bacia hidrográfica que contribui com água doce para a Lagoa Rodrigo de Freitas é formada pelos rios dos Macacos e Cabeça, que desembocam na Rua General. Garzon, e pelo rio Rainha, que deságua no canal da av. Visconde de Albuquerque. (INEA, 2011; Lutterbach *et al*, 2001).

Tem uma ictiofauna bem característica com espécies de água doce, salobra e marinhas. Em 1994 existiam 30 espécies e hoje são encontradas 25 espécies e entre as espécies de peixe encontradas 04 tem importância econômica: robalo, tainha, parati e o cara. A colônia de pesca Z13 que agrupa os pescadores da Urca ao Recreio tem o Núcleo da Lagoa em frente ao Parque dos Patins com 32 pescadores. A prefeitura garante a pesca das 20 às 05 horas e segundo os pescadores se conseguem extrair 500 kg por mês de pescado (Pinheiro e Pinheiro, 2009).

A ocupação do entorno da Lagoa Rodrigo de Freitas data do sec. XVI. Inicialmente habitada por índios da tribo dos Tamoios, era denominada Piraguá (água parada) ou Sacopenapã (caminho dos socós). Com a chegada dos colonizadores portugueses no século XVI, a área do entorno da lagoa foi ocupada por diversas fazendas e engenhos devido ao solo favorável para o plantio de cana-de-açúcar (Miguez, 2009; Serratine, 2007).

No início do século XIX, com a chegada da Família Real Portuguesa, as terras do denominado Engenho da Lagoa foram desapropriadas para a construção Fabrica Real de Pólvora e à criação do Horto Imperial, atual Jardim Botânico. No final do século XIX a área foi ocupada por indústrias têxteis, transformando os bairros da Gávea e do Jardim Botânico em uma das regiões mais industrializadas do Rio de Janeiro (Miguez, 2009; Serratine, 2007).

O bairro passou a existir a partir da 1ª metade do sec. XIX como resultado da urbanização e loteamento das terras em seu entorno durante 60 anos a partir do sec. 20. Para tanto foram muitos os aterros e o contorno atual é de 1960 e o bairro passou a existir oficialmente há menos de 30 anos com o decreto de 23 de julho de 1981 n° 3.158 que dividiu a cidade em 139 regiões administrativas e mais tarde o decreto n° 5.280 de 23 de agosto de 1985 substituiu o original (Pinheiro e Pinheiro, 2009).

A ligação da Lagoa Rodrigo de Freitas com o mar é efetuada através do canal do Jardim de Alah, o qual tem 835 m de comprimento, 10-18m de largura e é, frequentemente, bloqueado por depósitos de sedimento (Lutterbach *et al*, 2001; INEA, 2011). A entrada da água do mar é suave e superficial, não afetando as camadas mais profundas, ao contrário do que seria de esperar, já que a água com maior salinidade é mais densa e, portanto, mais pesada.

A Lagoa Rodrigo de Freitas recebe maior influência de água pluvial e fluvial e a qualidade de suas águas depende das condições das bacias hidrográficas.

As bacias hidrográficas mais importantes são as dos Rios Rainha, Cabeça e Macaco. O Rio Rainha nasce na encosta Sul da serra da Carioca e recebe a carga poluidora das comunidades da Rocinha, Parque da Cidade e da Chácara do Céu. O Rio Cabeça nasce no contraforte do Morro do Corcovado dentro do Parque Nacional da Tijuca, atravessa parte do Jardim Botânico e deságua no Canal da Av Lineu da Paula Machado. O Rio dos Macacos nasce nos contrafortes do Morro dos Queimados e Sumaré, dentro do Parque Nacional da Tijuca, cruza o alto da Boa vista, e o Bairro do Jardim Botânico até ser desviado na Rua G<sup>al</sup> Garzon (Pinheiro e Pinheiro, 2009).

Os frequentes períodos de problemas ambientais, devido à estagnação de suas águas, tornaram essa região muito insalubre. Já em 1829 a LRF era

objeto de preocupação de médicos sanitaristas, mas, a denominação indígena para este ambiente *Piraguá* (água parada) indica que a lagoa sempre apresentou condições insalubres (Serratine, 2007; Pinheiro e Pinheiro, 2009).

Em 1870 iniciou-se uma grande discussão sobre as condições sanitárias no município do Rio de Janeiro, muitas doenças e epidemias aconteceram na cidade desde a sua fundação, como, por exemplo, a febre amarela, a varíola a malária, com muitas mortes. Os médicos e sanitaristas na época concluíram que as doenças se originaram dos pântanos, brejos e lagoas contaminados e sugeriram a aterramento de todos. A própria Lagoa Rodrigo de Freitas se tornou uma preocupação sobre ser uma fonte de problemas de saúde pública (Miguez, 2009; Pinheiro e Pinheiro, 2009; Serratine, 2007). Ela sobreviveu, no entanto, à febre de aterro dos corpos de água da cidade, apesar das constantes enchentes e extravasamentos da lagoa e dos rios de sua bacia hidrográfica, do mau cheiro e dos muitos episódios de mortandade de peixes. Muitos foram os planos para sanear a LRF, o primeiro deles já previa a abertura de um canal para garantir a troca de água da lagoa com o mar.

Diversas soluções para seus problemas sanitários foram cogitadas até que, em 01 de junho de 1921 foi apresentado o plano do engenheiro Saturnino de Brito que previa o aterramento de 1.345.800 m<sup>2</sup> das suas margens, a retirada do excesso de algas, a construção de dois canais de comunicação da lagoa com o mar e que interceptariam as águas doces das bacias hidrográficas da vertente do maciço de Tijuca e da chuva. Um canal (da rua Visconde Albuquerque) interceptaria a água doce que vem do Maciço da Tijuca e do Rio Rainha, este se comunica com o Canal do Jockey, que ao seu final recebe as águas dos Rio Macacos e Cabeça, desembocando no canal da rua General Garzon. O outro canal, o Canal do Jardim de Alah, liga a Lagoa Rodrigo de Freitas ao oceano (Miguez, 2009; Pinheiro e Pinheiro, 2009; Serratine, 2007).

O gerenciamento foi efetuado através de um conjunto de comportas no Jardim de Alah e na rua G<sup>al</sup> Garzon. Este projeto foi implantado e por 18 anos não houve mortandade peixes, fenômeno que só voltou a ocorrer nas décadas de 40 e 50. Só entre os anos de 1968 e 2001 ocorreram 45 eventos de mortandades de peixes (Miguez, 2009; Pinheiro e Pinheiro, 2009; Serratine, 2007).

A intensa urbanização, a redução do espelho d'água da Lagoa, o lançamento de esgotos sanitários e a restrição de comunicação com o mar, como resultado de sua ocupação ao longo do tempo, levaram a um quadro de problemas ambientais diversos na Lagoa Rodrigo de Freitas e a partir da década de 1980, as atenções voltaram com mais intensidade para a recuperação ambiental da Lagoa Rodrigo de Freitas, com preocupações que se mantêm até os dias atuais (Miguez, 2009).

Devido ao crescimento imobiliário desordenado, em 1975, o então prefeito Marcos Tamoyo, promulgou o Decreto nº 130/75 que tombava o espelho d'água da Lagoa e o alinhamento de suas margens, proibindo qualquer alteração adicional no espelho d'água (Miguez, 2009; Serratine, 2007).

As águas da LRF são bastante estagnadas e suas correntes são fracas com velocidade reduzidas sem direções preferenciais. Os movimentos internos estão bem relacionados às descargas dos rios, ventos e das marés. A coluna tem transparência bem reduzida, com a luz solar atingindo apenas de meio a 01 metro de profundidade. A coloração varia entre verde e marrom acastanhado, decorrentes de floração de algas e do grande material em suspensão e efluentes sanitários irregulares (Pinheiro e Pinheiro, 2009).

A Lagoa Rodrigo de Freitas perdeu 1,4 km<sup>2</sup> de sua área nos últimos 20 anos e de quase 3 metros em sua profundidade média no último século, é a lagoa mais urbanizada do Rio de Janeiro com sua bacia hidrográfica formada por rios canalizados e seu ritmo de cheia e vazante controlado artificialmente por um regime de fechamento e abertura de comportas (Enrich-Prast *et al*, 2008).

O prognóstico dentro dos cenários adotados de elevação do nível do mar, mesmo aquele mais pessimistas não devem levar ao aumento na área da lagoa, pois o nível de água é controlado artificialmente por comportas. O que provavelmente teria que mudar seriam os tipos de comportas para enfrentar as mudanças nas condições do mar adjacente (Enrich-Prast *et al*, 2008).

Por outro lado a associação entre o tempo em que a Lagoa é mantida como um ecossistema fechado e a maior frequência de chuvas podem provocar uma piora considerável na qualidade das águas deste ambiente. O aumento das chuvas aumentaria o aporte de esgoto nos canais e conseqüentemente no emissário submarino de Ipanema além do aumento da ressuspensão dos

sedimentos dentro da própria Lagoa e a diminuição da concentração de oxigênio dissolvido na coluna de água (Enrich-Prast *et al*, 2008).

### 6.3. MATERIAL E MÉTODOS

Para este estudo, foram utilizados os dados obtidos em uma campanha *in situ* de coleta de amostras de água, ocorrida entre 01 e 05 de agosto de 2011, na Lagoa Rodrigo de Freitas, Rio de Janeiro.

Durante a campanha foram executadas coletas diárias de água superficial e de fundo, em um ponto fixo localizado dentro do Clube Naval Piraquê, onde a coluna de água pode chegar a 2,5 m de profundidade. As coletas de água foram efetuadas em três diferentes horários - às 6h, 12h e 18h

Além disso, foram coletadas amostras de água superficial e de fundo em seis estações dentro da lagoa de modo a verificar a variação espacial dos fatores ambientais e indicadores biológicos de qualidade da água, em amostragem única.

As estações de coleta são apresentadas na figura 14:

**LRF00 Central:** Ponto central da Lagoa, também utilizada pelo INEA para seu monitoramento semanal da Lagoa (RF00). É uma estação cuja profundidade é maior, podendo chegar a 4 metros.

**LRF01 (Hípica):** localizada em frente ao Clube Hípico do Rio de Janeiro, ao Norte, próximo a Igreja Santa Margarida Maria.

**LRF04 (Jockey):** ponto em frente ao Jockey Club.

**LRF05 (Pedalinho):** ponto ao Leste da Lagoa, em frente ao Parque da Catacumba.

**LRF08 (Cava):** ponto ao sul da Lagoa, de maior profundidade, podendo chegar aos 9 metros.

**Canal do Jardim de Alah:** ponto de amostragem dentro do canal do jardim de Alah, onde, quando as comportas estão abertas a salinidade da água e a que mais recebe influencia da água do mar adjacente.

As variáveis avaliadas neste estudo foram: Temperatura, Salinidade, Oxigênio Dissolvido, Carbono Orgânico Dissolvido (COD), pH, Transparência, Coliformes Totais e Termotolerantes e *Enterococcus*.

Os dados de temperatura (°C), salinidade e oxigênio dissolvido (mg/L) foram obtidos *in situ* com o auxílio de uma sonda multiparamétrica *Professional Plus (Pro Plus)* da *YSI (Yellow Springs Instruments) Incorporated*, e representados ao longo do perfil vertical da coluna d'água. O pH (potencial hidrogeniônico) foi mensurado *in situ* através do pHmetro portátil, modelo PH-1500 da *Instrutherm*. A transparência (m) foi medida com o uso do Disco de Secchi. Amostras de Carbono Orgânico Dissolvido (COD) foram obtidas através da filtração em filtros de microfibras de vidro (GF/F) Whatman de 47mm de diâmetro, fixados com 100 µL de ácido fosfórico (H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>). As amostras foram analisadas em um analisador TOC *Sievers 900 Laboratório* da *GE Analytical Instruments* pelo princípio da oxidação da amostra com persulfato de sódio em forno de titânio sob alta temperatura e pressão.

Para os exames microbiológicos foram empregados os métodos padrões utilizados na análise da qualidade sanitária da água e os indicadores pesquisados foram as bactérias do grupo dos coliformes totais e termotolerantes e as do grupo de *Enterococcus* (APHA, 1998) e, estão de acordo com 569 as Resoluções nº 274 de 29 de novembro de 2000 e nº 357 de 17 de março de 2005 do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA. Para os microrganismos dos grupos Coliformes e *Enterococcus* pesquisados aplicou-se a técnica convencional dos tubos múltiplos e os resultados foram expressos em número mais provável de microrganismos por 100 mL (NMP.100mL<sup>-1</sup>). Na pesquisa de coliformes totais, foi utilizado o Caldo Lauryl Sulfato no ensaio presuntivo e Caldo Lactosado Verde Brilhante Bile a 2% (CLVBB 2%) para a confirmação do ensaio presuntivo, incubados de 48 a 72 h a 35°C. Para os coliformes termotolerantes, foi utilizado o meio EC na etapa presuntiva e a incubação das amostras foi efetuada a 44,5°C ± 0,02 por 24h. Para a pesquisa de *Enterococcus*, foi utilizado o meio caldo Dextrose Azida, com a incubação ocorrendo a 35°C por 48 a 72h (Sanchez 2003).

A apresentação descritiva dos dados foi feita através de gráficos de ordenadas e abscissas, utilizando o programa Microsoft Office Excel®. A fim de explorar as relações entre as variáveis físicas, químicas e microbiológicas,

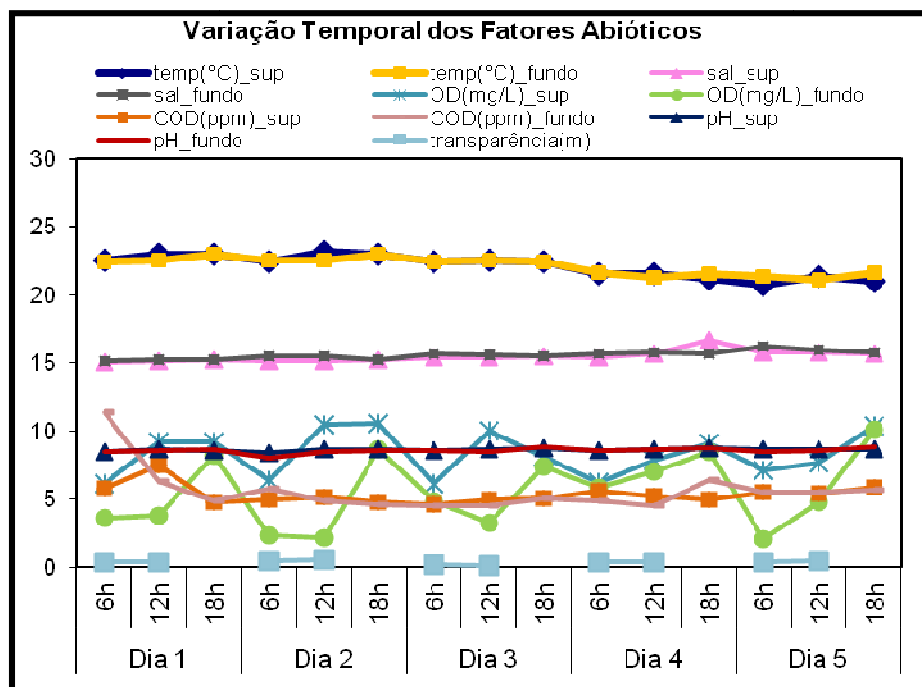
aplicou-se a análise de componentes principais (*Principal Component Analysis – PCA*), um método de ordenação, através do programa Statistica® versão 7 (*Statsoft, Inc.*). O método estatístico utilizado está descrito em Gotelli & Ellison, 2011.

## 6.4. RESULTADOS

### 6.4.1. Análise temporal

Não foi observada uma variação temporal e entre as amostras de superfície e fundo para os valores dos parâmetros abióticos com exceção do Oxigênio Dissolvido (OD). Para este parâmetro foram encontrados maiores concentrações de OD nas amostras de superfície do que nas amostras de fundo, bem como picos de concentração de OD às 18 horas durante todo o período amostral.

A figura 15 sintetiza os resultados obtidos na superfície e no fundo para os fatores abióticos temperatura, salinidade, oxigênio dissolvido, carbono orgânico dissolvido, pH e transparência ao longo de cinco dias em três horários.



**Figura 15:** Variação temporal dos fatores abióticos – temperatura (°C), salinidade, oxigênio dissolvido (ppm), carbono orgânico dissolvido (ppm), pH e transparência (m) – na superfície e no fundo nos horários de 06h:00min, 12h:00min e 18h:00min, na estação fixa na Lagoa Rodrigo de Freitas, Rio de Janeiro, Brasil.



Ao considerar a variação temporal dos parâmetros abióticos mensurados no ponto fixo da LRF, foi observado que a temperatura variou entre 20,70 e 23,20°C na superfície e 21,10 e 23,00°C no fundo, com uma média de 22,04°C ± 0,06, e um coeficiente de variação de 3%.

A salinidade variou entre 15,06 e 16,68 na superfície e 15,25 e 16,26 no fundo, com uma média de 15,54 ± 0,03, e um coeficiente de variação de 2%, classificando este local como um ambiente salobro, de acordo com CONAMA, 200 e 2005.

O pH apresentou uma variação de 8,41 a 8,76 na superfície e de 8,05 a 8,82 no fundo, com uma média de 8,59 ± 0,04, e um coeficiente de variação de 1%. Os dados de pH mostram que as águas da lagoa são ligeiramente básicas, com valores bastante homogêneos

A concentração de oxigênio dissolvido mostrou muita variação com a profundidade e ao longo do período amostral. Em geral as menores concentrações foram encontradas no fundo e as maiores no último dia da campanha amostral. O oxigênio dissolvido variou entre 6,10 e 10,52mg.L<sup>-1</sup> na superfície e 2,05 e 10,43mg.L<sup>-1</sup> no fundo, com uma média de 7,16mg.L<sup>-1</sup> ± 0,58, e um coeficiente de variação de 8%.

O Carbono Orgânico Dissolvido variou entre 4,60 e 7,51mg.L<sup>-1</sup> na superfície e 4,48 e 6,38mg.L<sup>-1</sup> no fundo, com uma média de 5,48mg.L<sup>-1</sup> ± 0,75, e um coeficiente de variação de 14%.

A transparência foi mensurada apenas nos horários de incidência de luz, os resultados variaram entre 0,15 e 0,50m, com uma média de 0,36m ± 0,12, e apresentou um coeficiente de variação de 33%.

A temperatura da água esteve sempre acima dos 20°C durante toda a campanha. Para as coletas das 6h, houve uma variação entre 20,70°C e 22,50°C, enquanto para as coletas de 12h e 18h, as temperaturas ficaram entre 21,00°C e 23,00°C. Ao longo da semana de coleta, houve uma queda de temperatura a partir do segundo dia, alcançando os menores valores no quinto dia.

O volume de chuva nos 5 dias variou de 0,00mm (dia 1) a 9,80mm (dia 4) e o volume acumulado ao final de 5 dias foi de 11,40mm (Alerta Rio, 2012). Ainda segundo essa fonte, isto é classificado como chuva moderada (5- 25mm/h).

De maneira geral, não foi observada uma variação temporal significativa entre as amostras de superfície e fundo para os valores dos parâmetros abióticos, com exceção do oxigênio dissolvido (OD).

Os parâmetros microbiológicos mostraram que a qualidade da água no ponto fixo, está imprópria para o contato primário (figura 16). Os coliformes totais variaram entre 2.400 NMP.100mL<sup>-1</sup> e 240.000 NMP.100mL<sup>-1</sup> às 06h:00min; entre 2.400 NMP.100mL<sup>-1</sup> e 46.000 NMP.100mL<sup>-1</sup> às 12h:00min e entre 2.400 NMP.100mL<sup>-1</sup> e 24.000 NMP.100mL<sup>-1</sup> às 18h:00min (figura 16a).

Os coliformes termotolerantes variaram entre 930 NMP.100mL<sup>-1</sup> e 11.000 NMP.100mL<sup>-1</sup> às 06h:00min; entre 230 NMP.100mL<sup>-1</sup> e 24.000 NMP.100mL<sup>-1</sup> às 12h:00min e entre 930 NMP.100mL<sup>-1</sup> e 24.000 NMP.100mL<sup>-1</sup> às 18h:00min (figura 16b). Ressalta-se que os valores mais elevados foram encontrados no fundo e que a maioria esteve acima do limite de 1.000 NMP.100mL<sup>-1</sup> estabelecido pelo CONAMA (2000) para o contato primário.

Os níveis encontrados para *Enterococcus* ficaram entre 240 NMP.100mL<sup>-1</sup> e 2.400 NMP.100mL<sup>-1</sup> em todos os horários, portanto acima do limite máximo para balneabilidade estabelecido pelo CONAMA, 2000, de 100 NMP.100mL<sup>-1</sup> (figura 16c).

Os valores para coliformes totais encontrados não apresentaram variações entre as amostras de superfície e fundo, com exceção para os dias 4 e 5, quando as amostras de superfície apresentaram níveis bem superiores aos encontrados nas amostras de fundo. Já para os resultados de coliformes termotolerantes e *Enterococcus*, observa-se uma variação entre os valores encontrados nas amostras de superfície e fundo, sendo os valores mais elevados encontrados no fundo, a não ser no horário de 06h, para coliformes termotolerantes e no dia 02, em todos os horários para *Enterococcus*.

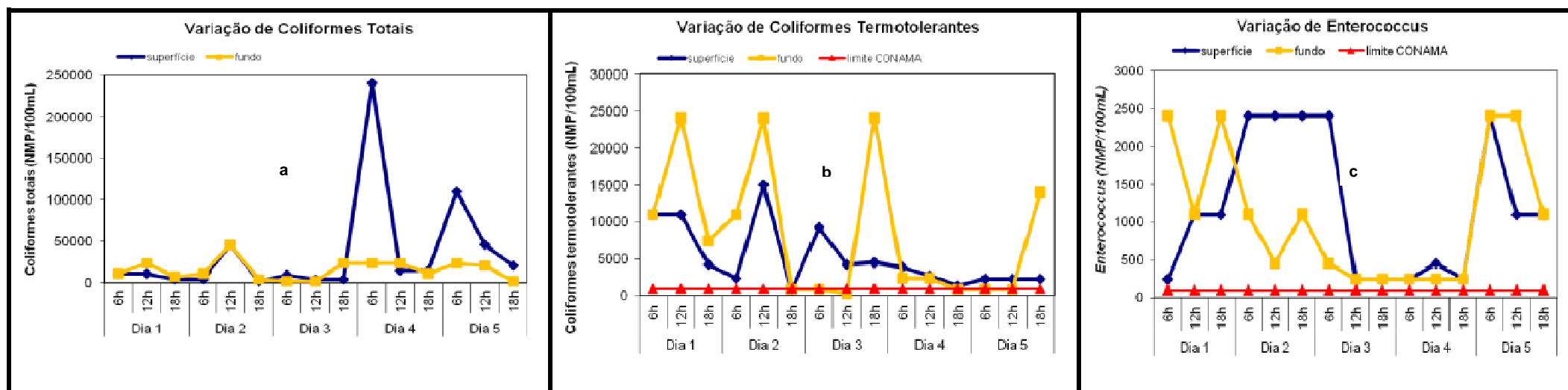
Foram observados picos de concentração de coliformes termotolerantes nos horários de 12 horas (dias 01 e 02) e no horário de 18 horas (dias 04 e 05).

#### 6.4.2 Análise espacial

Os seis pontos de coleta foram amostrados no dia 02 de agosto de 2011 entre 12h:00min e 13h:30min. Os resultados estão resumidos na tabela 3.

Todos apresentaram temperaturas semelhantes, variando entre 22,20°C e 23,70°C. Destaca-se que cada ponto apresentou uma profundidade total diferente, variando de 0,60 m em LRF Jardim de Alah a 7,00 m em LRF08 (Cava).

As águas dos pontos amostrados podem ser classificadas como salobras (CONAMA, 2005), com salinidades entre 11,07 em LRF04 (Jockey) e 23,24 em LRF00 (Central). Foi verificado um aumento gradativo da salinidade da superfície em direção ao fundo – padrão em todas as estações.



**Figura 16:** Variação (NMP.100mL<sup>-1</sup>) dos coliformes totais (a), termotolerantes (b) e *Enterococcus* (c) ao longo da campanha amostral, nos horários de 06h:00min, 12h:00min e 18h:00min, na estação fixa na Lagoa Rodrigo de Freitas, Rio de Janeiro, Brasil.

Os valores de oxigênio dissolvido mostraram uma clara estratificação na coluna d'água (oxiclina bem definida) na maioria dos pontos de coleta, sendo mais elevados próximos da superfície e menores no fundo. Em LRF00 (Central), observou-se uma variação de 3,02 a 9,77 mg.L<sup>-1</sup>; em LRF01 (Hípica), de 1,05 a 11,79 mg.L<sup>-1</sup>; em LRF04 (Jockey), de 1,52 a 2,87 mg.L<sup>-1</sup>; em LRF05 (Pedalinho), de 0,05 a 9,69 mg.L<sup>-1</sup>; em LRF08 (Cava), de 0,06 a 7,48 mg.L<sup>-1</sup>; em LRF J.Alah, de 6,85 a 6,92 mg.L<sup>-1</sup>. Ressalta-se que, em águas mais rasas (profundidades inferiores a 1 m), os valores variaram pouco entre superfície e fundo.

Para o carbono orgânico dissolvido (COD), nos pontos de coleta LRF00 (Central), LRF01 (Hípica), LRF08 (Cava) e LRF J.Alah foram observados valores mais elevados na superfície (de 5,23 a 5,66 mg.L<sup>-1</sup>), ao passo que em LRF04 (Jockey) e LRF05 (Pedalinho), os valores foram um pouco mais elevados no fundo (4,75 e 5,32 mg.L<sup>-1</sup>, respectivamente) (tabela 3).

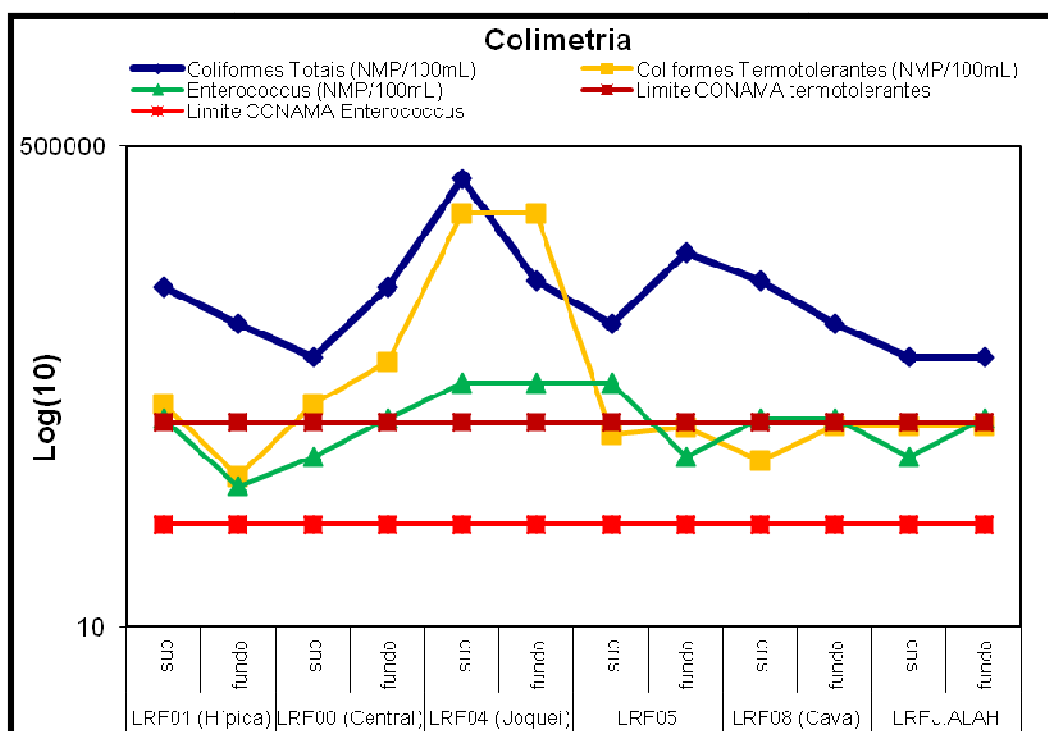
Em todos os pontos, os valores de pH foram um pouco maiores na superfície do que no fundo, com exceção de LRF04 (Jockey), que além de apresentar um valor ligeiramente mais elevado no fundo, mostrou os menores valores de pH (7,64 e 7,66) dentre todas as estações amostradas.

A transparência foi muito semelhante entre os pontos, sendo de 0,50 m para LRF00 (Central), LRF01 (Hípica), LRF05 (Pedalinho) e LRF08 (Cava) e de 0,60 m para LRF04 (Jockey) e LRF J.Alah.

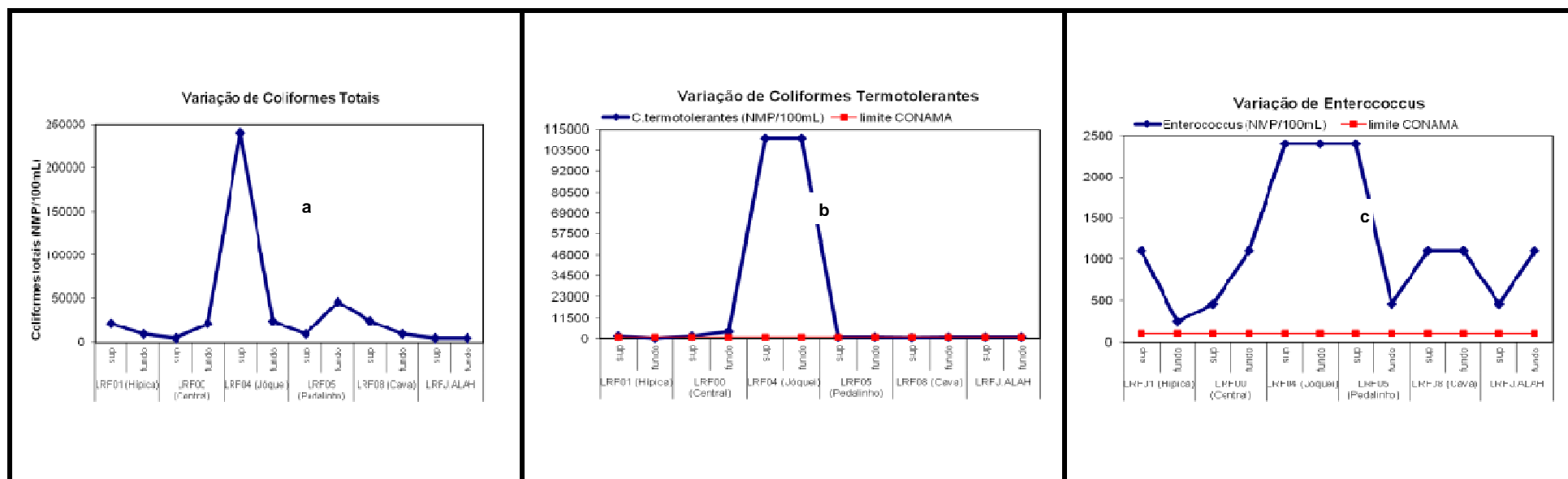
**Tabela 3:** Variação na superfície (S) e no fundo (F) dos fatores abióticos - temperatura (°C), salinidade, oxigênio dissolvido (mg.L<sup>-1</sup>), carbono orgânico dissolvido (ppm), pH e transparência (m) – e dos coliformes totais, termotolerantes e *Enterococcus* (NMP.100mL<sup>-1</sup>) nos seis pontos de coleta da Lagoa Rodrigo de Freitas, Rio de Janeiro, Brasil.

Pontos de coleta	Prof	Temp. (°C)	Sal.	OD (mg.L <sup>-1</sup> )	COD (ppm)	pH	Transp. (m)	Coliformes totais (NMP.100mL <sup>-1</sup> )	Coliformes termotolerantes (NMP.100mL <sup>-1</sup> )	<i>Enterococcus</i> (NMP.100mL <sup>-1</sup> )
LRF00 (Central)	S	22,90	15,30	9,77	5,57	8,59	0,50	4.300	1.500	460
	F	22,20	23,24	3,02	4,77	8,14	-	21.000	3.900	1.100
LRF01 (Hípica)	S	23,20	15,27	11,79	5,54	8,70	0,50	21.000	1.500	1.100
	F	22,50	15,85	1,05	4,46	8,43	-	9.300	300	240
LRF04 (Jockey)	S	23,50	11,07	2,87	4,24	7,64	0,60	240.000	110.000	≥2.400
	F	23,70	14,00	1,52	4,75	7,66	-	24000	110.000	≥2.400
LRF05 (Pedalinho)	S	23,00	15,31	9,39	5,29	8,57	0,50	9.300	750	≥2.400
	F	22,20	18,02	0,05	5,32	8,10	-	46.000	900	460
LRF08 (Cava)	S	22,30	15,21	7,48	5,66	8,45	0,50	24.000	430	1.100
	F	22,30	21,88	0,05	4,19	8,13	-	9.300	930	1.100
LRF J.ALAH	S	22,50	15,48	6,85	5,23	8,40	0,60	4.300	930	460
	F	22,50	15,49	6,92	4,56	8,39	-	4.300	930	1.100

As figuras 17 e 18 sintetizam os resultados obtidos para a avaliação espacial dos coliformes totais, termotolerantes e *Enterococcus* em relação aos limites máximos para balneabilidade estabelecidos pelo CONAMA, 2000, 2005.



**Figura 17:** Variação (NMP.100mL<sup>-1</sup>) de Coliformes Totais, Termotolerantes e *Enterococcus* em relação aos limites máximos estabelecidos pelo CONAMA, 2000, 2005 nos seis pontos de coleta da Lagoa Rodrigo de Freitas, Rio de Janeiro, Brasil.



**Figura 18:** Variação (NMP.100mL<sup>-1</sup>) de Coliformes Totais (a), Termotolerantes (b) e *Enterococcus* (c) em relação aos limites máximos estabelecidos pelo CONAMA, 2000, 2005 nos seis pontos de coleta da Lagoa Rodrigo de Freitas, Rio de Janeiro, Brasil.



Os coliformes totais variaram de 4.300 NMP.100mL<sup>-1</sup> na superfície de LRF00 (Central) e na superfície e no fundo de LRF J.Alah, possivelmente pela maior influência da água marinha, a 240.000 NMP.100mL<sup>-1</sup> na superfície de LRF04 (Jockey).

Para coliformes termotolerantes, novamente o ponto LRF04 (Jockey) apresentou os valores mais elevados, bem acima do limite máximo estabelecido pelo CONAMA (2000) para o contato primário mesmo acima dos valores estabelecidos para contato secundário. Os pontos LRF00 (Central) e LRF01 (Hípica) também mostraram valores acima do permitido.

Para *Enterococcus*, todos os valores dos pontos de coleta, tanto em superfície quanto no fundo, estiveram acima do limite máximo estabelecido pelas Resoluções CONAMA nº 274 de 2000 e nº 357 de 2005 de 100 NMP.100mL<sup>-1</sup>, portanto impróprios ao contato primário. Os valores variaram de 240 a  $\geq 2.400$  NMP.100mL<sup>-1</sup>.

#### 6.4.3. Análise do Componente Principal - PCA

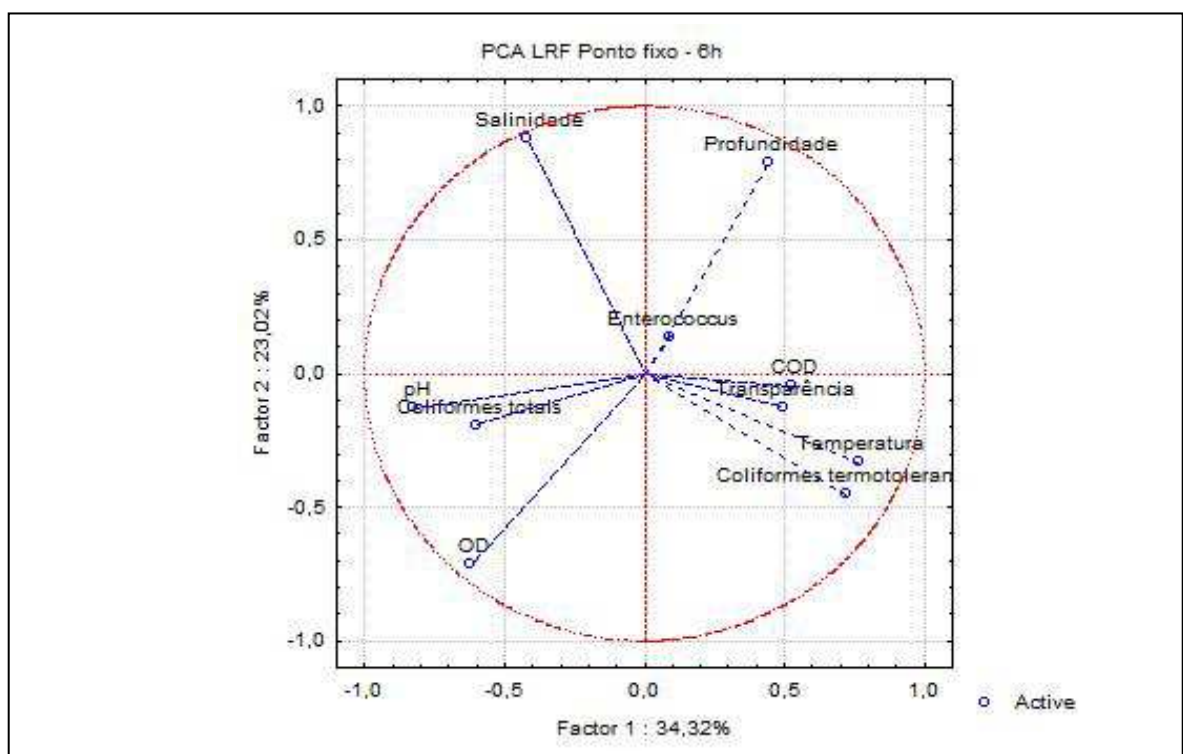
As figuras 19, 20, 21 e 22 mostram o resultado da análise dos componentes principais para os resultados obtidos na campanha realizada nos diferentes dias e em diferentes horários no ponto fixo e para a campanha das amostras espaciais.

##### 6.4.3.1. Variação temporal

A partir da análise de componentes principais (PCA) verificou-se que os fatores 1 e 2 explicaram 48,30% da variação observada para as variáveis abióticas e microbiológicas. Os parâmetros que melhor ilustram a variação encontrada no ponto fixo, durante os 5 dias e em todos os horários, foram a temperatura (0,65 para eixo fatorial 1 e -0,62 para eixo 2), a salinidade (-0,62 para eixo 1 e 0,66 para eixo 2) e o oxigênio dissolvido (-0,58 para eixo 1 e -0,76 para eixo 2), que mostraram uma correlação com os dois eixos fatoriais da PCA (figura

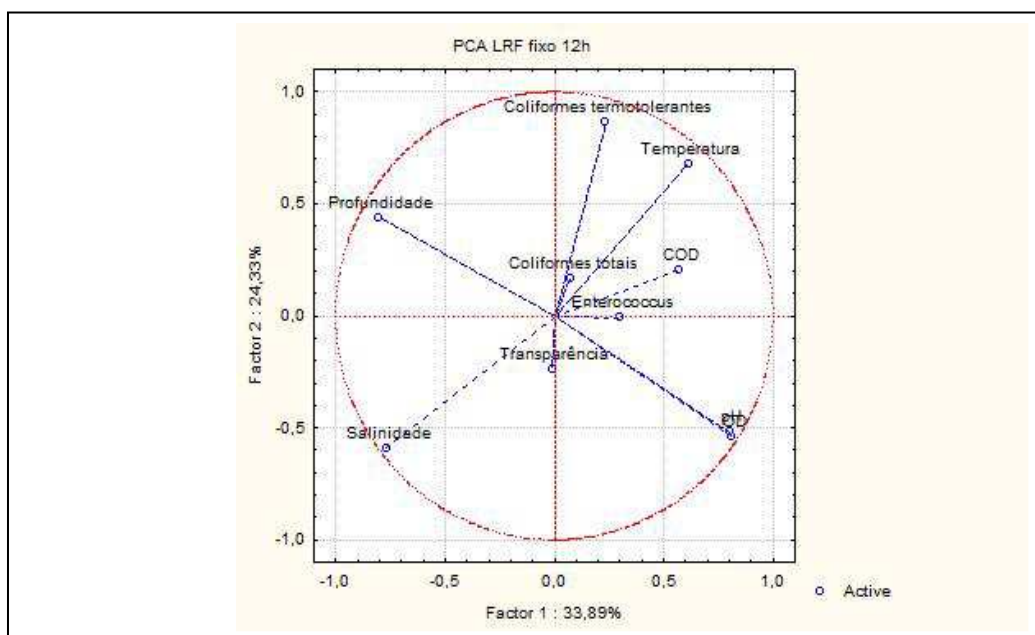
19). O pH (-0,66) e os coliformes termotolerantes (0,58) estão correlacionados somente ao fator 1 e, a profundidade, ao fator 2 (0,56).

Para avaliar uma possível influência dos fatores abióticos nas variáveis microbiológicas, aplicou-se o teste de correlação de Pearson, onde se observaram correlações negativas e significativas ( $p < 0,05$ ) entre os coliformes termotolerantes e a salinidade ( $r = -0,44$ ) e entre os coliformes totais e a temperatura ( $r = -0,48$ ).



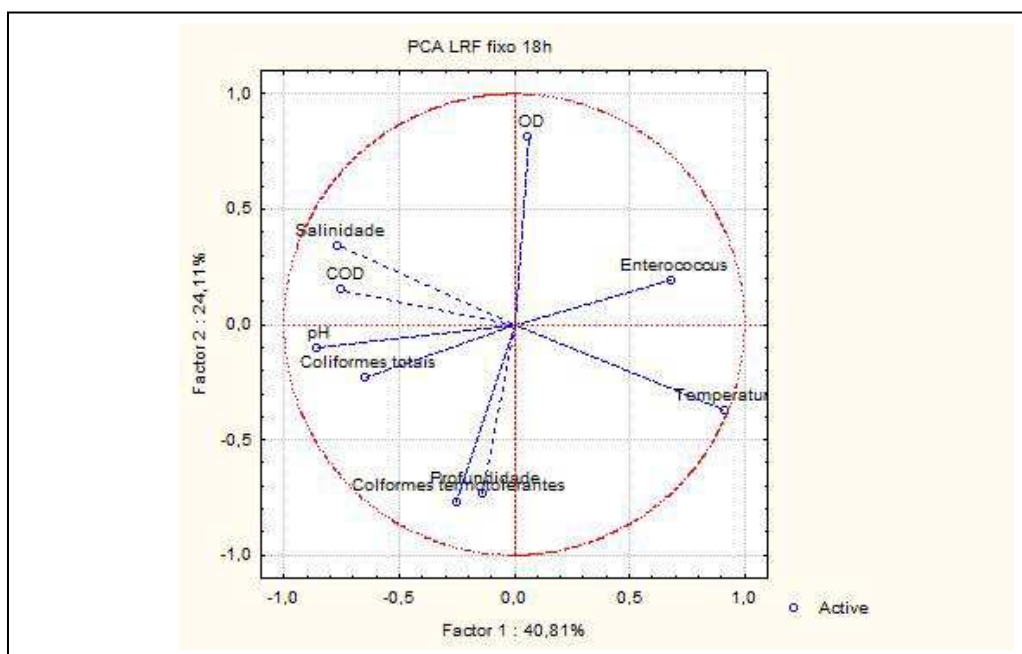
**Figura 19:** Análise do Componente Principal para os resultados observados durante uma semana na estação fixa às 06 horas.

No horário de 06 horas (figura 19) os fatores 01 e 2 explicam 57,34% da variação observada para as variáveis abióticas e microbiológicas, sendo que as variáveis pH, OD, COD, transparência, temperatura, coliformes totais e termotolerantes estão relacionados ao fator 01. E salinidade, profundidade e *Enterococcus* está relacionado aos 2 fatores.



**Figura 20:** Análise do Componente Principal para os resultados observados durante uma semana na estação fixa às 12 horas.

No horário de 12 horas (figura 20) os fatores 01 e 2 explicam 58,22% da variação observada para as variáveis abióticas e microbiológicas, sendo que as variáveis salinidade, pH, OD, COD, *Enterococcus* estão relacionados ao fator 01. E transparência, profundidade, temperatura, salinidade, coliformes totais e termotolerantes estão relacionados ao fator 2.

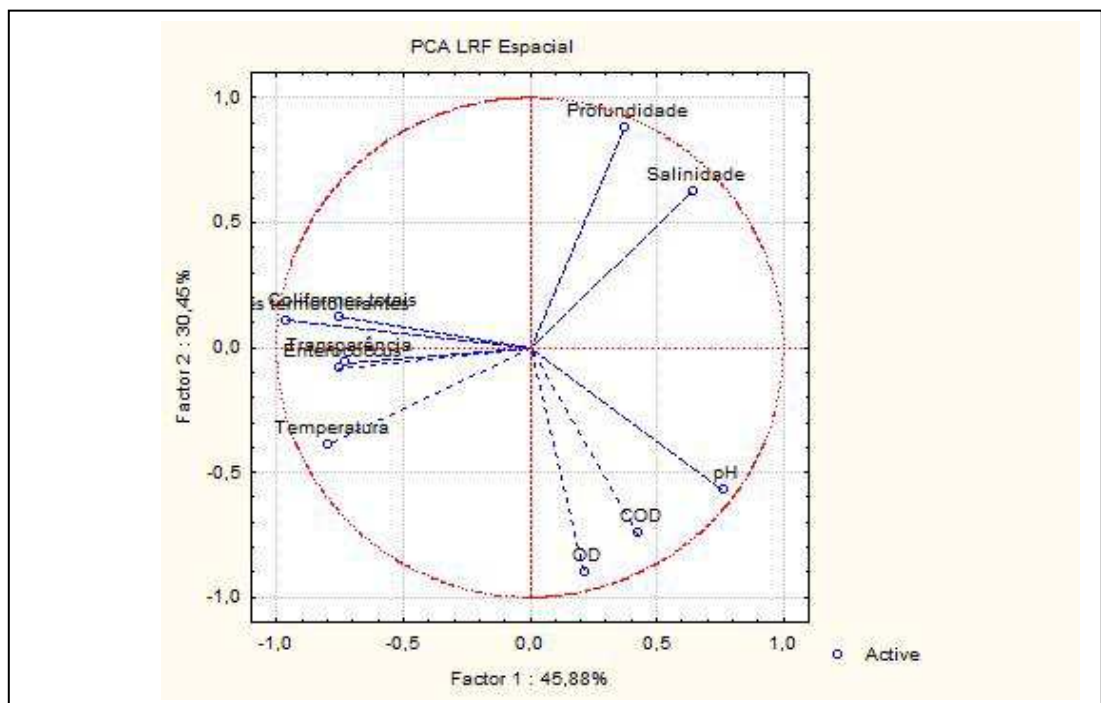


**Figura 21:** Análise do Componente Principal para os resultados observados durante uma semana na estação fixa às 18 horas.

No horário de 18 horas (figura 21) os fatores 01 e 2 explicam 64,92% da variação observada para as variáveis abióticas e microbiológicas, sendo que as variáveis temperatura, salinidade, pH, COD, coliformes totais e *Enterococcus* estão relacionados ao fator 01. E OD, profundidade e coliformes termotolerantes estão relacionados ao fator 2.

#### 6.4.3.2. Variação espacial

Na amostragem efetuada em diferentes estações na Lagoa Rodrigo de Freitas os fatores 01 e 2 explicam 76,33% da variação observada para as variáveis abióticas e microbiológicas, sendo que as variáveis temperatura, transparência, pH, coliformes totais e termotolerantes e *Enterococcus* estão relacionados ao fator 01. Enquanto que salinidade, profundidade, COD, OD e pH estão relacionados ao fator 2 (figura 22).



**Figura 22:** Análise do Componente Principal para os resultados observados durante a campanha em diferentes estações na Lagoa Rodrigo de Freitas.

## 6.5. DISCUSSÃO

A LRF é a lagoa mais urbanizada do Rio de Janeiro e seu ritmo de cheia e vazante é controlado artificialmente por um regime de fechamento e abertura de comportas (Enrich-Prast *et al*, 2008). A associação entre o tempo em que a Lagoa é mantida como um ecossistema fechado e a maior frequência de chuvas pode piorar consideravelmente, a qualidade das águas deste ambiente. A frequência de chuvas decorrente das mudanças climáticas aumentaria o aporte de esgoto nos rios e canais e, conseqüentemente, a vazão de esgoto do emissário submarino de Ipanema, piorando a qualidade das águas não somente da Lagoa Rodrigo de Freitas, mas também da zona costeira do Rio de Janeiro.

A Lagoa Rodrigo de Freitas apresenta níveis de salinidade que a enquadram na classe de águas salobras de acordo com os padrões brasileiros estabelecidos pelo CONAMA através da Resolução nº 357 de 2005.

Observou-se que ocorre uma variação espacial nos níveis dos indicadores microbianos e nos parâmetros físico-químicos, que apontam a estação Jockey Club (LRF04) como a de pior qualidade de água, ao contrário do que foi observado por Gonzalez *et al*, 2010 (tabelas 4 e 5). Os níveis de coliformes totais encontrados neste ponto (LRF04) foram cerca de 28 vezes maiores do que os encontrados nas demais estações e os níveis de coliformes termotolerantes foram 142 vezes maiores do que os encontrados nas outras estações - o que nos leva a crer que há uma entrada, ainda que irregular, de esgoto na lagoa.

Quando há entrada de esgoto (matéria orgânica) em um ecossistema aquático, o que se observa é uma diminuição da concentração do OD e do pH (oxidação da matéria orgânica) e da salinidade (esgoto é carregado com água doce) e, ao mesmo tempo, um aumento de temperatura (oxidação da matéria orgânica) e da concentração de amônia, coliformes totais, termotolerantes e *Enterococcus* (presentes no esgoto propriamente dito).

Temporalmente, picos nos níveis dos indicadores microbianos foram observados, em geral, entre 6 e 12h, horários em que foram encontradas as menores concentrações de oxigênio dissolvido, indicando entrada de matéria

orgânica de origem fecal. A exceção foi no dia 4, quando os níveis de todos os indicadores microbiológicos diminuíram, voltando a subir no dia 5. No 4º dia amostrado houve uma forte chuva, com índice de pluviosidade acumulado de 24 h foi de 9,8 mm (Alerta Rio, 2012).

A água de chuva que cai diretamente no corpo de água como a Lagoa Rodrigo de Freitas pode, em um primeiro momento, diluir os microrganismos presentes na superfície da coluna de água, mas, a seguir a água lixiviada do seu entorno (solo e vias urbanas) bem como a água proveniente das bacias hidrográficas se juntam ao corpo de água carregando microrganismos e neste momento é de se esperar um aumento de sua densidade.

Para coliformes termotolerantes, nosso estudo apresentou valores mais elevados do que os obtidos por Gonzalez *et al* (2010), especialmente na estações situadas no Canal do Jardim de Alah, na Curva do Calombo e no Clube Piraquê. Em relação ao estudo de Lutterbach *et al* (2001), os valores do atual estudo estão mais próximos daqueles encontrados para os anos de 1994-1995 e inferiores aos observados entre 1996 e 1998 (tabela 4).

Ao compararmos os resultados de *Enterococcus* do presente estudo (240 NMP.100mL<sup>-1</sup> a 2.400 NMP.100mL<sup>-1</sup>) com aqueles encontrados por Gonzalez *et al* (2010), cuja variação foi de 42 NMP.100mL<sup>-1</sup> a 322 NMP.100mL<sup>-1</sup>, verificou-se que os níveis encontrados em 2011 foram muito superiores, sugerindo que a contaminação por matéria fecal (esgotos) continua a acontecer, mesmo que, segundo os dados oficiais da CEDAE (Companhia Estadual de Água e Esgotos) e do INEA, não ocorra despejo de esgotos na Lagoa Rodrigo de Freitas.

**Tabela 4** Comparação dos níveis de Coliformes Termotolerantes (NMP.100mL<sup>-1</sup>) obtidos para amostras de água em diversas estações da Lagoa Rodrigo de Freitas, RJ, no presente trabalho com estudos executados nos períodos de 1994 a 1998 e no ano de 2000.

Ano	Jardim de Alah	Parque do Cantagalo	Clube Piraquê	Túnel Rebouças	Canal Central	Referências
1994-95	612	686	600	650	-	Lutterbach <i>et al</i> , 2001
1995-96	4.896	7.197	3.502	4.869	-	Lutterbach <i>et al</i> , 2001
1996-97	2.494	2.539	14.834	4.528	-	Lutterbach <i>et al</i> , 2001
1997-98	2.281	4.483	7.437	22.385	-	Lutterbach <i>et al</i> , 2001
2000	5.64	48	150	1.220	1.190	Gonzalez <i>et al</i> , 2010
2011	930	750 Pedalinho	4.701	1.500 Hipica	1.500	Presente estudo

Segundo o INEA (2007), o índice de coliformes termotolerantes era de 16.000 NMP.100mL<sup>-1</sup> e agora está entre 1.000 NMP.100mL<sup>-1</sup> e 1.700 NMP.100mL<sup>-1</sup>. O atual nível seria adequado para o contato secundário, mas, não para o contato primário (INEA, 2011). Possivelmente, o decréscimo dos níveis de coliformes termotolerantes da Lagoa Rodrigo de Freitas a partir de 2007 foi decorrente da ação conjunta da CEDAE com o INEA e o Projeto Lagoa Limpa, que visaram minimizar a degradação deste ecossistema (EBX, 2011; INEA, 2011).

**Tabela 5** Comparação entre os valores de variáveis abióticas encontradas para amostras de água em trabalhos anteriores e no presente estudo, para diversas estações da Lagoa Rodrigo de Freitas, RJ.

Estações	Temperatura (oC)	Salinidade	Oxigênio dissolvido (mL.L-1)	Clorofila a (µg.L-1)	Referências
Jardim de Alah	26.09 ± 3.63 18.00–30.00	7.05 ± 1.45 5.22–9.58	6.27 ± 2.86 1.74–11.54	86.70 ± 71.57 1.65–204.59	Gonzalez <i>et al</i> , 2010
Curva do Calombo	26.01 ± 3.73 19.60–31.00	7.10 ± 1.46 5.27–9.18	7.13 ± 2.75 3.53–11.26	84.75 ± 75.60 4.95–197.99	Gonzalez <i>et al</i> , 2010
Clube Piraquê	26.05 ± 3.64 18.90–31.00	7.12 ± 1.48 5.29–9.52	6.05 ± 2.44 2.52–11.65	85.64 ± 79.90 3.30–219.43	Gonzalez <i>et al</i> , 2010
Túnel Rebouças	26.24 ± 3.48 19.60–30.00	7.30 ± 1.58 5.34–9.54	6.34 ± 2.23 2.80–10.28	128.99 ± 129.88 3.30–353.08	Gonzalez <i>et al</i> , 2010
Canal Central	26.16 ± 3.59 19.10–31.00	7.10 ± 1.56 5.29–9.85	6.58 ± 2.82 2.49–11.54	110.99 ± 132.37 1.65–438.87	Gonzalez <i>et al</i> , 2010
2011	22,17 ± 0,30 20.40–22.50	15.87 ± 0,66 11.07–23.24	6,63 ± 1,90 0,05–11,79	-	Presente estudo

O Decreto no. 18.415, de 01 de Março de 2000, estabelece os parâmetros e as diretrizes de uso para o espelho de água da Lagoa Rodrigo de Freitas e aponta para o uso da Lagoa apenas para contato secundário e para a prática de esportes náuticos, entre outros, uma vez que a qualidade das águas da Lagoa já está comprometida. Segundo o INEA o objetivo das ações impetradas neste ecossistema para diminuir sua degradação, era criar “...ambiente ecologicamente saudável e com uma comunidade fitoplanctônica com maior número de espécies...”.

Devemos lembrar que a Resolução nº 357 de 2005, CONAMA, em seu capítulo V, artigo 38, parágrafo 1 diz que o enquadramento do corpo hídrico será definido pelos usos preponderantes mais restritivos da água, atuais ou pretendidos, portanto esta classificação deve ser olhada com cautela. São consideradas atividades de contato primário com a coluna d' água além do banho ou natação, outros esportes aquáticos, tais como o esqui aquático, o *wakeboarding*, o *stand up paddle*, também praticados na Lagoa, que levam o esportista a mergulhar na água, o que caracteriza o contato primário. É comum observarmos na LRF pescadores dentro da água lançando suas redes de pesca, novamente uma atividade de contato primário (INEA, 2011).

Além da classificação dada para as águas da Lagoa Rodrigo de Freitas, destinadas ao contato secundário, também está o fornecimento de espécies destinadas à alimentação humana (Pereira e Medeiros, 2009). A Lagoa tem uma ictiofauna bem característica, com espécies de água doce, salobra e marinha. Em 1994, foram registradas 30 espécies e hoje são encontradas 25 espécies, sendo quatro de importância econômica (robalo, tainha, parati e cara) (Pinheiro e Pinheiro, 2009), portanto, mesmo que o INEA classifique seu uso como contato secundário (classe 2), ainda assim neste ecossistema há a atividade de pesca licenciada pelo município, com a exploração de espécies de interesse comercial e esta atividade classifica o uso da lagoa dentro da classe 1 e não da classe 2.

Acreditamos assim que se deve levar em conta, para efeito de classificação da qualidade da água da Lagoa, os limites determinados pela legislação para o contato primário e não os limites de contato secundário. Devemos também ter em mente que para o pescado existem limites próprios e



enfatizamos que a legislação prevê que um corpo d'água deve ser enquadrado pelo limite mais restritivo.

Não podemos esquecer que o enquadramento expressa metas finais a serem alcançadas, podendo ser fixadas por metas progressivas intermediárias, obrigatórias, visando a sua efetivação e este enquadramento dos corpos de água deve estar baseado não necessariamente no seu estado atual, mas nos níveis de qualidade que deveriam possuir para atender às necessidades da comunidade (CONAMA, 2005).

O trabalho para reverter a degradação da LRF já recebeu um investimento de R\$ 150 milhões para a reforma das estações elevatórias e na construção da galeria de cintura, bem como na fiscalização de despejos irregulares, que já localizou mais de 200 ligações irregulares e ajudou a diminuir a concentração das bactérias (EBX, 2011; INEA, 2011). Entretanto, os dados deste estudo indicam que, apesar das melhorias já implementadas para captação de esgoto, ainda há a descarga de material de origem fecal, ou seja, que esgotos irregulares chegam à Lagoa Rodrigo de Freitas em especial na região da estação LRF04 (Jockey). Estes dados são corroborados por boletins de qualidade da água emitidos pelo INEA (2011), que mostram que esta área exhibe constantemente os piores níveis de qualidade de água. As estações LRF Hípica e LRF Central também exibiram níveis de coliformes termotolerantes acima dos níveis recomendados pelo CONAMA para contato primário. Já os níveis de *Enterococcus* em todos os pontos da lagoa estão fora dos padrões recomendados para balneabilidade.

## 6.6. CONCLUSÕES

A Lagoa Rodrigo de Freitas continua sendo um ecossistema altamente eutrofizado, com a qualidade de sua coluna d'água afetada tanto por seu padrão de circulação quanto pela entrada de esgoto doméstico. É uma lagoa sufocada, com baixa renovação de água, associada a uma entrada de matéria orgânica em especial aquela de origem fecal, como constatada pelos indicadores microbianos utilizados neste estudo: os coliformes.

As bactérias heterotróficas do grupo dos coliformes que, por definição, são microrganismos que utilizam moléculas orgânicas como fonte de carbono, apesar de exibirem pouca tolerância à salinidade da água do mar e ao processo de cloração, podem sobreviver e até se desenvolver em águas de salinidades mais baixas (salobras) e com alto teor de matéria orgânica, como é o caso da lagoa - condições já constatadas anteriormente (Lutterbach *et al*, 2001; Gonzalez *et al*, 2006; Gonzalez *et al*, 2010).

A presença de coliformes e *Enterococcus* indicam que há grandes possibilidades de também estarem presentes microrganismos patogênicos neste ambiente (Hagler *et al*, 1986; Pagnoca *et al*, 1991). Estas condições favorecem também a diminuição da qualidade sanitária como mostrado pela presença de *Salmonela* e *Vibrio* (Gonzalez *et al*, 2010).

Medidas mitigadoras para melhorar a qualidade sanitária de qualquer ecossistema devem incluir ações de educação ambiental, de fiscalização por parte dos órgãos ambientais competentes e também da sociedade que pode se manifestar de diversas formas, inclusive através de ações judiciais.

## 7. CONCLUSÃO GERAL

O lançamento indevido de esgotos domésticos é um impacto conhecido e persistente em diversos ecossistemas costeiros e que continua a contribuir consideravelmente para a degradação sanitária destes.

O crescimento populacional e a melhoria econômica tanto no entorno da Baía de Guanabara quanto das lagoas de Imboassica (Macaé, RJ) e Rodrigo de Freitas (Rio de Janeiro, RJ), não contribuíram, necessariamente, para a melhora da qualidade sanitária da sua coluna de água dos ecossistemas abrangidos neste estudo.

Os resultados dos dados levantados durante os 34 anos de monitoramento de coliformes termotolerantes na coluna de água da Baía de Guanabara mostram que a região noroeste deste ecossistema continua sendo a região de pior qualidade ambiental a despeito da implantação de ETEs neste período. Conclui-se que o crescimento da população dos municípios desta área não foi acompanhado pelo investimento em infraestrutura de esgotamento sanitário. A melhoria dos níveis dos indicadores microbianos fecais só pode ser observada nas regiões central e nordeste da baía de Guanabara e pode estar ligada ao aumento da infraestrutura de esgotamento sanitário.

Na porção mais afastada do mar, da Lagoa de Imboassica, há evidências de um processo crescente de ocupação urbana somado a um maior aporte de esgoto, o que afeta a qualidade sanitária desta região do ecossistema. Os diferentes níveis de coliformes identificados em cada estação da lagoa Imboassica demonstram que há uma heterogeneidade espacial intralagunar e também sinaliza para a importância de um monitoramento mais abrangente desta lagoa.

A Lagoa Rodrigo de Freitas é a lagoa mais urbanizada do Rio de Janeiro e continua a ser um ecossistema altamente eutrofizado, com a qualidade de sua coluna d'água afetada tanto por seu padrão de circulação quanto pela entrada de esgoto doméstico. Foram observadas variações de curto prazo nos níveis de

coliformes termotolerantes, bem como variações espaciais que afetaram a a balneabilidade deste ecossistema.

Enfatizamos a importância de que os programas de monitoramento ambientais devam incluir diferentes localidades, bem como de períodos temporais diversos de coleta de dados, de modo que os resultados observados reflitam as diferenças espaciais, temporais dos impactos a que os ecossistemas estão sujeitos.

É essencial que os resultados dessas pesquisas sejam disponibilizados e possam servir de base para orientar a tomada de decisões permitindo minimizar a influência negativa de atividades de origem humana e assegurando a conservação dos recursos aquáticos. Somada a isso, é necessário que as medidas mitigadoras implementadas para melhorar a qualidade sanitária de qualquer ecossistema incluam ações de fiscalização por parte dos órgãos ambientais competentes e de programas de educação ambiental

Concluimos que, diante dos problemas observamos nestes ecossistemas, ainda são necessárias ações mais efetivas de implantação de sistemas de saneamento básico, em particular, aqueles que dizem respeito à coleta e ao tratamento de esgoto produzido por uma população sempre crescente. Não se vislumbra, mesmo após anos de diversos programas e de muito dinheiro gasto, que tenhamos encontrado e colocado em ação as soluções definitivas para resolver os problemas que levam à degradação ambiental.

## 8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abessa, D. M. De S.; Rachid, B. R. De F.; Moser, G. A. De O. E Oliveira, A.J. F. C. de. 2012. Efeitos ambientais da disposição oceânica de esgotos por meio de emissários submarinos: uma revisão *O Mundo da Saúde*, São Paulo, 36(4):643-661.
- Abreu, P.C., Biddanda, B., Odebrecht, C. 1992. Bacterial dynamics of the Patos Lagoon estuary, southern Brazil (32°S, 52°W): relationship with phytoplankton production and suspended material. *Estuar. Coast. Shelf Sci.*, 35: 621-635.
- Alerta Rio. 2012. *Sistema Alerta Rio da Prefeitura do Rio de Janeiro* <<http://www0.rio.rj.gov.br/alertario/> (Acesso em 03/05/2012).
- Alkan, U.; Elliot, D.J. E Evison, L.M. 1995. Survival of Enteric Bacteria in Relation to Simulated Solar Radiation and other Environmental Factors in Marine Waters. *Wat. Res.* (29) 9:2071-2081.
- Amador, E. Da S. 1997. *Baía de Guanabara e Ecossistemas Periféricos: Homem e Natureza*. São Paulo: Reproarte Gráfica e Editora Ltda.
- American Public Health Association (APHA). 2000. *Standard Methods for Examination of Water and Wastewater*. 20<sup>th</sup> Ed. Washington, D.C.: American Public Health Association, APHA, AWWA, WEF.
- Andrade. L.; Gonzalez, A.M.; Araujo, F.V.; Paranhos, R. 2003. Flow cytometry assessment of bacterioplankton in tropical marine environments. *Journal of Microbiological Methods* 55: 841– 850.
- Araujo, F.V., Van Wereelt, M.D.M., Franco, G.M.O., Soares, C.G.A., Hagler, A.N., Mendonça-Hagler, L.C. 1991. Classification based on coliform count of coastal waters in metropolitan Rio de Janeiro, Brazil. *Proceedings of the 7<sup>th</sup> Symposium on Coastal and Ocean Management – Coastal Zone 91*. American Society of Civil Engineers, New York, p. 3246-3258.
- Araújo, M.A., Guimarães, V.F., Hagler, A.N., Mendonça-Hagler, L. C. 1990. *Staphylococcus aureus* and *fecal streptococci* in fresh and marine surface waters of Rio de Janeiro, *Brasil. Rev. Microbial.* 21: 141-147.
- Araújo, F. V. 1989. *Qualidade microbiana de águas litorâneas destinadas a balneabilidade e a extração de moluscos, no Rio de Janeiro e Niterói*. Monografia do Departamento de Biologia Marinha do Instituto de Biologia da Universidade Federal do Rio de Janeiro. 96 pp.
- Atlas, R.M. & Bartha R. 1993. *Microbial Ecology*. Fundamentals and Applications. 2a ed. Menlo Park, The Benjamin/Cummings Publishing Company, Inc. 533 pp.

- Ben-Dan, T. B.; Shteinman, B.; Kamenir, Y.; Itzhak, O. & Hochman, A. 2001. Hydrodynamical Effects on Spatial Distribution of Enteric Bacteria in the Jordan River-Lake Kinneret Contact Zone. *Water Research*. V. 35 (1) 311-314.
- Bonilla, T.D.; Nowosielski, K.; Cuvelier, M.; Hartz, A.; Green, M.; Esiobu, N.; Mccorquodale, D.S.; Fleisher, J.M.; Rogerson, A. 2007. Prevalence and distribution of fecal indicator organisms in South Florida beach sand and preliminary assessment of health effects associated with beach sand exposure. *Marine Pollution Bulletin*: 1-11.
- Braga, E.S., Bonetti, C.V.D.H., Burone, L., Boneeti F<sup>o</sup>, J. 2000. Eutrophication and Bacterial Pollution Caused by Industrial and Domestic Waste at the Baixada Santista Estuarine System – Brazil. *Marine Pollution Bull.* 40: 165-173.
- Brasil - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), 2014<sup>a</sup>. *Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílio- PNAD*. Disponível em: <http://www.sidra.ibge.gov.br/pnad/pnadtic.asp> Acesso em 10 de março de 2014.
- Brasil - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), 2014<sup>b</sup>. *Censo demográfico 1950/2010*. Disponível em: <http://seriesestatisticas.ibge.gov.br/> Acesso em 02 de março de 2014.
- Brasil - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). 2011. *Atlas de Saneamento 2011*. Ministério do Planejamento, Orçamento e gestão.
- Brasil - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). 2000. Diretoria de Pesquisas, Departamento de População e Indicadores Sociais, *Pesquisa Nacional de Saneamento Básico 2000*. Disponível em: <[http://www.ibge.gov.br/home/estatística/população/condicaodevida/pnsb/esgotamento\\_sanitario/esg\\_sanitario50.shtm](http://www.ibge.gov.br/home/estatística/população/condicaodevida/pnsb/esgotamento_sanitario/esg_sanitario50.shtm)>. Acesso em: 10 set. 2002
- Brasil - Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA) Ministério do Meio Ambiente. 2000. *Resolução nº 274 de 29 de novembro de 2000. Institui a classificação das águas doces, salobras e salinas essencial à defesa dos níveis de qualidade, avaliados por parâmetros e indicadores específicos, de modo a assegurar as condições de balneabilidade*. Disponível em [www.mma.gov.br/port/conama/res/resoo/res27400.html](http://www.mma.gov.br/port/conama/res/resoo/res27400.html), acessado em 19/07/2006.
- Brasil - Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA). 2005. Ministério do Meio Ambiente. *Resolução nº 357 de 17/03/2005, que dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências* Diário Oficial da União, Brasília, DF, 17/03/2005

- Brasil - Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro (PNGC). 2014. *Lei nº 7661 de 1988, que dispõe sobre regras de uso e ocupação da zona costeira, estabelece critérios de gestão da orla marítima e dá outras providências.* Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2004-2006/2004/decreto/D5300.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2004/decreto/D5300.htm). (30/05/2014)
- Byappanahalli, M.; Fowler, M.; Shively, D. & Whitman R. 2003. Ubiquity and Persistence of *Escherichia coli* in a Midwestern Coastal Stream. *Applied and Environmental Microbiology*. V. 69 (8) 4549-4555.
- Cardoso, W. M. *Análise Microbiológica de Alimentos - Parte I*. 1985. São Paulo: Editora Diagnóstica MERCK.
- Carreira, R. et al. 2001. Distribuição de coprostanol (5b(H)-COLESTAN-3b-OL) em sedimentos superficiais da baía de Guanabara: indicador da poluição recente por esgotos domésticos. *Química Nova*, v. 24, n. 1, p. 37 – 42.
- Carvalho, P. M. B. de. 1993. *Sobrevivência “In Vitro” de Microorganismos Indicadores de Poluição e Patogênicos em Água de Ambientes Estuarinos*. 50p. Monografia (Bacharel em Biologia Marinha). Departamento de Biologia Marinha. Instituto de Biologia. Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ.
- Centro Estadual De Estatísticas Pesquisas E Formação De Servidores Públicos Do Rio De Janeiro – Fundação CEPERJ 2015. <http://www.ceperj.rj.gov.br/ceep/ent/publicacoes.html>. Acesso em abril de 2015.
- Centro Estadual De Estatísticas Pesquisas E Formação De Servidores Públicos Do Rio De Janeiro - Fundação CEPERJ. 2013. *População residente estimada, segundo as Regiões de Governo e municípios Estado do Rio de Janeiro – 1970 a 2010 e 2011-2013*. Anuário Estatístico do Estado do Rio De Janeiro- 2013. Disponível em: <http://www.ceperj.rj.gov.br/ceep/ent/publicacoes.html>. Acesso em abril de 2015.
- Centro Estadual De Estatísticas Pesquisas E Formação De Servidores Públicos Do Rio De Janeiro - Fundação CEPERJ. 2013. *Economias e ligações de esgoto, economias residenciais de esgoto, população total atendida e extensão da rede de esgoto , segundo as Regiões de Governo e municípios Estado do Rio de Janeiro – 2010 e 2012*. Anuário Estatístico do Estado do Rio De Janeiro- 2013. Disponível em: <http://www.ceperj.rj.gov.br/ceep/ent/publicacoes.html>. Acesso em abril de 2015.
- Centro Estadual De Estatísticas Pesquisas E Formação De Servidores Públicos Do Rio De Janeiro - Fundação CEPERJ. 2013. *Estações de tratamento de*

- esgoto, segundo as Regiões de Governo e municípios Estado do Rio de Janeiro – 2012*. Anuário Estatístico do Estado do Rio De Janeiro- 2013. Disponível em: <http://www.ceperj.rj.gov.br/ceep/ent/publicacoes.html>. Acesso em abril de 2015.
- Coelho, V. 2007. *Baía de Guanabara, uma história de agressão ambiental*. Casa da Palavra, Rio de Janeiro, 278pp.
- Colwell, R.R & Grimes, D.J. eds. 2000. *Nonculturable Microorganisms in the Environment*. ASM Press, Washington, Springer, USA.
- Conselho Das Comunidades Européias (CCE). 2009. *Diretiva do Conselho nº. 76/160/CCE de 08 de dezembro de 1975. Relativa à qualidade das águas balneáveis*. Disponível em: [http://eurlex.europa.eu/smartapi/cgi/sga\\_doc?smartapi!celexplus!prod!DocNumber&lg=pt&type\\_doc=Directive&an\\_doc=1976&nu\\_doc=160](http://eurlex.europa.eu/smartapi/cgi/sga_doc?smartapi!celexplus!prod!DocNumber&lg=pt&type_doc=Directive&an_doc=1976&nu_doc=160) Acesso em: 30 nov. 2009.
- Dantas F.V. A.; Leoneti A B.; Oliveira S V W. B De; Oliveira M. M. B de. 2012. Uma Análise da Situação do Saneamento no Brasil *FACEF Pesquisa: Desenvolvimento e Gestão*, v.15, n.3: .272-284.
- Davis, K.; Anderson. M. A. & Yates, M. V. 2005. Distribution of Indicator Bacteria in Canyon Lake, California. *Water Research*. V. 39, 1277-1288.
- Duarte, P.; Bernardo, J.M.; Costa; A.M.; Macedo, F.; Calado, G.& Cancela Da Fonseca, L. 2002. Analysis of Coastal Lagoon Metabolism as a Basis for Management. *Aquatic Ecology* 36: 3-19.
- EBX. 2011. *Projeto Ambiental Lagoa Limpa*. Disponível em: <http://www.lagoalimpa.com.br/projeto.aspx>. Acesso em 13 de outubro de 2011.
- Edberg, S. C., Rice, E.W., Karlin, R.J. & Allen, M.J. 2000. Escherichia coli: the best biological drinking water indicator for public health protection. *Journal of Applied Microbiology*,88, 106s-116s.
- Enrich Prast, A.E.; Bento, L.F.J. & Santoro, A.L. De Souza. 2008. *Sistemas Lagunares*. In: *Rio os Próximos 100 Anos: O Aquecimento Global e a Cidade*. Gusmão, P.P.; Carmo, P.S. & Besserman, S. (org). Instituto Municipal de Urbanismo Pereira Passos-IPP/SMU, Rio de Janeiro,229pp.
- Environmental Protection Agency. U. S. (EPA). 1986. Office of Water. Regulations and Standards. Criteria and Standards Division. *Ambient Water Quality Criteria for Bacteria*. Disponível em: <http://www.epa.gov/waterscience/beaches/files/1986crit.pdf> acesso em 30 nov. 2009.



- Esteves, F. A. 1998a. Lagoa Imboassica: Impactos Antrópicos, Propostas Mitigadoras e Sua Importância para a Pesquisa Ecológica. In: *Ecologia das Lagoas Costeiras do Parque Nacional da Restinga de Jurubatiba e do Município de Macaé (RJ)*. NUPEM/UFRJ. p. 401-429.
- Esteves, F. A. 1998b. Lagoas Costeiras: Origem, Funcionamento e Possibilidades de Manejo, In: *Ecologia das Lagoas Costeiras do Parque Nacional da Restinga de Jurubatiba e do Município de Macaé (RJ)*. NUPEM/UFRJ. 63-87.
- Esteves, F. A. 1998c. *Fundamentos de Limnologia*. 2ª edição. Interciência. Rio de Janeiro. 600pp.
- Fundação Estadual De Engenharia Do Meio Ambiente (FEEMA).1990. *Projeto de Recuperação Gradual do Ecossistema da Baía de Guanabara: Indicadores Ambientais de Degradação, Obras e Projetos de Recuperação*. 364 p. Apud: ALMEIDA. E. V de. *Variação Espaço Temporal dos Crustáceos Decápodes Planctônicos ao Longo de um Gradiente de Degradação Ambiental, Baía de Guanabara, RJ*. 2001. Monografia (Bacharel em Biologia). Departamento de Biologia Marinha. Instituto de Biologia. Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ, 32 pp.
- Fundação Estadual De Engenharia Do Meio Ambiente (FEEMA). 1998. *Recuperação Gradual da Baía de Guanabara: Problemática e Soluções*, RJ. 20 p. Apud: ALMEIDA. E. V de. *Variação Espaço Temporal dos Crustáceos Decápodes Planctônicos ao Longo de um Gradiente de Degradação Ambiental, Baía de Guanabara, RJ*. 2001. 32 f. Monografia (Bacharel em Biologia). Departamento de Biologia Marinha. Instituto de Biologia. Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ.
- Figueras, M. J. et al. 2000. Sanitary Inspection and Microbiological Water Quality. In: *Monitoring Bathing Waters - A Practical Guide to the Design and Implementation of Assessments and Monitoring Programs*. Organização Mundial de Saúde (OMS). Disponível em: <[http://www.who.int/water\\_sanitation\\_health/bathing/bathwatchchap8.pdf](http://www.who.int/water_sanitation_health/bathing/bathwatchchap8.pdf)> acesso em: 27 nov. 2009
- Filippo, A. M E Figueiredo Jr, A. G. 2012. Caracterização Hidrodinâmica. **In** Meniconi, M de F.G.; Silva,T.A; Fonseca, M.L.; Lima, S.O.F.;Lima, E.F.A; Lavrado, H.P. e Figueiredo Jr, A.G. (eds). *Baía de Guanabara: Síntese do Conhecimento Ambiental. Volume 1 Ambiente e Influência Antrópica*. PETROBRAS, 2012, Rio de Janeiro, 337pp.
- Fujioka R.S. & Narikawa O.T. 1982. Effect of Sunlight on Enumeration of Indicator Bacteria Under Field Conditions *Applied and Environmental Microbiology*, Vol. 44, No. 2: 395-401 .

- Fujioka, H.H.; Hashimoto, E.B.; Siwak, R.H.F. 1981. Young Effect of sunlight on survival of indicator bacteria in seawater. *Appl. Environ. Microbiol.* 41: 690–696.
- Galvão Jr, A. De C.; Turolla, F. A.; Teixeira, C. P.; Nascimento, R. M. P. E Custódio, A. M. B. 2015. *Diagnóstico da situação dos planos municipais de saneamento básico e da regulação dos serviços nas 100 maiores cidades brasileiras*. Instituto Trata Brasil, São Paulo, 50pp.
- Galvão, J.A. 2004. *Qualidade microbiológica da água de cultivo e de mexilhões Perna perna (Linnaeus, 1758) comercializados em Ubatuba*, Dissertação de Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/111141/tde-16092004-164101/>>. Acesso em: 2014-10-29. 2004.
- GESAMP (IMO/FAO/UNESCO-IOC/WMO/IAEA/UM/UNEP) Joint Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine Environmental Protection and Advisory Committee on Protection of the Sea. 2001. A sea of troubles. *Rep.Stud.GESAMP* N<sup>o</sup>. 70, 35pp.
- GESAMP (IMO/FAO/UNESCO-IOC/WMO/WHO/IAEA/UN/UNEP) Joint Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine Environmental Protection and Advisory Committee on Protection of the Sea. 1981. Report of 12<sup>th</sup> session *Rep. Stud. GESAMP* n. 14, 74 pp.
- Gomes, E.A.T. 1997. *Estrutura e Diversidade das Comunidades de Bactérias Planctônicas e Bentônicas da Lagoa da Barra, Maricá- Rio de Janeiro*. 182 f Doutorado (Microbiologia) Instituto de Microbiologia, Universidade Federal do Rio de Janeiro- UFRJ,
- Gomes, E.A.T., Ventero, M.M., Mendonça–Hagler, L.C.S., Hagler, A. N. 1998. Aquatic bacteria in a tropical coastal lagoon. *Verh. Internat. Verein. Limnol.* 26: 1468-1472.
- Gondim, Joaquim. 2009. *Uso Múltiplo das Águas*. Superintendência de Usos Múltiplos da ANA. Brasília.
- Gonzalez, J.M.; Iriberry, J.; Egea, L. E Barcina, I.1992. Characterization of Culturability, Protistan Grazing, and Death of Enteric Bacteria in Aquatic Ecosystems. *Applied and Environmental Microbiology*, 998-1004.
- Gonzalez, A. M.; Paranhos, R.; Lutterbach, M. S. 2010. Relationships between fecal indicators and pathogenic microorganisms in a tropical lagoon in Rio de Janeiro, Brazil. *Environ Monit Assess* 164:207–219.
- Gonzalez, A. M.; Paranhos, R.; Lutterbach, M. S. 2006. Heterotrophic Bacteria Abundances in Rodrigo de Freitas Lagoon (Rio De Janeiro, Brazil). *Brazilian Journal of Microbiology* 37:428-433

- Gonzalez, A.S.M. 2001. *Bactérias Heterotróficas da Lagoa Rodrigo de Freitas (Rio de Janeiro, Brasil): Aspectos Ecológicos e Sanitários*. Universidade Santa Ursula Dissertação, 136 pp.
- Gonzalez, A.S.M. & Lutterbach, M.T.S. 2000. *Avaliação Microbiológica de uma Lagoa Costeira: Lagoa Rodrigo de Freitas, Rio de Janeiro, Brasil*. Simpósio de Ecossistemas Brasileiros: Conservação. Universidade do Espírito Santo, Vitória, vol III, p. 421-428.
- Gotelli, N.J. & Ellison, A.M. 2011. *Princípios de estatística em ecologia*. 2ªEd., 528 pp.
- Guimarães, G. P. 2009. *Fluxos de óxido nitroso e amônia na interface água-ar: estimativas e fatores de controle para a Baía de Guanabara (Rio de Janeiro, Brasil)*. Tese de Doutorado em Geociências, UFF.
- Guimarães, V.F., Araújo, M.A.V., Hagler, L.C. M., Hagler, A.N. 1993. *Pseudomonas aeruginosa* and other microbial indicators of pollution in fresh and marine water of Rio de Janeiro, Brazil. *Environmental Toxicology and Water Quality*, 8: 313-322.
- Hagler, A.N. & Mendonça-Hagler L.C. S. 1988. *Indicadores Microbiológicos de Qualidade Sanitária*. In: I. ROITMAN, L. R. TRAVASSOS & J. L. AZEVEDO ed. *Tratado de Microbiologia*. Ed. Manole, São Paulo, V II, 125 pp.
- Hagler, A.N., Mendonça-Hagler, L.C., Santos, E.A., Farage, S., Silva Filho, J.B., Schrank, A., Oliveira, R. 1986. Microbial pollution indicator Brazilian tropical and subtropical marine surface waters. *The Science of the Total Environment*, 58: 151-160.
- Hagler, A.N. & Mendonça-Hagler, L.C. 1981. Yeasts from marine and estuarine waters with different levels of pollution in the state of Rio de Janeiro, Brazil. *Appl. Environ. Microbiol.* 41: 173-178.
- Instituto Estadual Do Ambiente (INEA) 2011. *Lagoas Costeiras, considerações gerais*. Disponível em: <http://www.inea.rj.gov.br>. acesso em: 14 de outubro de 2011.
- Instituto Municipal De Urbanismo Pereira Passos (IPP). 2005. *Indicadores ambientais da cidade do Rio de Janeiro*. Secretaria Municipal de urbanismo, Secretaria Municipal de Meio Ambiente, Depto de Tecnologia e Informação, Rio de Janeiro, 180pp.
- Instituto Trata Brasil. 2015. *Ranking do Saneamento com Base no SNIS 2013*. Disponível em: <http://www.tratabrasil.org.br/estudos-trata-brasil>. Acesso em abril de 2015.

- Jawetz, E.; Melnick, J. L.; Adelberg, E. A.; Brooks, G. F.; Butel, J. S. & Ornston, L. N. 1991. *Microbiologia Médica*. 18ª edição. Guanabara Koogan S.A. Rio de Janeiro. 519pp.
- Kirchman E. D. 2000. *Microbial Ecology of the Oceans*. Wiley-Liss, New York, E.U.A.
- Kjerfve, B.; Ribeiro, C.H.A.; Dias, G.T.M.; Filippo, A.M.; Quaresma, V. Da S. 1997. Oceanographic characteristics of an impacted coastal bay: Baía de Guanabara, Rio de Janeiro, Brazil. *Continental Shelf Research*, Vol. 17, No. 13: 1609-1643.
- Kjerfve, B. 1994. Coastal Lagoon Processes. *Oceanography Series 60*. Elsevier, New York, NY, USA, 577pp.
- Kolm, E.H.; Schoenenberger, M.F.; Piemonte, M.Da R.; Souza, P.S.De A.; Scühli, G.S.E; Mucciatto, M.B.; Mazzuco, R. 2002. Spatial Variation of Bacteria in Surface Waters of Paranaguá and Antonina Bays, Paraná, Brazil. *Brazilian Archives Of Biology And Technology*, Vol. 45, N. 1: 27 – 34.
- Kolm, H.E. E Corrêa, M.F.M. 1997. Distribuição espacial e variabilidade temporal de bactérias saprófitas na praia arenosa de Pontal do Sul, Paraná. *Arq. Biol. Tecnol.* 37: 391-402.
- Kolm; H.E. E Andretta, L. 2003. Bacterioplankton in different tides of the Perequê tidal creek, Pontal do Sul, Paraná, Brazil. *Braz. J. Microbiol.* 34: 97-103.
- Korajkic, A.; Mcminn, B. R.; Harwood V. J.; Shanks, O. C.; Fout, G. S. E Ashbol, N. J. 2013<sup>a</sup> Differential Decay of Enterococci and *Escherichia coli* Originating from Two Fecal Pollution Sources. *Applied and Environmental Microbiology*, (79) 7: 2488–2492.
- Korajkic, A.; Wanjugi, P.E Harwood V. J. 2013<sup>b</sup>. Indigenous Microbiota a.d Habitat Influence *Escherichia coli* Survival More than Sunlight in Simulated Aquatic Environments. *Applied and Environmental Microbiology* (79) 17: 5329–5337.
- Kosawa Da Costa, A. M. 2003. *Considerações Sanitárias, Ambientais e Sociais para a implantação de Mitilicultura em Itaipú, Niterói, RJ*. Instituto de Geociências, Universidade Federal Fluminense, Niterói. Dissertação de Mestrado, 96 pp
- Kosawa Da Costa, A. M. 1988. *Indicadores Microbianos na Água e no Mexilhão Perna perna (Linné, 1758) da Baía da Guanabara e Águas Adjacentes, RJ*. Instituto de Biologia, Universidade Federal do Rio de Janeiro. Monografia, 72 pp.
- Kosawa Da Costa, A.M., Sanchez Nunez, M.L., Van Weerelt, M.D.M., Fonseca Faria, G.V., Mendonça-Hagler, L.C., Hagler, A.N. 1991. *Microbial quality of*

- the mussel Perna perna extracted from Guanabara Bay (RJ, Brazil)* In MAGOON Ed. Coastal Zone 91, 4: 3259-3267.
- Liikanen, A. E Martikainen, P. J. 2003. Effect of Ammonium and Oxygen on Methane and Nitrous Oxide Fluxes Across Sediment-Water Interface in a Eutrophic Lake. *Chemosphere*. V. 52: 1287-1293.
- Lloret, J.; Marín, A. E Marín-Guirao, L. 2008. Is coastal lagoon eutrophication likely to be aggravated by global climate change? *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 78: 403 e 412.
- Lutterbach, M. T. S.; Vazquez, J. C.; Pinet, J.A.; Andreatta, J. V. E Silva, A. C. 2001. Monitoring and spatial distribution of heterotrophic bacteria and fecal coliforms in the Rodrigo de Freitas Lagoon, Rio de Janeiro, Brazil. *Brazilian Archives of Biology And Technology* Vol. 44, N. 1: 7 – 13.
- Macêdo, J. A. B. de. 2007. *Doenças de Veiculação Hídrica e Alimentar*. Minas Gerais.
- Machado, P.A.L. 1992. *Direito Ambiental Brasileiro*. 3ª ed. São Paulo: Malheiros Editores, p.263-265.
- Madigan, M. T.; Martinko, J.M.; Parker, J. 2004. *Microbiologia de Brock*. 10ª edição. São Paulo: Makron Books.
- Marazzo, A.; Valentin, J.L. 2003a. *Penilia avirostris* (Crustacea, Ctenopoda) in a tropical bay: variations in density and aspects of reproduction. *Acta Oecologica* 24: S251–S257.
- Marazzo, A.; Valentin, J.L. 2003b. Population parameters of *Pleopis polyphemoides* (Crustacea, Cladocera) in a tropical bay. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 57: 1015–1021.
- Margalef, R. 1983. *Limnologia*. Omega. Barcelona. 1010pp.
- Marotta, H. 2004. *Dragagem Não Precedida de Planejamento Urbano-Ambiental (Lagoa Imboassica, Macaé, RJ): Quando a Tentativa de Mitigação Causa a Degradação*. Monografia. Departamento de Geografia. Universidade do Estado do Rio de Janeiro. 104pp.
- Marques Jr., A.N.M., Moraes, R.B.C. & Maurat, M.C. 2002. *Poluição marinha*. In: *Biologia Marinha*. Editora Interciência, Rio de Janeiro, 311-334.
- Mayr, L. 1998. *Avaliação Ambiental da Baía de Guanabara com Suporte de Geoprocessamento*. Departamento de Geografia, Universidade Federal do Rio de Janeiro. Tese de Doutorado.
- Mayr, L.M., Tenenbaum, D.R., Villac, M.C., Paranhos, R., Nogueira, C.R., Bonecker, S.L.C., Bonecker, A.C.T. 1999. Hydrobiological characterization of Guanabara Bay. *J. Rech .Oceanog*. 24: 33-41..

- Mendonça-Hagler, L.C.; Vieira, R.H.S.F.; Hagler, A.N. In: Faria, B.M.; Farjalla, V.F.; Esteves, F.A. (eds.). Microbial quality of water, sediment, fish and shellfish in some Brazilian coastal regions. *Aquatics Microbial Ecology in Brazil. Series Oecologia Brasiliensis*, Rio de Janeiro, v.9, p.197-216, 2001
- Meniconi, M De F.G.; Silva,T.A; Fonseca, M.L.; Lima, S.O.F.;Lima, E.F.A; Lavrado, H.P. E Figueiredo Jr, A.G. (eds). 2012. *Baía de Guanabara: Síntese do Conhecimento Ambiental. Volume 1 Ambiente e Influência Antrópica*. PETROBRAS, Rio de Janeiro, 337pp.
- Menon P, Billen G E Servais P. 2003. Mortality rates of autochthonous and fecal bacteria in natural aquatic ecosystems. *Water Res.* 37:4151– 4158.
- Meyer-Reil, L.-A. And Koster, M. 2000. Eutrophication of marine waters: effects on benthic microbial communities. *Marine Pollution Bulletin* 41: 255-263.
- Miguez, M. G. (coord), 2009. *Avaliação dos Impactos das Obras de Engenharia Propostas no Âmbito do “Projeto de Recuperação Ambiental da Lagoa Rodrigo de Freitas” sobre as Enchentes na Bacia do Rio dos Macacos. R1 - Calibração do Modelo e Diagnóstico de Cheias na Bacia do Rio dos Macacos*, Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Fundação COPPETEC / UFRJ, 37 p.
- Motulsky H.J. 2007. *Prism 5 Statistics Guide*. GraphPad Software Inc., San Diego CA, 294p. Disponível em: [www.graphpad.com](http://www.graphpad.com). Acesso em 16 de maio de 2015.
- Nascimento, S.M.M., Vieira, R.H.S.F., Theophilo, G.N.D., Rodrigues, D.P., Vieira, G.H.F. 2007. *Vibrio vulnificus* as a health hazard for shrimp consumers. *Rev. Me., Trop São Paulo*, **43**: 263-266.
- Neill, M. 2004. Microbiological Indices for Total Coliform and *E. coli* Bacteria in Estuarine Waters. *Marine Pollution Bulletin*. v.49: 752-760.
- Neves, R. De A. F. Raquel Correia, R. S., Feijó, I. A., Oliveira, L. B. De, Marotta H. & Prast, A. E. Efeito da Adição Isolada e Simultânea de Nutriente e Sal Sobre o Metabolismo Pelágico de uma Lagoa Costeira Tropical. *Artigo submetido*.
- Oliveira, A.J.F.C. De; Hollnagel, H.C.; Mesquita, H. De S.L.;Fontes, R.F.C. 2007. Physical, chemical and microbiological characterization of the intertidal sediments of Pereque Beach, Guarujá (SP), Brazil. *Marine Pollution Bulletin* 54: 921–927.
- Organização Mundial De Saúde (OMS). 2009. *Monitoring Bathing Waters - A Practical Guide to the Design and Implementation of Assessments and Monitoring Programmes*. Disponível em: <[http://www.who.int/water\\_sanitation\\_health/bathing/bathwatchchap8.pdf](http://www.who.int/water_sanitation_health/bathing/bathwatchchap8.pdf)> acesso em: 27 nov. 2009.

- Pagnocca, F.C.; Hagler, L.C.M. & Hagler, A. 1991. Heterotrophic bacteria associated with shrimp *Peneaus schimitti*, sediment and water of Sepetiba Bay, Rio de Janeiro, Brasil. *Revista de Microbiologia*, 17: 332-338.
- Panosso, R. F.; Attayde, J. L & Muehe, D. 1998. *Morfometria das Lagoas Imboassica, Cabiúnas, Comprida e Carapebus; Implicações para seu Funcionamento e Manejo*. In: *Ecologia das Lagoas Costeiras do Parque Nacional da Restinga*
- Paranhos, R. 1998. Water pollution trends in Guanabara Bay, Brazil. With Rivers to the Sea: Interactions of Land Activities, Fresh Water and Enclosed Coastal Seas. Stockholm Inter. Water Inst., Stockholm, *Proceedings of the 7th Stockholm Water Symposium/3rd EMECS*, 205– 211.
- Paranhos, R., Nascimento, S.M., Mayr, L.M. 1995. On the faecal pollution in Guanabara Bay, Brazil. *Fresenius Envir. Bull.* 4: 352-357.
- Paranhos, R.; Andrade, L.; Mendonça-Hagler, L.C. & Pfeiffer, W.C. 2001. *Coupling bacterial abundance with production in a polluted tropical coastal bay*, pp: 117-132. In: Faria, B.M.; Farjalla, V.F. & Esteves, F.A. (eds.). *Aquatic Microbial Ecology in Brazil. Series Oecologia Brasiliensis*, vol. IX. PPGE-UFRJ. Rio de Janeiro, Brazil.
- Pelczar, M.J., Chan, E.C.S., Krieg, N.R. 1996. *Microbiologia – Conceitos e Aplicações*. MAKRON BOOKS Ed., 2ª Ed. São Paulo. Vols.1 e 2.
- Pereira, C.S. 2003. *A Cultura de Mexilhões na Baía de Guanabara e suas Implicações para a Saúde Pública – Contexto Político-Social e Microbiológico* Tese de doutorado, Fundação Oswaldo Cruz. Escola Nacional de Saúde Pública. Curso de Pós-Graduação em Saúde Pública. 174pp.
- Pereira, R. M. V.; Medeiros, R. 2009. A Aplicação dos instrumentos de gestão e do Sistema de Gerenciamento dos Recursos Hídricos na Lagoa Rodrigo de Freitas, RJ, Brasil. *Ambi-Agua*, Taubaté, v. 4, n. 3, p. 211-229.
- Petrucio, M. M & Furtado, A.L. S. 1998. *Concentrações de Nitrogênio e Fósforo na Coluna d'Água da Lagoa Imboassica*. In: *Ecologia das Lagoas Costeiras do Parque Nacional da Restinga de Jurubatiba e do Município de Macaé (RJ)*. NUPEM/UFRJ. 123-131.
- Petrucio, M. M. 1998. *Caracterização das Lagoas Imboassica, Cabiúnas, Comprida e Carapebus a partir da Temperatura, Salinidade, Condutividade, Alcalinidade, O<sub>2</sub> Dissolvido, pH, Transparência e Material em Suspensão*. In: *Ecologia das Lagoas Costeiras do Parque Nacional da Restinga de Jurubatiba e do Município de Macaé (RJ)*. NUPEM/UFRJ. 109-122.

- Pinheiro, E.C. De Freitas & Pinheiro, A.I. De Freitas (org). 2009. *Lagoa Rodrigo de Freitas: evolução urbana e paisagem*. Andrea Jakobson Estúdio Editorial Ltda, Rio de Janeiro, 1ª edição, 283pp.
- Programa Das Nações Unidas Para O Meio Ambiente (PNUMA). 2003. *Perspectivas do Meio Ambiente Mundial – GEO 3*, Instituto Brasileiro do Meio Ambiente-IBAMA. Universidade Livre da Mata Atlântica..
- Programa Das Nações Unidas Para O Meio Ambiente (PNUMA). 2004. *Perspectivas do Meio Ambiente Brasil – GEO 2*. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente-IBAMA. Universidade Livre da Mata Atlântica.
- Projeto ECOlagos – *Estudos Ecológicos nas Lagoas da Região Norte Fluminense*. UFRJ/Depto. Ecologia/Laboratório de Limnologia. Rio de Janeiro. Relatórios semestrais e anuais de 1993 a 2005.
- Ribeiro, C. H. A E Kjerfve, B. 2002 Anthropogenic Influence on the water quality in Guanabara Bay, Rio de Janeiro, Brazil. *Reg Environ Change* 3:13-19.
- Rheinheimer, G.1994. *Aquatic Microbiology*. Wiley. New York. USA. 363 pp.
- Rio de Janeiro, 2000, *Decreto nº. 18.415 de 01 de Março de 2000, que estabelece parâmetros de uso para o Espelho d' água da Lagoa Rodrigo de Freitas*. Diário Oficial, Ano XIII, nº. 243.
- Roitman, I.; Travassos, L. R. & Azevedo, J. L.1998. *Tratado de Microbiologia*. Vol. I. e II. Manole. São Paulo. 186 pp.
- Salas, H. J. & P. Martino. 1991. A simplified phosphorus trophic state model for warm-water tropical lakes. *Water Research* v.25, n.3, p. 341-350.
- Sanches, P. S. 2003. *Atualizações Técnicas para o Controle Microbiológico de Águas Minerais*. Seminário de Atualizações em Técnicas Microbiológicas. Universidade Mackenzie – Pós-Graduação em Ciências Ambientais, São Paulo: Mackenzie.
- Sanchez, P.S. 1999. *Apostila de Atualização em Técnicas para o Controle Microbiológico de Águas Minerais*. In: Seminário de Atualização em Técnicas Microbiológicas. 1999. Universidade Mackenzie – Pós-Graduação em Ciências Ambientais, São Paulo: Mackenzie.
- Sanchez, P.S., Agudo, E.G., Castro, F.G., Alvez, M.N., Martins, M.T. 1986. Evaluation of the sanitary quality of marine recreacional waters and sands from beaches of the São Paulo State, Brazil. *Water Science Technol.*, 18: 61-72.
- Santos, E. A. 1980. *Correlação entre parâmetros microbiológicos, químicos e físicos na água do mar poluída na zona litorânea do Rio de Janeiro*. Dissertação de Mestrado, Mestrado em Ciências Biológicas, Instituto de Microbiologia, Universidade Federal do Rio de Janeiro.



- Serratine, S. R. S. 2007, *Um Espaço Público Reabilitado: Lagoa Rodrigo De Freitas*, In Werneck Lima, E. F. & Maleque, M.R. (2007) *Espaço e Cidade conceitos e leituras*, 2ª edição, Editora 7 letras, Rio de Janeiro 183pp.
- Signori, C.N. 2014. *Chemosynthesis and Bacterial Production in Marine Ecosystems: Quantification, Importance and Regulatory Factors*. Tese de Doutorado em Ciências Microbiológicas, Instituto de Microbiologia Paulo de Góes, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 176 p.
- Silva, E. C. 2006. Os Níveis de Coliformes Totais e Termotolerantes na Lagoa Imboassica, Macaé, RJ: Uma Análise de Treze Anos. Monografia. Departamento de Biologia Marinha. Universidade Federal do Rio de Janeiro. 54pp.
- Soares, C. A. G. 1991. *Leveduras e bactérias associadas ao marisco Anomalocardia brasiliensis em manguezais do Rio de Janeiro*. Monografia em Biologia Marinha, Instituto de Biologia, Universidade Federal do Rio de Janeiro. 77 pp.
- Soares, M.L.; Chaves, F. De O; Corrêa, F.M.; Silva Júnior, C.M.G. 2003. Diversidade Estrutural de Bosques de Mangue e sua relação com Distúrbios de Origem Antrópica: o caso da Baía de Guanabara (Rio de Janeiro). *Anuário do Instituto de Geociências - UFRJ* Volume 26: 101-116.
- Soffiati, A. 1998. Aspectos Históricos das Lagoas do Norte do Estado do Rio de Janeiro. In: *Ecologia das Lagoas Costeiras do Parque Nacional da Restinga de Jurubatiba e do Município de Macaé (RJ)*. NUPEM/UFRJ. 442: 4-35.
- Solic, M. & Krstulovic, N. 1992. Separate and Combined Effects of Solar Radiation, Temperature, Salinity, and pH on the Survival of Faecal Coliforms in Seawater. *Marine pollution Bulletin* Vol24 No 8: 411-41.
- Sousa, O.V., Vieira, R.H.S.F., Menezes, F.G.R., Reis, C.M.R., Hofer, E. 2004. Detection of *Vibrio parahaemolyticus* and *Vibrio cholerae* in oyster, *Crassostrea rhizophorae*, collected from a natural nursery in the Cocó river estuary, Fortaleza, Ceará, Brazil. *Rev. Inst. Med. Trop. S. Paulo*, 46:59-62.
- Sousa, S. A. G. T. De. 2008. *Modelo Matemático de Mortalidade de Bactérias Coliformes em Águas Costeiras*. Dissertação de Mestrado. Mestrado em Ecologia, Gestão e Modelação de Recursos Marinhos. Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa, 80pp.
- Staley, Z. R.; Rohr, J.R. E Harwood, V. J. 2011. Test of Direct and Indirect Effects of Agrochemicals on the Survival of Fecal Indicator Bacteria. *Applied and Environmental Microbiology*, (77): 24, 8765–8774.
- Taketani R. G.; Araujo F. V.; Van Weerelt M. D. M.; Sanchez-Nunez, M. L.; Aniszewskrick E.; Rosado A. S. 2003. Use of Molecular Approach to Verify

- the Influence of a Eutrophic Lagoon in the Nearby Ocean's Bacterioplankton Communities. *Brazilian Journal of Microbiology* 34 (Suppl.1):51-52.
- Tanaka, T.; Zohary, T.; Krom, M.D.; Law, C.S.; Pitta, P.; Psarra, S.; Rassoulzadegan, F.; Thingstad, T.F.; Tselepides, A.; Woodward, E.M.S.; Flaten, G.A.F.; Skjoldal, E.F.; Zodiatis, G. 2007. Microbial community structure and function in the Levantine Basin of the eastern Mediterranean. *Deep-Sea Research I*: 1-23
- Tortora, G. J. Funke, B. R.; Case, C. L. 2012. *Microbiologia*. 10ª edição. Rio de Janeiro: Editora Atheneu.
- Tundisi, J. G. 2003. *Água no Século XXI: Enfrentando a Escassez*. Rima. São Carlos. 247pp
- Turbow, D.J; Kent, E.E.; Jiang, S.C. 2007. Web-based investigation of water associated illness in marine bathers. *Environm. Res.*: 1-9.
- UNESCO; PNUMA e Brasil - Ministério do Meio Ambiente. 2007. *Iniciativa latino-americana e caribenha para o desenvolvimento sustentável – ILAC: indicadores de acompanhamento*. Brasília, 173pp.
- Vieira R.H.S.F, Lima, E.A., Sousa, D.B.R., Reis, E.F., Costa, R.G., Rodrigues, D.P.. 2004. *Vibrio* spp. and *Salmonella* spp., presence and susceptibility in crabs *Ucides cordatus*. *Rev. Inst. Med. Trop. São Paulo*, 46: 179-182.
- Vieira, R.H.S.F., Rodrigues, D.P., Menezes, E.A., Evangelista, N.S.S., Reis, E.M.F., Barreto, L.M., Gonçalves, F.A. 2001. Microbial Contamination of Sand from Major Beaches in Fortaleza, Ceará State, Brazil. *Braz. J. Microbiol.* **32**: 77-80.
- Youn-Joo, A.; Kampbell, D. H. & Breidenbach, G. P. 2002. *Escherichia coli* and total coliforms in water and sediments at lake marinas. *Environmental Pollution*. V. 120, 771-778.
- Wagener, A.L.R; Scofield, A.L.; Hamacher, C. E Carreira, R.S. 2012 *Hidrocarbonetos Alifáticos e Aromáticos na Água e no Sedimento*. In Meniconi, M de F.G.; Silva,T.A; Fonseca, M.L.; Lima, S.O.F.;Lima, E.F.A; Lavrado, H.P. e Figueiredo Jr, A.G. (eds). *Baía de Guanabara: Síntese do Conhecimento Ambiental. Volume 1 Ambiente e Influencia Antrópica*. PETROBRAS, 2012, Rio de Janeiro, 337pp.
- Weerelt, M.D.M; Cunha, L.; Dorneles, P. R.; Padilha J.; Ormond J.; Torres F.; Torres J.P.; Batista D.; Nudi A.; Wagener A.; Cabral A.; Pinto F. E Paranhos, R. 2013. *Monitoramento da qualidade das águas e dos poluentes no MoNa das Ilhas Cagarras e entorno*. In História, Pesquisa e biodiversidade do Monumento Natural das Ilhas Cagarras, Moraes, F.

Bertoncini, A. e Aguiar, A. (eds). Museu Nacional, Serie de Livros (48), Rio de Janeiro. 299pp.

Weerelt, M.D.M., Sanchez Nuñez, M.L, Kosawa, Am. 2003<sup>a</sup>. *Microbiologia Aquática com Ênfase em Poluição*. NADC/UFRJ. Rio de Janeiro. 30pp.

Weerelt, M.D.M., Sanchez Nuñez, M.L, Kosawa, Am., Miguel M.AI. 2003<sup>b</sup>. *Aspectos Teóricos e Práticos da Detecção de Bactérias Indicadoras e Patogênicas em Água e Alimentos*. NADC/UFRJ. Rio de Janeiro. 58 pp.

ANEXO

## BALNEABILIDADE DA LAGOA RODRIGO DE FREITAS: VARIAÇÃO TEMPORAL E ESPACIAL

Margaretha D. M. van Weerelt<sup>1,2</sup>, Camila Signori<sup>3,4</sup> & Alex Enrich-Prast<sup>3,5</sup>

<sup>1</sup>Laboratório de Microbiologia Aquática, Departamento de Biologia Marinha, Instituto de Biologia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Centro de Ciências da Saúde, Bloco A, Av. Prof. Rodolpho Rocco s/nº, Cidade Universitária, Ilha do Fundão, Rio de Janeiro RJ 24949-900, Brasil.

<sup>2</sup>Programa de Pós Graduação em Ecologia e Recursos Renováveis, Centro de Biotecnologia e Biotecnologia, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Av. Alberto Lamego, 2000 – Parque Califórnia, CEP: 28013-602, Campos dos Goytacases, RJ, Brasil.

<sup>3</sup>Laboratório de Biogeoquímica, Departamento de Ecologia, Instituto de Biologia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Centro de Ciências da Saúde, Bloco A, Av. Prof. Rodolpho Rocco s/nº, Cidade Universitária, Ilha do Fundão, Rio de Janeiro, RJ, CEP: 24949-900, Brasil.

<sup>4</sup>Programa de Pós Graduação em Ciências (Microbiologia) do Instituto de Microbiologia Professor Paulo de Góes, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Centro de Ciências da Saúde – Bloco I, Cidade Universitária, Ilha do Fundão, Rio de Janeiro, RJ, CEP: 21941-590, Brasil.

<sup>5</sup>Endereço atual: Department of Thematic Studies – Water and Environmental Studies, Linköping University, Linköping, Sweden.

E-mail: m.weerelt@gmail.com; camisignori@hotmail.com; aseprast@biologia.ufrj.br

### RESUMO

A Lagoa Rodrigo de Freitas e o bairro no seu entorno está localizada na cidade do Rio de Janeiro (22°57'02"S; 043°11'09"W), dentro de uma região densamente povoada ao sul do município. Os bairros do Leblon, Ipanema, Copacabana, Humaitá, Jardim Botânico e Gávea cercam a lagoa. A intensa urbanização, a redução do espelho d'água da Lagoa, o lançamento de esgotos sanitários e a restrição de comunicação com o mar, como resultado de sua ocupação ao longo do tempo, levaram a um quadro de problemas ambientais diversos neste ecossistema. O objetivo do presente trabalho foi estudar a variação espacial e temporal da qualidade sanitária da coluna de água da Lagoa. As variáveis avaliadas neste estudo foram: temperatura, salinidade, oxigênio dissolvido, pH, transparência, carbono orgânico dissolvido (COD), coliformes totais e termotolerantes e *Enterococcus*, adquiridas durante cinco dias consecutivos e em três horários em um ponto fixo. Além disso, foram realizadas amostragens únicas em outras 06 estações. Os resultados mostram que as temperaturas estiveram acima dos 20°C; a salinidade entre 15 e 17; o pH acima de 8 e o oxigênio dissolvido ficou entre 2 e 12 mg/L. Os dados indicam que ainda há a descarga de material de origem fecal, que esgotos irregulares chegam à LRF e os indicadores microbiológicos de qualidade sanitária da água mostram que a água está imprópria ao contato primário (balneabilidade). A Lagoa Rodrigo de Freitas continua sendo um ecossistema altamente eutrofizado, com a qualidade de sua coluna de água afetada tanto por seu padrão de circulação quanto pela entrada de esgoto doméstico.

Palavras-chave: Lagoa Rodrigo de Freitas; coliformes; *Enterococcus*; bactérias heterotróficas; qualidade de água.

### ABSTRACT

TEMPORAL AND SPATIAL VARIATION OF WATER QUALITY MICROBIAL INDICATORS OF LAGOA RODRIGO DE FREITAS, RIO DE JANEIRO, RJ, BRAZIL. The Rodrigo de Freitas Lagoon and its neighborhood is located in the city of Rio de Janeiro (22°57'02"S, 043°11'09"W) within a densely populated area south of the city. It is surrounded by Leblon, Ipanema, Copacabana, Humaitá, Jardim Botânico and Gávea districts. The intense urbanization, the reduction of the water surface of the lagoon, the release of sewage and the restriction of communication with the sea, as a result of its occupation, led over time to various environmental problems in this ecosystem. The aim of this work was to study the spatial and temporal variation of the sanitary quality of the water column of the lagoon. The variables evaluated in this study were: temperature, salinity, dissolved oxygen, pH, transparency, dissolved organic carbon (DOC), total and fecal coliforms and *Enterococcus*, during three different hours of the day at a fixed point and also at 06 stations