



UNIVERSIDADE FEDERAL FLUMINENSE

INSTITUTO DE BIOLOGIA

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIOLOGIA MARINHA

O PROCESSO DE EUTROFIZAÇÃO CULTURAL NA LAGOA DE ARARUAMA – RJ

THAYSE CRISTINA PEREIRA BERTUCCI

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Biologia Marinha do Departamento de Biologia Marinha, Instituto de Biologia, Universidade Federal Fluminense, como requisito parcial para a obtenção do Grau de Mestre em Biologia Marinha.

Orientadores: Dr. Cassiano Monteiro Neto
Dr. Aguinaldo Nepomuceno Marques Jr

Niterói
Julho de 2014

"Não poríamos a mão no fogo pelas nossas opiniões; não temos assim tanta certeza delas. Mas talvez nos deixemos queimar para podermos ter e mudar as nossas opiniões."

F. Nietzsche – Humano Demasiado Humano

AGRADECIMENTOS

Ao Professor Dr. Cassiano Monteiro Neto pela oportunidade de poder ingressar em uma área diferente a minha graduação, pela orientação, dedicação e, principalmente, pelas conversas e conselhos a mim dirigidos.

Ao Professor Dr. Aguinaldo Nepomuceno Marques Jr. pela orientação e por seu esforço e dedicação em me guiar em meio a tantos dados e informações.

Ao Consórcio Intermunicipal Lagos São João pela concessão dos dados para que este trabalho pudesse ser realizado. Agradeço a todos os membros e colaboradores que ajudaram, em especial, Adriana Saad, Arnaldo Villa Nova (ONG Viva Lagoa), Maria Helena Baeta Neves (IEAPM), Mário Flávio Moreira (CILSJ), Natalia Ribeiro (CILSJ) e Marília S. Martins (CILSJ), Alexandre Pontes (Prolagos) e Felipe Vitorino (Águas de Juturnaíba).

A todo corpo docente do Programa de Pós-Graduação em Biologia Marinha, principalmente aqueles que estiveram em contato comigo durante as aulas e que, de fato, abriram a minha mente para um novo olhar. Em especial, ao Dr. Edson Pereira da Silva que sem dúvida foi essencial a essa etapa.

Aos Professores Dra. Ana Cristina Petry e Dr. Jean Valentin, docentes do Programa de Pós-Graduação em Ecologia na UFRJ, que sem eles não poderia ter aprendido tanto sobre os programas estatísticos e suas potencialidades.

Às funcionárias do Programa de Pós-Graduação, Ana e Amanda, pela amizade e apoio em todas as etapas deste processo.

À CAPES pelo apoio financeiro para a realização desta pesquisa.

A todos os alunos, funcionários e pesquisadores do Laboratório de Biologia do Nécton e Ecologia Pesqueira, ECOPESCA/UFF. Obrigada pela oportunidade de poder ajudar em praticamente todas as saídas de campos, pelas trocas de conhecimento e confraternizações. Em especial, agradeço a Luana, Pedro, Suzana, Acácio, Amanda, Davilma, Rafael Tubino, Luciana, Áthila e Maíra.

Aos queridos amigos que conquistei ao longo desses dois anos de mestrado e que compartilharam comigo os mesmos desafios e inseguranças. Agradeço a Carine, Tizi, Raquel, Michelle, Camila e Leandro.

Aos amigos de longa data, a família ATOMICS, pela amizade duradoura e verdadeira, pelos conselhos e por compreenderem a minha ausência nesses meses todos.

Aos amigos de graduação em Campinas por todos os conselhos sábios, amizade eterna e aos inúmeros incentivos. Em especial, Mariana Pimentel, Nadir, Gustavo Molina, Ivo, Paola, Stella, Humanas, Letícia, Caroline, Imperador, Paneta, Ítalo e Priscila.

Ao Douglas e à Dani pelas horas de conversas, risadas, choros e conselhos. Apesar de todas as controvérsias, sem vocês esse trabalho não teria chegado aonde chegou. Obrigada pela amizade e carinho de sempre.

A toda minha família pelo carinho, apoio e dedicação em todos esses anos em prol da minha formação acadêmica. Pai, mãe e Thi, obrigada por me deixar crescer e conquistar esse mundão!

Ao meu namorado, Lucas, pelo apoio, conselho, carinho e eterna dedicação. Obrigada por cuidar de mim nas horas de desespero e por estar ao meu lado nas minhas maiores conquistas.

ÍNDICE

	Página
LISTA DE TABELAS	VI
LISTA DE FIGURAS	X
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS	XIII
RESUMO	XV
ABSTRACT	XVI
1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVOS	8
2.1. Objetivo Geral	8
2.2. Objetivos Específicos	8
3. ÁREA DE ESTUDO	9
3.1. O Sistema Lagunar de Araruama	9
3.2. Características Ambientais	12
3.3. Aspectos Socioeconômicos da Região	15
4. MATERIAIS E MÉTODOS	20
4.1. Série Amostral	20
4.1.1. Parâmetros Físico-Químicos e Biológicos	21
4.1.2. Dados Censitários	23
4.1.3. Dados Pluviométricos	24
4.1.4. Padronização do Banco de Dados	24
4.2. Análise dos Períodos	25
4.3. Análises Estatísticas	26
4.3.1. Análise Comparativa	27
4.3.1.1. Avaliação Sazonal	28
4.3.1.2. Avaliação Espacial	29
4.3.2. Análise Multivariada dos Dados	30
4.3.2.1. Períodos	33
4.3.3. Programas Utilizados	34

	Página
4.4. Índice de Qualidade de Água	36
4.4.1. Resolução 357/2005 – CONAMA	36
4.4.2. CETESB	37
4.4.3. TRIX (NP)	38
4.4.4. Håkanson & Bryhn (2008)	40
5. RESULTADOS	41
5.1. Evolução das Mudanças Físico-Químicas e Biológicas	41
5.2. Avaliação Comparativa Entre os Dados	51
5.2.1. Sazonal	51
5.2.2. Espacial	54
5.3. Análise Multivariada dos Dados	60
5.3.1. Período 1 – ano de 1994	64
5.3.2. Período 2 – 1998 a 2006	65
5.3.3. Período 3 – 2007 a 2009	70
5.3.4. Período 4 – 2010 a 2013	73
5.4. Índice de Qualidade de Água	77
5.4.1. CONAMA	77
5.4.2. CETESB	78
5.4.3. TRIX (NP)	79
5.4.4. Hakanson & Brynn (2008)	81
6. DISCUSSÃO	82
6.1. O Processo de Eutrofização na Lagoa de Araruama	82
6.2. Análise Comparativa Sazonal e Espacial	96
6.3. Evolução da Qualidade de Água no Sistema Lagunar	98
7. CONCLUSÕES	105
8. PERSPECTIVAS	107
9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	108

LISTA DE TABELAS

Tabela	Página
1: Síntese dos dados utilizados no presente estudo. Souza (1997) – Dissertação de Mestrado; CNA/CENTRAB - Companhia Nacional de Álcalis; FEEMA – Fundação Estadual de Engenharia do Meio Ambiente; PRO - Prolagos; AJ – Águas de Juturnaíba; CILSJ – Consórcio Intermunicipal Lagos São João. n – número total de amostras.	21
2: Quadro geral dos parâmetros físico-químicos e biológicos monitorados ao longo dos anos na Lagoa de Araruama “x” – parâmetro amostrado.	23
3: Transformações (T) utilizadas para cada parâmetro por período de amostragem e o resultado do teste de normalidade, Kolmogorov-Smirnov (K-S), em função do valor de p, tendo $\alpha = 0,05$. a - raiz $(x_i / \sum x_i)$; b - $\ln(x_i + 1)$; c - $x_i - \mu / \sigma$. Valores em negrito – resultados não significativos, distribuições consideradas normais. “-” - parâmetros não observados no período. P1 – 1994; P2.1 – 1998 e 1999; P2.2 e P2.3 – 2003 a 2006; P3.1 – 2007 a 2009; P3.2 – 2009; P4.1 e P4.2 – 2010 a 2013.	27
4: Síntese da divisão entre as amostras por períodos, fases, anos e estações de coletas e parâmetros analisados na análise de ACP. n – número de amostras analisadas e % - porcentagem de amostras analisadas.	34
5: Peso para os parâmetros para o índice de qualidade. Fonte: CETESB (2006).	38
6: Categorias do índice de qualidade da água da CETESB.	38
7: Classificação do estado trófico e qualidade da água através do TRIX.	39
8: Classificação do estado trófico proposto por Håkanson & Bryhn (2008).	40
9: Sumário estatístico dos parâmetros físico-químicos e biológicos na Lagoa de Araruama correspondente ao período de 1994 a 2013. Média \pm DP (Min. – Máx.); n = número total de amostras; CV - Coeficiente de variação (DP/Média).	42
10: Correlação de Spearman entre os parâmetros e o índice demográfico (ID).	44
11: Variação dos parâmetros físico-químicos e biológicos na Lagoa de Araruama separados em quatro períodos de estudo. Média (n) / Min. – Máx; n = número total de amostras, n.d. = não determinado.	46
12: Avaliação comparativa entre os períodos na série temporal dos dados ($\alpha = 0.05$) [H – resultado do teste de Kruskal-Wallis, gl – grau de liberdade, N – número de amostras, p – poder do teste] (P1 – 1994, P2 – 1998 a 2006, P3 – 2007 a 2009 e P4 – 2010 a 2013).	46
13: Variação dos nutrientes nitrogênio e fósforo na Lagoa de Araruama separados em quatro períodos de estudo. Média(n) / Min. – Máx.; n = o número total de amostras, n.d.= não determinado.	49
14: Avaliação comparativa entre os períodos para os parâmetros de nutrientes ($\alpha = 0.05$) [H – resultado do teste de Kruskal-Wallis, gl – grau de liberdade, N – número de amostras, p – poder do teste] (P2 – 1998 a 2006).	50

Tabela	Página
15: Avaliação comparativa entre os períodos chuvoso (CH), intermediário (INT) e seco (SC) na análise contínua dos dados ($\alpha = 0.05$). [H – resultado do teste de Kruskal-Wallis, gl – grau de liberdade, N – número de amostras, p – poder do teste].	51
16: Avaliação comparativa entre os períodos chuvoso (CH), intermediário (INT) e seco (SC) para os parâmetros físico-químicos e biológicos na análise por períodos ($\alpha = 0.05$). [<i>t</i> – resultado do teste de <i>t</i> -Student, Z – resultado do teste U de Mann-Whitney, H – resultado do teste de Kruskal-Wallis, MS – quadrados médios, F – resultado do teste da ANOVA, gl – grau de liberdade, N – número de amostras, p – poder do teste].	53
17: Avaliação comparativa espacial entre o continente e restinga para os parâmetros físico-químicos e biológicos na análise contínua ($\alpha = 0.05$). [<i>t</i> – resultado do teste de <i>t</i> -Student, Z – resultado do teste U de Mann-Whitney, gl – grau de liberdade, N – número de amostras, p – poder do teste].	55
18: Avaliação comparativa espacial entre o continente e restinga para os parâmetros físico-químicos e biológicos na análise por períodos ($\alpha = 0.05$). [<i>t</i> – resultado do teste de <i>t</i> -Student, Z – resultado do teste U de Mann-Whitney, gl – grau de liberdade, N – número de amostras, p – poder do teste].	56
19: Avaliação comparativa espacial entre os compartimentos - oeste (O), meio (M) e leste (L) para os parâmetros físico-químicos e biológicos na análise contínua ($\alpha = 0.05$). [H – resultado do teste de Kruskal-Wallis, gl – grau de liberdade, N – número de amostras, p – poder do teste].	58
20: Avaliação comparativa espacial entre os compartimentos - oeste (O), meio (M) e leste (L) para os parâmetros físico-químicos e biológicos na análise por períodos ($\alpha = 0.05$). [<i>t</i> – resultado do teste de <i>t</i> -Student, Z – resultado do teste U de Mann-Whitney, H – resultado do teste de Kruskal-Wallis, MS – quadrados médios, F – resultado do teste da ANOVA, gl – grau de liberdade, N – número de amostras, p – poder do teste].	59
21: Análise de componentes principais (ACP) aleatorizada para as diferenças espaciais (compartimentos).	61
22: Análise comparativa entre os escores do ACP e os compartimentos da lagoa – oeste (O), meio (M) e leste (L) [MS – quadrados médios, F – resultado do teste da ANOVA, gl – grau de liberdade, N – número de amostras, p – poder do teste].	61
23: Análise de componentes principais (ACP) aleatorizada para as diferenças temporais (períodos).	62
24: Análise comparativa entre os escores do ACP e os períodos de estudo (P2 – 1998 a 2006, P3 – 2007 a 2009 e P4 – 2010 a 2013) [H – resultado do teste de Kruskal-Wallis, gl – grau de liberdade, N – número de amostras, p – poder do teste].	63
25: Análise de componentes principais (ACP) para o primeiro período – 1994.	64

Tabela	Página
26: Análise comparativa entre os escores do ACP e os períodos chuvoso (CH), intermediário (INT) e seco (SC) [H – resultado do teste de Kruskal-Wallis, gl – grau de liberdade, N – número de amostras, p – poder do teste].	65
27: Análise de componentes principais (ACP) para a primeira fase do segundo período – 1998 e 1999.	66
28: Análise comparativa entre os escores do ACP e os anos de amostragem da primeira fase do segundo período, 1998 e 1999 [<i>t</i> – resultado do teste <i>t</i> -Student, gl – grau de liberdade, N – número de amostras, Levene – teste de homoscedasticidade, p – poder do teste].	66
29: Análise de componentes principais (ACP) para a segunda fase do segundo período – 2003 a 2006.	68
30: Análise comparativa entre os escores do ACP e os períodos chuvoso (CH), intermediário (INT) e seco (SC) [MS – quadrados médios, F – resultado do teste da ANOVA, gl – grau de liberdade, N – número de amostras, p – poder do teste].	68
31: Análise de componentes principais (ACP) para a terceira fase do segundo período – 2003 a 2006.	69
32: Análise comparativa entre os escores do ACP e as estações de amostragem (continente e restinga) [Z – resultado do teste de Mann-Whitney, gl – grau de liberdade, N – número de amostras, p – poder do teste].	69
33: Análise de componentes principais (ACP) para a primeira fase do terceiro período – 2007 a 2009.	71
34: Análise comparativa entre os escores do ACP e as estações de amostragem (continente e restinga) [<i>t</i> – resultado do teste <i>t</i> -Student, gl – grau de liberdade, N – número de amostras, Levene – teste de homoscedasticidade, p – poder do teste].	71
35: Análise de componentes principais (ACP) para a segunda fase do terceiro período – 2009.	72
36: Análise comparativa entre os escores do ACP e os períodos chuvoso (CH), intermediário (INT) e seco (SC) [H – resultado do teste de Kruskal-Wallis, gl – grau de liberdade, N – número de amostras, p – poder do teste].	73
37: Análise de componentes principais (ACP) para a primeira fase do quarto período – 2010 a 2013.	74
38: Análise comparativa entre os escores do ACP e os compartimentos da lagoa – oeste (O), meio (M) e leste (L) [MS – quadrados médios, F – resultado do teste da ANOVA, gl – grau de liberdade, N – número de amostras, p – poder do teste].	74
39: Análise de componentes principais (ACP) para a segunda fase do quarto período – 2010 a 2013.	76

Tabela	Página
40: Análise comparativa entre os escores da análise de ACP e os compartimentos da lagoa – oeste (O), meio (M) e leste (L) [MS – quadrados médios, F – resultado do teste da ANOVA, H – resultado do teste de Kruskal-Wallis, gl – grau de liberdade, N – número de amostras, p – poder do teste].	76
41: Comparação entre as médias dos parâmetros ambientais coletados nas estações de coletas na Lagoa de Araruama e a Resolução 357/2005 do CONAMA.	78
42: Índice de TRIX (NP) para o período de 2009 a 2013, calculado a partir dos parâmetros de produtividade e condição nutricional, sem nenhuma correlação entre os parâmetros.	80
43: Média dos resultados obtidos no período de 1994 a 2012 para as estações de coletas na Lagoa de Araruama, utilizando-se a correlação entre dados de transparência e turbidez ($r = 0,328$).	81
44: Média dos resultados obtidos no ano de 2013 para as estações de coletas na Lagoa de Araruama.	81
45: Valores encontrados para os parâmetros ambientais neste e em estudos anteriores e suas respectivas classificações tróficas para a Lagoa de Araruama.	102
46: Comparação dos estados tróficos encontrados na Lagoa de Araruama nesse estudo e em outros sistemas lagunares no mundo disponíveis na literatura. Referências: 1- Este estudo (2013); 2- Cerda <i>et al.</i> (2013); 3-Bozelli <i>et al.</i> (2009); 4- Lloret <i>et al.</i> (2005); 5- Lopes <i>et al.</i> (2008); 6- Kagalou <i>et al.</i> (2008).	103

LISTA DE FIGURAS

Figura	Página
<p>1: Mapa do Brasil indicando a localização do estado do Rio de Janeiro; mapa do estado do Rio de Janeiro indicando a localização da Lagoa de Araruama na macrorregião 4 (MR-4); mapa da Lagoa de Araruama identificando: Municípios (ARA – Araruama, IG – Iguaba Grande, SPA – São Pedro da Aldeia, CF – Cabo Frio e AR – Arraial do Cabo) e Estações de Tratamento de Esgotos – ETEs (ETE PL – Ponte dos Leites; ETE IG – Iguaba Grande; ETE SPA – São Pedro da Aldeia. ETE JE – Jardim Esperança; ETE CF – Cabo Frio).</p>	10
<p>2: Malha amostral com as estações de amostragem georeferenciadas no período de estudo. (●) – Estações de Tratamento de Esgoto (ETE); (▲/azul) – Estações de amostragens Souza (1997); (◆/rosa) – Estações de amostragens CNA/CENTRAB; (■/vermelho) – Estações de amostragens FEEMA; (★/preto) Estações de amostragens Prolagos (PRO); (■/verde) – Estações de amostragens Águas de Juturnaíba (AJ); (●/marrom) Estações de amostragem CILSJ nas margens e (▲/amarelo) no meio da lagoa. Municípios (ARA – Araruama, IG – Iguaba Grande, SPA – São Pedro da Aldeia, CF – Cabo Frio e AR – Arraial do Cabo) e Estações de Tratamento de Esgotos – ETEs (ETE PL – Ponte dos Leites; ETE IG – Iguaba Grande; ETE SPA – São Pedro da Aldeia. ETE JE – Jardim Esperança; ETE CF – Cabo Frio).</p>	22
<p>3: Classificação da análise sazonal de acordo com a precipitação mensal na região lagunar. A linha vermelha indica o intervalo de confiança. Os meses foram classificados por períodos chuvosos (Ch), secos (Sc) e intermediários (INT).</p>	29
<p>4: Demarcações das análises espaciais das estações de coletas na Lagoa de Araruama. (a) – Três compartimentos (O, M e L), no sentido oeste a leste; (b) – Estações de continente (C) e restinga (R), separadas por norte e sul.</p>	30
<p>5: Fluxograma da metodologia correspondente ao trabalho [n – número de amostras].</p>	35
<p>6: Análise do perfil da salinidade (médias mensais) entre 1994 e 2013. (a) – Correlação com a média mensal do índice pluviométrico calculado cinco dias antes da data de coleta, dados fornecidos pelo INMET. (b) – Correlação com censos realizados nos últimos 20 anos, dados retirados do site do IBGE.</p>	44
<p>7: Separação dos quatro períodos de análise de acordo com a variação da salinidade na Lagoa de Araruama durante o período de 1994 a 2013. P1 – 1994; P2 – 1998 a 2006; P3 – 2007 a 2009 e P4 – 2010 a 2013.</p>	45
<p>8: Variação da frequência de ocorrência em classes de valores de (a) – Clorofila a, (b) – Turbidez, (c) – Oxigênio dissolvido e (d) – DBO por períodos (P1 – 1994, P2 – 1998 a 2006, P3 – 2007 a 2009 e P4 – 2010 a 2013).</p>	48

Figura	Página
9: Gráfico da relação dos nutrientes, nitrogênio e fósforo, nos três últimos períodos. P2 (1998 a 2006), P3 (2007 a 2009) e P4 (2010 a 2013). Os eixos de fósforo total (PT) e nitrogênio total (NT) encontram-se em função de Log, e NP Redfield é o parâmetro controle, com valor de 16:1.	50
10: Análise de componentes principais (ACP) aleatorizada e separadas em estações oeste, meio e leste [S – Salinidade, OD – Oxigênio Dissolvido, pH , DBO – Demanda Bioquímica de Oxigênio, RS – Resíduos Sólidos Totais, Turb – Turbidez e PT – Fósforo Total].	62
11: Análise de componentes principais (ACP) aleatorizada separada por períodos [S – Salinidade, OD – Oxigênio Dissolvido, DBO – Demanda Bioquímica de Oxigênio, RS – Resíduos Sólidos Totais, pH, PT – Fósforo Total, NT – Nitrogênio Total, NPt – Razão NT:PT].	63
12: Análise de componentes principais (ACP) para parâmetros e as amostras correspondentes ao período 1 – 1994 separadas entre os períodos chuvoso, intermediário e seco [S – Salinidade, T – Temperatura, RS – Resíduos Sólidos Totais, Cl-a – Clorofila a, PO4 – Ortofosfato, NO3 – Nitrato, NO2 – Nitrito, NH3 – Amônia, NID – Nitrogênio Inorgânico Dissolvido, NPd – Razão NID:PID].	65
13: Análise de componentes principais (ACP) para os parâmetros e amostras correspondentes à primeira fase do período 2 – 1998 e 1999 [S – Salinidade, T – Temperatura, OD – Oxigênio Dissolvido, RS – Resíduos Sólidos Totais, Cl-a – Clorofila a, Turb – Turbidez, pH, PT – Fósforo Total, NO3 – Nitrato, NO2 – Nitrito, NH3 – Amônia, NID – Nitrogênio Inorgânico Dissolvido, Pop – População e Ppt - Precipitação].	67
14: Análise de componentes principais (ACP) para os parâmetros e amostras correspondentes à segunda fase do período 2 – 2003 a 2006 separados entre período chuvoso, intermediário e seco [S – Salinidade, OD – Oxigênio Dissolvido, DBO – Demanda Bioquímica de Oxigênio, RS – Resíduos Sólidos Totais, Turb – Turbidez, pH, PT – Fósforo Total, PO4 – Ortofosfato, NO3 – Nitrato, NO2 – Nitrito, NH3 – Amônia, NID – Nitrogênio Inorgânico Dissolvido, NPd – Razão NID:PID, Pop – População e Ppt - Precipitação].	68
15: Análise de componentes principais (ACP) para os parâmetros e amostras correspondentes à terceira fase do período 2 – 2003 a 2006 separados entre as estações de continente e de restinga [S – Salinidade, OD – Oxigênio Dissolvido, DBO – Demanda Bioquímica de Oxigênio, RS – Resíduos Sólidos Totais, pH, PT – Fósforo Total, NT – Nitrogênio Total, NPt – Razão NT:PT, Ppt – Precipitação, Pop - População].	70

Figura	Página
16: Análise de componentes principais (ACP) para os parâmetros e amostras correspondentes à primeira fase do período 3 – 2007 a 2009 separados em estações de continente e restinga [S – Salinidade, OD – Oxigênio Dissolvido, DBO – Demanda Bioquímica de Oxigênio, RS – Resíduos Sólidos Totais, pH, PT – Fósforo Total, NT – Nitrogênio Total, NPt – Razão NT:PT, Ppt – Precipitação, Pop - População].	71
17: Análise de componentes principais (ACP) para os parâmetros e amostras correspondentes à segunda fase do período 3 – 2009 separados pelos períodos chuvoso, intermediário e seco [S – Salinidade, OD – Oxigênio Dissolvido, DBO – Demanda Bioquímica de Oxigênio, RS – Resíduos Sólidos Totais, pH, Turb – Turbidez, Cl-a – Clorofila a, PT – Fósforo Total, NT – Nitrogênio Total, NPt – Razão NT:PT, Ppt – Precipitação].	73
18: Análise de componentes principais (ACP) para os parâmetros e amostras correspondentes à primeira fase do período 4 – 2010 a 2013 separadas em compartimentos oeste, meio e leste [S – Salinidade, T – Temperatura, OD – Oxigênio Dissolvido, DBO – Demanda Bioquímica de Oxigênio, RS – Resíduos Sólidos Totais, pH, Turb – Turbidez, Cl-a – Clorofila a, PT – Fósforo Total, NT – Nitrogênio Total, NPt – Razão NT:PT, Ppt – Precipitação, Pop - População].	75
19: Análise de componentes principais (ACP) para os parâmetros e amostras correspondentes à segunda fase do período 4 – 2010 a 2013 separados em compartimentos oeste, meio e leste [S – Salinidade, OD – Oxigênio Dissolvido, DBO – Demanda Bioquímica de Oxigênio, RS – Resíduos Sólidos Totais, pH, PT – Fósforo Total, NT – Nitrogênio Total, NPt – Razão NT:PT, Ppt – Precipitação, Pop - População].	77
20: Variação temporal do índice IQA – NSF/CETESB na Lagoa de Araruama no período de amostragem entre 1998 e 2013. Qualidade ambiental: OT= Ótima, BO= Boa, RG= Regular, RM= Ruim, PS= Péssima.	79
21: Variação temporal do índice TRIX (NP) de acordo com a qualidade ambiental da Lagoa de Araruama no período de amostragem entre 1994 e 2013. Qualidade ambiental: AT= Alta, BO= Boa, RM= Ruim, PS= Péssima.	80
22: Modelo conceitual, proposto por Souza (1997), que sugere possíveis mudanças em resposta às atividades antropogênicas ao longo dos anos.	86
23: Linha do tempo com os principais eventos ocorridos na região adjacente à Lagoa de Araruama.	95

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ACP	Análise de Componentes Principais
AJ	Concessionário de Serviços Públicos de Água e Esgoto Águas de Juturnaíba
C	Compartimento Continente
CETESB	Companhia de Tecnologia de Saneamento Básico Ambiental
Ch	Período Chuvoso
CILSJ	Consórcio Intermunicipal Lagos São João
Cl-a	Clorofila a
CNA	Companhia Nacional de Álcalis
Coli	Colimetria
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CV	Coefficiente de Variação
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
DP	Desvio Padrão
ETE	Estação de Tratamento de Esgoto
FEEMA	Fundação Estadual de Engenharia do Meio Ambiente
IBAMA	Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
INT	Período Intermediário
IQA	Índice de Qualidade de Água
L	Compartimento Leste
M	Compartimento Central ou Meio
NH3	Amônia
NID	Nitrogênio Inorgânico Dissolvido

NO2	Nitrito
NO3	Nitrato
NPd	Relação NID:PID
NPt	Razão NT:PT
NSF	National Sanitation Foundation
NT	Nitrogênio Total
O	Compartimento Oeste
OD	Oxigênio Dissolvido
PID	Fósforo Inorgânico Dissolvido
PO4	Ortofosfato
Pop	Índice Demográfico
Ppt	Índice Pluviométrico
PRO	Concessionário de Serviços Públicos de Água e Esgoto Prolagos
PT	Fósforo Total
R	Compartimento Restinga
RS	Resíduos Sólidos Totais
S	Salinidade
SADMET	Seção de Armazenamento de Dados Meteorológicos
Sc	Período Seco
T	Temperatura
TRIX	The Composite Trophic Status Index
Turb.	Turbidez

RESUMO

Em ambientes aquáticos, a compreensão das tendências temporais e espaciais da qualidade dos corpos hídricos é uma referência para avaliar a saúde do ecossistema e permite aferir como o sistema vem respondendo à crescente intervenção antrópica ao longo dos anos. Destarte, pesquisas que avaliem uma longa série temporal são de suma importância para a melhor compreensão dos processos envolvidos nesses sistemas. A fim de se detectar os principais eventos que marcaram as fases de mudanças ambientais no sistema lagunar de Araruama, a série temporal dos parâmetros físico-químicos e biológicos, fornecidos pelo Consórcio Intermunicipal Lagos São João (CILSJ), foi analisada. O complexo conjunto de dados foi explorado a partir de técnicas estatísticas multivariadas e testes de análise de variância. Considerando que vários programas de monitoramento foram conduzidos ao longo dos anos, as amostras foram separadas em quatro períodos distintos em função do perfil da salinidade. A evolução dos parâmetros estudados ao longo dos períodos demonstrou que o desequilíbrio no desenvolvimento da região prejudicou a saúde do corpo hídrico. A elevada taxa de introdução artificial de água doce e de efluentes domésticos sem o tratamento adequado sobrecarregou o sistema lagunar e resultou em uma queda de 25% no valor da salinidade. A análise de componentes principais (ACP) apresentou um padrão semelhante em todos os períodos e revelou que o principal fator determinante no agrupamento das amostras foi resultante das elevadas concentrações de nutrientes, nitrogênio e fósforo. Em menor escala, os parâmetros de oxigênio dissolvido, demanda bioquímica de oxigênio, resíduos sólidos totais, turbidez e clorofila *a* também foram importantes para a composição dos eixos da análise. Na análise sazonal e espacial da série amostral, a salinidade é o principal parâmetro que separa as estações de continente e restinga, sendo maior na porção central e mais próximo ao continente. Diferentemente, os nutrientes apresentaram maiores concentrações no período chuvoso e na porção mais ocidental da lagoa, corroborando com o sistema de tratamento de esgoto da região e sua hidrodinâmica. A ação dos fortes ventos de nordeste e o elevado adensamento populacional na margem norte favorece essa distribuição de nutrientes. Para a classificação do estado trófico, foram utilizados índices que avaliam a concentração de sais nutrientes e a produção primária. Os índices, CONAMA, CETESB, TRIX (NP) e Hakanson & Brynn, foram calculados para obter a qualidade da água da Lagoa de Araruama. Em geral, os dados revelaram a vulnerabilidade do sistema frente aos efluentes orgânicos despejados e, conseqüentemente, a péssima qualidade da água na lagoa. O aumento de nutrientes nos últimos 20 anos sugere a fragilidade do corpo hídrico. Essas alterações provocaram mudanças na dinâmica da lagoa e, conseqüentemente, nas atividades econômicas dependentes.

Palavras-chave: hipersalinidade, nutrientes, análise multivariada, índice trófico.

ABSTRACT

In aquatic environments, understanding temporal and spatial trends in water quality is a necessity to assess ecosystem health and how the system responds to increasing human intervention over the years. Thus, studies to evaluate long term time series are extremely important for better understanding the processes involved in these systems. In order to detect the major events that marked the stages of environmental changes in the Araruama lagoon system, the time series database of physical, chemical and biological parameters, provided by the Consórcio Intermunicipal Lagos São João (CILSJ), was analyzed. The complex dataset was explored from multivariate statistical techniques and analysis of variance perspectives. Because different monitoring programs were conducted over the years, samples were separated into four distinct periods as a function of the salinity profile. The evolution of the parameters studied over the periods showed that the unbalanced development in the region damaged the health of the water body. The high input of artificial freshwater and domestic effluents without proper treatment overloaded lagoon system and resulted in a 25% decrease in the amount of salinity. Principal component analysis (PCA) showed a similar pattern in all periods and revealed that the main factor determining the grouping of the samples was the result of high concentrations of nutrients, nitrogen and phosphorus. On a smaller scale, the parameters of dissolved oxygen, biochemical oxygen demand, total solid waste, turbidity and chlorophyll *a* were also important for the composition of the axes. For seasonal and spatial analysis, salinity was the main parameter that separated the continental stations from the sandbanks, being higher in the inland and central portions. In contrast, nutrients showed higher concentrations in the rainy season in the most western portion of the lagoon, corroborating the influence of the sewage treatment system in the region and its hydrodynamics. The action of strong northeast winds and high population density in the northern shores favors the distribution of nutrients. To classify the trophic state, indices that assess the concentration of nutrient salts and primary production were used. Indexes, CONAMA, CETESB, TRIX (NP) and Hakanson & Brynn, were calculated for the water quality of Araruama lagoon. In general, data revealed the vulnerability of system against inputs of organic effluents, and hence the poor quality of the water in the lagoon. Increased nutrient concentrations in the last 20 years suggest the fragility of the water body. These changes led to changes in the dynamics of the lagoon and thus in the dependent economic activities.

Keywords: hypersalinity, nutrients, multivariate analysis, trophic index.

1. INTRODUÇÃO

As áreas marinhas costeiras, como os ambientes estuarinos, desempenham um papel fundamental para o desenvolvimento socioeconômico na maioria das sociedades. Esses ecossistemas de transição, assim classificados, representam a interface entre os ambientes de água doce e salgada. Apesar de possuírem área e volume pequenos em relação ao total oceânico, possuem altas taxas de produtividade e são berçários para uma série de espécies marinhas (Guerra 2008). Além disso, funcionam também como filtros, detendo, por longos períodos, sedimentos de natureza orgânica e inorgânica bem como poluentes. Estes elementos alóctones, originários dos sistemas fluviais, terrestres e marinhos adjacentes, podem, por vezes, prejudicar a qualidade de suas águas (Schettini 1994).

As lagoas costeiras constituem 13% em área dos ambientes costeiros globais (Kjerfve *et al.* 1996; Lloret *et al.* 2008). Suas águas possuem usos múltiplos que vão desde a aquicultura, preservação da fauna e flora, lazer e turismo. Esses ambientes de transição também são conhecidos como corpos receptores e diluentes de resíduos da atividade humana (Gomes *et al.* 2005). As condições físico-químicas destes sistemas são variáveis, governadas por fluxos de energia e matéria e o conhecimento de seus padrões pode melhorar a compreensão dos processos metabólicos envolvidos (Azevedo 1984). Por estas razões e pelo fato de muitas das espécies de interesse comercial serem frequentes nesses ambientes, iniciativas relacionadas à preservação desses espaços tem sido levadas a cabo (Barroso & Fabiano 1995).

Os sistemas lagunares são suscetíveis a variações climáticas e ambientais, modificações hidrológicas e influências antropogênicas (Lloret *et al.* 2008; Gava

2009). O motivo para tal fato é que muitos desses ambientes costeiros estão localizados em áreas com grandes adensamentos populacionais adjacentes, sendo assim objeto de um contínuo estresse durante longos períodos. Como consequência, as lagoas costeiras têm sofrido profundas alterações em suas condições naturais em decorrência de ações antrópicas como poluição, pesca predatória e invasão por espécies exóticas. Por vezes, podem ser levados aos limites de sua resiliência. Entretanto, apesar disso, esses ecossistemas não apresentam, necessariamente, sinais aparentes de danos relacionados a esses impactos (Myers 1992).

As lagoas, frequentemente denominadas por lagoas no Brasil, são conectadas ao oceano por um ou mais canais de maré e em geral apresentam baixas profundidades (Kjerfve 1994; Esteves 2011). Estes ambientes podem ser classificados em três tipos de acordo com o grau de comunicação com o mar, que é função da quantidade de canais ou grau de influência das marés no sistema lagunar: lagoas abertas, restritas ou sufocadas. As primeiras apresentam várias ligações com o oceano e forte influência de correntes de maré. As restritas possuem dois ou mais canais de maré, porém com uma circulação interna definida por ventos. Por fim, as lagoas sufocadas possuem uma única conexão com o oceano, alto tempo de residência de suas águas e uma hidrodinâmica dominada pela ação dos ventos (Kjerfve 1986).

As lagoas sufocadas costumam apresentar características hipersalinas, sendo essa condição de caráter mais ou menos perene. Esses ambientes apresentam uma baixa taxa de renovação de águas, e em épocas de seca, quando predominam as altas taxas de evaporação, o aporte de água doce proveniente de chuvas e rios é desprezível com relação ao aporte marinho (Potter *et al.* 2010).

Em geral, sistemas costeiros hipersalinos são encontrados em regiões com regime de micro maré, clima árido ou semiárido. Distribuem-se desde os trópicos até as regiões polares, sendo as de estado permanente observadas nas regiões áridas da Austrália, Oriente Médio, México e Brasil (Kjerfve *et al.* 1996; Souza *et al.* 2003). Mudanças de caráter sazonal, relatadas para a maioria dos sistemas, são apenas relacionadas à ocorrência de períodos secos, o que é exemplificado nas águas costeiras da Grande Barreira de Coral na Austrália (Andutta *et al.* 2011).

Na extensa região litorânea do Brasil, encontram-se diversos tipos de ambientes lagunares costeiros, incluindo-se neste caso desde sistemas abertos aos sufocados. Particularmente a região costeira do Estado do Rio de Janeiro apresenta um grande número de lagoas sufocadas com vários tamanhos e salinidades variáveis. Dentre elas, encontra-se uma das maiores lagoas costeiras hipersalinas em estado permanente do mundo, a Lagoa de Araruama (Kjerfve *et al.* 1996; Muehe & Valentini 1998). O significado do topônimo de “Araruama”, explorado por diversos autores, chega a ser controverso, incluindo até mesmo lendas de amor indígena (Vasconcellos 1998). No entanto, a mais aceita atualmente é que a palavra Araruama é uma derivação do tupi e pode ser traduzida como a “lagoa de conchas” (Alcoforado 1936).

Esse peculiar ecossistema posiciona-se paralelamente à linha de costa e apresenta alta salinidade, bem mais elevada que a da água do mar. A Lagoa de Araruama é rasa, sufocada, apresenta um longo tempo de residência e é fortemente influenciada pelos ventos em sua circulação. O baixo índice de chuvas predominante na região e a pequena descarga natural de água doce fazem com que esse corpo d’água tenha uma elevada evaporação, sendo notável durante a

década de 1980 uma boa transparência na coluna d'água em virtude da pequena quantidade de sedimentos depositados na época (Kjerfve 1986). A condição hipersalina tende a oferecer um sistema de tampão às florações de microrganismos e riscos epidemiológicos, o qual não é observado em sistemas com salinidades menores que a do oceano (Moreira-turcq 2000).

Essa condição aliada a sua beleza cênica e seus recursos naturais e extrativistas proporcionaram o desenvolvimento de uma atividade turística nas regiões adjacentes. Os turistas e veranistas chegam a mais que duplicar a população fixa em épocas de clima mais quente e em feriados prolongados. Assim, ao longo das últimas quatro décadas, as tradicionais atividades salineiras, extração de conchas (calcário) e pesca foram substituídas pela atividade turística e pela especulação imobiliária. A lagoa passou a ser vista a partir de uma nova atividade econômica, ou seja, o turismo. Por meio do lazer, da prática de esportes e, até mesmo, da utilização de sua curiosa lama de valor medicinal (Vasconcellos 1998; Teixeira 2006), as modificações começaram a ser observadas e, a partir da década de 1960, o acesso à lagoa se tornou mais fácil através das melhorias nas rodovias estaduais e federais (Vaz 2012).

Como resultado, a região foi gradativamente modificada e o crescimento demográfico desordenado em suas margens aumentou a pressão antrópica, pondo em risco a saúde da laguna. Como consequência, o aporte artificial de água doce e o lançamento de efluentes domésticos sem qualquer tratamento prévio aumentaram ao longo dos anos e esse quadro persistiu durante um longo período (Coutinho *et al.* 1999; Cunha 2003). Essas modificações alteraram consideravelmente os gradientes de densidade e provocaram mudanças no seu balanço hídrico e na sua condição de tampão (Gomes 2009).

A ressuspensão do material de fundo pela ação dos fortes ventos provoca o aumento da disponibilidade dos nutrientes na coluna d'água. Esse processo é chamado de eutrofização cultural e é decorrente da intensa urbanização observada na região nos últimos tempos (Souza 1997). Seus efeitos são variados e a aceleração deste proporciona alterações nos recursos tróficos e reflexos negativos sobre a qualidade dos habitats e na sua biota (Andreatta *et al.* 2004). O processo de eutrofização cultural vem se tornando um problema cada vez mais grave e, possivelmente, irreversível, provocando a redução da qualidade da água e ameaçando todo o sistema lagunar e as atividades econômicas ali desenvolvidas (Coutinho *et al.* 1999).

Muitos estudos sobre a influência dessas modificações foram realizados ao longo dos anos e apontaram para um contínuo processo de eutrofização cultural nesse ambiente (Souza 1993; Schettini 1994; Souza 1997; Mello 2007; Vaz 2012). Em ambientes aquáticos, a determinação da qualidade do regime de corpos hídricos é uma referência para avaliar a saúde do ecossistema em estudo e se faz necessária para estruturar medidas de monitoramento para o controle de um processo de eutrofização. A interpretação desses dados fornece os subsídios necessários para o conhecimento do equilíbrio ecológico dos recursos naturais, o que permite a tomada de decisões no sentido de recuperar áreas e sistemas peculiares (Bidegain & Bizerril 2002).

Essa avaliação se baseia na classificação de seu estado trófico, o qual representa o grau nutricional e o desenvolvimento dos produtores primários presentes naquele sistema. Sabe-se que as variações e modificações sazonais no estoque desses nutrientes podem ser limitantes para o desenvolvimento dos produtores primários em ambientes costeiros. Segundo Nixon (1995), o estado

trófico para sistemas marinhos pode ser classificado de acordo com a quantidade de energia ou matéria orgânica disponível no ambiente e o processo de eutrofização sendo uma mudança de um estado para o outro. Os estados tróficos podem ser determinados, numa ordem crescente de grau de nutrição, por: oligotrófico, mesotrófico, eutrófico e hipertrófico.

Nesse contexto, os monitoramentos ambientais tem o objetivo de identificar e analisar as condições dos recursos ao longo do tempo. Esse monitoramento se baseia na coleta de dados, estudos e acompanhamento frequente e/ou contínuo dos parâmetros físico-químicos e biológicos. Entretanto, também são incluídas nesse estudo as variáveis econômicas e sociais por exercerem fortes influências nas variações ambientais (EMBRAPA 2002).

Assim, a criação do Consórcio Intermunicipal Lagos São João, CILSJ, foi concretizada no final de 1999 e reuniu o poder municipal, a Secretaria Estadual do Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável, empresas privadas e organizações não governamentais (ONGs) na busca de alternativas sustentáveis. Como instrumento de gestão de política ambiental e de recurso hídrico, sua intenção é a recuperação do ecossistema lagunar de Araruama, realizando programas e projetos de melhoria no local e em seu entorno. O programa de monitoramento ambiental se baseia na análise de uma vasta gama de fatores e processos físicos, químicos e biológicos. A análise é realizada por diversas instituições, sendo os parâmetros técnicos medidos e avaliados pelo Consórcio e pelas concessionárias de distribuição de água e tratamento de esgoto - Águas de Juturnaíba e Prolagos (CILSJ 2012).

Por se tratar de concessões diferentes, cada empresa possui uma coleção de dados provenientes de diferentes períodos, com estações de coleta e duração de

monitoramento bastante variáveis. A empresa Prolagos monitora os municípios de Armação dos Búzios, Iguaba Grande, São Pedro da Aldeia, Arraial do Cabo (somente água) e Cabo Frio desde 2003. As coletas são realizadas mensalmente com amostras retiradas nas margens de 14 estações diferentes. A empresa Águas de Juturnaíba começou a monitorar mais recentemente, desde 2009, tendo também suas amostras coletadas mensalmente junto às margens dos municípios de Silva Jardim, Saquarema e Araruama em seis estações (Pereira 2007).

Destarte, as pesquisas e os programas de longo prazo são de suma importância para a melhor compreensão dos processos envolvidos nesses sistemas estuarinos. No Brasil, esse monitoramento ambiental ainda é deficitário. O maior obstáculo é o complexo conjunto de dados gerados e a dificuldade em compreender o significado dos parâmetros físico-químicos e biológicos e suas interações com o meio (França 2009).

Este estudo se insere nesse contexto e reúne o conjunto de dados de monitoramento obtidos pelo Consórcio no sentido de avaliar a evolução do processo de eutrofização cultural na Lagoa de Araruama. A análise é feita a partir de alguns parâmetros indicadores principais como salinidade, temperatura, oxigênio dissolvido, demanda bioquímica de oxigênio, turbidez, pH, resíduos sólidos totais, nitrogênio total, fósforo total, coliformes fecais e clorofila *a* (CILSJ 2012). A série temporal desses parâmetros físico-químicos e biológicos é analisada no sentido de se detectar os principais eventos que marcaram as fases de mudanças ambientais no sistema lagunar.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo Geral

Analisar a variação dos parâmetros físico-químicos e biológicos da Lagoa de Araruama ao longo dos últimos 20 anos, utilizando informações do monitoramento realizado pelo Consórcio Intermunicipal Lagos São João - CILSJ, visando caracterizar a evolução histórica do sistema lagunar e identificar os possíveis fatores que o levaram às suas condições atuais.

2.2. Objetivos Específicos

- Determinar, com base em dados históricos, a evolução das modificações da qualidade ambiental na Lagoa de Araruama;
- Correlacionar as tendências evidenciadas na análise temporal dos dados aos fatores sazonais e espaciais;
- Classificar, quanto ao estado trófico, a qualidade de água na Lagoa de Araruama ao longo dos anos.

3. AREA DE ESTUDO

“De todas a mais impressionante é a Araruama. Predomina ali a imensidão. Descortinos de horizontes amplos. Confins indiscerníveis. O espaço aberto, quase o vácuo. Mas, nesse vácuo um mundo colorido em mutações, ao sabor dos fenômenos meteóricos.” (Lamego 1974, p.34)

3.1. O Sistema Lagunar de Araruama

A Lagoa de Araruama é considerada uma das maiores lagunas costeiras hipersalinas em estado permanente no mundo e está localizada na Região dos Lagos no Estado do Rio de Janeiro, entre as latitudes 22° 50' e 22° 57'S e as longitudes 42° 00' e 42° 30'O (Kjerfve *et al.* 1996). A 100 km da capital do Estado, a lagoa está inserida na Macrorregião Ambiental – 4, que compreende os municípios de Araruama, Iguaba Grande, São Pedro da Aldeia, Cabo Frio e Arraial do Cabo (Figura 1). Estende-se paralelamente à costa e é separada do mar pela extensa restinga de Massambaba ao sul (SEMADS 2001).

Com uma bacia hidrográfica de aproximadamente 220 km², possui um volume de 0,636 km³, 40 km de extensão e uma largura máxima de 13 km (Bidegain & Bizerril 2002). Sua profundidade média é de 3 m, sendo que extensas áreas rasas entre 0,5 e 1,5 m são evidenciadas em suas margens e áreas mais profundas em direção ao centro, chegando a um máximo de 17 m (Barroso 1987; Souza 1997). Estudos mais antigos sobre a batimetria da lagoa relatam a presença de um profundo canal central no sentido longitudinal da lagoa, onde a influência da água salgada do mar podia ser notada até na cidade de Araruama (Barroso 1987; Cunha 2003).



Figura 1 – Mapa do Brasil indicando a localização do estado do Rio de Janeiro; mapa do estado do Rio de Janeiro indicando a localização da Lagoa de Araruama na macrorregião 4 (MR-4); mapa da Lagoa de Araruama identificando: Municípios (ARA – Araruama, IG – Iguaba Grande, SPA – São Pedro da Aldeia, CF – Cabo Frio e AR – Arraial do Cabo) e Estações de Tratamento de Esgotos – ETEs (ETE PL – Ponte dos Leites; ETE IG – Iguaba Grande; ETE SPA – São Pedro da Aldeia. ETE JE – Jardim Esperança; ETE CF – Cabo Frio).

Grande parte dos rios contribuintes apresentam vazão irrisória (Gava 2008; Cunha 2003). Destacam-se, na porção oeste da bacia, dois rios perenes na cidade de Araruama: Rio das Moças e Rio Mataruna, com 92 e 47 km² de área drenada respectivamente (Hansen 1993). Assim, sua alimentação hídrica é majoritariamente através do único e estreito canal, conhecido como Canal do Itajuru. Situado a leste da lagoa, essa conexão com o mar apresenta aproximadamente de 5,5 km de extensão e um perímetro total de 14 km (Kjerfve

et al. 1996). Apesar da existência do canal, estudos sobre a hidrodinâmica do sistema revelam que a ação da maré atinge apenas a localidade do Boqueirão, sendo desprezível no interior da lagoa. De toda forma, as trocas de massas de água com o oceano ainda são consideradas determinantes para a concentração dos nutrientes e da salinidade do corpo hídrico (Cunha 2003).

Em função das recorrentes dragagens realizadas no interior da lagoa, a morfologia de fundo pode ter sido alterada nos últimos anos, prejudicando o seu estado ambiental (Mello 2007). No trabalho de Lessa (1990), é possível verificar as transformações realizadas desde o século XVII no Canal do Itajuru (APÊNDICE 1 – Figura 1), com resultados na redução do prisma de maré e alterações na circulação de suas águas. Em 2007, com a inauguração da Ponte do Ambrósio (APÊNDICE 1 – Figura 2), que modificou o vão do canal de 30 para 300 metros, e a dragagem do canal em 3 metros, melhorias nas condições de vazão da água e de navegabilidade foram observadas (Gava 2008). De toda forma, não houve nenhum registro do fechamento natural da barra oceânica apesar do avançado assoreamento na região (Lessa 1991).

A Lagoa de Araruama sempre foi conhecida por sua beleza natural com águas cristalinas, extensas praias, manguezais, restingas e dunas. Na tentativa de manter essas características preservadas, projetos de revitalização e de monitoramento na bacia de drenagem da lagoa foram criados. Em dezembro de 1986, foi criada uma Área de Proteção Ambiental (APA) na restinga de Massambaba, compreendendo os municípios de Saquarema, Araruama e Arraial do Cabo. Dentro dela, há também a Reserva Ecológica Estadual de Massambaba. No total, foram criadas cerca de doze APAs nos espaços adjacentes ao sistema lagunar (Artázcoz 2000; Vaz 2012).

3.2. Características Ambientais

A Lagoa de Araruama, apesar de ser classificada erroneamente como lagoa no Brasil (Esteves 2011), trata-se de uma laguna costeira hipersalina em estado permanente. São diversas as teorias propostas para a formação desse sistema lagunar (Lamego 1974; Veloso 1978; Coe Neto 1984), sendo que a mais aceita está relacionada com episódios de transgressões e regressões marinhas. Estas provocaram o desenvolvimento de um duplo cordão litorâneo ao sul que isolou um braço do Atlântico (Barroso 1987; Muehe 1994; Turcq *et al.* 1999). Assim, a sua formação iniciou-se durante o período Pleistoceno (mais de 120.000 anos atrás) e a atual feição foi formada em torno de 3.900 anos A.P. (“antes do presente”), durante o Holoceno (APÊNDICE 1 – Figura 3). As transformações observadas na lagoa desde então podem ser consideradas resultado das interferências antrópicas, sendo iniciadas com a chegada dos colonizadores e suas obras para impedir a entrada de barcos inimigos (Lessa 1990).

Segundo a divisão geomorfológica de lagoas costeiras, apresentada por Kjerfve (1986), a Lagoa de Araruama pode ser classificada do tipo “sufocada”, igualmente às demais lagoas costeiras da região (Knoppers *et al.* 1991). Essa classificação é baseada no assoreamento do Canal do Itajuru, na baixa taxa de renovação de suas águas ($T_{50\%} = 83$ dias, Kjerfve *et al.* 1996) e na dominante ação dos ventos. Este canal atua como um filtro dinâmico da maré semi-diurna existente, contudo suas variações de maré só influenciam a parte localizada entre a boca do canal e o estreito do Boqueirão (Lessa 1991). No restante da lagoa, verifica-se um fluxo e um refluxo constante decorrentes da incidência de fortes ventos que atuam nos processos de transporte e deposição de sedimentos (Garcia *et al.* 2009). Como consequência, a formação de extensos cordões

arenosos dentro do corpo lagunar ajudou no assoreamento de diversas partes da lagoa (Muehe 1994).

O clima da região é predominantemente semiárido, tornando-se mais seco em direção ao leste (Barbiéri 1984). Apresenta também uma precipitação média baixa e uma pequena drenagem no seu aporte de água doce em relação ao seu volume total. O balanço hídrico da Lagoa de Araruama é considerado negativo ou com uma circulação anti-estuarina, ou seja, sua evaporação supera a precipitação e o aporte de água doce. Dessa forma, devido às suas características hidrológicas, a hipersalinidade na lagoa permanece constante ao longo de todo o ano, diferentemente das demais lagoas do litoral fluminense. Algumas destas lagoas também apresentam condições de hipersalinidade, porém com uma grande variação temporal. A condição permanente favorece a extração de sal para uso comercial, sendo hoje uma atividade praticamente extinta (Kjerfve *et al.* 1996; Souza 1997).

O regime dos ventos na região é determinado principalmente pelo quadrante nordeste, sendo influenciado também pelos ventos dos quadrantes sudeste e sudoeste em menor escala. A presença dos fortes ventos proporciona o empilhamento de massa d'água nas margens sul ou norte da lagoa, dependendo da direção, e provocam mudanças nos processos de circulação (Gava 2008). Os ventos do quadrante sul influenciam na entrada de água do oceano pelo Canal do Itajuru, enquanto que os de nordeste carrega o sedimento lamoso com alto teor de matéria orgânica para a margem sudoeste da lagoa (Schettini 1994; Cunha 2003). Essa ressuspensão do material de fundo afeta, por sua vez, a composição da matéria particulada suspendida. Dessa forma, observa-se o aumento da disponibilidade dos nutrientes para a coluna d'água no sistema, o consumo do

oxigênio dissolvido nas águas e a modificação dos processos metabólicos do corpo lagunar (Pereira *et al.* 2009).

A morfologia da Lagoa de Araruama também é influenciada pela presença e evolução dos esporões. Estes são resultantes da instabilidade na linha de costa e apresentam-se em forma de cúspides, sendo constituídos por material não coesivo. De acordo com o estudo sobre a evolução morfológica desses processos, os esporões da Lagoa de Araruama não estão evoluindo no sentido a favorecer o seu crescimento transversal à linha de costa, porém estão sendo erodidos à medida que o processo de sedimentação avança. Esses aspectos morfológicos foram determinantes na divisão do sistema lagunar em compartimentos abertos e semiabertos. O seccionamento das lagoas costeiras de origem marinha é o curso natural de sua evolução geológica (Alves 2006).

A salinidade do sistema é determinada através das interações dos diversos processos entre os compartimentos ambientais, tais quais: atmosférico, continental, oceanográfico e lagunar (Schettini 1994). Seu valor médio atual apresenta-se em torno de 45, um valor bem superior ao das águas oceânicas (36) e oscila no sentido leste a oeste, com a porção central apresentando maiores valores (Gomes 2009; CILSJ 2012). Ainda que seja alto este valor, trabalhos anteriores revelam que a salinidade da lagoa atingia valores bem mais elevados em alguns setores como, por exemplo, o dobro de sua média atual (André *et al.* 1981, Barroso 1987). Esse teor de sal pode estar relacionado com as variações climáticas, como o caso do fenômeno de El Niño (Schettini 1994).

Segundo Knoppers *et al.* (1996), a produtividade primária na Lagoa de Araruama era predominantemente decorrente da presença de tapetes algais de microfitobentos em seu fundo, sendo que a lagoa era considerada oligotrófica até

a década de 1990. Variações sazonais nos eventos de produção eram observadas também, alternando-se entre organismos fitobentônicos e fitoplanctônicos. Com o aumento do aporte de efluentes domésticos e industriais na lagoa, a predominância pela produtividade por fitoplâncton tornou-se mais frequente (Gava 2008).

3.3. Aspectos Socioeconômicos da Região

“Obra prima da engenharia natural! Em toda a nossa experiência nada vimos tão elevadamente planejado pelo dinamismo dos fatores geológicos. *Esse canal, essa laguna e esse mar excepcionais, imprescindível qualquer um aos outros dois para a utilidade humana...*” (Lamego 1974, p.40).

A Lagoa de Araruama, além de seu belo cenário e excelentes condições climáticas, está localizada em uma área privilegiada em relação às atividades econômicas, proporcionando um potencial elevado para a população adjacente. Sua bacia de drenagem é constituída de diversos biomas que estimulam o desenvolvimento em setores como a agricultura, pesca, atividades extrativistas, o turismo e a recreação. Esse particular ambiente costeiro possui uma grande biodiversidade e apresenta diversos redutos para a fauna aquática, como criadouros de peixes, crustáceos e moluscos, bem como refúgio para muitas espécies de aves nas áreas de manguezais (Hanssen 1988).

A maioria dos organismos encontrados na lagoa é de origem marinha. Em alguns, o excesso de sal reduz o tamanho ou limita a reprodução. Embora mais reduzida que a do mar, a fauna lagunar atinge grande biomassa em certos locais (Silva & Fernandes 1994). Animais como esponjas, briozoários, cnidários, anfípodes, pequenos nematódeos e poliquetas são comuns no sistema. A Lagoa de Araruama é, ainda, um importante criadouro de camarão-rosa

(*Farfantepenaeus brasiliensis* e *F. paulensis*). O crustáceo entra na lagoa através do Canal de Itajuru, ainda na fase de pós-larva, ajudado pela maré enchente, e só volta ao oceano aos quatro meses de vida, para iniciar sua vida reprodutiva (Mansur 2010).

A lagoa também recebe um número considerável de espécies comerciais marinhas que servem de suporte para a atividade pesqueira artesanal da região. Segundo Mansur (2010), 40 espécies de peixes são encontradas na Lagoa de Araruama, sendo que algumas nascem e permanecem na laguna, como a carapeba (*Eugerres brasilianus*), e outras voltam ao oceano após a maturação para iniciar seu período reprodutivo, como a tainha (*Mugil liza*). As principais comunidades pesqueiras estão fixadas no município de São Pedro da Aldeia. Historicamente, a atividade da pesca deu lugar a outras atividades extrativistas mais rentáveis como a extração de sal através das salinas e a de conchas extraídas no fundo da lagoa para a fabricação de cal e farinha de ostras. Estas atividades eram favorecidas pelas condições ambientais do sistema lagunar e adquiriram maior impulso com a desobstrução do canal no começo do século passado (Hanssen 1988).

A princípio, a exploração salineira era proibida a fim de não prejudicar a exportação da própria metrópole. Ao passar dos anos, a indústria do sal começou a se desenvolver com mais força e a paisagem local foi se transformando aos poucos, com montes de sal e moinhos de ventos adornando-a. Cunha (2003) faz uma comparação entre a lagoa e uma grande salina que, através da ação dos constantes ventos e elevada incidência solar, a água salgada introduzida pela ação de maré evapora e torna o interior do corpo hídrico mais salgado, possibilitando o fabrico do sal. A concorrência de seu produto com o sal extraído e

beneficiado no nordeste era alta, uma vez que este último apresentava uma melhor qualidade em seu produto final (Alcoforado 1936).

A atividade extrativista de calcário conchífero iniciou-se a partir da criação da Companhia Nacional de Álcalis (CNA) em 1952. Contudo, sua produção passou a ser regular somente no início da década de 1960, com a primeira barrilha nacional produzida (Massa 1967). Uma das vertentes para o significado da palavra Araruama é justamente a abundância em conchas (do tupi, ararú = conchas, iama = abundância) ou, mais popularmente conhecida, como a “lagoa das conchas” (Alcoforado 1936). Várias pesquisas corroboram com este conhecimento popular. Engenheiros ingleses revelaram a presença de uma camada de conchas com cerca de 20 metros de espessura no fundo da lagoa. Há também um relatório técnico da Cia. de cimento Portland, de São Paulo, que afirmou ser possível a retirada de mil toneladas de conchas por dia da lagoa para abastecer uma fábrica durante 70 anos (Hanssen 1988).

Além de constituírem parte do sustento da população residente, essas atividades econômicas devem ser levadas em conta, também, no desenvolvimento do turismo. A construção de paisagens singulares (as comunidades pesqueiras, os moinhos de ventos, os montes brancos de sal), a ampliação dos acessos à região e a busca de novos lugares de recreação, esporte e lazer promoveram a valorização dos espaços litorâneos, modificando a identidade dos municípios e das populações. A reconfiguração da paisagem, através de novas formas de utilização dos espaços, é um resultado direto das atividades econômicas, principalmente a especulação turística e imobiliária (Teixeira 2006).

Segundo Cruz (2000), a atividade turística aparece como elemento econômico a partir do século XIX na escala mundial e, a partir dela, o avanço da urbanização tem o poder de modificar o cenário de uma região. A paisagem, além de reproduzir uma história e uma identidade urbana, é pertencente ao espaço e, portanto, está sujeita às diversas transformações que o homem faz a seu bel prazer. Na Região dos Lagos, a ampliação dos acessos à região proporcionou a expansão da atividade turística ao redor da lagoa e a modelou através da estrutura física atual dos municípios adjacentes. A atividade, além de se sobrepor às demais atividades tradicionais da região, fez com que a apropriação de espaços inapropriados prejudicasse o seu desenvolvimento sustentável. Essas transformações referentes à paisagem frente ao desenvolvimento urbano faz com que a atividade turística seja uns dos principais fatores na degradação do meio ambiente na maioria das cidades costeiras (Vaz 2012).

O interesse pela lagoa cresceu não apenas em função das pessoas que estavam preocupadas em lazer e descanso, mas também pelo o aumento da oferta de empregos no seu setor terciário, tendo a título de exemplo o comércio e a construção civil (Vaz 2012). Essa crescente economia deu espaço para a forte especulação imobiliária. A expectativa no aumento do valor de mercado dos imóveis passou a ser estimulada na região antes mesmo da construção da ponte Rio-Niterói. A concepção em se ter um novo e rápido acesso à região proporcionou a valorização dos espaços. Diversas salinas foram desativadas para loteamentos de terras e construção imobiliária, diminuindo assim o espelho d'água da lagoa (Melo 2011).

A preponderância do turismo acarretou numa transformação dinâmica do ecossistema devido aos impactos de crescimento e desenvolvimento sem

qualquer planejamento para a manutenção do patrimônio ambiental e urbano. Esses fatores provocaram o assoreamento em algumas regiões na lagoa e prejudicaram a qualidade ambiental do sistema como um todo (Pires 2006).

Atualmente, a situação econômica da região encontra-se em decadência. A prática indiscriminada dessas atividades econômicas ao longo dos anos, somadas à especulação imobiliária e à exploração turística, resultou na evolução do processo de eutrofização cultural no sistema lagunar de Araruama de forma cada vez mais intensa. Essa degradação ambiental, decorrente do crescente impacto antropogênico, prejudica a qualidade da água da lagoa, sendo esta particularmente importante para o desenvolvimento das atividades extrativistas, pesqueiras e de recreação. Todas essas atividades econômicas são dependentes de recursos naturais fornecidos pelo seu ecossistema. Por isso, a falta de infraestrutura adequada e de manutenção do meio ambiente põe em risco a saúde econômica dos municípios adjacentes (Schettini 1994; Vaz 2012).

Muitos programas de revitalização urbana e de recuperação ambiental foram desenvolvidos na tentativa de melhorar as condições ambientais da Lagoa de Araruama. Obras de recuperação no sistema lagunar foram realizadas a fim de renovar as águas no seu interior, visando a utilização destas para fins turísticos e de lazer (Artázcoz 2000; CILSJ 2012). As dragagens, apesar de invasivas, auxiliaram na circulação e renovação das águas em alguns pontos assoreados (Cunha 2003). Assim, o interesse dos programas também está relacionado com a recuperação do desenvolvimento pleno das atividades econômicas e a geração de capital para os municípios que a circundam.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1. Série Amostral

Os dados foram obtidos a partir do monitoramento ambiental do Consórcio Intermunicipal Lagos São João, CILSJ, e de seus colaboradores (Concessionárias Prolagos e Água de Juturnaíba e Instituto Estadual do Ambiente/INEA). A parte inicial do monitoramento foi realizada dentro de um projeto multidisciplinar da Prolagos, financiado pelo Instituto Acqua/Petrobras, e teve como resultado a conclusão de uma dissertação de mestrado do Programa de Pós-graduação em Geoquímica da Universidade Federal Fluminense (Souza 1997).

A série histórica desse monitoramento é correspondente ao período de 1994 a 2013 (Tabela 1), sendo que não há nenhuma amostragem entre os anos de 1995 e 1997. As amostras dos anos 1998 e 1999 são referentes a coletas realizadas em apenas duas estações no centro da lagoa por um trabalho de monitoramento desenvolvido pela Companhia Nacional de Álcalis (CNA/CENTRAB). Os anos de 2001 e 2002 são resultados de um estudo realizado pela Fundação Estadual de Engenharia do Meio Ambiente (FEEMA), sendo coletado às margens da lagoa, ao todo 29 estações, e apenas o parâmetro de salinidade.

A partir do ano de 2003, o monitoramento começa a ser mais efetivo e a série de dados agrega mais estações de amostragem. A concessionária Prolagos (PRO) apresenta dados de 2003 a 2013, atuando em 16 estações e com oito parâmetros físico-químicos. A segunda concessionária, Águas de Juturnaíba (AJ), começou seu monitoramento mais tarde, apresentando dados entre 2007 e 2013, em seis estações e com 11 parâmetros. E, o CILSJ apresenta duas séries de monitoramento, sendo o primeiro referente às estações coletadas nas margens da

lagoa e o segundo em pontos mais ao centro desta. As estações de margem foram coletadas entre 2003 e 2006, em 11 pontos amostrais e com 14 parâmetros. O monitoramento mais recente do Consórcio tem sido realizado em 12 estações mais centrais na lagoa e com 11 parâmetros amostrais, no período entre 2010 a 2013.

Tabela 1 – Síntese dos dados utilizados no presente estudo. Souza (1997) – Dissertação de Mestrado; CNA/CENTRAB - Companhia Nacional de Álcalis; FEEMA – Fundação Estadual de Engenharia do Meio Ambiente; PRO - Prolagos; AJ – Águas de Juturnaíba; CILSJ – Consórcio Intermunicipal Lagos São João. n – número total de amostras.

	MONITORAMENTOS						
	Souza (1997)	CNA/CENTRAB	FEEMA	PRO	AJ	CILSJ	
Períodos	1994	1998 - 1999	2001 - 2002	2003 - 2006	2007 - 2013	2003- 2006	2010- 2013
Estações	7	2	29	16	6	11	12
Parâmetros	9	12	1	8	11	14	11
n	142	45	281	1378	325	249	452

No total, foram selecionados 13 parâmetros em comum aos monitoramentos, 88 estações de coletas abrangendo todos os compartimentos da lagoa e tendo, por fim, uma matriz de dados com 2.872 amostras. A Figura 2 demonstra a amplitude e a localidade da malha amostral pelas estações de coletas na Lagoa de Araruama no período de estudo. Vale ressaltar que nem todas as estações foram amostradas ao longo de todo o período.

4.1.1. Parâmetros Físico-Químicos e Biológicos

Em cada banco de dados, determinados parâmetros físico-químicos e biológicos foram medidos *in situ* ou amostras de água foram coletadas para análises em laboratório. A descrição, frequência das coletas e o período de monitoramento de cada empresa encontram-se detalhadas no site do Consórcio (CILSJ 2012), assim como os relatórios gerados dos últimos três anos do programa amostral.

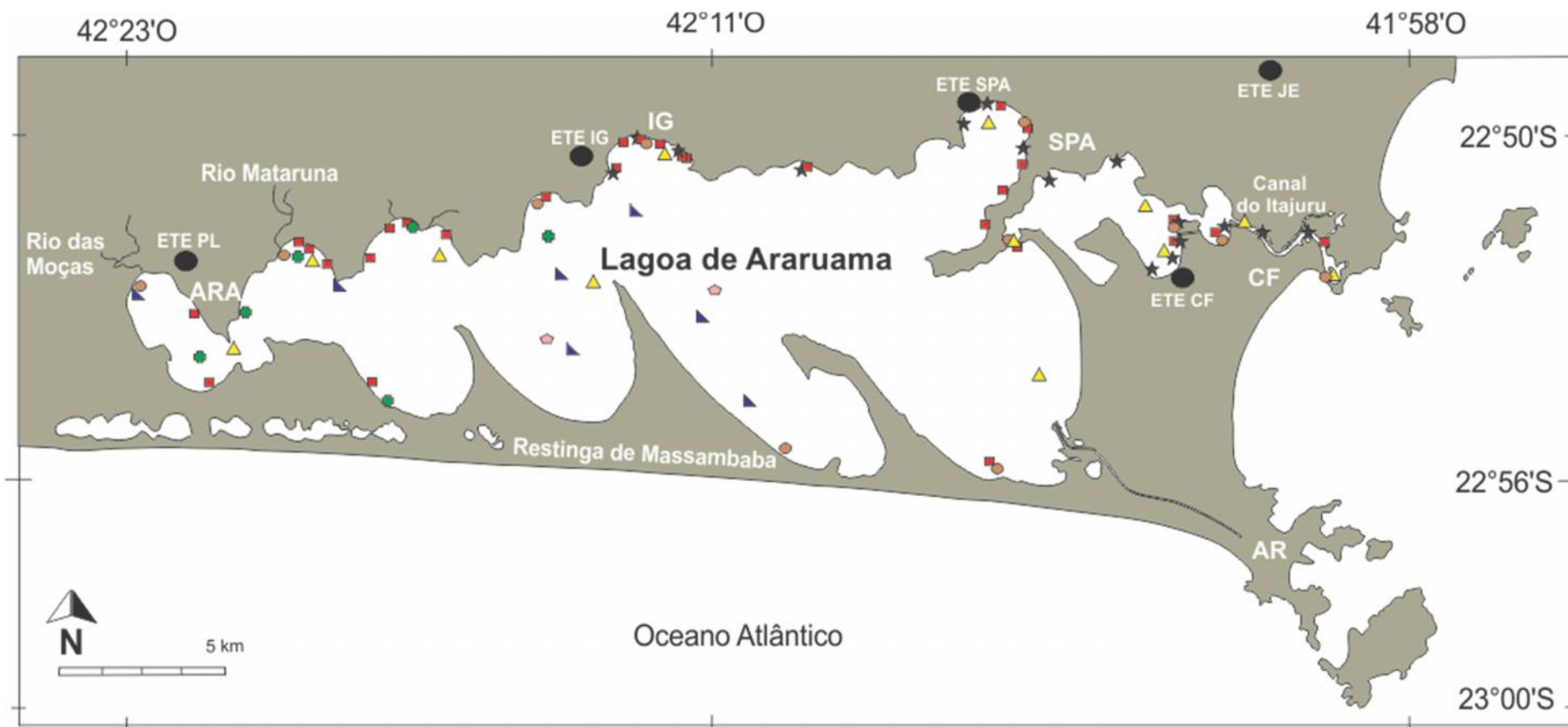


Figura 2 – Malha amostral com as estações de amostragem georeferenciadas no período de estudo. (●) – Estações de Tratamento de Esgoto (ETE); (▲/azul) – Estações de amostragens Souza (1997); (◆/rosa) – Estações de amostragens CNA/CENTRAB; (■/vermelho) – Estações de amostragens FEEMA; (★/preto) Estações de amostragens Prolagos (PRO); (■/verde) – Estações de amostragens Águas de Juturnaíba (AJ); (●/marrom) Estações de amostragem CILSJ nas margens e (▲/amarelo) no meio da lagoa. Municípios (ARA – Araruama, IG – Iguaba Grande, SPA – São Pedro da Aldeia, CF – Cabo Frio e AR – Arraial do Cabo) e Estações de Tratamento de Esgotos – ETEs (ETE PL – Ponte dos Leites; ETE IG – Iguaba Grande; ETE SPA – São Pedro da Aldeia. ETE JE – Jardim Esperança; ETE CF – Cabo Frio).

Os parâmetros físico-químicos e biológicos monitorados foram: salinidade (S), temperatura (T), fósforo total (PT), nitrogênio total (NT), ortofosfato (PO_4), nitrogênio inorgânico dissolvido ($NID = NH_3 + NO_2 + NO_3$), oxigênio dissolvido (OD), demanda bioquímica de oxigênio (DBO), pH, resíduos sólidos totais (RS), turbidez (Turb), clorofila *a* (Cl-*a*) e coliformes fecais (Coli). A Tabela 2 apresenta quais parâmetros foram coletados em cada ano de monitoramento.

Tabela 2 – Quadro geral dos parâmetros físico-químicos e biológicos monitorados ao longo dos anos na Lagoa de Araruama “x” – parâmetro amostrado.

Anos	S	T	PT	NT	PO_4	NID	OD	DBO	pH	RS	Turb	Cl- <i>a</i>	Coli
1994	x	x			x	x				x		x	
1998	x	x	x			x	x		x	x	x	x	
1999	x	x	x			x	x		x	x	x	x	
2001	x												
2002	x												
2003	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		x
2004	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		x
2005	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		x
2006	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		x
2007	x	x	x	x			x	x	x	x			x
2008	x	x	x	x			x	x	x	x	x		x
2009	x	x	x	x			x	x	x	x	x	x	x
2010	x	x	x	x			x	x	x	x	x	x	x
2011	x	x	x	x		x	x	x	x	x	x	x	x
2012	x	x	x	x		x	x	x	x	x	x	x	x
2013	x	x	x	x		x	x	x	x	x	x	x	x

4.1.2. Dados Censitários

O índice de crescimento populacional foi utilizado, juntamente com os parâmetros físico-químicos e biológicos, para avaliar uma possível correlação entre a variação dos dados ao longo destes últimos anos e os eventos ocorridos

na Lagoa de Araruama. O índice foi obtido a partir da contabilização dos números de habitantes das cinco principais cidades adjacentes ao sistema lagunar, sendo elas: Araruama, Iguaba Grande, São Pedro da Aldeia, Cabo Frio e Arraial do Cabo. Os dados são provenientes de censos demográficos, estimativa e contagem populacional e estão disponibilizados no site do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE 2013).

4.1.3. Dados Pluviométricos

O índice pluviométrico foi calculado a partir de dados fornecidos pela Seção de Armazenamento de Dados Meteorológicos – SADMET/INMET – referentes à Estação Climatológica Auxiliar de Iguaba Grande (n. 83114). O valor utilizado para este índice é equivalente à somatória da precipitação diária em milímetros dos cinco dias anteriores à data de amostragem.

4.1.4. Padronização do Banco de Dados

Por se tratar de fontes distintas de dados, tanto em relação às estações de coletas como aos períodos de amostragem e metodologia de análise, a padronização dos parâmetros foi necessária para estabelecer quais análises seriam passíveis de serem realizadas.

Partindo-se de uma matriz original de dados contendo todas as amostras, foram descartadas aquelas que apresentaram valores muito discrepantes das médias das demais observações (“*outliers*”) bem como aquelas que não apresentavam o registro de muitos parâmetros. Após esta redução, os parâmetros que apresentaram valores abaixo do limite de detecção da técnica foram substituídos pelo seu valor mínimo.

No cálculo dos Índices de Qualidade de Água (IQA) na Lagoa de Araruama, foi realizada uma série de regressões lineares entre os parâmetros físico-químicos e biológicos a fim de preencher as lacunas de dados. As regressões lineares que apresentaram maiores correlações ($R^2 \sim 1,00$) foram utilizadas para estimar os respectivos valores em branco na planilha. Com a planilha completa, os valores de IQA foram calculados a partir das médias anuais ou por períodos para cada parâmetro.

4.2. Análise dos Períodos

Apesar do conjunto de dados apresentarem uma série extensa de aproximadamente 20 anos, não foi possível a análise contínua da série temporal, em decorrência das lacunas entre anos de monitoramento da irregularidade nos parâmetros físico-químicos e biológicos coletados pelo Consórcio e seus colaboradores. Sendo assim, as amostras foram separadas em quatro períodos distintos. O corte para esta separação foi baseado principalmente no perfil da salinidade ao longo dos anos. O primeiro período (P1) correspondente ao ano de 1994, o segundo (P2) ao intervalo de 1998 a 2006, o terceiro (P3) entre 2007 e 2009 e, por fim, o último (P4) de 2010 a 2013.

Para a análise dos períodos também foi utilizado o cálculo de frequência relativa dos diferentes parâmetros em determinados intervalos pré-estabelecidos. Com isso, foi possível avaliar como estes parâmetros físico-químicos e biológicos se comportaram nos últimos 20 anos, facilitando a interpretação gráfica das mudanças entre os períodos.

4.3. Análises Estatísticas

Após a padronização do banco de dados, foi realizada uma análise de estatística descritiva, visando sumarizar o complexo conjunto de dados para a interpretação (Reis & Reis 2002). O cálculo do coeficiente de variação (CV) também foi utilizado, sendo o resultado da divisão do desvio padrão pela média. Essa técnica facilita a comparação entre dados de unidades diferentes e classifica o grau de dispersão destes. O critério para a avaliação do grau de dispersão foi o mesmo adotado por França (2009), ou seja, $CV < 0,50$ - um baixo grau, $0,50 < CV < 1,00$ - médio grau e $CV > 1,00$ - um alto grau de dispersão.

Ressalta-se que dados de monitoramento ambiental não costumam seguir uma distribuição normal e, para se realizar algumas das análises numéricas, este é um dos pressupostos importantes que deve ser atingido. Cada conjunto de dados foi transformado por fórmulas que tendem a normalizá-los e fazer com que seja possível utilizá-los nos testes estatísticos seguintes (Valentin 2012). Para se testar a normalidade foi utilizado o teste de Kolmogorov-Smirnov, considerando uma significância de 95% ($\alpha = 0,05$).

Os parâmetros físico-químicos e biológicos que não puderam ser normalizados foram transformados linearmente através da conversão dos valores brutos em escalas relativas à média e ao desvio padrão. A escala em Z, com média (μ) = 0 e desvio padrão (σ) = 1, é a mais utilizada nos casos em que as unidades dos descritores quantitativos não são as mesmas (Valentin 2012). Dessa forma, os parâmetros físico-químicos e biológicos podem ser submetidos a análises multivariadas por serem expressos em uma mesma escala de valores, sem, contudo, alterar as inter-relações entre eles.

As fórmulas das transformações e a relação destas com o resultado do teste de normalidade para cada parâmetro e período podem ser encontradas na Tabela 3.

Tabela 3 – Transformações (T) utilizadas para cada parâmetro por período de amostragem e o resultado do teste de normalidade, Kolmogorov-Smirnov (K-S), em função do valor de p, tendo $\alpha = 0,05$. a - raiz ($x_i / \sum x_i$); b - $\ln(x_i + 1)$; c - $x_i - \mu / \sigma$. Valores em negrito – resultados não significativos, distribuições consideradas normais. “-” - parâmetros não observados no período. P1 – 1994; P2.1 – 1998 e 1999; P2.2 e P2.3 – 2003 a 2006; P3.1 – 2007 a 2009; P3.2 – 2009; P4.1 e P4.2 – 2010 a 2013.

Parâmetros	T	P1	P2.1	P2.2	P2.3	P3.1	P3.2	P4.1	P4.2
		p	p	p	p	p	p	p	p
S	c	0,000	0,000	0,001	0,057	0,055	0,059	0,000	0,000
PT	a	0,000	0,036	-	-	-	0,417	0,000	-
NT	a	-	0,109	0,064	0,007	0,000	0,585	0,000	0,000
NPt	a	-	-	-	0,563	0,000	0,000	0,158	0,000
PO ₄	b	-	0,107	0,004	0,069	0,000	0,228	0,000	0,029
NH ₃	b	0,731	0,098	0,371	0,069	0,007	0,000	0,000	0,000
NO ₂	b	-	0,874	0,110	-	-	0,074	0,000	-
NO ₃	b	0,079	0,568	-	-	-	0,142	0,009	-
NID	b	-	-	-	0,000	0,000	0,681	0,043	0,000
NPd	b	-	0,178	0,000	0,000	0,000	0,313	0,000	0,000
OD	c	-	-	-	0,002	0,027	0,710	0,882	0,000
DBO	b	0,000	-	0,000	-	-	-	-	-
pH	c	0,010	0,005	0,918	-	-	-	-	-
RS	b	0,009	0,146	0,000	-	-	-	-	-
Turb	a	0,010	0,973	0,027	-	-	-	-	-
Cl-a	b	0,010	0,014	0,695	-	-	-	-	-

4.3.1. Análise Comparativa

A fim de verificar as diferenças sazonais e espaciais no conjunto de dados, testes comparativos entre as amostras foram realizados de acordo com essa classificação. Assim, os dados paramétricos foram testados através do teste *t*-Student na comparação entre duas médias, e da Análise de Variância unifatorial (One-Way ANOVA), para três ou mais médias.

Apesar da normalização dos dados, algumas amostras não responderam positivamente a análise de homogeneidade de variância (teste de Levene), outro pressuposto importante para estas análises (Mingoti 2005). Assim, o teste U de Mann-Whitney e o teste de Kruskal-Wallis foram aplicados para os dados não paramétricos (sem normalização e/ou sem homoscedasticidade) de acordo com o número de médias presentes. Em todos os casos, foi considerado um nível de significância de 95% ($\alpha = 0,05$).

4.3.1.1. Avaliação Sazonal

A avaliação sazonal foi baseada no índice pluviométrico, obtido através do volume de precipitação registrado na estação auxiliar de Iguaba Grande, determinando-se um período chuvoso, intermediário e seco em relação a média mensal da série temporal. Através do intervalo de confiança calculado a partir destas médias, tornou-se possível identificar quais meses podem ser classificados como chuvosos, intermediários e secos na região da Lagoa de Araruama (Figura 3). Os meses que apresentaram médias pluviométricas positivas e acima do intervalo de confiança foram classificados como chuvosos (Ch). As médias negativas e abaixo do intervalo foram classificados como secos (Sc). Por último, aqueles que não ultrapassaram o intervalo de confiança (positiva ou negativamente) foram classificados como intermediários (INT).

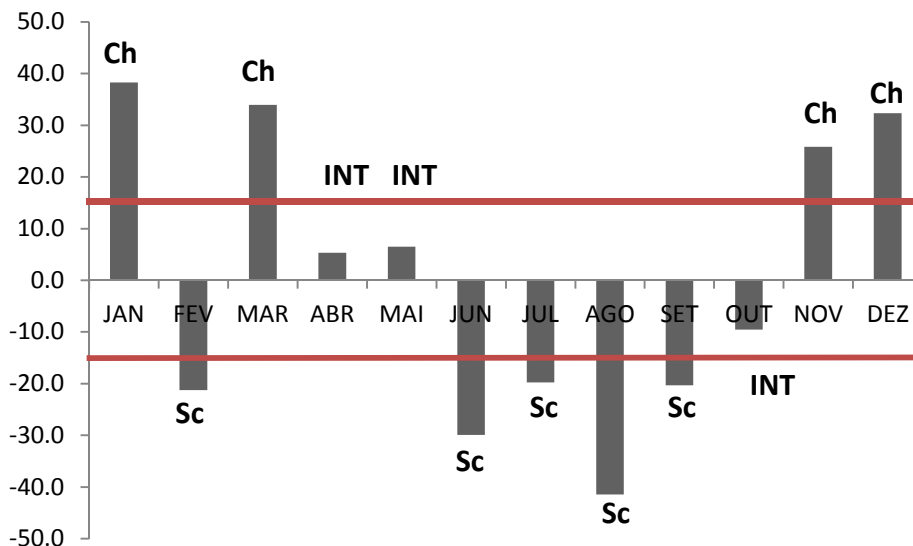


Figura 3 – Classificação da análise sazonal de acordo com a precipitação mensal na região lagunar. A linha vermelha indica o intervalo de confiança. Os meses foram classificados por períodos chuvosos (Ch), secos (Sc) e intermediários (INT).

4.3.1.2. Avaliação Espacial

As duas determinantes espaciais foram separadas através de linhas arbitrárias na tentativa de agrupar as estações de acordo com suas características em comum. A primeira, definida em compartimentos ou sacos, delimitou três compartimentos na lagoa, sendo um a oeste (O), com mais influência continental, um ao meio (M), com características intermediárias, e o último no Canal do Itajuru, mais a leste (L) e com maior influência marinha (Figura 4-a). Na segunda classe (Figura 4-b), a separação foi realizada entre as estações mais próximas ao continente (C), sofrendo influência do escoamento continental, e as com características marinhas, próxima das restingas (R).



(a) Compartimentos

(b) Continente x Restinga

Figura 4 – Demarcações das análises espaciais das estações de coletas na Lagoa de Araruama. (a) – Três compartimentos (O, M e L), no sentido oeste a leste; (b) – Estações de continente (C) e restinga (R), separadas por norte e sul.

4.3.2. Análise Multivariada dos Dados

Para realizar a análise de tendências dos parâmetros físico-químicos e biológicos ao longo dos anos na Lagoa de Araruama, foram empregadas análises multivariadas que são técnicas consideradas exploratórias na avaliação de bancos de dados grandes e complexos, como no caso de monitoramento de qualidade de água. O propósito dessas análises é sintetizar e condensar a informação original do conjunto de dados de modo que as relações ecológicas possam ser identificadas através da representação simplificada desses novos índices ou variáveis (Valetin 2012).

O método mais utilizado para avaliar dados ambientais é o de ordenação, em que as amostras são posicionadas num plano gráfico de maneira a revelar informações sobre suas semelhanças ecológicas. Assim, a análise de componentes principais (ACP ou PCA do inglês) foi aplicada em cada período de estudo a fim de identificar e separar as diferenças entre o conjunto de amostras e parâmetros físico-químicos e biológicos, seguindo o modelo proposto por

Hotelling (1993). A variabilidade na dispersão dos dados é caracterizada através de combinações lineares dos dados originais em um novo sistema de coordenada, sendo que o resultado final é analisado através da variável ou do conjunto de variáveis que explicam a maior parte desta variação (Johnson & Wichern 2007).

Por se tratar de uma técnica de ordenação, os resultados obtidos apenas sugerem como os dados se comportam no espaço amostral, não fornecendo níveis de significância. Segundo os autores Johnson & Wichern (2007), a análise de componentes principais fornece um resultado intermediário, sendo necessário um método auxiliar para se averiguar a razão do agrupamento. Nesse contexto, muitos critérios foram criados para que estas análises tenham certa relevância.

A seleção do número de componentes principais foi determinada pelo critério de Kaiser (1958), em que o número de componentes retidos deve ser igual ao número de autovalores maiores que 1,00. Contudo, a representação gráfica da análise de componentes principais foi realizada apenas para os dois primeiros eixos principais devido à elevada quantidade de amostras e análises. O primeiro componente principal é representado com o maior valor dessas variâncias, o autovalor, e indica a melhor relação às informações do conjunto de dados originais (Lattin *et al.* 2011).

As variáveis mais significativas para cada componente são analisadas através de simples correlações, ou seja, variáveis que apresentam sinais iguais são positivamente correlacionadas e sinais opostos, negativamente (Hair *et al.* 2005). A sua carga, ou "*loadings*", revela a importância destas na composição das componentes principais. O grupo que melhor representa cada eixo é calculado a

partir das distâncias (d) de cada variável em relação ao centro do plano através da Equação 1, extraída de Legendre & Legendre (1998):

$$d \geq \sqrt{\frac{2}{m}} \quad (\text{Eq. 1})$$

sendo m o número de parâmetros utilizados no cálculo dos componentes principais.

Assim, as componentes principais significativas sintetizam o conjunto dos parâmetros físico-químicos e biológicos analisados e, a partir de seus escores, é possível realizar análises comparativas entre as variáveis sazonais e espaciais. Desta forma, foram realizadas as mesmas análises comparativas paramétricas ou não paramétricas conforme realizado para os parâmetros individualmente. O intuito desta aplicação é verificar se a análise multivariada fornece respostas que facilitem a interpretação do complexo conjunto de dados presentes em um banco de monitoramento ambiental (Mingoti 2005).

A primeira análise de tendência geral do banco de dados, antes da separação por períodos, foi realizada a partir da seleção aleatória de dados através de um gerador de números aleatórios (Random 2013). Inicialmente foram selecionados os parâmetros físico-químicos e biológicos em função das lacunas presentes e então foi determinado um número fixo de amostras (70) em relação a uma variável sazonal ou espacial pré-determinada para a composição de uma nova matriz de dados. As amostras selecionadas foram transformadas em logaritmo de base 10 com um acréscimo de 1,5 em cada valor do parâmetro, ou seja, $\text{Log}_{10}(x_i+1,5)$. Com isso, foi possível obter o pressuposto da normalização.

Desta forma, duas análises de componentes principais foram realizadas a partir da técnica de aleatorização, sendo uma referente à variável espacial e a

outra à variável temporal. Assim, a primeira foi baseada nas diferenças espaciais entre o continente e restinga, totalizando 140 amostras, com sete parâmetros e em 29 estações de coletas. Na aleatorização, a partir da variável temporal, foram escolhidos os dados de acordo com os últimos três períodos (P2 – 1998 a 2006; P3 – 2007 a 2009 e P4 – 2010 a 2013), totalizando em 210 amostras divididas em 33 estações de coleta e com oito parâmetros. Vale ressaltar que os parâmetros de precipitação e população foram adicionados à análise como variáveis suplementares e, portanto, não foram determinantes na distribuição espacial das amostras.

4.3.2.1. Períodos

A análise de componentes principais foi realizada também por períodos; contudo, a fim de aproveitar o máximo de dados e parâmetros físico-químicos e biológicos do banco, alguns períodos tiveram que ser subdivididos em fases. Na Tabela 4 é possível verificar os períodos, fases e quantidade de amostras analisadas através da técnica multivariada de dados (ACP). O único período que não se separou em fase foi o primeiro, devido à sua baixa quantidade de amostras. Este período apresenta 142 amostras e somente 92 (65%) puderam ser analisadas.

O período 2, com 1005 amostras, teve que ser subdividido em 3 fases devido à alta quantidade de dados e fonte de dados distintas (anos e estações de amostragem). Apenas 68% das amostras (n=684) conseguiram ser analisadas devido às lacunas de amostragem dos diversos parâmetros de monitoramento. No período 3, as fases foram separadas principalmente em relação ao parâmetro

de clorofila *a*, em que só foi coletado no ano de 2009. Este período possui 517 amostras e 97% das amostras (n=500) puderam ser analisadas.

Por fim, no período 4, as fases foram subdivididas em função das diferenças entre os parâmetros físico-químicos e biológicos, tendo na primeira fase três parâmetros a mais: clorofila *a*, oxigênio dissolvido e turbidez. Somando-se as duas fases, 1177 amostras foram analisadas, sendo 97% do número total de amostras (n=1208). Ambas as fases apresentaram o mesmo período de amostragem, de 2010 a 2013.

Desta forma, com a subdivisão dos períodos as análises de componentes principais puderam ser realizadas, juntamente com as análises comparativas entre as variáveis sazonais e espaciais.

Tabela 4 – Síntese da divisão entre as amostras por períodos, fases, anos e estações de coletas e parâmetros analisados na análise de ACP. n – número de amostras analisadas e % - porcentagem de amostras analisadas.

	Período 1 (1994)	Período 2 (1998 – 2006)			Período 3 (2007 – 2009)		Período 4 (2010 – 2013)	
Fases	P1	P2.1	P2.2	P2.3	P3.1	P3.2	P4.1	P4.2
Ano	1994	1998- 1999	2003- 2006	2003- 2006	2007- 2009	2009	2010- 2013	2010- 2013
Estações	7	2	11	11	12	6	18	33
Parâmetros	11	14	15	10	10	12	13	10
n	93	42	221	421	435	65	552	625
N _{TOTAL}	142		1005		517		1208	
%	65		68		97		97	

4.3.3. Programas Utilizados

Todas as análises estatísticas foram realizadas utilizando os programas STATISTICA 8.0 e IBM SPSS Statistic 19.0.0 e os gráficos de dispersão e distribuição obtidos através dos programas SigmaPlot 11.0 e Microsoft Excel versão 2010.

Assim, a síntese da metodologia empregada no trabalho é apresentada no fluxograma da Figura 5 abaixo:

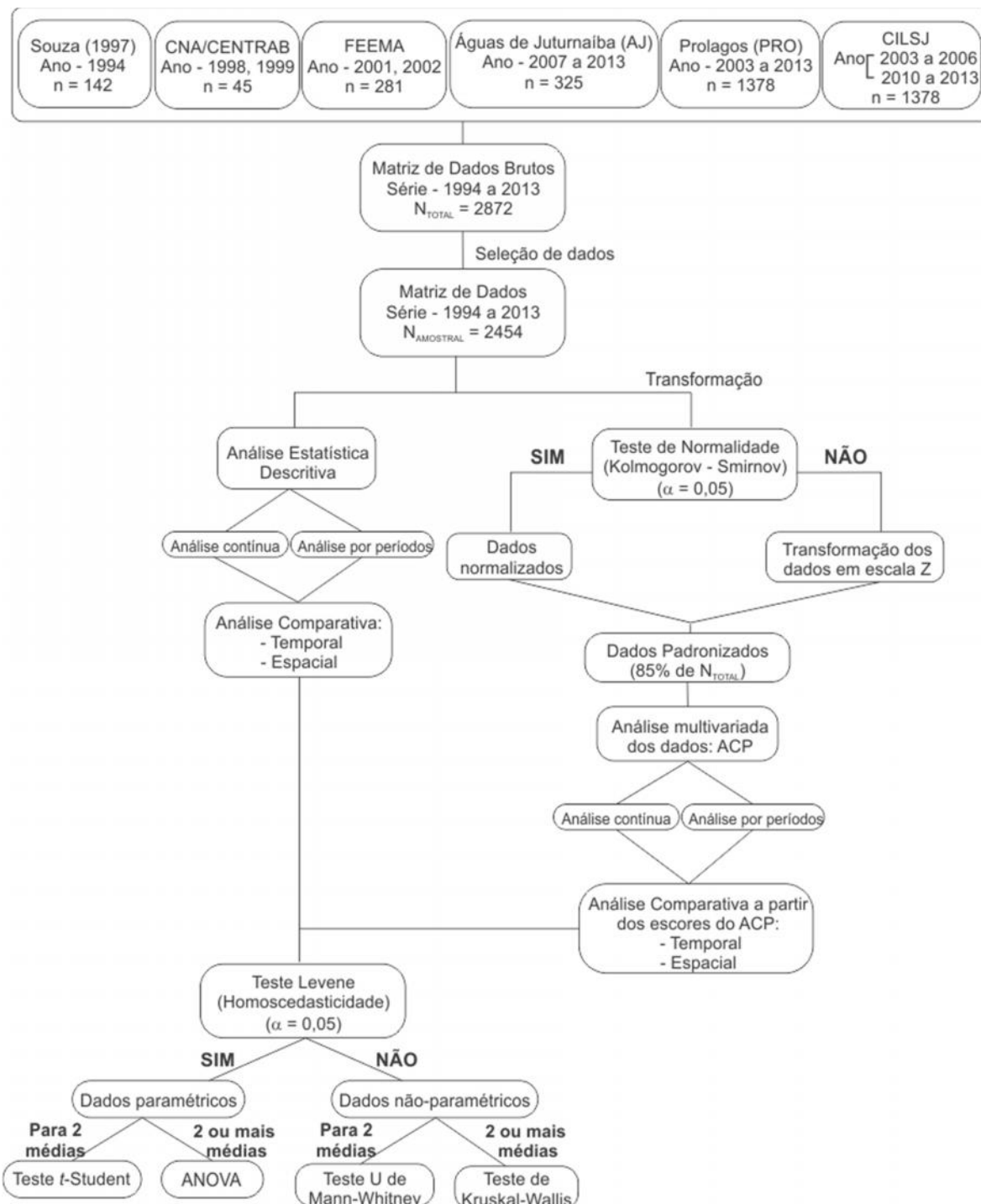


Figura 5 – Fluxograma da metodologia correspondente ao trabalho [n – número de amostras].

4.4. Índice de Qualidade de Água

Muitos índices de qualidade de água foram desenvolvidos para fornecer informações objetivas sobre os recursos hídricos e ajudar no processo de gestão ambiental de uma bacia hidrográfica. Estes índices levam em consideração as variáveis ambientais que mais afetam a qualidade do corpo hídrico e estabelecem pesos diferentes entre elas para minimizar um possível efeito de eclipse (Silva & Jardim 2006). A avaliação da qualidade ambiental da Lagoa de Araruama foi obtida através do cálculo de três índices tróficos: CETESB, Vollenweider *et al.* (1998) e Håkanson & Bryhn (2008). Os dados também foram comparados com o limite máximo estipulado pela legislação vigente (CONAMA 2005).

4.4.1. Resolução 357/2005 – CONAMA

No Brasil, o órgão vigente que estabelece limites aceitáveis dos indicadores da condição nutricional é o CONAMA e, com ele, é possível verificar se os valores obtidos para alguns parâmetros desse monitoramento estão de acordo com a legislação, Resolução 357/2005 (CONAMA 2005). De acordo com tal documento, a Lagoa de Araruama segue os limites da seção III / classe 1 – águas salinas (salinidade igual ou superior a 30) e que podem ser destinadas a: 1) recreação de contato primário, conforme Resolução CONAMA 274/2000; 2) à proteção das comunidades aquáticas e 3) à aquicultura e à atividade de pesca.

Desta forma, a fim de avaliar os parâmetros físico-químicos e biológicos coletados ao longo desses anos na Lagoa de Araruama, foi calculada uma média total para cada parâmetro e comparados aos limites propostos pela resolução.

4.4.2. CETESB

Em um estudo realizado pela *National Sanitation Foundation* (NSF) dos Estados Unidos em 1970, foi desenvolvido um índice de qualidade de água (IQA) baseado no método de Delphi da Rand Corporation. A princípio este método possui aplicações em condições regionais do hemisfério norte e, para traduzirem uma resposta mais próxima das condições nacionais, a CETESB substituiu alguns parâmetros da metodologia inicial (Hespanhol 2009).

O método leva em consideração a contaminação promovida por lançamento de esgotos domésticos nos corpos hídricos e, assim, descreve a qualidade de água em função do abastecimento público. Os parâmetros físico-químicos e biológicos utilizados para o cálculo foram: temperatura da amostra (°C), fósforo total (mg/L), nitrogênio total (mg/L), oxigênio dissolvido (% saturação), demanda bioquímica de oxigênio (mg/L), pH, resíduos sólidos totais (mg/L), turbidez (NTU) e coliformes fecais (NMP/100mL).

Desta forma, o IQA é determinado pelo produtório ponderado das qualidades de água correspondentes aos parâmetros, conforme a Equação 2 abaixo:

$$IQA = \prod_{i=1}^n q_i^{w_i} \quad (\text{Eq.2})$$

Em que:

IQA – Índice de qualidade da água (número de 0 a 100);

q_i – qualidade do i -ésimo parâmetro (número entre 0 e 100, obtido da respectiva "curva média de variação de qualidade", em função de sua concentração ou medida – (CETESB 2006));

w_i – peso correspondente ao i -ésimo parâmetro, conforme apresentado na Tabela 5, segundo uma escala de valores.

Tabela 5 – Peso para os parâmetros para o índice de qualidade. Fonte: CETESB (2006).

Parâmetro	Peso (w_i)
Oxigênio dissolvido	0,17
Coliformes fecais	0,15
pH	0,12
DBO	0,10
Nitrogênio Total	0,10
Fósforo Total	0,10
Temperatura	0,10
Turbidez	0,08
Sólidos Totais	0,08
TOTAL (Σ)	1,00

Na Tabela 6, encontra-se a classificação da qualidade de água variando numa escala de 0 a 100, sendo que, quanto maior o valor do índice de IQA, maior a qualidade ambiental de um determinado sistema.

Tabela 6 – Categorias do índice de qualidade da água da CETESB.

Valor IQA - CETESB	Qualidade Ambiental
80 – 100	Ótima
52 – 79	Boa
37 – 51	Regular
20 – 36	Ruim
0 – 19	Péssima

4.4.3. TRIX (NP)

Outro índice utilizado para avaliar a qualidade de águas costeiras foi proposto na Europa por Vollenweider *et al.* (1998), conhecido como TRIX (The Composite Trophic Status Index). O objetivo desta análise é comparar as informações conjugando fatores que estão relacionados à produção primária (clorofila *a* e

oxigênio dissolvido) e a condição nutricional (nitrogênio e fósforo). O cálculo do TRIX é obtido através de uma combinação linear dessas quatro variáveis de estado, conforme visto pela Equação 3:

$$\text{TRIX (NP)} = [\text{Log}_{10} (\text{Cl-a} * \% \text{DO} * \text{NT} * \text{PT}) + k] / m \quad (\text{Eq. 3})$$

Em que:

Cl-a – concentração de clorofila a em $\mu\text{g/L}$;

%DO – é o valor absoluto do desvio da saturação de oxigênio = $[100 - \% \text{OD}]$;

NT – nitrogênio total em mg/L ;

PT – fósforo total em mg/L .

As constantes $k = 1,5$ e $m = 1,2$; são coeficientes escalares que fixam os valores limites inferiores e superiores do índice e a faixa relacionada ao estado trófico respectivamente.

Assim, o índice TRIX (NP) avalia os fatores que estão diretamente relacionados à produtividade com a condição nutricional. Através destas variáveis, o índice varia entre os valores de 2 a 8, com sua classificação de estado trófico mais alto nos valores próximos a 8. Ou seja, se o valor calculado for alto, tem-se uma alta produção resultando em uma péssima qualidade ambiental do sistema (Tabela 7).

Tabela 7 - Classificação do estado trófico e qualidade da água através do TRIX.

Valor IQA - TRIX	Estado Trófico	Significado Ambiental	Qualidade Ambiental
2 – 4	Baixo	Baixa produção	Alta
4 – 5	Médio	Moderada produção	Boa
5 – 6	Alto	Entre moderada e alta produção	Ruim
6 – 8	Mais Alto	Alta produção	Péssima

4.4.4. Håkanson & Brynn (2008)

A metodologia proposta pelos autores classifica o estado trófico dos estuários de acordo com os seguintes parâmetros: medidas de disco de Secchi (indicadora de transparência da coluna d'água), clorofila *a*, nitrogênio total e fósforo total. O critério apresenta quatro faixas de concentração para a classificação do estado trófico: oligotrófico, mesotrófico, eutrófico e hipertrófico, sendo classificados por cada parâmetro separadamente de acordo com a salinidade da água (Tabela 8).

Tabela 8 – Classificação do estado trófico proposto por Håkanson & Brynn (2008).

Águas salinas (Salinidade > 20)	Disco de Secchi (m)	Clorofila <i>a</i> ($\mu\text{g/L}$)	Nitrogênio Total (μM)	Fósforo Total (μM)
Oligotrófico	> 28	< 2	< 220	< 9
Mesotrófico	< 7,5	2 a 6	220 a 470	9 a 27
Eutrófico	< 2	6 a 20	470 a 1090	27 a 90
Hipertrófico	< 0,9	> 20	> 1090	> 90

Na base de dados do presente estudo, as medidas de disco de Secchi só começaram a ser coletadas a partir de maio de 2013. Assim, para poder utilizar este método, realizou-se uma regressão entre os dados de turbidez e transparência (Secchi) neste período, possibilitando atribuir valores de transparência nos demais meses de amostragem.

5. RESULTADOS

5.1. Evolução das Mudanças Físico-Químicas e Biológicas

Conforme descrito previamente, os dados foram submetidos inicialmente à análise estatística descritiva, a qual gerou uma síntese do conjunto de dados que está apresentada na Tabela 9. A partir desta tabela, é possível verificar a grande variabilidade dos parâmetros físico-químicos e biológicos obtidos pelos diferentes monitoramentos constituintes da matriz de dados.

Em geral, as estações de amostragem apresentaram altos valores de coeficiente de variação (CV). De acordo com o critério de dispersão estabelecido anteriormente, os únicos parâmetros que exibiram baixo grau de dispersão foram: pH, temperatura, salinidade e oxigênio dissolvido.

O parâmetro que mais se destaca é a razão dos nutrientes (razão NT:PT), com um elevado grau de dispersão, $CV = 4,83$. Os nutrientes, determinantes desta elevada razão, também apresentaram alto grau de dispersão, tendo a seguinte ordem: Total – NT e PT / Inorgânica – NID e PO_4 . Ressalta-se que, em ambas as parcelas de nutrientes (total e inorgânica), o nitrogênio foi o nutriente com maior variabilidade, sendo a amônia (NH_3) a parcela mais significativa, $CV = 3,13$.

Os demais parâmetros também exibiram um coeficiente de dispersão maior que 1,00; ou seja, todos com um alto grau de dispersão nos dados (Turbidez, Clorofila *a*, DBO e Resíduos sólidos totais (RS)).

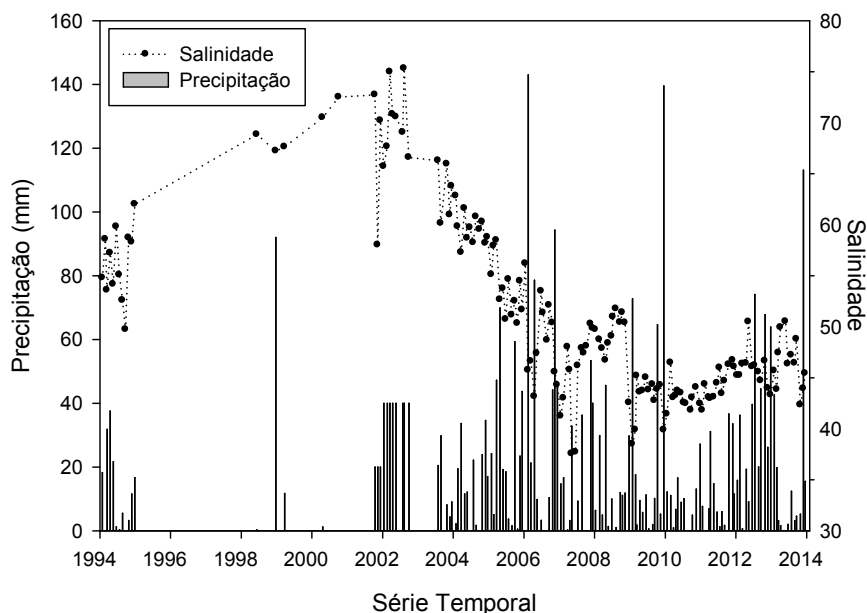
A Tabela 9 ainda evidencia a variabilidade no número de amostras correspondente para cada parâmetro. A salinidade apresenta maior quantidade de dados coletados ($n=2854$) e o parâmetro com menos quantidade de amostra foi o ortofosfato (PO_4 , $n=353$).

Tabela 9 – Sumário estatístico dos parâmetros físico-químicos e biológicos na Lagoa de Araruama correspondente ao período de 1994 a 2013. Média \pm DP (Min. – Máx.); n = número total de amostras; CV - Coeficiente de variação (DP/Média).

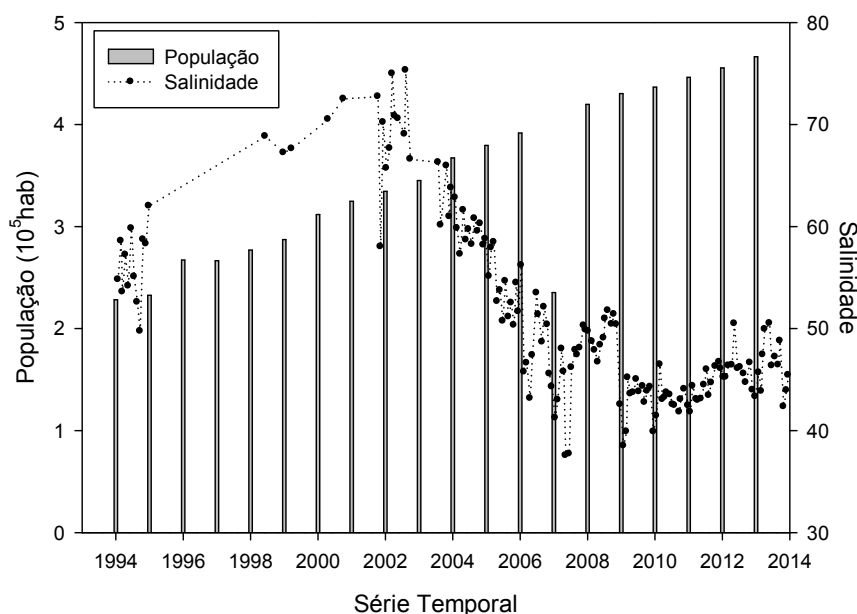
Parâmetros	n	Lagoa de Araruama	CV
Salinidade	2854	51 \pm 12 (10 – 90)	0,24
Temperatura (°C)	1063	26 \pm 3 (13 – 35)	0,12
OD (mg/L)	2334	7 \pm 2 (0 – 16)	0,29
DBO (mg/L)	2347	9 \pm 10 (0 – 211)	1,11
pH	2434	8,2 \pm 0,6 (4,8 – 10,5)	0,07
RS (mg/L)	2538	115 \pm 131 (0 – 1506)	1,14
Turbidez (NTU)	1030	14 \pm 22 (0 – 614)	1,57
Clorofila a (μ g/L)	817	21 \pm 29 (0 – 197)	1,38
NT (μ M)	2118	123 \pm 267 (1 – 3577)	2,17
PT (μ M)	2400	6 \pm 11 (0 – 226)	1,83
Razão NT:PT	2109	93 \pm 448 (0 – 10835)	4,82
PO ₄ (μ M)	353	0,8 \pm 1,3 (0,0 – 14,9)	1,63
NH ₃ (μ M)	398	46 \pm 144 (0 – 928)	3,13
NO ₂ (μ M)	602	4 \pm 11 (0 – 83)	2,75
NO ₃ (μ M)	623	23 \pm 36 (0 – 429)	1,57
NID (μ M)	398	54 \pm 159 (1 – 991)	2,94
Razão NID:PID	353	42 \pm 87 (1 – 779)	2,07

Dentre todos os parâmetros analisados, a salinidade apresenta-se como um dos mais importantes a ser avaliado no sistema lagunar de Araruama. Além do fato de se tratar de uma lagoa hipersalina, um elevado número de determinações desse parâmetro foi realizado ao longo do tempo no sistema lagunar. A variação temporal da média dos valores de salinidade é contraposta com a variação sazonal da precipitação e do crescimento populacional ao longo dos 20 anos de amostragem, 1994 a 2013 (Figura 6).

Observa-se que não há uma correlação significativa entre os dados pluviométricos e a salinidade ($r = -0,028$ e $p = 0,733$) (Figura 6-a). No entanto, o aumento da população, duplicado nos últimos 20 anos de 215.000 para 466.000 habitantes, apresenta uma correlação negativa com a salinidade ($r = -0,445$; $p < 0,001$), sendo que as maiores mudanças são observadas a partir de 2003 (Figura 6-b).



(a) Índice de precipitação



(b) Índice de crescimento demográfico

Figura 6 – Análise do perfil da salinidade (médias mensais) entre 1994 e 2013. (a) – Correlação com a média mensal do índice pluviométrico calculado cinco dias antes da data de coleta, dados fornecidos pelo INMET. (b) – Correlação com censos realizados nos últimos 20 anos, dados retirados do site do IBGE.

O resultado da correlação de Spearman entre os valores médios anuais de cada parâmetro e a densidade populacional anual dos municípios indica que a população está altamente correlacionada também às concentrações de nutrientes, oxigênio dissolvido (OD), turbidez e resíduos sólidos totais (RS) (Tabela 10).

Tabela 10 – Correlação de Spearman entre os parâmetros e o índice demográfico (ID).

	T	PT	NT	PO ₄	NID	OD	DBO	pH	RS	Turb	Cl-a
ID	-0.18	-0.04	0.79	0.79	-0.78	-0.80	-0.18	0.20	-0.80	-0.81	-0.23

Devido às lacunas dos dados e as diversas dificuldades supracitados, as análises não puderam ser realizadas de forma contínua e, assim, quatro períodos distintos foram analisados (Figura 7).

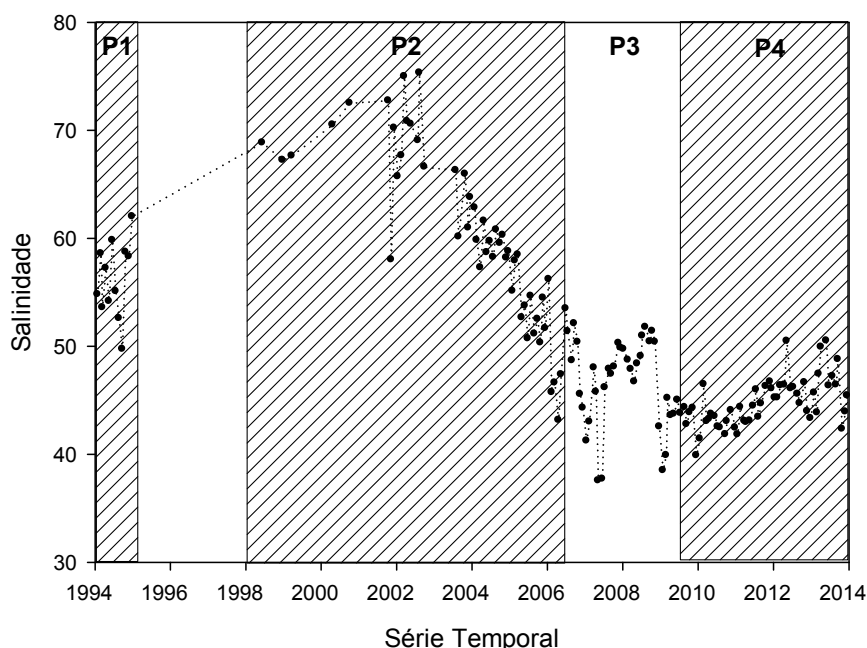


Figura 7 – Separação dos quatro períodos de análise de acordo com a variação da salinidade na Lagoa de Araruama durante o período de 1994 a 2013. P1 – 1994; P2 – 1998 a 2006; P3 – 2007 a 2009 e P4 – 2010 a 2013.

A síntese da análise estatística descritiva dos parâmetros físico-químicos e biológicos obtidos para os quatro períodos, antes da separação de fases, é apresentada na Tabela 11. O valor médio de salinidade foi maior nos dois primeiros períodos e apresentou uma queda significativa nos períodos subsequentes. O parâmetro de clorofila *a* apresentou diferença significativa nos últimos períodos, sendo os dois primeiros semelhantes entre si. Os demais parâmetros (OD, DBO, pH, resíduos sólidos totais e turbidez) apresentaram diferenças significativas em cada período de estudo. Apenas a temperatura não apresentou diferença significativa entre os períodos. O resultado das análises comparativas entre os períodos está descrito na Tabela 12.

Tabela 11 – Variação dos parâmetros físico-químicos e biológicos na Lagoa de Araruama separados em quatro períodos de estudo. Média (n) / Min. – Máx; n = número total de amostras, n.d. = não determinado.

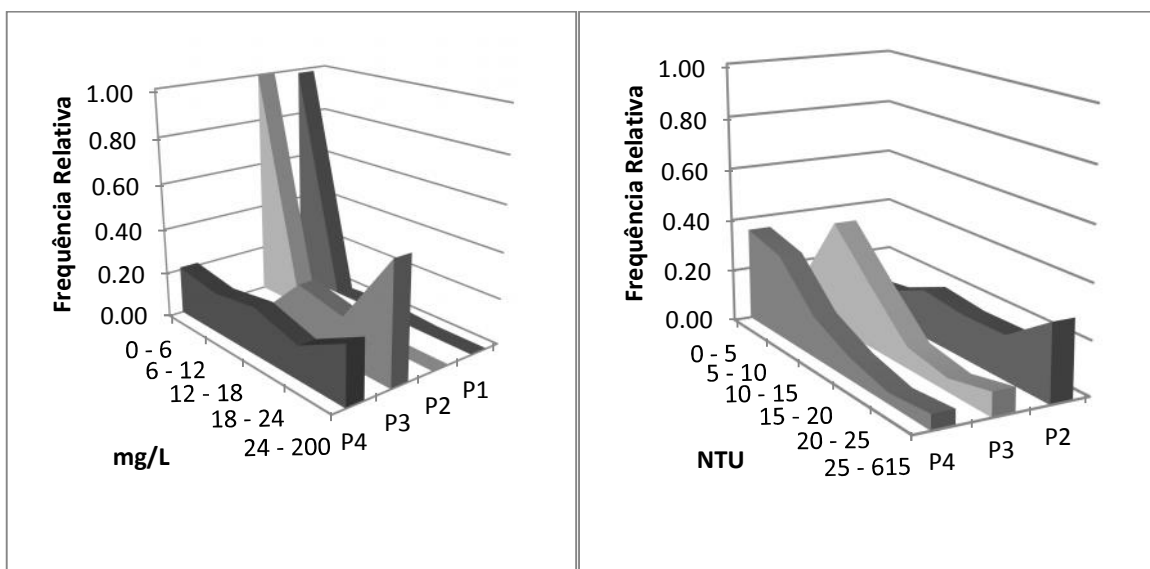
Parâmetros	P1	P2	P3	P4
	1994 (n = 142)	1998 – 2006 (n = 1005)	2007 – 2009 (n = 517)	2010 – 2013 (n = 1196)
Salinidade	55,7 (129) 12,0 – 69,0	60,0 (1000) 10,0 – 90,0	45,3 (517) 12,0 – 60,0	44,8 (1208) 16,0 – 60,0
Temperatura (°C)	26,6 (115) 21,9 – 31,0	26,0 (254) 13,0 – 35,0	27,5 (109) 20,1 – 33,4	25,6 (584) 19,3 – 34,9
OD (mg/L)	n.d.	7,2 (700) 0 – 16,2	8,3 (517) 0,4 – 14,3	6,2 (1117) 0,8 – 12,7
DBO (mg/L)	n.d.	9,9 (668) 0 – 48,0	6,7 (498) 2,0 – 43,0	9,2 (1181) 0 – 211,0
pH	n.d.	8,4 (716) 4,8 – 10,5	7,7 (517) 6,6 – 9,6	8,3 (1201) 6,4 – 9,8
RS (mg/L)	9,0 (138) 1,2 – 67,0	77,9 (722) 1,0 – 1148,0	195,5 (501) 11,0 – 864,0	116,6 (1177) 0 – 1506,0
Turbidez (NTU)	n.d.	20,6 (289) 0,1 – 105,0	12,0 (100) 3,2 – 61,3	10,6 (641) 0,3 – 614,0
Clorofila a (µg/L)	1,8 (128) 0 – 15,6	0,8 (42) 0 – 2,3	41,0 (65) 8,8 – 140,1	24,3 (583) 0 – 196,6

Tabela 12 – Avaliação comparativa entre os períodos na série temporal dos dados ($\alpha = 0.05$) [H – resultado do teste de Kruskal-Wallis, gl – grau de liberdade, N – número de amostras, p – poder do teste] (P1 – 1994, P2 – 1998 a 2006, P3 – 2007 a 2009 e P4 – 2010 a 2013).

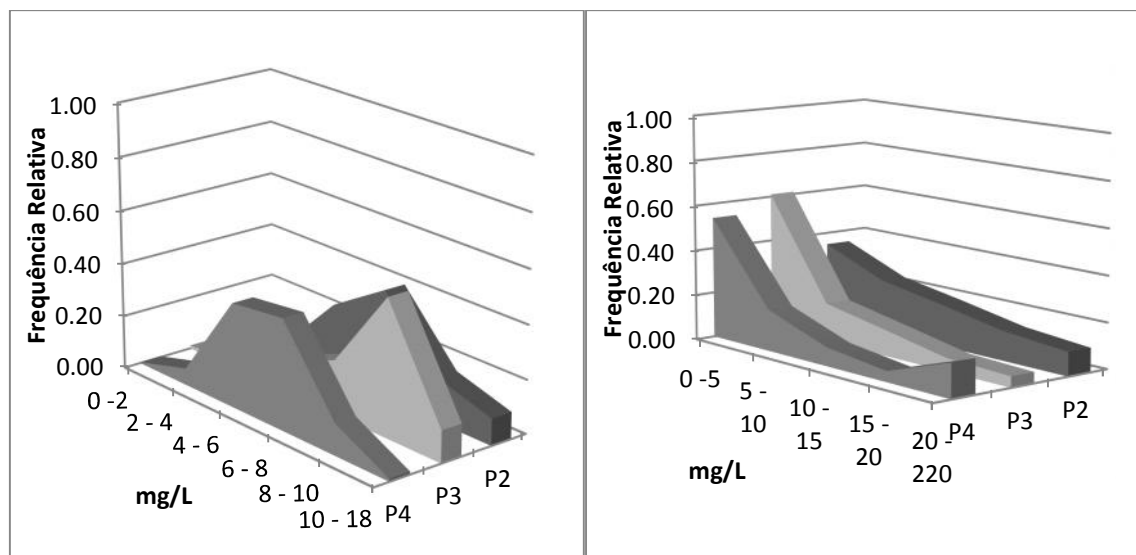
PERÍODO	Teste de Kruskal Wallis				
	H	gl	N	p	
Salinidade	874,0695	3	2854	0,0000	P1 = P2 ≠ P3 = P4
Temperatura	-	-	-	-	-
OD	390,5296	2	2334	0,0000	P2 ≠ P3 ≠ P4
DBO	93,7312	2	2347	0,0000	P2 ≠ P3 ≠ P4
pH	625,4733	2	2434	0,0000	P2 ≠ P3 ≠ P4
RS	684,7326	3	2538	0,0000	P1 ≠ P2 ≠ P3 ≠ P4
Turbidez	206,9725	2	1030	0,0000	P2 ≠ P3 ≠ P4
Clorofila a	364,8083	3	818	0,0000	P1 = P2 ≠ P3 ≠ P4

A Figura 8-a apresenta os dados em histogramas de frequência relativa para a variação da clorofila *a*. Observa-se que existe uma frequência de valores inferiores que 6 mg/L nos dois primeiros períodos (P1 e P2), seguido de um período (P3) com valores chegando a 140 mg/L. Na fase atual (P4), a frequência dos valores é observada em todos intervalos de variação. Através do teste de qui-quadrado (χ^2), é possível verificar a diferença significativa entre os períodos e níveis ($\chi_{\text{calculado}} (44,02) > \chi_{0,05}^{12} (21,03)$).

Os valores das concentrações de turbidez, oxigênio dissolvido e DBO não apresentaram diferenças significativas entre os períodos e níveis. Contudo, pode-se notar uma variação nas concentrações em cada período. Os parâmetros turbidez e DBO apresentaram valores concentrados nas menores faixas de variação nos últimos períodos de acordo com a Figura 8-b e Figura 8-d respectivamente. O oxigênio dissolvido apresentou no terceiro período (P3 – 2007 a 2009) valores mais concentrados entre 8 e 10 mg/L (Figura 8-c).

(a) Clorofila *a*

(b) Turbidez



(c) Oxigênio dissolvido

(d) DBO

Figura 8 – Variação da frequência de ocorrência em classes de valores de (a) – Clorofila a, (b) – Turbidez, (c) – Oxigênio dissolvido e (d) – DBO por períodos (P1 – 1994, P2 – 1998 a 2006, P3 – 2007 a 2009 e P4 – 2010 a 2013).

Em relação aos nutrientes, nitrogênio e fósforo, é possível notar que os valores médios de nitrogênio total (NT) aumentaram significativamente ao longo do tempo (Tabela 13), chegando quase a quadruplicar em cerca de 10 anos, com valores de 42,02 a 165,63 μM entre os períodos 2 e 4. Por outro lado, o fósforo apresentou valores significativamente menores no período 3, porém diferentes entre si. A razão NT:PT aumentou de forma exponencial ao longo do tempo, chegando a uma média bastante alta na fase atual de 139,64.

Tabela 13 – Variação dos nutrientes nitrogênio e fósforo na Lagoa de Araruama separados em quatro períodos de estudo. Média(n) / Min. – Máx.; n = o número total de amostras, n.d.= não determinado.

Parâmetros	P1 1994 (n = 142)	P2 1998 – 2006 (n = 1005)	P3 2007 – 2009 (n = 517)	P4 2010 – 2012 (n = 1196)
NT (µM)	n.d.	42,02 (430) 2,14 – 713,93	93,08 (498) 26,42 – 642,54	165,63 (1190) 0,71 – 3576,78
PT (µM)	n.d.	7,59 (715) 0,32 – 226,00	3,80 (498) 0,32 – 42,62	6,39 (1187) 0,26 – 171,11
Razão NT:PT	n.d.	8,59 (424) 0,17 – 221,13	54,62 (498) 0,02 – 353,81	139,64 (1187) 0,07 – 10835,48
PO ₄ (µM)	0,22 (104) 0 – 4,35	1,00 (249) 0 – 14,85	n.d.	n.d.
NH ₃ (µM)	6,97 (107) 0,22 – 124,94	59,74 (291) 0 – 928,11	n.d.	n.d.
NO ₂ (µM)	1,53 (107) 0,09 – 20,70	4,88 (291) 0 – 82,82	n.d.	4,08 (204) 0 – 66,40
NO ₃ (µM)	1,39 (103) 0,01 – 6,85	5,92 (291) 0 – 49,98	n.d.	55,10 (228) 0,71 – 428,57
NID (µM)	9,84 (107) 0,82 – 150,64	70,54 (291) 1,21 – 990,93	n.d.	n.d.
Razão NID:PID	94,14 (104) 1,84 – 778,50	20,92 (249) 0,86 – 496,88	n.d.	n.d.

Os nutrientes inorgânicos, ortofostato (PO₄) e amônia (NH₃), coletados apenas nos dois primeiros períodos apresentaram diferenças significativas (P1 ≠ P2). No entanto, os outros parâmetros de nutrientes, nitrato (NO₃) e nitrito (NO₂), que apresentaram valores nas últimas amostragens, 2010 a 2013, apenas o nitrato apresentou diferenças entre os períodos (NO₃ – P1 ≠ P2 ≠ P4). O resultado das análises comparativas entre os períodos para os parâmetros de nutrientes estão descritos na Tabela 14 abaixo.

Tabela 14 – Avaliação comparativa entre os períodos para os parâmetros de nutrientes ($\alpha = 0.05$) [H – resultado do teste de Kruskal-Wallis, gl – grau de liberdade, N – número de amostras, p – poder do teste] (P2 – 1998 a 2006).

PERÍODO	Kruskal Wallis				
	H	gl	N	p	
NT	524,0112	2	2118	0,0000	P2 ≠ P3 = P4
PT	166,9044	2	2400	0,0000	P2 ≠ P3 ≠ P4
Razão NT:PT	562,8907	2	2109	0,0000	P2 ≠ P3 ≠ P4
P0 ₄	103,6225	1	353	0,0000	P1 ≠ P2
NH ₃	59,2454	1	398	0,0000	P1 ≠ P2
NO ₂	-	-	-	-	-
NO ₃	340,9223	2	622	0,0000	P1 ≠ P2 ≠ P4
NID	71,0816	1	398	0,0000	P1 ≠ P2
Razão NID:PID	77,4709	1	353	0,0000	P1 ≠ P2

A Figura 9 compara a razão dos valores de N:P observados com a razão de Redfield (~16:1) indicando que somente no período 2 os valores observados foram menores que esta proporção.

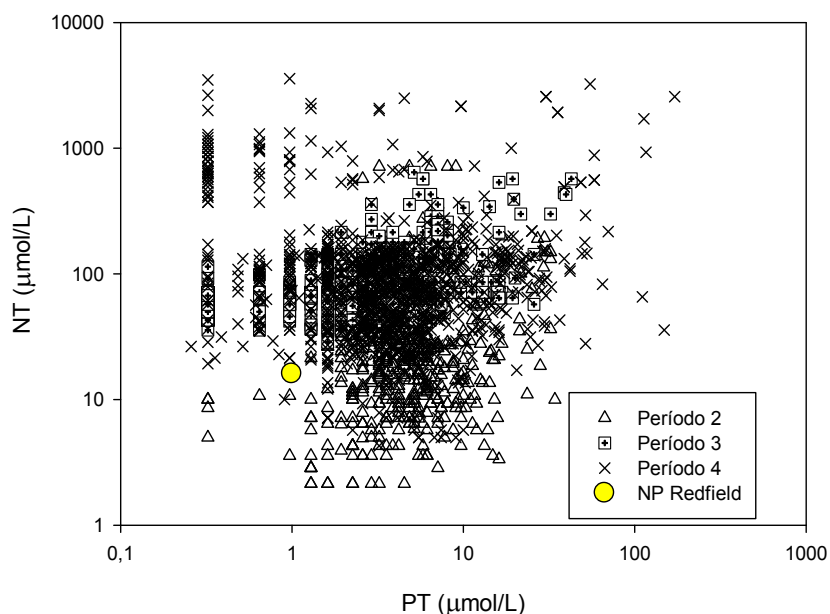


Figura 9 – Gráfico da relação dos nutrientes, nitrogênio e fósforo, nos três últimos períodos. P2 (1998 a 2006), P3 (2007 a 2009) e P4 (2010 a 2013). Os eixos de fósforo total (PT) e nitrogênio total (NT) encontram-se em função de Log, e NP Redfield é o parâmetro controle, com valor de 16:1.

5.2. Avaliação Comparativa Entre os Dados

5.2.1. Sazonal

A análise comparativa foi realizada entre os fatores sazonais e todos os parâmetros. Os testes realizados em sua maioria foram não paramétricos e diferenças significativas ($p < 0,05$) foram observadas em várias situações, conforme a Tabela 15.

Diferenças significativas entre os períodos chuvoso, intermediário e seco na análise contínua foram observadas para oito parâmetros. Em geral, todos os parâmetros apresentaram maiores valores no período chuvoso em relação ao demais. A temperatura apresentou valores diferentes entre todos os períodos, enquanto que os resíduos sólidos totais (RS) e fósforo total (PT) foram significativamente diferentes no período seco. Por outro lado, a DBO, a clorofila *a* e o nitrogênio total (NT) revelaram diferenças significativas entre o período chuvoso e os demais. Apenas a clorofila *a* apresentou valores inferiores no período chuvoso.

Tabela 15 – Avaliação comparativa entre os períodos chuvoso (CH), intermediário (INT) e seco (SC) na análise contínua dos dados ($\alpha = 0.05$). [H – resultado do teste de Kruskal-Wallis, gl – grau de liberdade, N – número de amostras, p – poder do teste].

Parâmetros	Teste de Kruskal-Wallis				
	H	gl	N	p	
Temperatura	148,1139	2	1062	0,0000	CH ≠ INT ≠ SC
DBO	19,0725	2	2347	0,0010	CH ≠ INT = SC
RS	24,0967	2	2538	0,0000	CH = INT ≠ SC
Clorofila <i>a</i>	12,0764	2	818	0,0024	CH ≠ INT = SC
NT	15,4588	2	2118	0,0004	CH ≠ INT = SC
PT	28,3309	2	2400	0,0000	CH = INT ≠ SC

As mesmas análises foram realizadas para cada período, bem como para a correspondente fase destes (Tabela 16). O primeiro período apresentou diferença significativa para os parâmetros RS, clorofila *a*, ortofosfato (PO_4) e nitrito (NO_2). Neste período, apenas o nitrito que apresentou valores menores no período chuvoso.

O segundo período, considerando as três fases, apresentou uma maior variação entre os períodos chuvoso e seco. A salinidade, temperatura, oxigênio dissolvido (OD) e DBO exibiram diferenças significativas e com destaque aos menores valores para o período chuvoso. Os parâmetros RS, turbidez, NT e nitrogênio inorgânico dissolvido (NID) apresentaram diferenças e todos com valores maiores para o período chuvoso. Apenas no pH que foi observado uma alteração, ou seja, na fase 2.1 (coletas em 1998 e 1999) apresentou valores maiores no período chuvoso e na última fase do período (P2.3 – 2003 a 2006) seus valores foram inferiores neste período chuvoso.

O terceiro período, considerando as duas fases, apresentou em sua maioria valores superiores dos parâmetros no período chuvoso. Os parâmetros temperatura, OD, DBO e pH exibiram destaque no período chuvoso, enquanto que o RS e NT apresentaram diferenças entre todos os períodos. Na segunda fase do período três, o pH apresentou diferença significativa nos meses intermediários em relação a precipitação e com valores inferiores no período chuvoso.

No último e atual período, a primeira fase apresentou diferença significativa para os parâmetros de temperatura, NT e PT entre os períodos chuvoso, intermediário e seco e, na segunda fase, a diferença foi observada em relação ao

período seco e os demais apenas para a DBO. Todos os parâmetros apresentaram valores maiores no período chuvoso.

Tabela 16 – Avaliação comparativa entre os períodos chuvoso (CH), intermediário (INT) e seco (SC) para os parâmetros físico-químicos e biológicos na análise por períodos ($\alpha = 0.05$). [*t* – resultado do teste de *t*-Student, *Z* – resultado do teste U de Mann-Whitney, *H* – resultado do teste de Kruskal-Wallis, *MS* – quadrados médios, *F* – resultado do teste da ANOVA, *gl* – grau de liberdade, *N* – número de amostras, *p* – poder do teste].

P1 (1994)	Teste de Kruskal-Wallis				
	<i>H</i>	<i>gl</i>	<i>N</i>	<i>p</i>	
RS	55,2215	2	93	0,0000	CH = INT ≠ SC
Clorofila <i>a</i>	14,6665	2	93	0,0007	CH ≠ INT = SC
PO ₄	17,8685	2	93	0,0001	INT ≠ CH = SC
NO ₂	17,7672	2	93	0,0001	CH ≠ INT = SC
P2.1 (1998-1999)	t-Student			Mann-Whitney	
	<i>t</i>	<i>gl</i>	<i>P</i>	<i>Z</i>	<i>p</i>
Salinidade	3,0262	40	0,0043	-	-
Temperatura	6,0348	40	0,0000	-	-
OD	2,8113	40	0,0076	-	-
pH	-	-	-	-3,8820	0,0001
RS	-	-	-	-2,2106	0,0270
NID	-	-	-	-2,6239	0,0087
P2.2 (2003-2006)	Teste de Kruskal Wallis				
	<i>H</i>	<i>gl</i>	<i>N</i>	<i>p</i>	
OD	27,3441	2	221	0,0000	CH = INT ≠ SC
Turbidez	35,2771	2	221	0,0000	CH ≠ INT ≠ SC
NID	18,7779	2	221	0,0001	CH = INT ≠ SC
P2.3 (2003-2006)	Teste de Kruskal Wallis				
	<i>H</i>	<i>gl</i>	<i>N</i>	<i>p</i>	
DBO	20,0329	2	421	0,0000	INT ≠ CH = SC
pH	26,1456	2	421	0,0000	CH = INT ≠ SC
NT	32,0363	2	421	0,0000	CH = INT ≠ SC
P3.1 (2007-2009)	Teste de Kruskal-Wallis				
	<i>H</i>	<i>gl</i>	<i>N</i>	<i>p</i>	
DBO	17,7928	2	435	0,0001	CH ≠ INT = SC
pH	24,6173	2	435	0,0000	CH ≠ INT = SC
RS	17,1710	2	435	0,0002	CH = INT ≠ SC
NT	33,6797	2	435	0,0000	CH = INT ≠ SC

Tabela 16 - *continuação*

P3.2 (2009)	ANOVA					
	MS	F	gl	N	p	
Temperatura	63,08	13,054	2	62	0,0000	CH ≠ INT = SC
OD	28,61	25,315	2	62	0,0000	CH ≠ INT = SC
pH	0,893	7,790	2	62	0,0010	INT ≠ CH = SC
P4.1 (2010-2013)	Teste de Kruskal-Wallis					
	H	gl	N	p		
Temperatura	73,7971	2	502	0,0000		CH ≠ INT = SC
NT	23,2545	2	552	0,0000		CH ≠ INT ≠ SC
PT	49,9561	2	552	0,0000		CH ≠ INT ≠ SC
P4.2 (2010-2013)	Teste de Kruskal-Wallis					
	H	gl	N	p		
DBO	13,0485	2	598	0,0015		CH = INT ≠ SC

5.2.2. Espacial

A primeira análise espacial foi realizada a fim de comparar às estações próximas ao continente e à restinga e indicou diferenças significativas em praticamente todos os parâmetros (Tabela 17). Para os parâmetros salinidade, temperatura, resíduos sólidos totais (RS), turbidez e clorofila *a*, os valores observados foram maiores para as estações situadas mais próximas ao continente. Os demais parâmetros (oxigênio dissolvido (OD), nitrogênio total (NT), fósforo total (PT), amônia (NH₃) e nitrato (NO₃)) também indicaram diferenças significativas, porém seus valores foram maiores nas estações próximas à restinga.

O mesmo foi realizado entre os períodos e suas correspondentes fases (Tabela 18). Os parâmetros salinidade, resíduos sólidos totais, pH, turbidez e clorofila *a* indicaram diferenças significativas, sendo que as estações mais próximas ao continente apresentaram valores maiores destes parâmetros em relação às de restinga. Diferentemente, o oxigênio dissolvido apresentou valores

menores nas estações de continente em todos os períodos. O parâmetro de DBO exibiu uma variabilidade, sendo que suas concentrações foram, em relação às estações de continente, maior no período 2 (1998 a 2006), menor no período 3 (2007 a 2009) e maior novamente na última fase (2010 a 2013).

Os parâmetros de nutrientes (nitrogênio e fósforo total) revelaram uma alteração em suas condições, tendo suas concentrações inferiores nas estações de continente nos períodos mais antigos e superiores na última fase de amostragem.

Tabela 17 – Avaliação comparativa espacial entre o continente e restinga para os parâmetros físico-químicos e biológicos na análise contínua ($\alpha = 0.05$). [*t* – resultado do teste de *t*-Student, *Z* – resultado do teste U de Mann-Whitney, *gl* – grau de liberdade, *N* – número de amostras, *p* – poder do teste].

Parâmetros	t-Student			Mann-Whitney	
	<i>t</i>	<i>gl</i>	<i>P</i>	<i>Z</i>	<i>p</i>
Salinidade	-	-	-	19,8394	0,0000
Temperatura	4,4943	1060	0,0000	-	-
OD	-2,6556	2332	0,0080	-	-
RS	-	-	-	6,7491	0,0000
Turbidez	-	-	-	3,7835	0,0002
Clorofila <i>a</i>	-	-	-	6,2625	0,0000
NT	-	-	-	-3,3315	0,0009
PT	-	-	-	-6,0743	0,0000
NH ₃	-	-	-	-2,6165	0,0089
NO ₃	-	-	-	-2,7892	0,0053

Tabela 18 – Avaliação comparativa espacial entre o continente e restinga para os parâmetros físico-químicos e biológicos na análise por períodos ($\alpha = 0.05$). [*t* – resultado do teste de *t*-Student, Z – resultado do teste U de Mann-Whitney, gl – grau de liberdade, N – número de amostras, p – poder do teste].

P1 (1994)	<i>t</i>-Student			Mann Whitney	
	<i>t</i>	gl	p	Z	p
NID	-	-	-	2,2620	0,0237
P2.2 (2003-2006)	<i>t</i>-Student			Mann Whitney	
	<i>t</i>	gl	p	Z	p
Salinidade	-	-	-	4,9025	0,0000
OD	-2,9520	219	0,0035	-	-
DBO	2,0407	219	0,0425	-	-
RS	-	-	-	3,3035	0,0010
Turbidez	-	-	-	3,1894	0,0014
PT	-	-	-	2,7149	0,0066
P2.3 (2003-2006)	<i>t</i>-Student			Mann Whitney	
	<i>t</i>	gl	p	Z	p
Salinidade	-22,3130	419	0,0000	-	-
OD	-	-	-	3,0446	0,0023
DBO	2,0694	419	0,0391	-	-
NT	-	-	-	3,8757	0,0001
PT	-	-	-	8,1934	0,0000
P3.1 (2007-2009)	<i>t</i>-Student			Mann Whitney	
	<i>t</i>	gl	p	Z	p
Salinidade	17,1432	433	0,0000	-	-
DBO	-	-	-	-5,1149	0,0000
pH	-	-	-	2,4278	0,0152
RS	5,6639	433	0,0000	-	-
NT	-	-	-	-8,4786	0,0000
P3.2 (2009)	<i>t</i>-Student			Mann Whitney	
	<i>t</i> -value	gl	p	Z	p
Salinidade	-2,7027	63	0,0088	-	-

Tabela 18 – *continuação*

P4.1 (2010-2013)	t –Student			Mann Whitney	
	<i>t</i>	gl	p	Z	p
Salinidade	-	-	-	4,7471	0,0000
OD	-	-	-	-2,8666	0,0041
DBO	-	-	-	7,1536	0,0000
pH	2,4627	547	0,0141	-	-
RS	3,5824	550	0,0004	-	-
Turbidez	-	-	-	5,9816	0,0000
Clorofila a	-	-	-	5,2455	0,0000
NT	2,5555	550	0,0109	-	-
P4.2 (2010-2013)	t –Student			Mann Whitney	
	<i>t</i>	gl	p	Z	p
Salinidade	-13,0920	623	0,0000	-	-
pH	-	-	-	2,2104	0,0271
PT	-	-	-	6,3411	0,0000

A outra análise comparativa espacial realizada foi em relação aos três compartimentos na lagoa (oeste, meio e leste). Em geral os parâmetros apresentaram diferenças significativas entre si (Tabela 19). A salinidade foi o único parâmetro a apresentar valores maiores na porção central da lagoa, porém apresentando diferenças significativas entre todos os compartimentos.

Os parâmetros temperatura, DBO, pH, resíduos sólidos totais, turbidez, clorofila *a* e nitrogênio total exibiram valores maiores na porção mais a oeste, destacando, nos três primeiros, esta porção em relação às demais e, nos outros três, as diferenças foram encontradas entre todas as porções. Diferentemente, os parâmetros oxigênio dissolvido, fósforo total e ortofosfato (PO₄) apresentaram suas maiores concentrações na porção mais a leste, referente às estações no Canal de Itajuru.

Tabela 19 – Avaliação comparativa espacial entre os compartimentos - oeste (O), meio (M) e leste (L) para os parâmetros físico-químicos e biológicos na análise contínua ($\alpha = 0.05$). [H – resultado do teste de Kruskal-Wallis, gl – grau de liberdade, N – número de amostras, p – poder do teste].

Parâmetros	Teste de Kruskal-Wallis				
	H	gl	N	p	
Salinidade	809,0438	2	2337	0,0000	O \neq M \neq L
Temperatura	29,7742	2	953	0,0000	O \neq M = L
OD	28,4960	2	1817	0,0000	O = M \neq L
DBO	319,0313	2	1849	0,0000	O \neq M = L
pH	20,8316	2	1917	0,0000	O \neq M = L
RS	27,5709	2	2037	0,0000	O \neq M = L
Turbidez	74,3754	2	930	0,0000	O \neq M \neq L
Clorofila a	120,8541	2	753	0,0000	O \neq M \neq L
NT	58,6611	2	1620	0,0000	O \neq M \neq L
PT	51,4929	2	1902	0,0000	M \neq O = L
P0 ₄	18,9490	2	353	0,0001	O = M \neq L

Outra análise também foi realizada entre os períodos e suas correspondentes fases (Tabela 20). O período 1 apresentou diferença significativa apenas para a amônia (NH₃) e nitrogênio inorgânico dissolvido (NID), sendo que as concentrações foram maiores na porção mais oeste do que no meio. Vale ressaltar que não havia nenhuma estação no canal neste período.

A salinidade e o oxigênio dissolvido apresentaram o mesmo padrão da análise contínua, sendo que a salinidade foi maior em todos os períodos na porção central da lagoa e o OD maior nas estações mais a leste e próximas ao canal. Os parâmetros DBO, nitrogênio e fósforo total apresentaram, em geral, maiores valores nas estações da porção oeste, destacando a terceira fase do período 2 (P2.3) em que os parâmetros exibiram maiores concentrações nas estações mais próximas ao canal (leste). Esta fase não possui dados nas estações da porção oeste da lagoa.

Os parâmetros pH e clorofila *a* apresentaram valores maiores neste mesmo compartimento da lagoa, enquanto que a turbidez se destacou com concentrações menores nas estações situadas no canal (leste). O parâmetro de resíduos sólidos totais revelou uma alteração em suas concentrações ao longo do tempo, porém permanecendo maior nas estações a oeste.

Tabela 20 – Avaliação comparativa espacial entre os compartimentos - oeste (O), meio (M) e leste (L) para os parâmetros físico-químicos e biológicos na análise por períodos ($\alpha = 0.05$). [*t* – resultado do teste de *t*-Student, Z – resultado do teste U de Mann-Whitney, H – resultado do teste de Kruskal-Wallis, MS – quadrados médios, F – resultado do teste da ANOVA, gl – grau de liberdade, N – número de amostras, p – poder do teste].

P1 (1994)	<i>t</i>-Student			Mann Whitney		
	<i>t</i>	gl	p	Z	p	
NH ₃	-	-	-	2,1884	0,0286	
NID	-	-	-	2,7008	0,0069	
P2.2 (2003-2006)	Teste de Kruskal-Wallis					
	H	gl	N	p		
Salinidade	104,6572	2	221	0,0000	O ≠ M ≠ L	
DBO	29,5620	2	221	0,0000	O = M ≠ L	
RS	26,1348	2	221	0,0000	O = M ≠ L	
Turbidez	19,8838	2	221	0,0000	O = M ≠ L	
PT	8,8341	2	221	0,0121	O ≠ M = L	
ANOVA						
	MS	F	gl	N	p	
OD	36,084	11,574	2	218	0,0000	O = M ≠ L
P2.3 (2003-2006)	<i>t</i>-Student			Mann Whitney		
	<i>t</i>	gl	p	Z	p	
Salinidade	-22,3130	419	0,0000	-	-	
OD	-	-	-	3,0446	0,0023	
DBO	2,0694	419	0,0391	-	-	
NT	-	-	-	3,8757	0,0001	
PT	-	-	-	8,1934	0,0000	

Tabela 20 – *continuação.*

P3.1 (2007-2009)	Teste de Kruskal-Wallis					
	H	gl	N	p		
Salinidade	205,9817	2	435	0,0000	O ≠ M ≠ L	
OD	15,0971	2	435	0,0005	M ≠ O = L	
DBO	97,5459	2	435	0,0000	O ≠ M ≠ L	
pH	64,7259	2	435	0,0000	O ≠ M = L	
RS	74,9847	2	435	0,0000	M ≠ O = L	
NT	103,9120	2	435	0,0000	M ≠ O = L	
PT	29,9690	2	435	0,0000	O ≠ M = L	
P4.1 (2010-2013)	Teste de Kruskal-Wallis					
	H	gl	N	p		
Salinidade	135,4945	2	552	0,0000	O ≠ M ≠ L	
Temperatura	26,2171	2	502	0,0000	O ≠ M = L	
DBO	208,0441	2	552	0,0000	O ≠ M = L	
RS	170,8844	2	552	0,0000	O ≠ M = L	
Clorofila <i>a</i>	113,0924	2	552	0,0000	O ≠ M = L	
PT	21,5281	2	552	0,0000	O ≠ M = L	
ANOVA						
	MS	F	gl	N	p	
OD	1,67	10,5	2	546	0,0000	O ≠ M = L
P4.2 (2010-2013)	Teste de Kruskal-Wallis					
	H	gl	N	p		
Salinidade	225,0888	2	625	0,0000	M ≠ O = L	
DBO	60,4165	2	598	0,0000	O ≠ M = L	
PT	46,1013	2	604	0,0000	M ≠ O = L	

5.3. Análise Multivariada dos Dados

Após a transformação e normalização das amostras, a análise multivariada dos dados pôde ser aplicada ao conjunto de dados devidamente padronizados. A técnica de ordenação utilizada, análise de componentes principais (ACP), foi empregada nos dados aleatorizados.

A primeira aleatorização, referente às diferenças espaciais, resultou em três componentes principais com uma porcentagem de variância explicada igual a 60,79%, conforme mostra a Tabela 21. O primeiro eixo (ACP 1 – 27,02%) é representado pelos parâmetros de DBO, resíduos sólidos totais (RS) e turbidez. No segundo eixo (ACP 2 – 18,43%), as variáveis que se destacam é a salinidade para o lado positivo e o oxigênio dissolvido (OD) e o pH para o lado negativo. O último eixo não apresentou correlação significativa com nenhum parâmetro.

Tabela 21 – Análise de componentes principais (ACP) aleatorizada para as diferenças espaciais (compartimentos).

	Autovalor	Variância Explicada (%)	Variância Explicada Acumulada (%)	Variáveis correlacionadas
ACP1	1,89	27,02	27,01	RS (-), DBO (-) e Turbidez (-)
ACP2	1,29	18,43	45,45	Salinidade (+), OD (-) e pH (-)
ACP3	1,07	15,34	60,79	Nenhuma variável

Observa-se na Figura 10 a distribuição espacial das amostras e o grupo de parâmetros correspondente a cada eixo. Nesta análise, foi possível evidenciar padrões de distribuição das amostras nas áreas oeste, meio e leste em relação ao primeiro eixo do componente principal. A análise comparativa entre essas variáveis espaciais e os escores do ACP1 resultou em diferenças significativas entre as estações situadas mais a leste, no Canal do Itajuru, com as demais (Tabela 22).

Tabela 22 – Análise comparativa entre os escores do ACP e os compartimentos da lagoa – oeste (O), meio (M) e leste (L) [MS – quadrados médios, F – resultado do teste da ANOVA, gl – grau de liberdade, N – número de amostras, p – poder do teste].

Escore	ANOVA					
	MS	F	gl	N	p	
ACP1	24,3	36,9	2	136	0,0000	O = M ≠ L

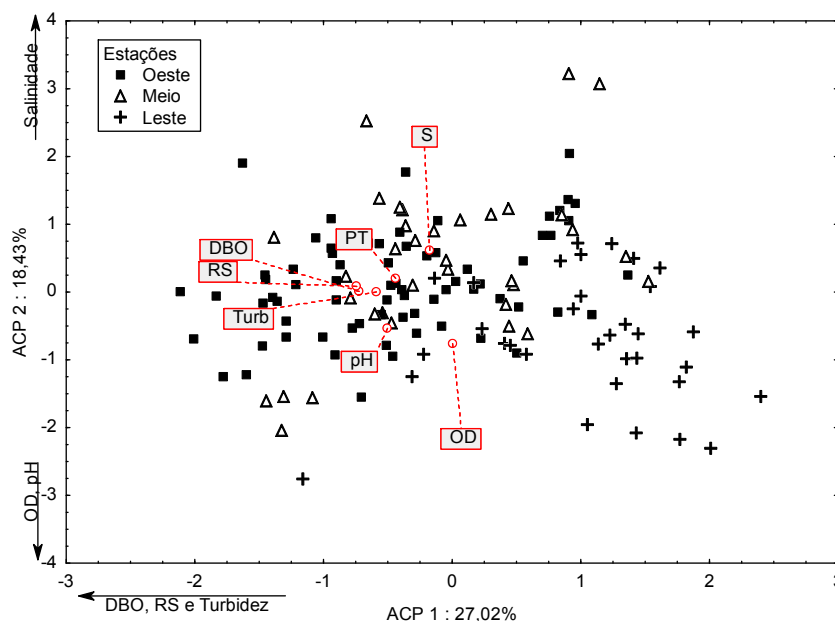


Figura 10 – Análise de componentes principais (ACP) aleatorizada e separada em estações oeste, meio e leste [S – Salinidade, OD – Oxigênio Dissolvido, pH, DBO – Demanda Bioquímica de Oxigênio, RS – Resíduos Sólidos Totais, Turb – Turbidez e PT – Fósforo Total].

De maneira semelhante, a análise de componentes principais, para verificar os padrões de distribuição das amostras por período, indicou que apenas dois eixos foram significativos para explicar 54,40% da variabilidade das amostras no plano, conforme mostra a Tabela 23. O primeiro eixo (ACP 1 – 34,30%) separou as amostras dos períodos 3 e 4 do período 2 e foi correlacionado positivamente ao nitrogênio total (NT), razão NT:PT(NPt) e resíduos sólidos totais (RS), e negativamente com a salinidade e fósforo total (PT). O outro eixo (ACP 2 – 20,10%) foi influenciado pelo oxigênio dissolvido (OD) e DBO.

Tabela 23 – Análise de componentes principais (ACP) aleatorizada para as diferenças temporais (períodos).

	Autovalor	Variância Explicada (%)	Variância Explicada Acumulada (%)	Variáveis correlacionadas
ACP1	2,74	34,30	34,30	NPt (+), NT (+), RS (+), Salinidade (-) e PT (-)
ACP2	1,61	20,10	54,40	OD (+) e DBO (-)

A Figura 11 mostra a distribuição espacial das amostras e o grupo de parâmetros correspondente a cada eixo. A análise comparativa entre os escores do ACP1 e a variável temporal resultou em diferenças significativas entre os períodos 2, 3 e 4 (Tabela 24). O período 2 (1998 a 2006) se destaca com valores menores e o período 3 (2007 a 2009) com os maiores valores em relação aos parâmetros físico-químicos correlacionados ao ACP1.

Tabela 24 – Análise comparativa entre os escores do ACP e os períodos de estudo (P2 – 1998 a 2006, P3 – 2007 a 2009 e P4 – 2010 a 2013) [H – resultado do teste de Kruskal-Wallis, gl – grau de liberdade, N – número de amostras, p – poder do teste].

Escores	Teste de Kruskal-Wallis			
	H	gl	N	p
ACP1	109,2886	2	210	0,0000 P2 ≠ P3 ≠ P4

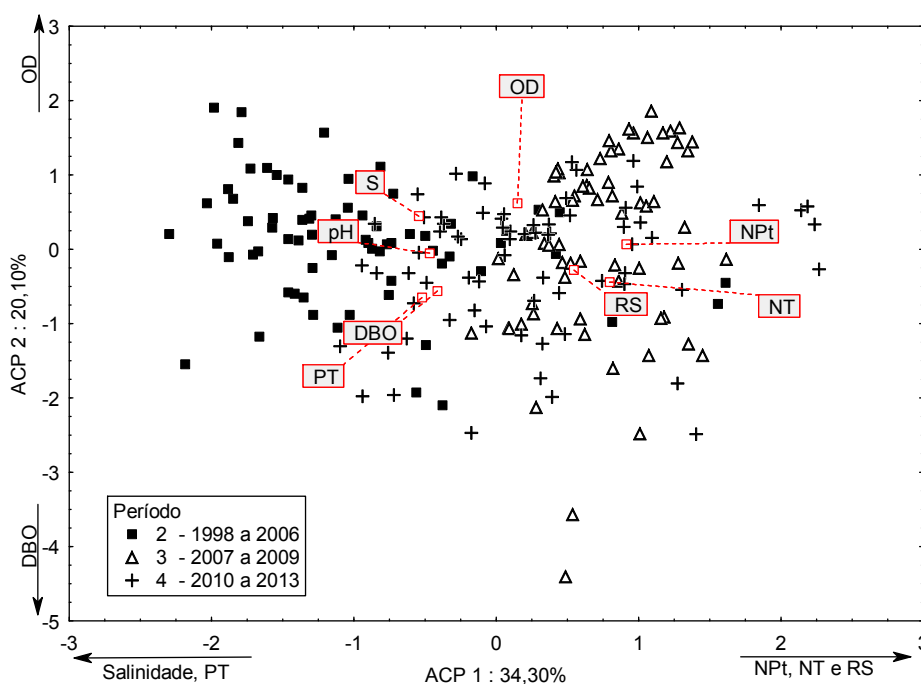


Figura 11 – Análise de componentes principais (ACP) aleatorizada separada por períodos [S – Salinidade, OD – Oxigênio Dissolvido, DBO – Demanda Bioquímica de Oxigênio, RS – Resíduos Sólidos Totais, pH, PT – Fósforo Total, NT – Nitrogênio Total, NPt – Razão NT:PT].

5.3.1. Período 1 – ano de 1994

A variabilidade das amostras no primeiro período apresentou quatro eixos significativos com um total de 75,66% de variância explicada acumulada pela análise de componentes principais (Tabela 25). O primeiro eixo (ACP 1 – 32,79%) separou as amostras altamente correlacionadas com os parâmetros de nutrientes de nitrogênio (NID, NH₃, NO₂ e NO₃), enquanto que o segundo eixo mais importante (ACP 2 – 20,95%) foi correlacionado negativamente com a salinidade e razão NID:PID (NPd) e positivamente com os parâmetros clorofila *a* (Cl-*a*) e ortofosfato (PO₄). Os demais eixos correlacionaram apenas com um parâmetro cada, sendo a temperatura ao eixo 3 e o resíduos sólidos totais (RS) ao eixo 4.

Tabela 25 – Análise de componentes principais (ACP) para o primeiro período – 1994.

	Autovalor	Variância Explicada (%)	Variância Explicada Acumulada (%)	Variáveis correlacionadas
ACP1	3,28	32,79	32,79	NID (-), NH ₃ (-), NO ₂ (-) e NO ₃ (-)
ACP2	2,09	20,95	53,74	Clorofila <i>a</i> (+), PO ₄ (+), Salinidade (-) e NPd (-)
ACP3	1,15	11,46	65,21	Temperatura (+)
ACP4	1,04	10,45	75,66	RS (-)

A Figura 12 mostra a distribuição espacial das amostras e o grupo de parâmetros correspondente a cada eixo. A análise de variância comparando os escores do ACP1 entre os períodos chuvoso, intermediário e seco resultou em diferenças significativas com valores maiores para o período chuvoso em relação aos demais (Tabela 26).

Tabela 26 – Análise comparativa entre os escores do ACP e os períodos chuvoso (CH), intermediário (INT) e seco (SC) [H – resultado do teste de Kruskal-Wallis, gl – grau de liberdade, N – número de amostras, p – poder do teste].

Escores	Teste de Kruskal-Wallis				
	H	gl	N	p	
ACP1	12,4573	2	93	0,0020	CH ≠ INT = SC

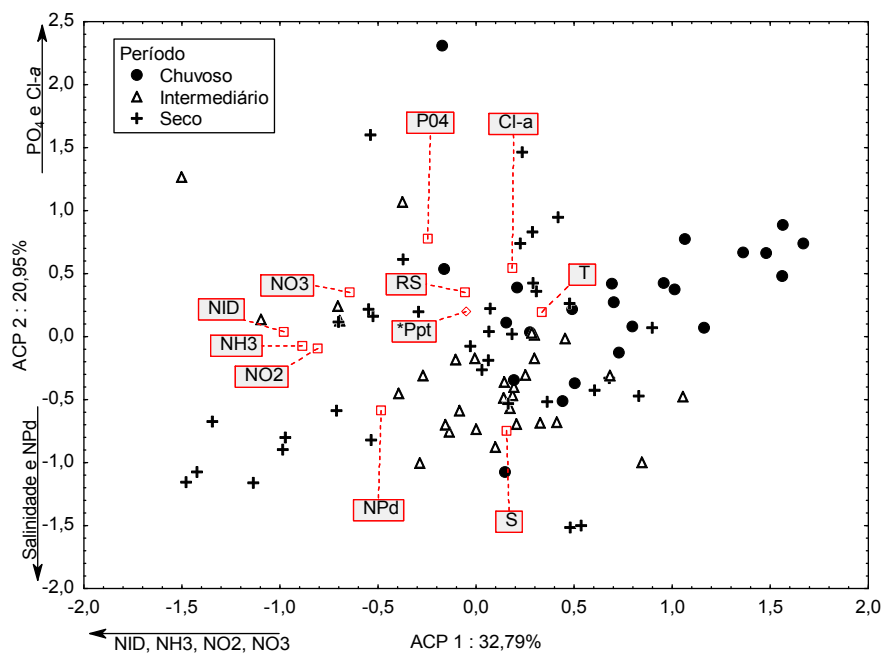


Figura 12 – Análise de componentes principais (ACP) para parâmetros e as amostras correspondentes ao período 1 – 1994 separadas entre os períodos chuvoso, intermediário e seco [S – Salinidade, T – Temperatura, RS – Resíduos Sólidos Totais, Cl-a – Clorofila a, PO4 – Ortofosfato, NO3 – Nitrato, NO2 – Nitrito, NH3 – Amônia, NID – Nitrogênio Inorgânico Dissolvido, NPd – Razão NID:PID].

5.3.2. Período 2 – 1998 a 2006

A primeira fase do período 2, P2.1 - 1998 e 1999, apresentou quatro eixos significativos com um total de 78,20% de variância explicada acumulada pela análise de componentes principais (Tabela 27). O primeiro eixo (ACP 1), representando 44,23% da variância, foi definido pela correlação negativa dos parâmetros pH, RS, turbidez, amônia, nitrito, NID; enquanto que o segundo eixo (ACP 2 – 15,01%) apresentou correlação positiva com a salinidade, temperatura e

oxigênio dissolvido. O terceiro eixo (ACP 3) teve correlação com os parâmetros de fósforo total e nitrato e o quarto eixo (ACP 4) foi altamente correlacionado com a clorofila *a*.

Tabela 27 – Análise de componentes principais (ACP) para a primeira fase do segundo período – 1998 e 1999.

	Autovalor	Variância Explicada (%)	Variância Explicada Acumulada (%)	Variáveis correlacionadas
ACP1	5,31	44,23	44,23	pH (-), RS (-), Turbidez (-), NH ₃ (-), NO ₂ (-) NID (-) Salinidade (+),
ACP2	1,80	15,01	59,24	Temperatura (+) e OD (+)
ACP3	1,23	10,26	69,50	PT (+) e NO ₃ (-)
ACP4	1,04	8,70	78,20	Clorofila <i>a</i> (-)

A distribuição espacial das amostras e o grupo de parâmetros correspondente a cada eixo podem ser observados na Figura 13. A análise de variância comparando os escores do ACP 1 entre os anos de amostragem resultou em diferenças significativas (Tabela 28).

Tabela 28 – Análise comparativa entre os escores do ACP e os anos de amostragem da primeira fase do segundo período, 1998 e 1999 [*t* – resultado do teste *t*-Student, gl – grau de liberdade, N – número de amostras, Levene – teste de homoscedasticidade, *p* – poder do teste].

Escore	<i>t</i>-Student				
	<i>t</i>	gl	<i>p</i>	Levene	<i>p</i>
ACP1	20,0492	40	0,0000	0,6409	0,4281

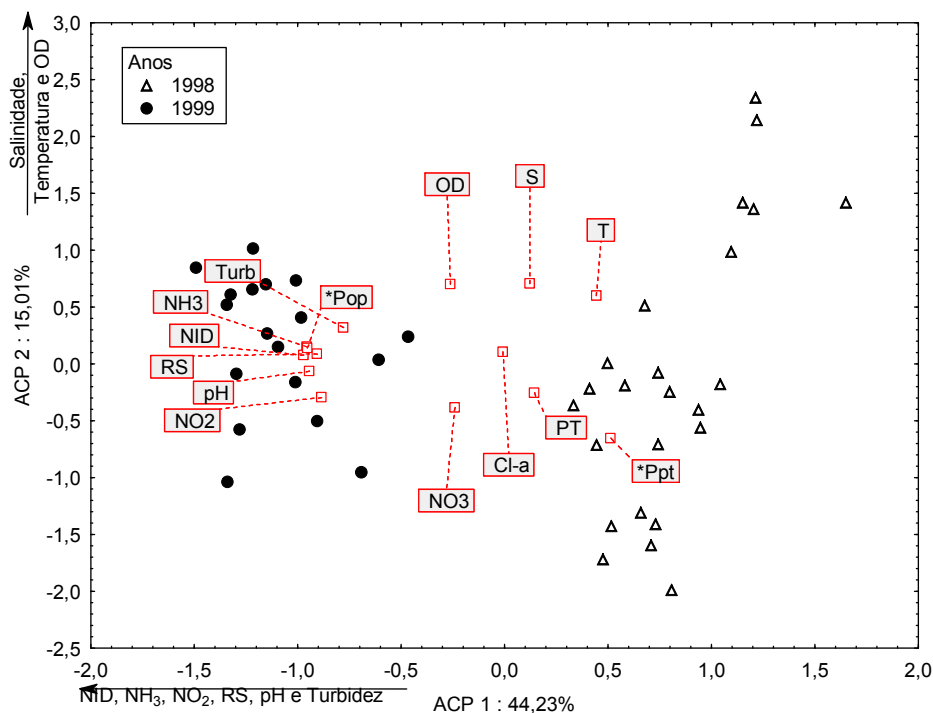


Figura 13 – Análise de componentes principais (ACP) para os parâmetros e amostras correspondentes à primeira fase do período 2 – 1998 e 1999 [S – Salinidade, T – Temperatura, OD – Oxigênio Dissolvido, RS – Resíduos Sólidos Totais, Cl-a – Clorofila a, Turb – Turbidez, pH, PT – Fósforo Total, NO₃ – Nitrato, NO₂ – Nitrito, NH₃ – Amônia, NID – Nitrogênio Inorgânico Dissolvido, Pop – População e Ppt - Precipitação].

Na segunda fase do período, P2.2 – 2003 a 2006, a análise de ACP explicou aproximadamente 63,84% da variância dos dados com quatro eixos significativos (Tabela 29). O primeiro eixo (ACP 1 – 24,65%) apresentou correlação negativa com os parâmetros de nitrogênio (NID, NH₃, NPd) e turbidez, enquanto o segundo eixo (ACP 2 – 14,20%) apresenta a oposição entre os parâmetros de DBO e RS (negativos) e o nitrito (NO₂ – positivo). O terceiro eixo (ACP 3) teve a correlação entre os parâmetros de OD, pH e ortofosfato (PO₄) e o quarto eixo (ACP 4) foi correlacionado negativamente com a salinidade e o nitrato (NO₃). A distribuição espacial das amostras e o grupo de parâmetros correspondente a cada eixo podem ser observados na Figura 14. A análise de variância comparando os escores do ACP 1 entre os períodos chuvoso, intermediário e seco resultou em diferenças significativas do período seco em relação aos demais (Tabela 30).

Tabela 29 – Análise de componentes principais (ACP) para a segunda fase do segundo período – 2003 a 2006.

	Autovalor	Variância Explicada (%)	Variância Explicada Acumulada (%)	Variáveis correlacionadas
ACP1	3,20	24,62	24,62	Turbidez (-), PT (-), NH ₃ (-), NID (-) e NPd (-)
ACP2	1,85	14,20	38,83	DBO (-), RS (-) e NO ₂ (+)
ACP3	1,73	13,30	52,13	OD (-), pH (-) e PO ₄ (+)
ACP4	1,52	11,71	63,84	Salinidade (-) e NO ₃ (-)

Tabela 30 – Análise comparativa entre os escores do ACP e os períodos chuvoso (CH), intermediário (INT) e seco (SC) [MS – quadrados médios, F – resultado do teste de ANOVA, gl – grau de liberdade, N – número de amostras, p – poder do teste].

Escores	ANOVA					p
	MS	F	gl	N		
ACP1	13,6	15,4	2	218	0,0000	CH = INT ≠ SC

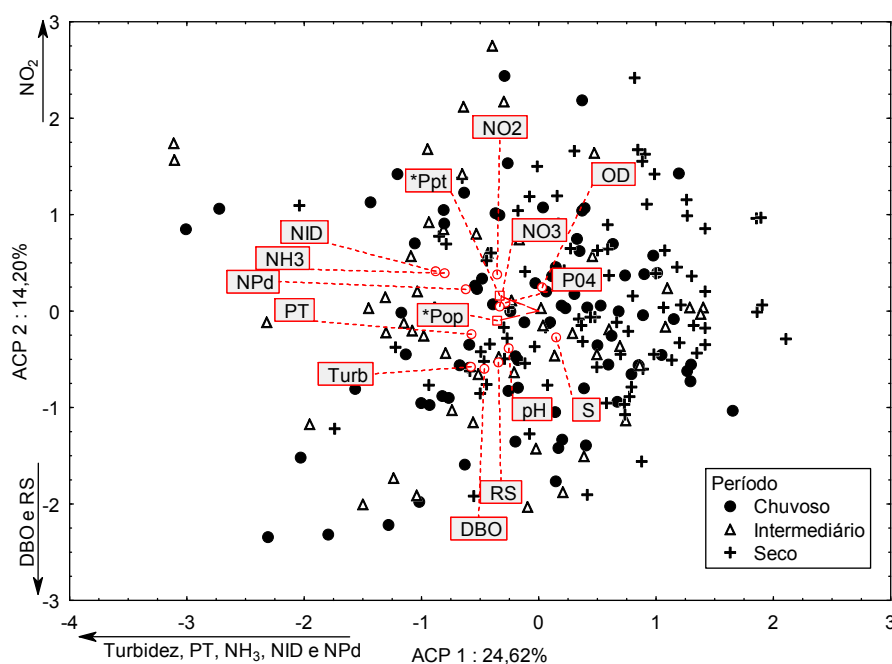


Figura 14 – Análise de componentes principais (ACP) para os parâmetros e amostras correspondentes à segunda fase do período 2 – 2003 a 2006 separados entre período chuvoso, intermediário e seco [S – Salinidade, OD – Oxigênio Dissolvido, DBO – Demanda Bioquímica de Oxigênio, RS – Resíduos Sólidos Totais, Turb – Turbidez, pH, PT – Fósforo Total, PO₄ – Ortofosfato, NO₃ – Nitrato, NO₂ – Nitrito, NH₃ – Amônia, NID – Nitrogênio Inorgânico Dissolvido, NPd – Razão NID:PID, Pop – População e Ppt - Precipitação].

Na última fase, P2.3 – 2003 a 2006, a análise de ACP explicou aproximadamente 70,37% da variabilidade das amostras com os três primeiros eixos. O eixo 1 (ACP 1), representando 29,03% da variância, foi definido pela alta correlação do nitrogênio total (NT) e razão NT:PT (NPt), enquanto que o eixo 2 (ACP 2), com 25,67% de variância, pela oposição entre os parâmetros de DBO, pH e oxigênio dissolvido (OD) e a salinidade (Tabela 31). O terceiro eixo está altamente correlacionado com o fósforo total.

A distribuição espacial das amostras e o grupo de parâmetros correspondente a cada eixo podem ser observados na Figura 15. A análise de variância comparando os escores da análise de ACP e as estações situadas próximas ao continente e as restingas resultou em diferenças significativas (Tabela 32).

Tabela 31 – Análise de componentes principais (ACP) para a terceira fase do segundo período – 2003 a 2006.

	Autovalor	Variância Explicada (%)	Variância Explicada Acumulada (%)	Variáveis correlacionadas
ACP1	2,32	29,03	29,03	NT (-) e NPt (-)
ACP2	2,05	25,67	54,70	Salinidade (+), DBO (-), OD (-) e pH (-)
ACP3	1,25	15,67	70,37	PT (+)

Tabela 32 – Análise comparativa entre os escores do ACP e as estações de amostragem (continente e restinga) [Z – resultado do teste de Mann-Whitney, gl – grau de liberdade, N – número de amostras, p – poder do teste].

Escore	Teste de Mann-Whitney	
	Z	p
ACP1	6,0056	0,0000
ACP2	-8,0605	0,0000

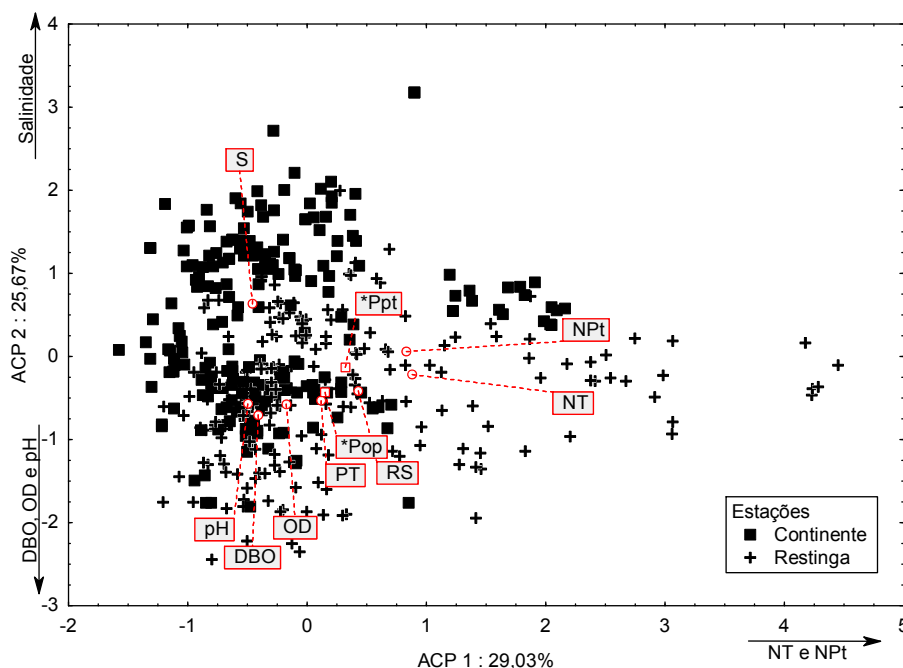


Figura 15 – Análise de componentes principais (ACP) para os parâmetros e amostras correspondentes à terceira fase do período 2 – 2003 a 2006 separados entre as estações de continente e de restinga [S – Salinidade, OD – Oxigênio Dissolvido, DBO – Demanda Bioquímica de Oxigênio, RS – Resíduos Sólidos Totais, pH, PT – Fósforo Total, NT – Nitrogênio Total, NPt – Razão NT:PT, Ppt – Precipitação, Pop - População].

5.3.3. Período 3 – 2007 a 2009

A primeira fase do período 3, P3.1 – 2007 a 2009, apresentou três eixos significativos com um total de 72,88% de variância explicada acumulada pela análise de componentes principais (Tabela 33). O primeiro eixo (ACP 1), representando 43,88% da variância, foi definido pela correlação positiva do parâmetro de oxigênio dissolvido e razão NT:PT (NPt) e negativa dos parâmetros DBO, NT e PT; enquanto que o segundo eixo (ACP 2 – 15,60%) apresentou correlação negativa com a salinidade. O terceiro eixo (ACP 3) teve correlação positivamente alta com o pH e negativamente com o RS.

A distribuição espacial das amostras e o grupo de parâmetros correspondente a cada eixo podem ser observados na Figura 16. A análise de variância

comparando os escores do ACP 2 com as estações (continente e restinga) apresentaram diferenças significativas (Tabela 34).

Tabela 33 – Análise de componentes principais (ACP) para a primeira fase do terceiro período – 2007 a 2009.

	Autovalor	Variância Explicada (%)	Variância Explicada Acumulada (%)	Variáveis correlacionadas
ACP1	3,51	43,88	43,88	OD (+),NPt (+),DBO (-), NT (-) e PT (-)
ACP2	1,25	15,60	59,48	Salinidade (-)
ACP3	1,07	13,40	72,88	pH (+) e RS (-)

Tabela 34 – Análise comparativa entre os escores do ACP e as estações de amostragem (continente e restinga) [*t* – resultado do teste *t*-Student, gl – grau de liberdade, N – número de amostras, Levene – teste de homoscedasticidade, *p* – poder do teste].

Escores	<i>t</i>-Student				
	<i>t</i>	gl	<i>p</i>	Levene	<i>p</i>
ACP2	-21,0052	433	0,0000	0,0085	0,9264

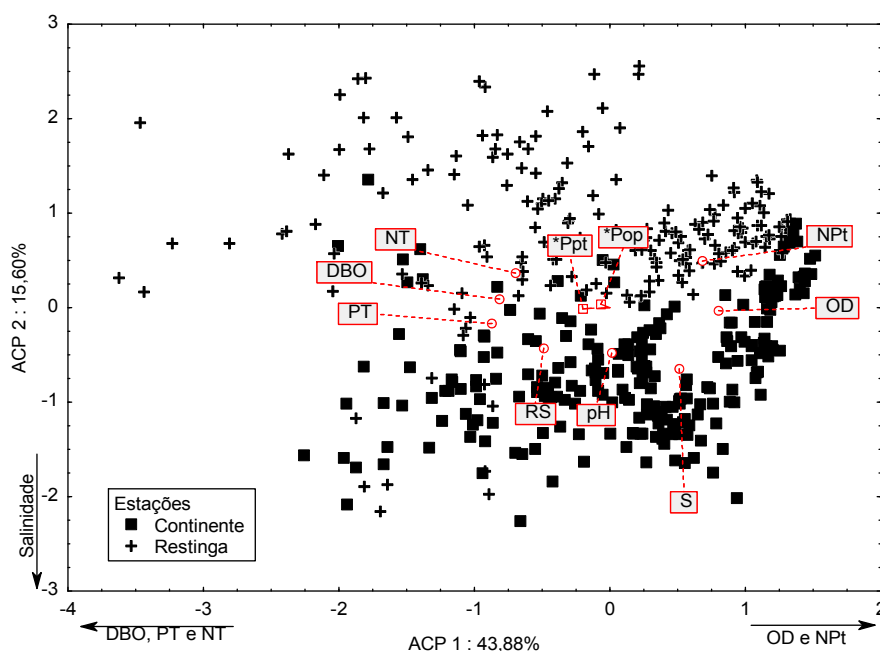


Figura 16 – Análise de componentes principais (ACP) para os parâmetros e amostras correspondentes à primeira fase do período 3 – 2007 a 2009 separados em estações de continente e restinga [S – Salinidade, OD – Oxigênio Dissolvido, DBO – Demanda Bioquímica de Oxigênio, RS – Resíduos Sólidos Totais, pH, PT – Fósforo Total, NT – Nitrogênio Total, NPt – Razão NT:PT, Ppt – Precipitação, Pop - População].

A análise de ACP na segunda fase do período, P3.2 – 2009, foi explicada com 78,33% da variância das amostras com cinco eixos principais (Tabela 35). O primeiro eixo (ACP 1 - 26,18%) foi representado pelos parâmetros de temperatura, oxigênio dissolvido (OD) e razão NT:PT (NPt), com correlação positiva, e PT e pH, com correlação negativa. O segundo eixo 2 (ACP 2 – 16,95%) apresentou correlação significativa com os parâmetros DBO, resíduos sólidos totais (RS), NT e clorofila a. O terceiro eixo teve correlação negativa com a turbidez e o quarto com a salinidade. O último eixo não apresentou correlação significativa com nenhum parâmetro físico químico.

Tabela 35 – Análise de componentes principais (ACP) para a segunda fase do terceiro período – 2009.

	Autovalor	Variância Explicada (%)	Variância Explicada Acumulada (%)	Variáveis correlacionadas
ACP1	2,88	26,18	26,18	Temperatura (+), OD (+), NPt (+), pH (-) e PT (-)
ACP2	1,86	16,95	43,12	DBO (+), RS (+), Clorofila a (-) e NT (-)
ACP3	1,54	14,03	57,16	Turbidez (-)
ACP4	1,33	12,08	69,23	Salinidade (-)
ACP5	1,00	9,09	78,33	Nenhuma variável

A distribuição espacial das amostras e o grupo de parâmetros correspondente aos dois primeiros eixos podem ser observados na Figura 17. A análise de variância comparando os escores do ACP 1 entre os períodos chuvoso, intermediário e seco apresentaram diferenças significativas (Tabela 36).

Tabela 36 – Análise comparativa entre os escores do ACP e os períodos chuvoso (CH), intermediário (INT) e seco (SC) [H – resultado do teste de Kruskal-Wallis, gl – grau de liberdade, N – número de amostras, p – poder do teste].

Escores	Teste de Kruskal-Wallis				
	H	gl	N	p	
ACP1	22,48434	2	65	0,0000	CH ≠ INT = SC

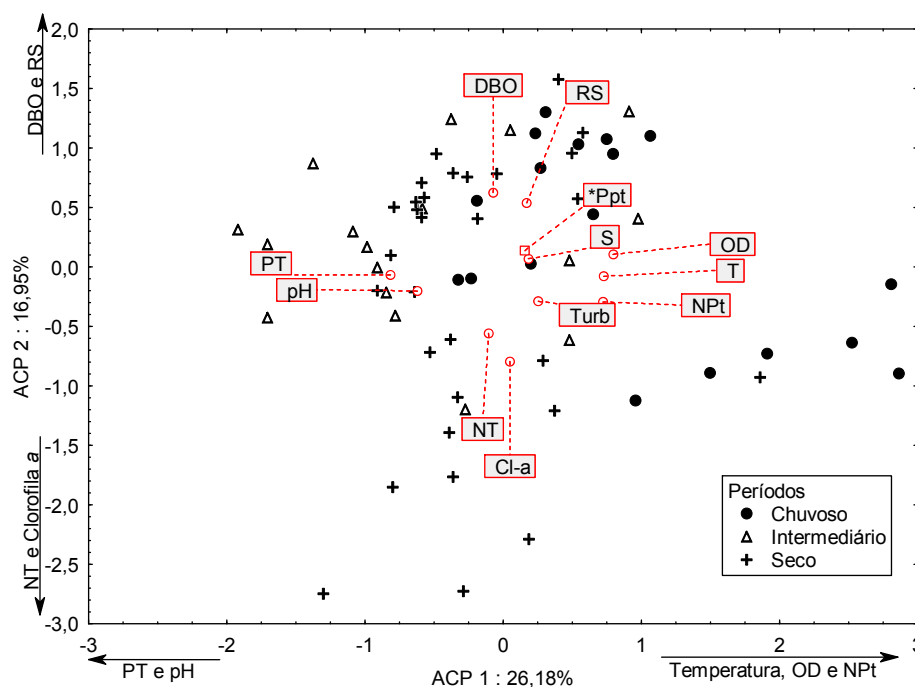


Figura 17 – Análise de componentes principais (ACP) para os parâmetros e amostras correspondentes à segunda fase do período 3 – 2009 separados pelos períodos chuvoso, intermediário e seco [S – Salinidade, OD – Oxigênio Dissolvido, DBO – Demanda Bioquímica de Oxigênio, RS – Resíduos Sólidos Totais, pH, Turb – Turbidez, Cl-a – Clorofila a, PT – Fósforo Total, NT – Nitrogênio Total, NPt – Razão NT:PT, Ppt – Precipitação].

5.3.4. Período 4 – 2010 a 2013

A primeira fase do período 4, P4.1 – 2010 a 2013, apresentou quatro eixos significativos com um total de 63,69% de variância explicada acumulada pela análise de componentes principais (Tabela 37). O primeiro eixo (ACP 1), representando 22,84% da variância, foi definido pela correlação positiva dos parâmetros DBO, RS, turbidez e clorofila a; enquanto que o segundo eixo (ACP 2

– 17,33%) apresentou correlação negativa com o nitrogênio total (NT) e razão NT:PT (NPt). O terceiro eixo (ACP 3) teve correlação com os parâmetros salinidade, temperatura e fósforo total (PT) e o quarto eixo (ACP 4) foi altamente correlacionado com o pH.

Tabela 37 – Análise de componentes principais (ACP) para a primeira fase do quarto período – 2010 a 2013.

	Autovalor	Variância Explicada (%)	Variância Explicada Acumulada (%)	Variáveis correlacionadas
ACP1	2,51	22,84	22,84	DBO (+), RS (+), Turbidez (+) e Clorofila a (+)
ACP2	1,91	17,33	40,17	NT (-) e NPt (-)
ACP3	1,53	13,87	54,05	Salinidade (+), PT (+) e Temperatura (-)
ACP4	1,06	9,64	63,69	pH (+)

Observa-se na Figura 18 a distribuição espacial das amostras e o grupo de parâmetros correspondentes aos dois primeiros eixos. Nesta análise, foi possível evidenciar padrões de distribuição das amostras nas áreas oeste, meio e leste em relação ao primeiro eixo do componente principal. A análise comparativa entre essas variáveis espaciais e os escores do ACP1 resultou em diferenças significativas entre os três compartimentos (Tabela 38).

Tabela 38 – Análise comparativa entre os escores do ACP e os compartimentos da lagoa – oeste (O), meio (M) e leste (L) [MS – quadrados médios, F – resultado do teste da ANOVA, gl – grau de liberdade, N – número de amostras, p – poder do teste].

Escores	ANOVA				
	MS	F	gl	N	p
ACP1	106,2	172,3	2	549	0,0000

O ≠ M ≠ L

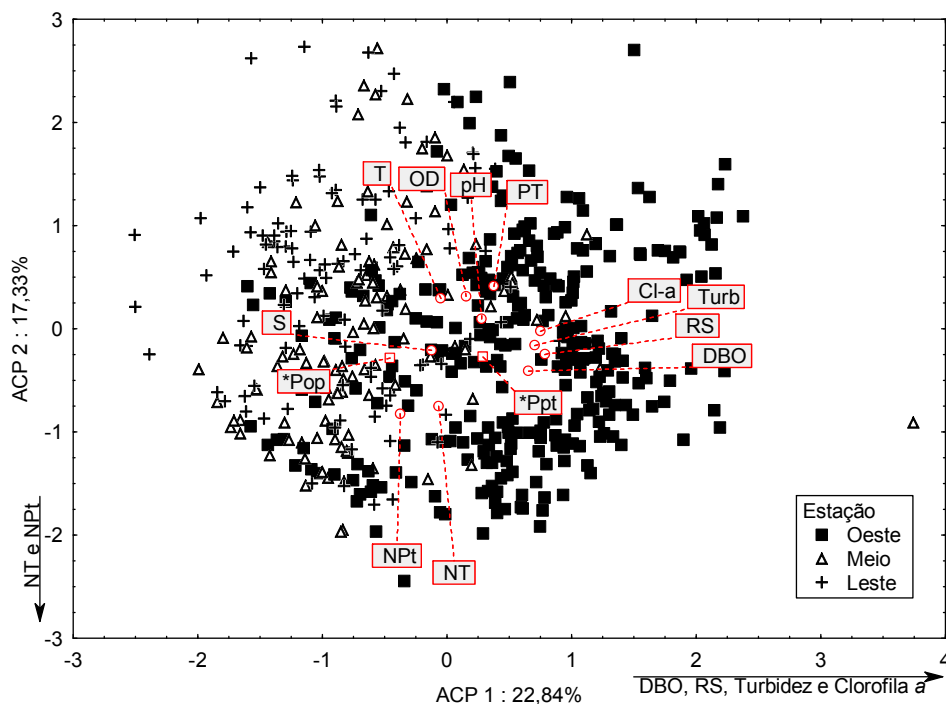


Figura 18 – Análise de componentes principais (ACP) para os parâmetros e amostras correspondentes à primeira fase do período 4 – 2010 a 2013 separadas em compartimentos oeste, meio e leste [S – Salinidade, T – Temperatura, OD – Oxigênio Dissolvido, DBO – Demanda Bioquímica de Oxigênio, RS – Resíduos Sólidos Totais, pH, Turb – Turbidez, Cl-a – Clorofila a, PT – Fósforo Total, NT – Nitrogênio Total, NPt – Razão NT:PT, Ppt – Precipitação, Pop - População].

A análise de ACP na segunda fase do período, P4.2 – 2010 a 2013, foi explicada com 65,06% da variância das amostras com três eixos principais (Tabela 39). O primeiro eixo (ACP 1 - 28,41%) foi representado pela correlação positiva dos parâmetros RS, NT e razão NT:PT (NPt); enquanto que o segundo eixo (ACP 2 – 21,90%) apresentou correlação negativa de DBO e PT. O terceiro eixo apresentou a correlação da salinidade e oxigênio dissolvido (OD).

Tabela 39 – Análise de componentes principais (ACP) para a segunda fase do quarto período – 2010 a 2013.

	Autovalor	Variância Explicada (%)	Variância Explicada Acumulada (%)	Variáveis correlacionadas
ACP1	2,27	28,41	28,41	RS (+), NT (+) e NPt (+)
ACP2	1,75	21,90	50,30	DBO (-) e PT (-)
ACP3	1,18	14,76	65,06	Salinidade (+) e OD (-)

A distribuição espacial das amostras e o grupo de parâmetros correspondente aos dois primeiros eixos podem ser observados na Figura 19. A análise de variância comparando os escores do ACP entre os compartimentos da lagoa (oeste, meio e leste) apresentaram diferenças significativas para as estações de amostragem mais a oeste para o primeiro eixo e as estações centrais para o segundo eixo (Tabela 40).

Tabela 40 – Análise comparativa entre os escores da análise de ACP e os compartimentos da lagoa – oeste (O), meio (M) e leste (L) [MS – quadrados médios, F – resultado do teste da ANOVA, H – resultado do teste de Kruskal-Wallis, gl – grau de liberdade, N – número de amostras, p – poder do teste].

Escore	ANOVA					
	MS	F	gl	N	p	
ACP1	7,84	8,01	2	622	0,0004	O ≠ M = L
	Teste de Kruskal-Wallis					
	H	gl	N	p		
ACP2	91,3242	2	625	0,0000	M ≠ O = L	

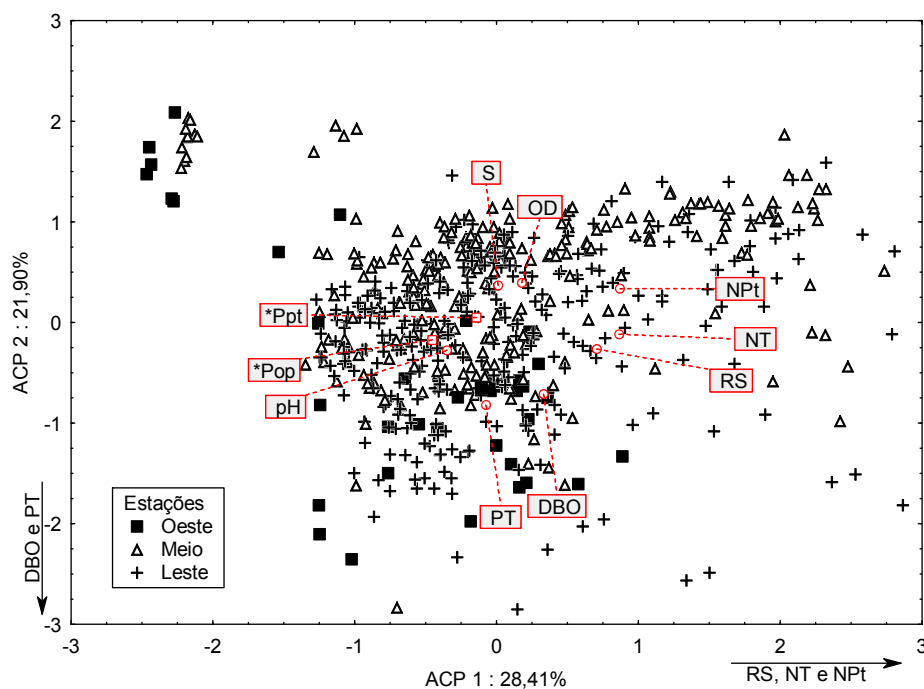


Figura 19 – Análise de componentes principais (ACP) para os parâmetros e amostras correspondentes à segunda fase do período 4 – 2010 a 2013 separados em compartimentos oeste, meio e leste [S – Salinidade, OD – Oxigênio Dissolvido, DBO – Demanda Bioquímica de Oxigênio, RS – Resíduos Sólidos Totais, pH, PT – Fósforo Total, NT – Nitrogênio Total, NPt – Razão NT:PT, Ppt – Precipitação, Pop - População].

5.4. Índice de Qualidade de Água

5.4.1. CONAMA

Apesar da grande variabilidade das amostras (Tabela 41), cinco dos parâmetros estudados apresentaram médias condizentes aos limites máximos estabelecidos pelo órgão vigente no Brasil, o CONAMA. Apenas os parâmetros de fósforo total (PT), amônia (NH_3) e colimetria exibiram valores médios superiores aos estabelecidos pela Resolução 357/2005.

As amostras, em sua maioria, não apresentaram uma porcentagem alta em relação aos valores superiores aos limites propostos. A exceção observada foi em relação ao fósforo total que, em 73% das amostras, apresentou concentrações maiores que a resolução do órgão. Ainda, através de uma análise minuciosa por

períodos de amostragem, a principal tendência observada diz respeito ao nitrato (NO_3) que apresenta uma média maior apenas no último período, de 2010 a 2013. Os demais parâmetros apresentaram médias por períodos praticamente nos mesmos padrões da média total referente à série temporal.

Tabela 41 – Comparação entre as médias dos parâmetros ambientais coletados nas estações de coletas na Lagoa de Araruama e a Resolução 357/2005 do CONAMA.

Parâmetros	Limite Resolução 357/2005	Média (min. – máx.)	Amostras superiores ao limite (%)
PT (mg/L)	0,062	0,192 (0,0 – 7,0)	73
PO_4 (mg/L)	0,031	0,027 (0,000 – 0,500)	28
NO_3 (mg/L)	0,400	0,330 (0,000 – 6,000)	28
NO_2 (mg/L)	0,070	0,049 (0,001 – 1,200)	12
NH_3 (mg/L)	0,400	0,639 (0,001 – 13,000)	16
OD (mg/L)	> 6,00	6,98 (0,00 – 16,20)	34
pH	6,50 a 8,50	8,20 (4,80 – 10,50)	28
Colimetria (NMP/100mL)	< 1000	2210 (0 – 198100)	22

5.4.2. CETESB

O índice da CETESB foi calculado a partir de 9 parâmetros que refletem a contaminação promovida por lançamento de esgotos domésticos nos corpos hídricos. Assim, o resultado em cada ano no período de 1998 a 2013 apresentou uma amplitude de valores entre 58 e 69, a qual está correlacionada com a faixa de classificação de boa qualidade ambiental (Figura 20).

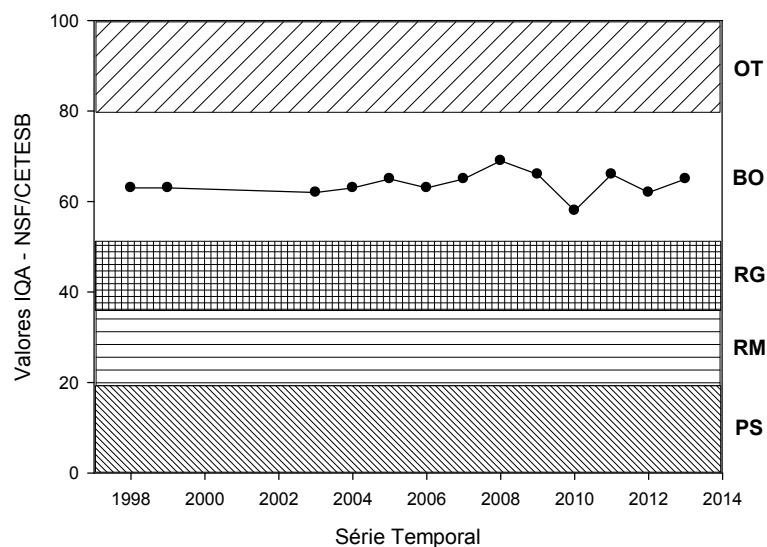


Figura 20 – Variação temporal do índice IQA – NSF/CETESB na Lagoa de Araruama no período de amostragem entre 1998 e 2013. Qualidade ambiental: OT= Ótima, BO= Boa, RG= Regular, RM= Ruim, PS= Péssima.

5.4.3. TRIX (NP)

Para o período compreendido de estudo, o índice foi calculado em cada ano no período compreendido entre 1994 a 2013. O resultado do TRIX (NP) apresentou valores entre 6 e 8, a qual corresponde à péssima qualidade ambiental (Figura 21). Estes valores indicam um alto estado trófico e classifica a Lagoa de Araruama como uma região de alta produção.

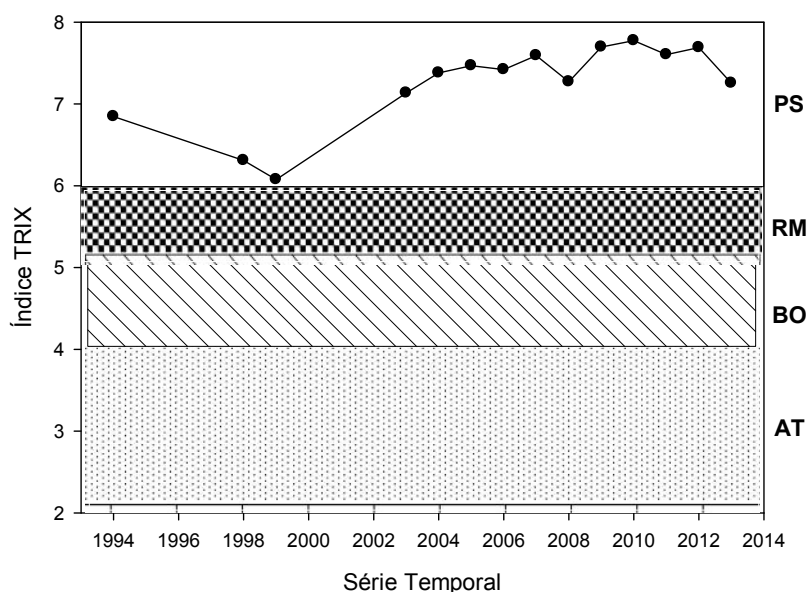


Figura 21 – Variação temporal do índice TRIX (NP) de acordo com a qualidade ambiental da Lagoa de Araruama no período de amostragem entre 1994 e 2013. Qualidade ambiental: AT= Alta, BO= Boa, RM= Ruim, PS= Péssima.

O cálculo do índice TRIX (NP) sem a correlação dos parâmetros para o preenchimento das lacunas também foi realizado (Tabela 42). O resultado para essa avaliação na lagoa, correspondente ao período de 2009 a 2013, apresentou o mesmo resultado dos valores com correlação. De fato, o alto estado trófico ou a péssima qualidade ambiental é a resposta para este índice no período atual.

Tabela 42 – Índice de TRIX (NP) para o período de 2009 a 2013, calculado a partir dos parâmetros de produtividade e condição nutricional, sem nenhuma correlação entre os parâmetros.

Período	PT ($\mu\text{g/L}$)	NT ($\mu\text{g/L}$)	%DO	Cl-a ($\mu\text{g/L}$)	TRIX	Estado	Qualidade
2009 a 2013	163,97	1102,78	25,91	29,44	7,48	MAIS ALTO	PÉSSIMA

5.4.4. Håkanson & Brynn (2008)

Os valores obtidos para este método de IQA, calculado a partir da correlação entre os dados de transparência e o parâmetro de turbidez ($r = 0,328$), classificaram a lagoa com um estado trófico predominantemente hipertrófico em relação aos períodos e parâmetros. Destaca-se apenas o parâmetro de clorofila *a* no primeiro período (1994) que teve uma classificação de mesotrófico (Tabela 43).

Tabela 43 – Média dos resultados obtidos no período de 1994 a 2012 para as estações de coletas na Lagoa de Araruama, utilizando-se a correlação entre dados de transparência e turbidez ($r = 0,328$).

Ano	Período	Fósforo Total ($\mu\text{g/L}$)	Nitrogênio Total ($\mu\text{g/L}$)	Clorofila <i>a</i> ($\mu\text{g/L}$)	Secchi (correl.)
1994	P1	166,99	1523,55	3,94	0,51
1998-2006	P2	168,77	788,42	23,55	0,67
2007-2009	P3	119,95	1318,22	30,40	0,43
2010-2012	P4	200,58	2328,33	25,86	0,79

No último ano de amostragem, 2013, como os dados de transparências foram coletados a partir do mês de maio, realizou-se também um cálculo mais fiel ao critério proposto por Håkanson & Brynn (2008). Através da Tabela 44, pode-se notar que o resultado obtido foi semelhante ao anterior, com uma classificação de eutrófico para os parâmetros de clorofila *a* e disco de Secchi e hipertrófico para os nutrientes, fósforo e nitrogênio total.

Tabela 44 – Média dos resultados obtidos no ano de 2013 para as estações de coletas na Lagoa de Araruama.

Lagoa de Araruama	Fósforo Total ($\mu\text{g/L}$)	Nitrogênio Total ($\mu\text{g/L}$)	Clorofila <i>a</i> ($\mu\text{g/L}$)	Secchi (m)
2013	104,98	1473,39	11,59	1,09
Classificação	Hipertrófico	Hipertrófico	Eutrófico	Eutrófico

6. DISCUSSÃO

6.1.1. O Processo de Eutrofização na Lagoa de Araruama

A partir das análises estatísticas, descritiva e inferencial, o banco de dados do monitoramento ambiental do Consórcio Intermunicipal Lagos São João, CILSJ, na Lagoa de Araruama foi explorado de forma a evidenciar algumas tendências.

O cálculo do coeficiente de variação facilita a comparação entre dados de unidades diferentes e classificando o seus respectivos graus de dispersão (França 2009), ou seja, quanto maior o valor do coeficiente, maior será a dispersão dos dados. Apesar do decréscimo em 25% no valor da salinidade, este parâmetro apresentou um baixo grau de dispersão. Sua variabilidade é encontrada no sentido oeste a leste, sendo maior na região central da lagoa (Gomes 2009; CILSJ 2013). Esta evidência apresenta algumas exceções e, apesar de ser de conhecimento que as lagoas costeiras apresentam elevada vulnerabilidade, é difícil identificar se a tendência da queda da salinidade é proveniente de ações antrópicas ou de mudanças climáticas globais (Kjerfve *et al.* 1996).

Contudo, segundo os dados analisados, a grande transformação da Lagoa de Araruama foi, aparentemente, decorrente da pressão populacional adjacente. A enorme quantidade de efluentes lançados em seu corpo hídrico ao longo dos anos prejudicou a saúde do sistema. Em 1992, foi realizado um levantamento sobre as contribuições de cada município em relação a esses efluentes lançados. Observou-se que, na época, Cabo Frio contribuía com a maior parcela, 42%, seguido por São Pedro da Aldeia (29%), Araruama (25%) e Iguaba Grande (4%) (Artázcoz 2000). De acordo com o último censo demográfico, realizado pelo IBGE

em 2010, esses municípios encontram-se hoje com aproximadamente 70% de seus domicílios urbanos com um saneamento básico adequado (IBGE 2010).

O efeito desse elevado aporte de água doce e da deficitária infraestrutura de tratamento de esgoto na região pode ser evidenciado através da análise da tendência da variação temporal de longo prazo da salinidade na lagoa. O parâmetro apresentou uma queda significativa nos últimos 20 anos e pode estar diretamente relacionado às transformações sofridas devido à correlação negativa com o crescimento populacional. O índice demográfico também esteve altamente correlacionado às concentrações de nutrientes, oxigênio dissolvido, turbidez e resíduos sólidos totais. Desta forma, fica evidente que a população adjacente não influenciou apenas com o aumento do aporte de água doce; sendo que os outros impactos, como a ocupação desordenada às suas margens e as dragagens realizadas, também prejudicaram o sistema lagunar em virtude da ressuspensão dos nutrientes e a conseqüente erosão provocada.

Outro fator antrópico que possivelmente interferiu na metodologia das análises foram as mudanças na sistemática de coleta ao longo dos anos, bem como nos parâmetros analisados. Esses fatores foram determinantes para que uma avaliação holística de todo o período não pudesse ser concluída. De toda maneira, um grande número de informações relativas aos períodos pré-eutrofização, eutrofização e pós-eutrofização está disponível no conjunto de dados.

O agrupamento em blocos correspondentes aos sucessivos períodos facilitou a interpretação das análises, bem como a aplicação de técnicas de análise multivariada. Esse tipo de abordagem, focada em uma compactação, proporcionou a identificação do papel dos fatores controladores da variabilidade

dos dados. A grande variabilidade é explicada também pela característica inerente ao banco de dados do monitoramento ambiental (França 2009), onde várias agências foram responsáveis pela coleta das informações em diferentes épocas. Apesar dessas limitações, os resultados aqui apresentados, puderam ser interpretados de forma coerente com a evolução histórica do uso e ocupação do entorno da Lagoa de Araruama.

O primeiro período (P1), é referente ao ano de 1994, sendo considerada uma fase anterior às mudanças evidenciadas na lagoa, porém já apresentando indícios de degradação ambiental. O segundo período (P2), de 1998 a 2006, é classificado como uma fase crítica na região, principalmente por motivos de mudanças na coloração do corpo hídrico e de vários eventos de florações de algas (Moreira 2013). A partir do terceiro período (P3 - 2007 a 2009), medidas mitigadoras se iniciaram efetivamente. As alterações realizadas no canal, o vão que passou de 30 para 300 metros, e as dragagens realizadas no sistema favoreceram a renovação das águas de seu interior com o oceano. Assim, nesse intervalo, é possível observar uma fase de instabilidade, com uma forte oscilação nos valores dos parâmetros, sendo possivelmente uma resposta às essas medidas. Por fim, o último e atual período (P4), de 2010 a 2013, sugere a estabilização destes valores e uma perspectiva de melhoria da situação no sistema lagunar.

Um aspecto geral observado na evolução temporal das concentrações de vários parâmetros é a tendência senoidal. Igualmente a uma função seno, as concentrações exibiram um aumento de um período para outro e, no período mais recente, apresentam-se em queda, ou seja, observa-se uma diminuição em suas concentrações. Os parâmetros de DBO e pH apresentaram essa característica

também, contudo sendo oposto aos demais, apresentando maiores concentrações no período mais recente. Esta característica pode ser interpretada tanto em função das respostas às medidas mitigadoras realizadas na região quanto a um fator cíclico dos processos metabólicos do corpo hídrico associados às mudanças climáticas (Kjerfve *et al.* 1996).

É importante ressaltar que o primeiro período (P1 – 1994) apresenta apenas dados de um ano, com uma quantidade pequena de amostras em comparação com os demais. Além disso, muitos dos parâmetros não foram coletados neste ano, sendo exemplos o caso do oxigênio dissolvido, DBO e turbidez. Contudo, não seria interessante descartar esse período pelo fato dele representar a condição mais “natural” da lagoa; sendo assim, de grande importância para a análise comparativa.

Neste período, a lagoa começou a passar por uma mudança em sua condição nutricional, sendo classificada entre oligo e mesotrófica (Souza 1997; Silva 2008). A baixa concentração de clorofila *a* em relação aos períodos mais recentes evidenciou uma boa qualidade de água na lagoa e, apesar da grande quantidade de água doce introduzida pelo uso da população, os valores de salinidade ainda permaneciam altos (55,7). No entanto, a década de 1990 é caracterizada por estudos que sugerem o início do processo de eutrofização cultural decorrente dos impactos antrópicos. A produtividade primária era dominada pelo microfitobentos, sendo mais expressiva que a produtividade do fitoplâncton na época. Como resultado, a baixa disponibilidade dos nutrientes na coluna d’água era observada (Coutinho *et al.* 1999).

Os nutrientes exibiram, neste ano de 1994, suas menores concentrações ao longo da série temporal, contudo, foram mais altos quando comparados aos

resultados obtidos em estudos anteriores (André *et al.* 1981; Souza 1993). Os indícios de possíveis alterações no sistema, caso nenhuma medida mitigadora fosse realizada, já havia sido alertado pelos autores. Ainda que fossem correlacionados com a quantidade da carga de efluentes lançados na lagoa, a hipótese levantada na época constava no resultado de um Estudo do Impacto Ambiental e no Relatório de Impacto Ambiental (EIA/RIMA) realizado em 1992 pela Companhia Nacional de Álcalis (CNA). Este relatório vinculou a dragagem do fundo da lagoa feita pela CNA para a extração de conchas às mudanças que vinham acontecendo no ambiente lagunar na época (Artázcoz 2000).

Um modelo conceitual sobre as mudanças que poderiam acontecer em virtude dos frequentes impactos antrópicos à região também foi proposto naquela década (Figura 22). O modelo sugere a evolução do estado trófico em função do crescimento populacional e o decorrente aumento dos despejos dos efluentes domésticos no corpo hídrico. No futuro, a proposta indica a troca da produtividade primária do microfitobentos pelo fitoplâncton e o aumento da turbidez e da demanda de oxigênio, o que resultaria na queda da salinidade e na situação eutrófica do sistema lagunar (Souza 1997; Knoppers *et al.* 1999).

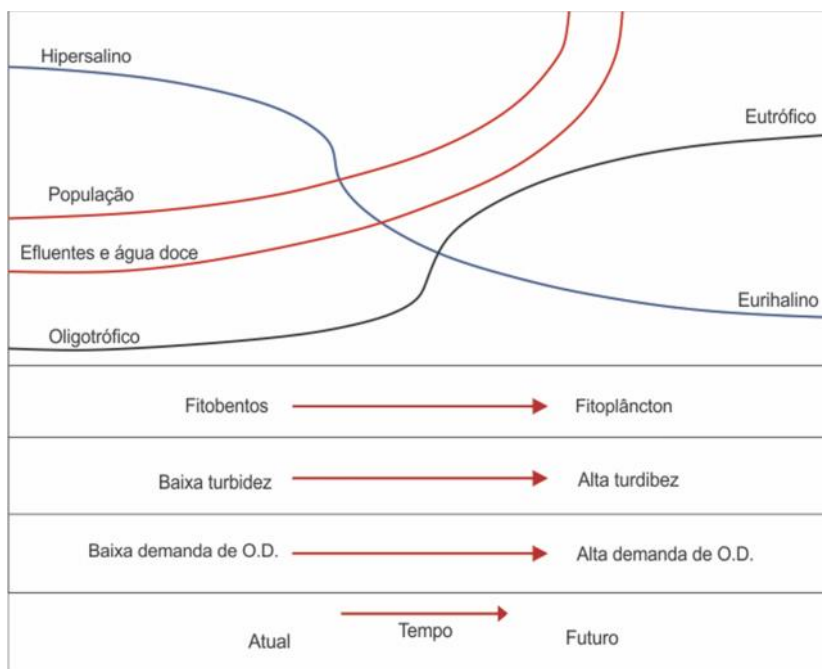


Figura 22 – Modelo conceitual, proposto por Souza (1997), que sugere possíveis mudanças em resposta às atividades antropogênicas ao longo dos anos.

Não obstante aos alardes científicos da época, nenhuma mudança em relação à carga orgânica lançada na lagoa foi realizada pelos órgãos competentes. No verão de 1997, o surgimento de uma superproliferação de macroalgas em suas margens veio corroborar com as tendências propostas pelas pesquisas da época. Os sintomas de colapso eram claros e demonstravam que a capacidade de autodepuração do sistema lagunar estava chegando ao seu limite máximo (Vaz 2012). Um laudo técnico do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e Recursos Naturais Renováveis (IBAMA) realizado em agosto de 1998 divulgou a deterioração das condições hídricas na lagoa (Artázcoz 2000). No mesmo ano, o trabalho publicado por Lavrado (1998) sugeriu que o aumento excessivo das macroalgas nas enseadas da lagoa era decorrente do processo de eutrofização.

O Centro de Estudos e Projetos Ambientais (CENTRAB) começou em 1998 um monitoramento na Lagoa de Araruama para que a exploração de calcário conchífero pela CNA pudesse ser praticada. Os dados da primeira fase do

segundo período (P2.1 – 1998 e 1999) é referente à esse monitoramento. As duas estações de coletas, situadas na porção central da lagoa, visavam monitorar a condição ambiental do sistema em função dos impactos proporcionados pela dragagem da CNA.

A ressuspensão dos sedimentos decorrente da atividade de dragagem foi o fator determinante para os altos valores de nutrientes observados nas análises e também para a diferença significativa entre os anos de amostragem. Essa atividade faz com que os nutrientes depositados na interface sedimento-água sejam disponibilizados na coluna d'água (Silva 2008). Com eles, também foi observado a influência dos parâmetros de resíduos sólidos totais e turbidez para a composição dos primeiro eixo da análise de componentes principais.

Ainda que fossem encontradas elevadas concentrações de nutrientes na coluna d'água, as concentrações de clorofila *a* medidas eram baixas, evidenciando uma produtividade primária oligotrófica (Braga 1998). No entanto, esse quadro não persistiu por muito tempo. Os baixos valores de clorofila *a* encontrados no segundo período da análise são proveniente das coletas realizadas pela CENTRAB em 1998 e 1999, sendo que não houve, nesse período, nenhuma coleta do parâmetro nos anos seguintes a título de comparação. Sabe-se que o ano de 2000 é considerado com um dos marcos da “morte” da lagoa em virtude, principalmente, da mudança na coloração do corpo hídrico e sua excessiva concentração de macroalgas. Aliás, algumas praias em suas enseadas foram prejudicadas devido a péssima balneabilidade e, por consequência, as atividades econômicas ali desenvolvidas (Artázcoz 2000).

Em 2002, apesar do monitoramento do CILSJ não apresentar dados de clorofila *a*, um evento de floração de fitoplâncton foi observado e relatado pela

população adjacente. Com a mortandade das macroalgas, espécies de diatomáceas, cianobactérias e fitoflagelados encontraram grandes quantidades de nutrientes disponíveis para o seu desenvolvimento. Esse aumento da comunidade fitoplanctônica elevou as concentrações de clorofila *a* e oxigênio dissolvido (Coutinho *et al.* 1999). A lagoa começou a apresentar uma coloração mais castanha em virtude dessa floração de algas, principalmente pela abundância do táxon Prasinoficea (CILSJ 2012).

Nessa época, a primeira estação de tratamento de esgoto (ETE) começou a funcionar na Enseada de São Pedro da Aldeia nas margens da lagoa. Um estudo realizado por Coutinho *et al.* (1999), apontou a existência de 365 pontos de despejo de efluentes lançados diretamente na lagoa. As estações de tratamento de esgoto (ETEs), concedidas às concessionárias, foram implementadas apenas em novembro de 2003 e, inicialmente, no município de Cabo Frio, por meio da concessionária Prolagos. Este sistema funciona através do procedimento primário quimicamente assistido, com desinfecção dos esgotos tratados com cloro e estabilização química do lodo com cal virgem (CILSJ 2012).

As demais ETEs, desta mesma concessionária, foram instaladas em São Pedro da Aldeia, em 2004, e em Iguaba Grande, em 2005, e atuam com uma capacidade nominal menor que a de Cabo Frio. Essas trabalham com o sistema de lodos ativados com aeração prolongada, remoção de nutrientes e desinfecção final com sistema ultravioleta. Apesar dessas melhorias na infraestrutura, em 2005, menos de 10% dos efluentes dos municípios adjacentes à lagoa eram tratados. Por essas razões, a degradação ambiental do sistema lagunar foi evoluindo (Silva 2008).

Ainda que o banco de dados do CILSJ não apresente dados referentes às concentrações de clorofila *a* neste segundo período, o valor de turbidez encontrado foi elevado em relação aos demais períodos. Nota-se ainda que os altos valores de DBO indicam, indiretamente, a quantidade de matéria orgânica presente no sistema, sendo que o mesmo padrão foi evidenciado pelo parâmetro de resíduos sólidos totais. As modificações destes parâmetros relacionados à produtividade primária do ambiente lagunar foram relatadas em Mello (2007); o estudo apresentou valores extremamente altos para as concentrações de clorofila *a* coletada no final de 2005. A autora sugere que uma mudança repentina em maio deste mesmo ano favoreceu a proliferação de algas e a transformação das condições nutricionais da lagoa.

Apesar do aumento dos nutrientes inorgânicos dissolvidos na coluna d'água, a razão NID:PID apresentou uma queda quando comparado ao período anterior. Esse fato é explicado pelo o aumento das concentrações de amônia, principal forma do nitrogênio inorgânico que predomina em ambientes anaeróbicos (Barroso 1987). Contudo, Guerra (2008) sugere que neste período a capacidade depurativa da lagoa ainda se encontrava em boa quantidade devido a elevada atividade bacteriana (metabólica e enzimática). Os nutrientes também foram os principais parâmetros correlacionados aos eixos da análise de ACP nesta época.

As concentrações dos parâmetros no terceiro período (2007 a 2009) apresentaram uma diminuição significativa nos valores de DBO quando comparadas aos anos anteriores. Esta queda nos valores é resultado das melhorias provenientes do tratamento secundário de esgoto que é baseado na remoção da DBO (Moreira 2013). Nesse período também é observado um aumento nas concentrações de oxigênio dissolvido. Este aumento pode ser

decorrente da abertura do canal (vão de 30 para 300 metros) e do começo das dragagens realizadas a fim de melhorar a sua navegabilidade e favorecer as trocas das águas do interior do sistema com o oceano.

A maior oxigenação da água também pode ter influenciado nas baixas concentrações de fósforo. Quando o ambiente encontra-se em boas condições de oxigênio, o mecanismo de carga interna ("*internal load*") é desfavorecido (Esteves 2011). De toda forma, a razão NT:PT se apresentou longe dos valores propostos por Redfield *et al.*(1963). Essa disparidade se deve às elevadas concentrações de nitrogênio decorrentes da entrada clandestina de efluentes na lagoa e também da ressuspensão dos sedimentos em virtude das alterações realizadas no sistema lagunar.

Como consequência das implantações das estações de tratamento de esgotos, a lagoa ficou transparente novamente no período de julho a dezembro de 2008. Até essa época, apenas 50% dos esgotos na região eram tratados nas ETEs dos municípios adjacentes (CILSJ 2012). Na porção oeste da lagoa, na cidade de Araruama, a concessionária Águas de Juturnaíba implantou a ETE Ponte dos Leites que, inaugurada em 2005, passou a operar através do sistema de tratamento com "*wetlands*", ou seja, uma ETE-Verde no começo de 2009. Esta estação de tratamento de esgoto apresenta vantagens em relação às tradicionais: elevada eficiência (tratamento primário, secundário e terciário ocorrem simultaneamente) e baixo custo de implantação (Esteves 2011).

O acréscimo no aporte de água doce devido o uso da população e os efluentes domésticos também facilitou o processo de dessalinização do sistema, fazendo com que a salinidade caísse em 25% do período 2 para o 3. A combinação deste processo com o aumento de sais nutrientes proporcionou o aumento da

produtividade primária, relação direta da elevada concentração de clorofila a observada. Esta concentração, apesar de inferior aos valores encontrados em 2005 por Mello (2007), é a maior média encontrada em todo o banco de dados do CILSJ. Os valores são referentes apenas ao ano de 2009 e às estações de coletas estão situadas mais a oeste da lagoa. Esta é a porção do sistema onde se encontra a maior entrada de água doce proveniente da descarga fluvial dos rios na cidade de Araruama: Rio das Moças e Rio Mataruna. Estes rios já apresentavam indícios de contaminação por esgoto desde 1984, segundo um relatório da FEEMA (FEEMA 1984).

Mesmo com a implantação dos sistemas de tratamento de esgoto pelas concessionárias Prolagos e Águas de Juturnaíba, alguns episódios de mortandade de peixes nas enseadas da lagoa foram testemunhados pelos moradores em janeiro de 2007 e de 2009. Os pescadores da região e o Instituto Estadual do Ambiente (Inea) apontaram a causa dessa mortandade à intensa precipitação. Quando se tem elevada densidade pluviométrica, as concessionárias de esgoto abrem as comportas das ETEs despejando os efluentes diluídos no corpo hídrico, porém sem o devido tratamento. Os resultados apresentados corroboram com a hipótese levantada, ou seja, o aumento da variabilidade e a instabilidade nos valores dos parâmetros físico-químicos e biológicos neste período é um indicativo de que o ecossistema passava por um processo de transformações significativas (Carpenter & Brock 2006).

O último período, de 2010 a 2013, é marcado por dragagens em pontos assoreados no Canal do Itajuru (julho de 2011), episódios de mortandade de peixes (agosto de 2011) e construções de novas ETEs nos municípios adjacentes

(ETE Jardim Esperança, 2011). O acordo inicial com as concessionárias Prolagos e Água de Juturnaíba realizado em 1999 estabelecia o tratamento de 70% da rede de esgoto nas cidades de São Pedro da Aldeia, Iguaba Grande, Cabo Frio e Araruama até 2020. A meta inicial se encontra concluída e a situação lagunar apresentou sinais de progresso. No entanto, ainda não de forma eficiente a retardar o processo de eutrofização (CILSJ 2012).

O ano de 2010 foi caracterizado pelas maiores concentrações de nitrogênio. O aumento da razão NT:PT neste período em relação aos anteriores é decorrente do aumento nas concentrações de nitrogênio principalmente. Este aumento excessivo de nutrientes está relacionado também com a intensa densidade pluviométrica na região entre os anos de 2009 e 2010 (Moura *et al.* 2013). Um evento fraco de El Niño pode ter influenciado nas elevadas precipitações observadas. Este fenômeno já foi relacionado também com a variação cíclica da salinidade por Schettini (1994), sugerindo um período de 5,5 anos. Apesar desse aumento dos sais nutrientes no sistema, as concentrações de clorofila *a* diminuíram quando comparadas ao período anterior. Estes valores representam as coletas da lagoa como um todo e o seu decréscimo pode ser um indicativo da produtividade por parte da comunidade microfitobentônica, melhor desenvolvida em períodos de maior pluviosidade (Knoppers *et al.* 1996).

A queda nos valores do oxigênio dissolvido desse último período (P4 – 2010 a 2013) corrobora com o aumento da disponibilidade dos nutrientes na coluna d'água. Segundo esta lógica, a razão da mortandade de peixes em 2011 foi resultado do estágio de degradação em que o sistema se encontrava. No entanto, novas medidas estão sendo realizadas visando a melhoria da atividade pesqueira na região. Em 2013, o primeiro defeso foi executado na Lagoa de Araruama. O

Ministério da Pesca e Aquicultura anunciou três meses de suspensão da pesca a fim de proteger a vida aquática nas fases mais críticas do ciclo de vida, reprodução e maior crescimento. A pesca de peixes e camarões já vinha apresentando sinais de progresso e, com esta ação, espera-se a definitiva volta da atividade pesqueira que se encontrava em decadência desde a “morte” da lagoa em 2000 (CILSJ 2012).

A análise de componentes principais para este último período de dados também apresentou o mesmo padrão observado nos outros períodos. Os principais eixos estiveram correlacionados com os parâmetros de DBO, resíduos sólidos totais, turbidez, clorofila *a* e nitrogênio. De maneira geral, esta análise multivariada de dados agrupou os parâmetros de nutrientes, principalmente o nitrogênio, aos fatores correlacionados ao primeiro componente principal das análises em todos os períodos. Em menor escala, os parâmetros de OD, DBO, resíduos sólidos totais, turbidez e clorofila *a* também foram importantes para a composição dos eixos da análise.

De maneira semelhante, a análise aleatorizada separada por períodos foi importante para mostrar a evolução do período 2 para o atual período. As diferenças significativas entre os três últimos períodos corroboram com os eventos ocorridos na região e demonstram, ainda, que o último período se apresenta em um momento de estabilização e, possivelmente, com uma perspectiva de melhoria da situação no sistema lagunar. Assim, através dessa evolução das modificações na qualidade ambiental na Lagoa de Araruama e com base em dados históricos, foi possível esquematizar uma linha do tempo com relação aos eventos ocorridos na região (Figura 23). Na figura, também é possível verificar onde se encaixam os períodos aqui analisados.

Neste contexto, grande parte dos estudos relacionados à Lagoa de Araruama relatam o desequilíbrio do desenvolvimento sustentável na região. A elevada taxa de introdução artificial de água doce e de efluentes domésticos sem o tratamento adequado sobrecarregou o sistema lagunar. Como consequência, é observada a degradação ambiental da lagoa a um estágio que talvez não haja mais recuperação, bem como a decadência das atividades econômicas que desta dependem. Para que a natureza possa se recuperar de qualquer prejuízo sofrido pelos agentes antropogênicos, direta ou indiretamente, se faz necessário a implantação de medidas que aumente a consciência ambiental da população. Tendo em vista que a atividade turística é um dos motores da região, esta pode assumir o papel, através da educação ambiental, para um consumo mais sustentável.

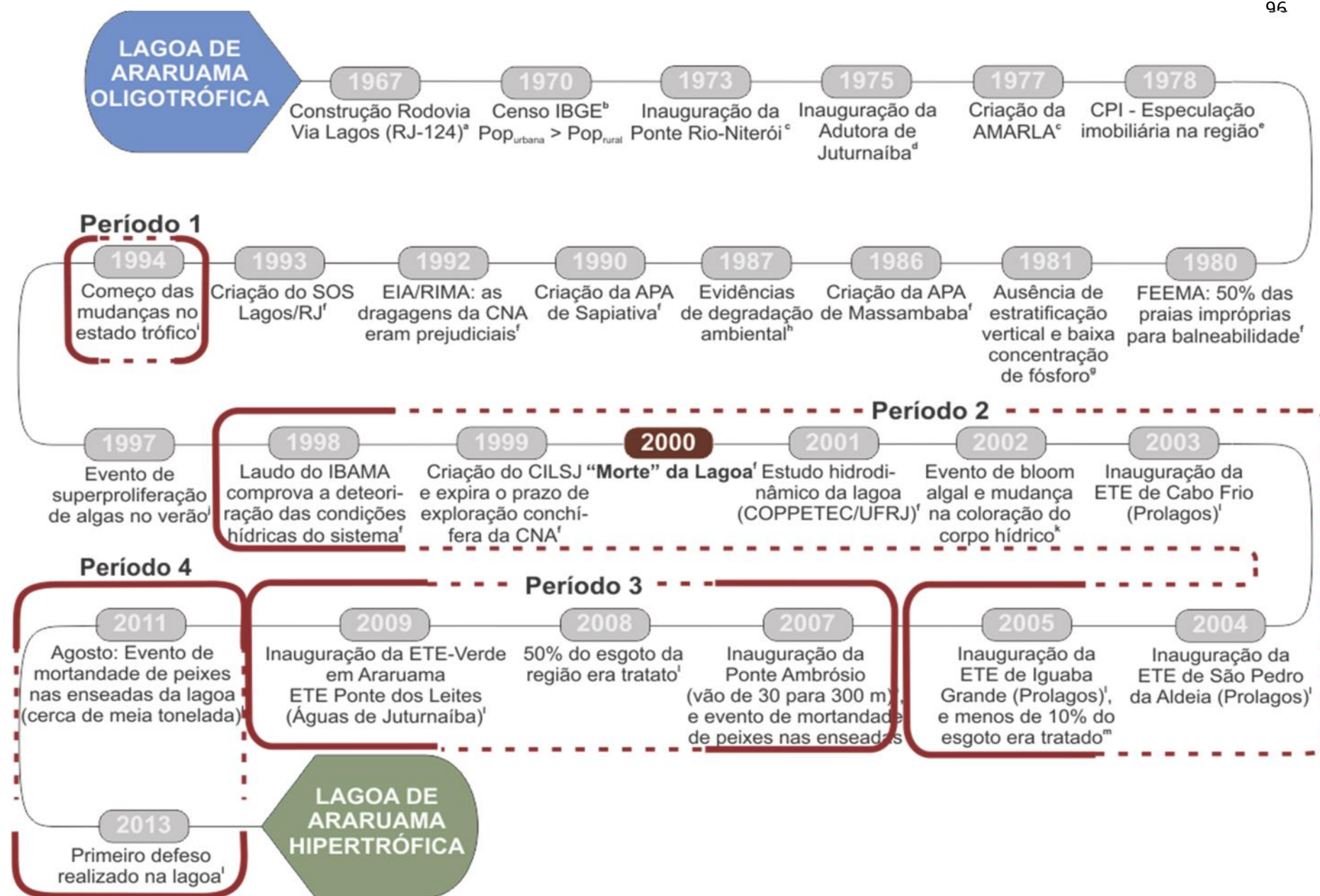


Figura 23 – Linha do tempo com os principais eventos ocorridos na região adjacente à Lagoa de Araruama.

6.2. Análise Comparativa Sazonal e Espacial

As diferenças significativas entre os períodos chuvoso, intermediário e seco foram observadas ao longo da série temporal e para grande parte dos parâmetros físico-químicos e biológicos. Os parâmetros de nutrientes e resíduos sólidos totais foram os que apresentaram concentrações superiores no período chuvoso em relação aos demais. Neste período, o aumento do índice pluviométrico altera o nível dos rios e faz com que o sistema de tratamento de esgoto que opera predominantemente em “tempo seco” abra as comportas para evitar as inundações à montante (CILSJ 2012). Como consequência, o aumento da matéria orgânica e da concentração de nutrientes é observado.

Em relação às respostas a partir das análises de componentes principais, o volume pluviométrico calculado se encontra quase sempre do mesmo lado desses parâmetros no gráfico de ACP; contudo, se mantendo oposto ao vetor de salinidade na maioria dos casos. O resultado interessante dessas análises multivariadas é observar as diferenças ao longo do tempo. Desta forma, nota-se que, na atual fase, o vetor de precipitação começa a se distanciar dos parâmetros de nutrientes, possivelmente em razão às instalações de estações de tratamento de esgoto mais adequadas.

Na avaliação espacial, as comparações entre os compartimentos e entre as estações de continente e restinga exibiram um perfil interessante. Na maioria dos casos, as concentrações observadas dos parâmetros nas estações situadas no Canal do Itajuru e nas estações mais próximas às restingas apresentaram valores semelhantes entre si. Ambas as regiões são caracterizadas por uma melhor hidrodinâmica e apresentam uma grande influência marinha através dos ciclos de maré (Cunha 2003, Gava 2008). O mesmo é observado para os resultados

referentes às análises de ACP, em que as estações no Canal se destacam dos outros compartimentos em relação principalmente aos parâmetros de oxigênio dissolvido.

O principal fator que separou as amostras entre as estações de continente e restinga nas análises multivariadas foi o parâmetro de salinidade. Este parâmetro apresentou maiores valores nas estações localizadas no meio da lagoa e mais próximas ao continente. A porção central da lagoa é caracterizada por um menor aporte fluvial e não apresenta praticamente nenhuma influência dos ciclos de maré presenciados no Canal do Itajuru (Garcia *et al.* 2009). Os parâmetros temperatura, resíduos sólidos totais, turbidez e clorofila *a* apresentaram seus maiores valores nas estações situadas na porção oeste e mais próximas ao continente, demonstrando também a influência da hidrodinâmica do corpo hídrico. Diferentemente, o oxigênio dissolvido foi maior nas áreas mais próximas às restingas e nas estações do Canal.

Os parâmetros de nutrientes (nitrogênio e fósforo) exibiram alterações em suas condições, tendo suas concentrações inferiores nas estações de continente nos períodos mais antigos e superiores na última fase de amostragem. De maneira geral, os nutrientes foram observados em maior concentração próximos às regiões de restinga e na porção ocidental da lagoa. O elevado grau de dispersão dessas concentrações é resultado da hidrodinâmica observada no corpo hídrico. Os seus fortes ventos observados na região influenciam nas correntes do corpo hídrico e provocam a ressuspensão da matéria orgânica depositada, carregando os efluentes lançado na margem norte para as áreas de restingas (Cunha 2003; Gava 2008).

6.3. Evolução na Qualidade da Água no Sistema Lagunar

O sistema lagunar ao longo dos anos passou por diversas alterações e o fato que mais chama atenção é como um ambiente hipersalino e oligotrófico passou a apresentar menores valores de salinidade e a ser classificado como hipertrófico em menos de 20 anos.

Esse processo de eutrofização avançou de maneira extremamente rápida quando comparado aos processos naturais de evolução de um sistema lagunar, que provavelmente se estenderia por milhões de anos até chegar ao seu estágio final. O envelhecimento precoce de um ecossistema é um processo dinâmico e resulta das transformações nas condições nutricionais e na produtividade tanto qualitativa quanto quantitativamente. Esse processo é considerado uma forma de poluição que possui correlação direta com o crescimento populacional desordenado nas margens do corpo hídrico (Esteves 2011).

Os índices calculados nesse estudo foram utilizados com o objetivo de determinar a qualidade de água na Lagoa de Araruama e encontrar alguma tendência na evolução desta qualidade em resposta às ações mitigadoras que se iniciaram na região nessa última década. A saúde de um corpo hídrico pode ser determinada a partir da quantidade dos seus agentes de origem inorgânica e orgânica, sendo que esta última pode levar a alterações nas condições de oxigênio e, conseqüentemente, alterações nos processos metabólicos (Muller 2001). Os diferentes resultados observados nesse estudo são contraditórios em certos parâmetros e condizentes em outros. Essa característica é uma das grandes dificuldades em transformar os complexos dados provenientes dos parâmetros ambientais em uma única informação (Hespanhol 2009).

A comparação entre os parâmetros coletados e os padrões exigidos pela legislação do CONAMA pode classificar o sistema lagunar com uma péssima qualidade de água, principalmente pelos altos valores de fósforo total, amônia e coliformes fecais. Estes parâmetros ambientais são característicos de ambientes impactados por despejo de efluentes domésticos e industriais, o que corrobora com os principais problemas de poluição na região (Mello 2007). Essa comparação sugere um modelo simples para a visualização da qualidade de água, contudo são poucos os parâmetros que possuem um limite máximo estabelecido e são considerados muito gerais (Barboza 2013). Vale ressaltar que não há uma classificação específica quanto ao estado trófico do corpo hídrico na resolução proposta pelo órgão.

Já o índice proposto pela CETESB classificou a Lagoa de Araruama com uma qualidade de água boa em todo o período de estudo, o qual não é confirmado pelas demais metodologias utilizadas e muito menos pela real situação do ecossistema estudado. O problema neste índice é que seu resultado baseia-se na ponderação dos parâmetros em função de sua importância para a determinação da qualidade de água. Quando apenas um ou poucos parâmetros apresentam valores insatisfatórios, seu resultado final é pouco influenciado por esse valor negativo, sendo neutralizado na maioria das vezes (Hespanhol 2009). Apesar dessa característica, o índice mostrou-se sensível de certa forma, pois no ano de 2010 há evidências no aumento da quantidade de nutrientes lançados na lagoa devido aos elevados valores de precipitação neste ano na região (CILSJ 2012). Esse aumento é observado em função do modo em como os efluentes são tratados antes de serem lançados na lagoa, com captações de esgoto predominantemente em “tempo seco” (Bidegain & Bizerril 2002).

As demais classificações indicaram um painel mais realístico para a Lagoa de Araruama e apontaram para um estado trófico elevado em todo o período de estudo. Na classificação do TRIX (NP), observou-se uma tendência de piora nos padrões da qualidade de água ao passar dos anos, sendo que o último ano apresentou uma pequena melhoria, porém ainda dentro da amplitude de classificação péssima. As elevadas concentrações de nutrientes foram determinantes para essa classificação. De acordo com o trabalho mais recente dos autores desse índice (Giovanardi & Vollenweider 2004), é possível estipular o grau de utilização dos nutrientes através da razão entre os principais componentes do índice: produtividade e condição nutricional. Assim, quanto menor forem os valores calculados para esse coeficiente de eficiência, assim chamado, menor seria o grau de utilização dos nutrientes para a determinação da produtividade “real”. A média desse coeficiente, no período de 2009 a 2013, para a Lagoa de Araruama apresentou um valor classificado como baixo.

O mesmo padrão é observado pelo método proposto por Håkanson & Bryhn (2008), em que a maioria dos parâmetros foram classificados com um estado hipertrófico, referente a uma péssima qualidade de água. No último ano, a baixa transparência da água e a elevada concentração de nutrientes classificaram o sistema lagunar em um estado eutrófico a hipertrófico. Valores mais baixos de clorofila *a* podem sugerir uma diminuição da produtividade primária por parte da comunidade fitoplanctônica (Knoppers *et al.* 1996). Essa tendência pode ser tanto indicativa de uma melhora nas condições ambientais do corpo hídrico, como também sugerir que a produtividade primária está sendo realizada longe da entrada dos nutrientes (Knoppers *et al.* 1996). A última hipótese corrobora com o resultado do coeficiente de eficiência proposto por Giovanardi & Vollenweider

(2004), ou seja, os nutrientes não são utilizados em seu potencial máximo e, assim, o processo de eutrofização se intensifica.

De modo geral, as metodologias utilizadas indicaram uma tendência da forte influência da condição nutricional da lagoa como um fator de degradação ambiental. Outra análise realizada com base nesses índices tróficos foi a verificação da distribuição dos nutrientes em função da localização das estações de coletas. A análise espacial apresentou estados tróficos altos para as estações situadas na porção mais a oeste e mais ao norte, as estações de continente, da lagoa. Esses valores demonstraram a influência da população na saúde do corpo hídrico, pois essas regiões além de apresentarem a maior parte da descarga fluvial, também representam o maior adensamento urbano na região (Schettini 1994).

Apesar do alto estado trófico observado nesse estudo para o ano de 1994, Souza (1997) classificou a lagoa como oligo a mesotrófica neste mesmo período (Tabela 45). O autor concluiu que a limitação da produção primária pelo fósforo era responsável pela boa qualidade das águas na época. Contudo, já se evidenciava que essa capacidade de manutenção do estado trófico estaria próxima ao seu limite máximo, podendo resultar numa mudança de estado em um curto prazo. Estudos anteriores ao autor, também classificaram a Lagoa de Araruama como oligotrófica (André *et al.* 1981; Souza 1993). No estudo mais recente de Mello (2007), a autora encontrou valores extremamente altos para a clorofila *a* e confirmou a predominância da produtividade pelos organismos fitoplanctônicos. Aliado a grande turbidez e a elevada concentração de nutrientes, a autora classificou o sistema lagunar em um estado eutrófico.

Tabela 45 – Valores encontrados para os parâmetros ambientais neste e em estudos anteriores e suas respectivas classificações tróficas para a Lagoa de Araruama.

Trabalho	PT (μM)	NT (μM)	Clorofila <i>a</i> ($\mu\text{g/L}$)	OD (mg/L)	Classificação do estado trófico
André <i>et al.</i> (1981)	0,038 ^a	2,160 ^a	2,45	4,99	Oligotrófico
Souza (1993)	0,500 ^a	10,800 ^a	2,20	n.d.	Oligotrófico
Souza (1997)	0,221 ^a	5,512 ^a	1,92	n.d.	Oligo a mesotrófico
Mello (2007)	4,468	164,271	132,42	6,10	Eutrófico
Este estudo (2013)	5,818	94,920	12,26	6,79	Hipertrófico

^a – valores referentes a parte inorgânica dos nutrientes (NID e PO_4); n.d. – não determinado.

Episódios esporádicos marcados por mortandade de peixes na LA em janeiro de 2007 e de 2009 e agosto de 2011 (Globo 2007 e Globo 2009 *apud* Gomes 2009; Globo 2011) corroboram com esse quadro proposto pela autora. Esses eventos de mortandade estão correlacionados com o aumento da precipitação na região. O conseqüente aumento do nível dos rios faz com que o sistema de tratamento de esgoto em “tempo seco” abra as comportas para evitar as inundações à montante. Esta ocorrência, assegurada por lei, gera um aumento da matéria orgânica em função do despejo de efluentes sem o devido tratamento durante o verão (período chuvoso e com aumento populacional referente às férias). Com o alto consumo de oxigênio e a proliferação dos eventos de florações de algas, toneladas de peixes morreram em toda a lagoa nesse período (Gomes 2009).

As águas da Lagoa de Araruama apresentam uma capacidade de autodepuração relativamente maior do que é observado em outras lagoas de água doce ou salobras devido à sua hipersalinidade em estado permanente. É por este motivo que, apesar das grandes quantidades de aporte de nutrientes

recebido, o processo de eutrofização aconteceu de certa forma mais tardia nesse sistema quando se comparado às outras lagoas costeiras da região fluminense (Schettini 1994; Silva 2008).

Embora apresentem condições hidrológicas e climáticas diferentes, nota-se que atualmente a maioria das lagoas costeiras no mundo exhibe sinais de degradação ambiental, principalmente em função do efeito antrópico crescente (Tabela 46). Os ecossistemas lagunares na região fluminense apresentaram uma péssima qualidade de água em estudos mais recentes (Cerdeira *et al.* 2013; Bozelli *et al.* 2009). Essas lagoas sofrem constantes impactos antropogênicos principalmente devido à falta de infraestrutura no tratamento de esgoto. A Lagoa do Mar Menor, hipersalina, possui baixos valores de nutrientes, fazendo com que esta seja uma das poucas a ser classificada como oligotrófica (Lloret *et al.* 2005).

Tabela 46 – Comparação dos estados tróficos encontrados na Lagoa de Araruama nesse estudo e em outros sistemas lagunares no mundo disponíveis na literatura. Referências: 1- Este estudo (2013); 2- Cerdeira *et al.* (2013); 3-Bozelli *et al.* (2009) ;4- Lloret *et al.* (2005);5- Lopes *et al.* (2008); 6- Kagalou *et al.* (2008).

Localização	Teor de Salinidade	PT (µM)	NT (µM)	Cl-a (µg/L)	OD (mg/L)	Estado trófico
Lagoa de Araruama ¹	Hipersalino	5,82	94,92	12,26	6,79	Hipertrófico
Laguna de Itaipu ²	Euhalino	3,80	51,70	41,50	12,24	Hipertrófico
Lagoa de Piratininga ²	Polihalino	5,00	67,30	26,90	10,24	Hipertrófico
Lagoa Imboassica ³	Mesohalino	4,14	69,39	29,58	n.d.	Eutrófico
Lagoa Mar Menor ⁴	Hipersalino	0,25 ^a	8,92 ^a	2,69	9,15	Oligotrófico
Estuário Ria de Aveiro ⁵	Mesohalino	5,42 ^a	113,34 ^a	3,63	n.d.	Eutrófico
Lago Pamvotis ⁶	Polihalino	16,13 ^a	54,29 ^a	76,23	11,00	Hipertrófico

^a – valores referentes a parte inorgânica dos nutrientes (NID e PO₄); n.d. – não determinado.

As agências governamentais do Estado do Rio de Janeiro realizaram algumas ações visando minimizar os efeitos do aumento da carga orgânica recebida nas lagoas costeiras do estado nos últimos anos. Os resultados desse e de outros estudos apontaram que a qualidade das águas, de modo geral, se manteve muito ruim. O grande problema enfrentado é na hora do planejamento e da gestão dos programas de revitalização e monitoramento das águas da lagoa. Além da constante mudança na escolha dos parâmetros e nas estações de amostragem, há também a questão na forma como os efluentes domésticos são tratados. Em alguns pontos não existe ainda o tratamento terciário e o local onde ocorre o seu descarte é efetuado muitas vezes em regiões com pouca circulação hidrodinâmica (Gomes 2009).

A análise conjunta desses resultados relacionados ao estado trófico com os discutidos nos itens anteriores evidenciam uma maior vulnerabilidade do sistema lagunar e uma péssima qualidade ambiental no período de estudo. A tendência observada pela análise espacial, sob a influência do crescimento populacional em suas margens, confirmou a alteração da saúde do corpo hídrico e inviabiliza a utilização de suas águas para fins comerciais e recreativos. Nota-se ainda que, apesar das medidas mitigadoras iniciadas nessa última década na região, não há uma expectativa na recuperação da Lagoa de Araruama. Mudanças na forma do tratamento de efluentes, métodos alternativos para desassorear o Canal do Itajuru e estudos sobre a abertura de um novo canal devem ainda ser desenvolvidos e discutidos para sua aplicação na Lagoa de Araruama.

7. CONCLUSÃO

A análise de tendências em escala temporal e espacial dos parâmetros físico-químicos e biológicos em um ecossistema é importante para avaliar a evolução na qualidade de suas águas. Estudos baseados em monitoramento ambiental ainda apresentam grandes dificuldades em função das lacunas de alguns parâmetros presentes nesses bancos de dados. O complexo conjunto de dados gerados deve ser analisado com certa cautela, para que possíveis padrões possam ser observados. Essas informações proporcionam um melhor desenvolvimento nas gestões de seus recursos hídricos.

Desta forma, os resultados das análises desenvolvidas e avaliadas nesse trabalho revelaram que o sistema lagunar de Araruama passou por diversas modificações nos últimos anos. A Lagoa de Araruama está localizada em uma das áreas de maior pressão urbana fora da região metropolitana do Estado do Rio de Janeiro. O processo de eutrofização cultural, o qual o ecossistema tem vivenciado, também foi estudado em muitos outros trabalhos discutidos ao longo do texto. Esse processo não é caracterizado por um único momento recente e sim é decorrente de toda pressão antrópica exercida sobre o sistema nos últimos 50 anos. O fator populacional e a urbanização turística foram determinantes nas mudanças evidenciadas no sistema lagunar.

A análise sazonal e espacial da série amostral revelou que os fatores mais correlacionados com os eixos das componentes principais foram os parâmetros da condição nutricional do sistema. Suas maiores concentrações no período chuvoso e na porção mais ocidental da lagoa corroboram com o deficitário sistema de tratamento de esgoto da região e sua hidrodinâmica. A ação dos fortes ventos de nordeste e o elevado adensamento populacional às suas margens

norte favorece essa distribuição de nutrientes. A salinidade é o principal parâmetro que separa as estações de continente e restinga, sendo maior na porção central e mais próximo ao continente. A característica interessante dessas análises é que as estações de próximas às restingas são semelhantes às estações situadas na porção leste da lagoa, principalmente pelas concentrações de oxigênio dissolvido.

A classificação do estado trófico desse ecossistema foi determinada a partir de índices que avaliam a concentração de sais nutritivos e a produção primária. Os índices, CONAMA, CETESB, TRIX e Håkanson & Brynn, foram calculados para obter a qualidade da água da Lagoa de Araruama. Apesar das medidas mitigatórias realizadas na última década pelos órgãos competentes, não foi observado nenhuma melhora na qualidade ambiental do sistema nos últimos 20 anos. Os índices, em geral, revelaram a vulnerabilidade do sistema frente aos efluentes orgânicos despejados e, conseqüentemente, a péssima qualidade da água na lagoa. Esse aumento das concentrações de nutrientes na coluna d'água afetou a dinâmica do ecossistema. Seu efeito tampão, devido à sua hipersalinidade, foi rompido e as florações fitoplanctônicas se desenvolveram, aumentando a turbidez e a demanda por oxigênio dissolvido.

8. PERSPECTIVAS

O intuito desse trabalho foi analisar a evolução da qualidade da água da Lagoa de Araruama através da análise do banco de dados do monitoramento do Consórcio Intermunicipal Lagos São João, CILSJ. O principal objetivo de um monitoramento ambiental é a identificação das tendências de longo prazo. Assim, a precisão nas medidas e na continuidade dos dados obtidos devem fornecer subsídios para a execução do planejamento e desenvolvimento de uma gestão ambiental. Apesar de algumas medidas mitigadoras realizadas na região, pode-se afirmar, baseando-se nos resultados exposto, que muitas transformações ainda deverão ser promovidas. As duas principais questões que merecem mais atenção são: a maneira como são tratados os efluentes e seus pontos de lançamento e a hidrodinâmica das águas da lagoa e seu respectivo tempo de renovação.

Todos esses aspectos resumem a complexidade do homem com a natureza. O agente antrópico não é apenas um conquistador do meio, que luta contra ele, mas também é parte dele e utiliza seus recursos para fins econômicos e recreativos. É preciso entender que a relação entre o homem e o meio é uma relação de pertencimento, ou melhor, de simbiose, e que a evolução de ambos é estreitamente delimitada por essas conexões tanto de ambiguidade e contradições. Como diria o historiador Donald Worster: “Não fabricamos a natureza, nem o passado; do contrário, talvez o tivéssemos feito mais simples” (Worster, 1991, p. 214).

9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alcoforado PG (1936) *O Sal Fluminense*. Serviço Técnico de Publicidade da Secretaria dos Negócios do Trabalho, Rio de Janeiro, 98p.
- Alves AR (2006) *Modelagem numérica aplicada ao estudo da origem e evolução morfológica dos esporões da Lagoa de Araruama - RJ*. Tese de Doutorado. Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geofísica. Universidade Federal Fluminense, Rio de Janeiro, 99 p.
- André DL, Oliveira MC, Okuda T, Horta AMTC, Soldan AL, Moreira LMNS, Rollemberg MCE & Fonseca Heizen VE (1981) *Estudo preliminar sobre as condições hidroquímicas da Lagoa de Araruama – Rio de Janeiro*. Ministério da Marinha, Instituto de Pesquisas da Marinha, Rio de Janeiro, Brasil.
- Andreatta JV, Oliveira LOV, Meurer BC, Freret NV, Teixeira DE, Manzano FV & Longo MM (2004) Peixes pelágicos da Lagoa Rodrigo de Freitas, Rio de Janeiro, Brasil. *Revista Estudos de Biologia*, 26 (55):25-31.
- Andutta FP, Ridd PV & Wolanski E (2011) Dynamics of hypersaline coastal waters in the Great Barrier Reef. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 94:299-305.
- Artázcoz F (2000) *Lagoa de Araruama: Desafios Políticos e Conflitos Ambientais*. Aspergillus. Rio de Janeiro, 91 p.
- Azevedo LSP (1984) Os macro-elementos nas lagoas do litoral fluminense: Geoquímica e sedimentação. *XXXIII Congresso Brasileiro de Geoquímica*, 212-230.
- Barbiéri EB (1984) *Cabo Frio e Iguaba Grande: Dois Microclimas Distintos a um Curto Intervalo Espacial*. In: Restingas: Origem, estruturas e processos. Lacerda LD, Araujo DSD, Cerqueira R & Turcq B (eds). CEUFF. Rio de Janeiro, p 3-13.

- Barboza CDN (2013) *Dinâmica de C, N, P no Sistema Estuarino do Arquipélago Tinharé-Boipeba (Baixo Sul Baiano, Brasil)*. Tese de Doutorado. Programa de Pós-Graduação em Biologia Marinha. Universidade Federal Fluminense, Niterói, 542 p.
- Barroso LV & Fabiano FFC (1995) Estudo da pesca com artes fixas na Lagoa de Araruama. *Oecologia Brasiliensis*, 1:569-585.
- Barroso LV (1987) *Diagnóstico Ambiental da Lagoa de Araruama – RJ*. In: Fundação Brasileira para a Conservação da Natureza. Boletim FBCN, 22: 30-65.
- Bidegain P & Bizerril C (2002) *Lagoa de Araruama - Perfil Ambiental do Maior Ecossistema Lagunar Hipersalino do Mundo*. SEMADS. Rio de Janeiro, 160 p.
- Bozelli RL, Caliman A, Guariento RD, Carneiro LS, Santangelo JM, Figueiredo-Barros MP, Leal JJF, Rocha AM, Quesado LB, Lopes PM, Farjalla VF, Marinho CC, Roland F & Esteves FA (2009) Interactive effects of environmental variability and human impacts on the long-term dynamics of a Amazonian floodplain lake and a South Atlantic coastal lagoon. *Limnologica*, 39:306-313.
- Braga CZF (1998) *Sensoriamento remoto aplicado ao estudo da concentração de clorofila-a, transparência e profundidade da água na lagoa de Araruama, RJ*. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Geociências. Universidade Federal Fluminense, Rio de Janeiro, 213 p.
- Carpenter S & Brock WA (2006) Rising variance: a leading indicator of ecological transition. *Ecology Letters*, 9:311-318.
- Cerda M, Nunes-Barboza CD, Scali-Carvalho CN, Andrade-Jandre K & Marques Jr NA (2013) Nutrient budgets in the Piratininga-Itaipu lagoon system (southeastern Brazil): effects of sea-exchange management. *Latin American Journal of Aquatic Research*, 41(2):226-238.

- CETESB (2006) Anexo 5 - Índice de Qualidade das águas. <http://www.cetesb.sp.gov.br/agua/aguas-superficiais/35-publicacoes/-relatorios>. Data de Consulta: 05/02/2014.
- CILSJ (2012) Site oficial do Consórcio Intermunicipal Lagos São João. <http://www.lagossaojoao.org.br/index-2.html>. Data de Consulta: 27/07/2012.
- Coe Neto R (1984) *Algumas considerações sobre a origem do sistema lagunar de Araruama*. In: Restingas: Origem, estruturas e processos. Lacerda LD, Araujo DSD, Cerqueira R & Turcq B (eds). CEUFF. Rio de Janeiro, p 61-63.
- CONAMA (2005) Resolução nº 357 de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento dos corpos de água superficiais, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes. Relator: Marina Silva. Diário Oficial da União, Brasília, 18 de março de 2005.
- Coutinho R, Ribeiro P, Kjerfve B, Knoppers B, Muehe D & Valentin (1999) Araruama uma lagoa ameaçada. *Ciência Hoje*, 25(149): 24-31.
- Cruz RC (2000) *Política de turismo e território*. Contexto. São Paulo, 304 p.
- Cunha ACB (2003) *Uma análise do sistema lagunar de Araruama – RJ, com enfoque hidrodinâmico*. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 163 p.
- EMBRAPA (2002) Site oficial da agência de informação – Cana de açúcar / Monitoramento Ambiental. In: Simpósio Regional De Geoprocessamento E Sensoriamento Remoto (2002) Aracaju. Anais. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros. http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/cana-de-acucar/arvore/CONTAG01_73_711200516719.html. Data de Consulta: 27/07/2012.
- Esteves FA (2011) *Fundamentos de limnologia*. Interferência, Rio de Janeiro, 826 p.

- FEEMA (1984) Condições ambientais na Bacia da Lagoa de Araruama, Relatório Parcial. Rio de Janeiro, v.1.
- França MS (2009) *Análise estatística multivariada dos dados de monitoramento de qualidade de água da Bacia do Alto Iguaçu: uma ferramenta para a gestão de recursos hídricos*. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental. Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 150 p.
- Garcia RS, Trannin MC & Junior MG (2009) Considerações ambientais e sociais do ecossistema da Lagoa de Araruama. *XIII Encuentro de Geógrafos de América Latina – EGAL*. Tema 7 - Procesos de la interacción sociedad-naturaleza. Montevideo, Uruguai.
- Gava GL (2008) *Avaliação de renovação de águas na Lagoa de Araruama – RJ, via abertura de canal com o mar no extremo oeste*. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Oceânica. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 155 p.
- Giovanardi F & Vollenweider RA (2004) Trophic conditions of marine coastal waters: experience in applying the Trophic Index TRIX to two areas of the Adriatic and Tyrrhenian seas. *Journal of Limnology*, 63(2):199-218.
- Globo (2011) Desequilíbrio ambiental causa morte de peixes na Lagoa de Araruama. In: *Jornal O GLOBO Online*, Rio de Janeiro. <http://oglobo.globo.com/participe/mat/2011/08/25/desequilibrio-ambiental-causa-morte-de-peixes-na-lagoa-de-araruama-925208402.asp#ixzz31CHiYvow>. Data de consulta: 06/02/2014.
- Gomes LV, Cavalcante PRS, Ibañez MdSR, Silva RN Md & Silva MdNdS (2005) Avaliação de parâmetros físicos e químicos da água e colimetria em água e pescado da laguna da jansen (São Luís - MA). *Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental*, 23:18-23.
- Gomes NF (2009) *Análises de circulação hidrodinâmica e de transporte de sal em um estuário hipersalino: Lagoa de Araruama - RJ*. Dissertação de

Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Oceânica. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 137 p.

Guerra LV (2008) *Processos microbiológicos e composição da matéria orgânica relacionados à eutrofização de uma lagoa costeira hipersalina, L. de Araruama, RJ*. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Geociências. Universidade Federal Fluminense, Rio de Janeiro, 108 p.

Hair Jr JF, Anderson RE, Tatham RL & Black WC (2005) *Análise Multivariada de Dados*. Bookman. Porto Alegre, 593 p.

Håkanson L & Bryhn AC (2008) *Tools and criteria for sustainable coastal ecosystem management. examples from the Baltic Sea and other aquatic systems*. Springer-Verlag. Berlin, 292 p.

Hansen CM (1993) *Metodologias de engenharia oceânica aplicadas à Lagoa de Araruama, Rio de Janeiro*. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Oceânica. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 99 p.

Hanssen G (1988) *Cabo Frio: dos Tamoios à Alcalis*. Achiamé. Rio de Janeiro, 240 p.

Hespanhol KMH (2009) *Monitoramento e diagnóstico da qualidade da água o ribeirão morangueiro*. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana, Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 153 p.

Hotelling H (1933) Analysis of a complex of statistical variables into principal components. *The Journal Of Educational Psychology*, 24: 417-441.

IBGE (2010) Censo demográfico realizado em 2010. <http://censo2010.ibge.gov.br/>. Data de consulta: 15/03/2014.

IBGE (2013) Dados referentes aos censos demográficos dos municípios adjacentes à Lagoa de Araruama.

<http://www.cidades.ibge.gov.br/xtras/home.php>. Data de Consulta:
12/03/2014

Johnson RA & Wichern DW (2007) *Applied multivariate statistical analysis*. Prentice Hall. New Jersey, 773 p.

Kagalou I, Papastergiadou E & Leonardos I (2008) Long term changes in the eutrophication process in a shallow Mediterranean lake ecosystem of W. Greece: Response after the reduction of external load. *Journal of Environmental Management*, 87(3):497-506.

Kaiser HF (1958) The varimax criterion for analytic rotation in factor analysis. *Psychometrika*. 23:187- 200.

Kjerfve B (1986) Comparative Oceanography of Coastal Lagoons. In: Wolfe, D.A.(Ed.). *Estuarine Variability*. New York: Academic Press, 63-81.

Kjerfve B (1994) *Chapter 1 Coastal Lagoons*. In: Björn K (ed) Elsevier Oceanography Series. Elsevier, 1-8 pp.

Kjerfve B, Schettini CAF, Knoppers B, Lessa G & Ferreira HO (1996) Hydrology and salt balance in a large hypersaline coastal lagoon: Lagoa de Araruama, Brazil. *Estuarine Coastal and Shelf Science*, 42:701-725.

Knoppers B, Carmouze JP & Moreira-Turcq PF (1999) *Nutrient Dynamics, Metabolism and Eutrophication of Lagoons along the East Fluminense Coast, State of Rio de Janeiro, Brazil*. In: Environmental Geochemistry of Coastal Lagoon System, Rio de Janeiro, Brasil. Knoppers B, Bidone ED& Abrão JJ (eds). Série Geoquímica Ambiental, 6:123-154.

Knoppers B, Souza WFL, Souza MFL, Rodriguez EG, Landim EFCV & Vieira AR (1996) In situ Mesearuments of Benthic Primary Production, Respiration and Nutrient Fluxes in a Hypersaline Coastal Lagoon of SE Brazil. *Revista Brasileira de Oceanografica*. 44(2):155-165.

Knoppers BA, Kjerfve B & Carmouze JP (1991) Trophic state and water turn-over time in six choaked coastal lagoons in Brasil. *Biogeochemistry*. 14:149-166.

- Lamego AR (1974) *O homem e a restinga*. Setores da Evolução Fluminense. IBGE, 2ª Ed., Editora Lidador Ltda, Rio de Janeiro, 227 p.
- Lattin J, Carroll JD & GT PE (2011) *Análise de dados multivariados*. Cengage Learning. São Paulo, 455 p.
- Lavrado HP (1998) *Ecofisiologia, Produção primária e Modelagem de Macroalgas na Lagoa de Araruama, RJ*. Tese de Doutorado. Programa de Pós-Graduação em Biofísica. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 180 p.
- Legendre P & Legendre L (1998) *Numerical Ecology - Developments in environmental modelling 20..* Elsevier. Amsterdam, 852 p.
- Lessa GC (1990) *Hidráulica e sedimentação do Canal de Itajuru - Lagoa de Araruama (RJ)*. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Oceânica. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 120 p.
- Lessa GC (1991) Dinâmica de maré e transporte de sedimentos no Canal de Itajuru, Araruama (RJ). *Revista Brasileira de Geociências*, 21(4):378-386.
- Lloret J, Marín A & Marín-Guirao L (2008) Is coastal lagoon eutrophication likely to be aggravated by global climate change? *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 78:403-412.
- Lloret J, Marin A, Marin-Guirao L & Velasco J (2005) Changes in macrophytes distribution in a hypersaline coastal lagoon associated with the development of intensively irrigated agriculture. *Ocean & Coastal Management*, 48:828-842.
- Lopes CB, Lillebo AI, Dias JM, Pereira E, Vale C & Duarte AC (2007) Nutrient dynamics and seasonal succession of phytoplankton assemblages in a Southern European Estuary: Ria de Aveiro, Portugal. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 71:480-490.

- Mansur KL (2010) *Diretrizes para geoconservação do patrimônio geológico do estado do Rio de Janeiro : o caso do domínio tectônico de Cabo Frio*. Tesede Doutorado. Programa de Pós-Graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 249 p.
- Massa H (1967) *Cabo Frio: Nossa Terra: Nossa Gente...* Cia de Turismo do Estado do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro.
- Mello TBM (2007) *Caracterização biogeoquímica da Lagoa de Araruama, RJ*. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Geoquímica Ambiental. Universidade Federal Fluminense, Rio de Janeiro, 82 p.
- Melo ESO (2011) Gênese da Urbanização Turística em Cabo Frio (1950-1978). *XIV Encontro Nacional da ANPUR*. Rio de Janeiro, 20 p.
- Mingoti AS (2005) *Análise de dados através de métodos de estatística multivariada: uma abordagem aplicada*. UFMG. Belo Horizonte, 295 p.
- Moreira ALC (2013) A Eutrofização na Lagoa de Araruama e o Impacto Ambiental das Estações de Tratamento Secundário. http://ambientes.ambientebrasil.com.br/agua/artigos_agua_salgada/a_eutrofizacao_na_lagoa_de_araruama_e_o_impacto_ambiental_das_estacoes_d_e_tratamento_secundario.html. Data de consulta: 03/11/2012.
- Moreira-Turcq PF (2000) Impact of a low salinity year on the metabolism of a hypersaline coastal lagoon (Brazil). *Hydrobiologia*, 429:133-140.
- Moura CRW, Escobar GCJ & Andrade KM (2013) Padrões de circulação em superfície e altitude associados a eventos de chuva intensa na região metropolitana do rio de janeiro. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 28(3): 267–280.
- Moura RP (2011) E o mar vai virar aterro antropologia, direito e conflito nas disputas por espaços num bairro do interior fluminense. *II Encontro Nacional de Antropologia do Direito - ENADIR*. São Paulo, SP. 31 de agosto a 02 de setembro. Ed. USP, São Paulo, Brasil. GT 4 – 15 p.

- Muehe D & Valentini E (1998) *O litoral do estado do Rio de Janeiro: uma caracterização físico-ambiental*. Fundação de Estudos do Mar (SEMA/FEMAR), Rio de Janeiro, 99p.
- Muehe D (1994) Lagoa de Araruama: Geomorfologia e Sedimentação. *Caderno de Geociências*. Rio de Janeiro, 10:53-62.
- Muller S (2001) Gestão Ambiental de Recursos Hídricos. *IV Conferência Latino-Americana sobre Meio Ambiente e Responsabilidade Social – Ecolatina*. Belo Horizonte, MG. 15-18 de outubro.
- Myers N (1992) Population / Environment Linkages: Discontinuities Ahead. *Ambio* 21:116–118.
- Nixon SW (1995) Coastal marine eutrophication: A definition, social causes, and future concerns. *Ophelia*, 41:199–219.
- Pereira LFM (2007) A gestão participativa no caso do saneamento da Região dos Lagos, Rio de Janeiro. *Revista Discente Expressões Geográficas*, 3:10-41.
- Pereira P, Pablo H, Vale C, Franco V, Nogueira M (2009) Spatial and seasonal variation of water quality in a impacted coastal lagoon (Óbidos Lagoon, Portugal). *Environmental Monitoring and Assessment*. 153:281-292.
- Pires OS (2006) As múltiplas facetas e implicações da relação turismo e meio ambiente. *IV Seminário de Pesquisa em Turismo do MERCOSUL*. Universidade de Caxias do Sul, Caxias do Sul, RS, 17 p.
- Potter IC, Chuwen BM, Hoeksema SD & Elliott M (2010) The concept of an estuary: A definition that incorporates systems which can become closed to the ocean and hypersaline. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 87:497-500.
- Random Number (2013) Site gerador de números aleatórios. <http://randomnumbergenerator.intemodino.com/pt/> Data de Consulta: 30/03/2014.

- Redfield AC, Ketchum BH & Richards FA (1963) *The influence of organisms on the composition of sea-water*. In: The Sea. Hill MN (ed). Interscience Publishers, New York, 26-77 p.
- Reis EA & Reis IA (2002) *Análise Descritiva de dados – Síntese numérica*. Relatório Técnico RTP – 02/2002, Série Ensino. Universidade Federal de Minas Gerais. Departamento de Estatística, 36p.
- Schettini CAF (1994) *Determinantes hidrológicos na manutenção da condição hipersalina da Lagoa de Araruama-RJ*. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Geociências. Universidade Federal Fluminense, Rio de Janeiro, 65 p.
- SEMADS (2001) *Bacias Hidrográficas e Rios Fluminenses - Síntese Informativa por Macrorregião Ambiental*. Rio de Janeiro, 73 p.
- Silva EP & Fernandes FC (1994) A vida no sal. *Ciência Hoje*, 18(104):74-75.
- Silva GS & Jardim WF (2006) Um novo índice de qualidade das águas para proteção da vida aquática aplicado ao Rio Atibaia, região de Campinas/Paulínia – SP. *Química Nova*. 29(4):689-694.
- Silva SECP (2008) *Uso e cobertura da terra relacionados à eutrofização da Lagoa Hipersalina de Araruama, RJ*. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Geociências. Universidade Federal Fluminense, Rio de Janeiro, 64 p.
- Souza MFL (1993) *Distribuição espacial sazonal e fontes fluviais de nutrientes na Lagoa de Araruama – RJ*. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Geoquímica Ambiental. Universidade Federal Fluminense, Rio de Janeiro, 166 p.
- Souza MFL, Bjorn K, Knoppers B, de Souza WFL & Damasceno RN (2003) Nutrient budgets and trophic state in a hypersaline coastal lagoon: Lagoa de Araruama, Brazil. *Estuarine Coastal and Shelf Science*, 57:843-858.

- Souza WFLd (1997) *Dinâmica de nutrientes na laguna hipersalina de Araruama, RJ*. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Geociências. Universidade Federal Fluminense, Rio de Janeiro, 174 p.
- Teixeira VML (2006) *A cidade e a lagoa: memória e identidade urbana em Araruama*. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Geografia. Universidade Federal Fluminense, Rio de Janeiro, 140 p.
- Turcq B, Martin L, Flexor JM, Suguio K, Pierre C & Tasayaco-Ortega L (1999) *Origin and Evolution of the Quaternary Coastal Plain Between Guaratiba and Cabo Frio, State of Rio de Janeiro, Brazil*. In: Environmental Geochemistry of Coastal Lagoon System, Rio de Janeiro, Brasil. Knoppers B, Bidone ED & Abrão JJ (eds). Série Geoquímica Ambiental, 6:25-46.
- Valentin JL (2012) *Ecologia Numérica: uma Introdução à Análise Multivariada de Dados Ecológicos*. Interciência. Rio de Janeiro, 154 p.
- Vasconcelos SL (1998) *Apontamentos sobre Araruama*. Alves Pereira Editores, Rio de Janeiro.
- Vaz AJ (2012) *A Bacia Hidrográfica Lagoa – São João pós década de 1960: um estudo das transformações espaciais da região e suas influências sobre a qualidade ambiental*. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Geografia. Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 127 p.
- Veloso AJG (1978) *Geomorfologia e sedimentologia da Lagoa de Araruama*. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Geociências. Universidade Federal Fluminense, Rio de Janeiro, 140 p.
- Vollenweider RA, Giovanardi F, Montanari G & Rinaldi A (1998) Characterization of the trophic conditions of marine coastal waters with special reference to the NW Adriatic Sea: Proposal for a trophic scale, turbidity and generalized water quality index. *Environmetrics*. 9:329-357.
- Worster D (1991) Para fazer história ambiental. *Revista Estudos Históricos*. 4(8):198–215.

APÊNDICE 1

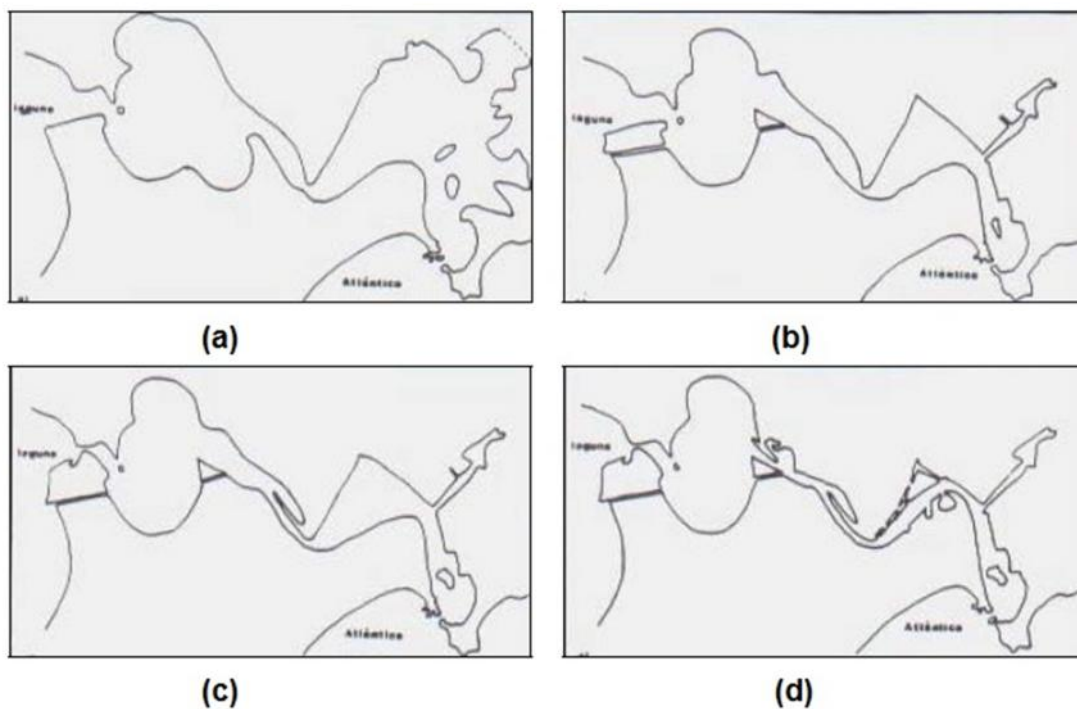


Figura 1 – Transformações realizadas no Canal do Itajuru segundo Lessa (1990). (a) – século XVI; (b) – início do século XX; (c) – meados do século XX; (d) – final do século XX.

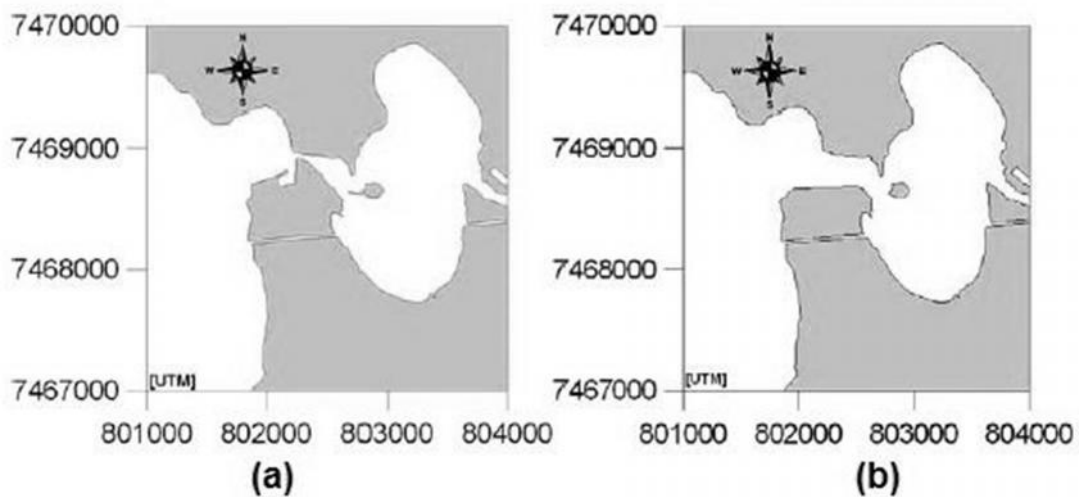


Figura 2– Inauguração da Ponte de Ambrósio em 2007 e a modificação do vão do canal segundo Gava (2008). (a) – antes da ponte: 30 m de vão; (b) – depois da ponte: 300 m de vão.

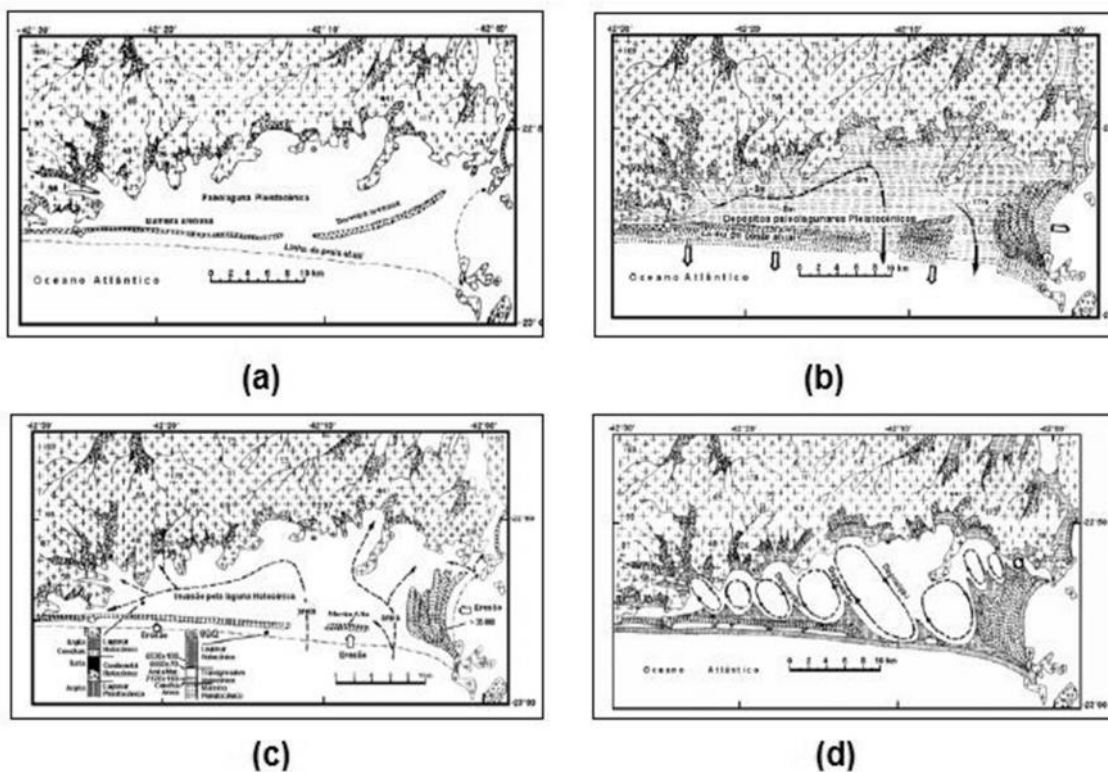


Figura 3– Evolução da planície costeira da Lagoa de Araruama segundo Turcq *et al.* 1999. (a) – Formação da primeira barreira (123.000 anos A.P.), (b) – Queda do nível do mar e erosão de parte da barreira devido ao sistema de drenagem (entre 123.000 e 7.000 anos AP); (c) – Fase final da última transição, erosão de parte dos depósitos de areia e invasão da paleolaguna do Pleistoceno (cerca de 7.000 A.P.); (d) – Isolamento do sistema lagunar exterior e formação de cúspides (cerca de 3.900 A.P.). A.P. – “antes do presente”, presente considerado 1950.

ARTIGO SUBMETIDO A REVISTA AMBIENTE & SOCIEDADE

TURISMO E URBANIZAÇÃO: UMA DISCUSSÃO ACERCA DOS PROBLEMAS AMBIENTAIS DA LAGOA DE ARARUAMA – RJ

Bertucci T.C.P., Silva E.P., Marques Jr. A.N. & Monteiro-Neto C.

RESUMO

A Lagoa de Araruama, localizada no litoral do Estado do Rio de Janeiro (Brasil), é conhecida por sua beleza cênica e seus recursos naturais, fatores que permitiram a expansão econômica da região. A atividade turística e a especulação imobiliária foram determinantes para o desenvolvimento urbano dos municípios adjacentes nas últimas décadas. Ocorrendo de forma desordenada e sem infraestrutura adequada, a lagoa recebeu um contínuo estresse proveniente das atividades antropogênicas, o qual provocou uma mudança de estado no sistema que tem consequências até hoje. O presente trabalho busca uma avaliação das correlações entre o processo de desenvolvimento das cidades diretamente ligadas a existência da Lagoa de Araruama e o seu impacto sobre a qualidade ambiental deste ecossistema. Baseia-se na interpretação das correlações entre meio social e ambiental através da análise bibliográfica.

Palavras-chave: Turismo. Relação homem-natureza. Urbanização. Decadência Ambiental.

ABSTRACT

The Araruama lagoon, located on the coast of Rio de Janeiro's State (Brazil), known by its scenic beauty and natural resources, allowed the region to expand economically. The tourism and real estate speculation were decisive for the urban development of adjacent cities in recent decades. Occurring in a disorderly manner and without proper infrastructure, the lagoon received a continuous stress from anthropogenic activities, which caused a change of state in the system, with consequences until today. The present study presents an assessment of correlations between socioeconomic processes involving the development of cities directly linked to the Araruama Lagoon's existence and

their impacts on the environmental quality of the ecosystem. The analysis is based on the interpretation of correlations between social and environmental aspects based on literature review.

Keywords: Tourism. Human-nature relationship. Urbanization. Environmental decay.

RESUMEN

El lago Araruama, situado en la costa del estado de Río de Janeiro (Brasil), es conocido por su belleza escénica y los recursos naturales permitieron que la región para expandir económicamente. El turismo y la especulación inmobiliaria fueron la clave para el desarrollo urbano de los municipios adyacentes en las últimas décadas. De una manera desordenada y sin la infraestructura adecuada, el estanque recibe una tensión continua de las actividades antropogénicas, lo que provocó un cambio de estado en el sistema que tiene consecuencias en la actualidad. El presente estudio intenta una evaluación de las correlaciones entre los procesos socioeconómicos que implica el desarrollo de las ciudades directamente relacionadas con la existencia Araruama Lake y su impacto en la calidad ambiental de este ecosistema. Se basa en la interpretación de las correlaciones entre social y ambiental por la revisión de la literatura.

Palabras clave: Turismo. Relación hombre-naturaleza. Urbanización. Degradación ambiental.

1- INTRODUÇÃO

As áreas marinhas costeiras, ou ambientes estuarinos, desempenharam um papel fundamental para o desenvolvimento socioeconômico na maioria das sociedades. Suas águas possuem usos múltiplos que vão desde a aquicultura, preservação da fauna e flora, lazer e turismo. Esses ambientes de transição também são conhecidos como corpos receptores e diluentes de resíduos da atividade humana (Gomes *et al.* 2005). Os fatores ecológicos, econômicos e, por vezes, evolucionários desse tipo de ecossistema são amplamente discutidos e estudados (Javor 1989). Por estas razões e pelo fato de muitas das espécies de interesse comercial serem frequentes nesses ambientes, são muitas as iniciativas relacionadas à preservação desses espaços (Barroso & Fabiano 1995).

Os sistemas lagunares tendem a ser suscetíveis a variações climáticas e ambientais, modificações hidrológicas e influências antropogênicas (Lloret *et al.* 2008). Ressalta-se que muitos desses ambientes costeiros estão localizados em áreas com grandes adensamentos populacionais, sendo assim objeto de um contínuo estresse durante longos períodos. Dessa maneira, muitas lagoas costeiras têm sofrido profundas alterações em suas condições naturais, decorrentes de ações antrópicas como poluição, pesca predatória e invasão por espécies exóticas. Como resultado, muitos desses ambientes têm se deteriorado e os efeitos são variados, sendo a aceleração do processo de eutrofização, alterações nos recursos tróficos e reflexos negativos sobre a qualidade dos habitats e na sua biota exemplos clássicos (Andreatta *et al.* 2004).

A Lagoa de Araruama não foge a regra. Sua beleza cênica e seus recursos naturais e extrativistas permitiram que várias atividades, incluindo o turismo, se desenvolvessem nos municípios adjacentes. Os turistas e veranistas chegam a duplicar a população fixa em épocas de clima mais quente e em feriados prolongados. As tradicionais atividades salineiras, extração de conchas (calcário) e pesqueira foram substituídas pela atividade turística e a especulação imobiliária. A lagoa passou a ser vista a partir de um novo elemento econômico, por meio do lazer, da prática de esportes e, até mesmo, da utilização de sua curiosa lama de valor medicinal. Esse avanço econômico começou a ser observado a partir da década de 1960, quando o

acesso à lagoa se tornou mais fácil através de melhorias nas rodovias (Hanssen 1988).

Como resultado, a região foi gradativamente modificada, o crescimento demográfico desordenado em suas margens aumentou a pressão antrópica pondo em risco a saúde da lagoa. O aporte artificial de água doce e o lançamento de efluentes domésticos na lagoa, sem qualquer tratamento prévio, provocaram modificações nos gradientes de densidade e mudanças no seu balanço hídrico (Gomes 2009). A qualidade da água do sistema foi então prejudicada, ameaçando todo o sistema lagunar e as atividades sustentadas por ele. Muitos estudos sobre a influência dessas modificações foram realizados ao longo dos anos e apontaram para um contínuo processo de eutrofização cultural nesse ambiente (Souza *et al.* 2003).

Neste trabalho são discutidas as correlações entre o processo socioeconômico que envolve o desenvolvimento das cidades diretamente ligadas à existência da Lagoa de Araruama e o seu impacto sobre a qualidade ambiental deste ecossistema. Ou seja, uma análise das correlações entre meio social e ambiental. Neste sentido, a evolução da economia na região é interpretada a partir dos binômios: desenvolvimento econômico/decadência ambiental e decadência econômica/preservação ambiental.

2- SOBRE AS ÁGUAS DA LAGOA

2.1. O sal das águas

A Lagoa de Araruama é considerada um dos maiores ecossistemas lagunares hipersalinos em estado permanente do mundo. Localizada no litoral do Estado do Rio de Janeiro, a 100 km da capital, a lagoa se insere na Macrorregião Ambiental-4 do estado e compreende os municípios de Araruama, Iguaba Grande, São Pedro da Aldeia, Cabo Frio e Arraial do Cabo. Sua bacia hidrográfica é de aproximadamente 220 km² e se estende paralelamente à costa, separada do mar pela extensa restinga de Massambaba ao sul (SEMADS 2001).

Grande parte de seus rios contribuintes apresentam vazão irrisória, destacando-se dois rios perenes situados na cidade de Araruama: o rio das Moças e o rio Mataruna. A alimentação hídrica da lagoa ocorre majoritariamente através de um único e estreito canal, conhecido como Canal

do Itajuru, situado a leste da bacia. Em razão de seus compartimentos abertos e semiabertos, delimitados pela presença de esporões, a salinidade da lagoa pode variar em sua extensão no sentido leste - oeste, sendo sempre superior à concentração da água do mar (Kjerfve *et al.* 1996).

Outros fatores que influenciam em sua hidrologia são os elementos climatológicos. O sistema lagunar encontra-se sob um clima semiárido com baixa precipitação, e uma pequena drenagem no aporte de água doce em relação ao seu volume total. Desta forma, o balanço hídrico da Lagoa de Araruama é considerado negativo, com sua evaporação superando a precipitação. Por esses motivos, o sistema lagunar em questão é considerado hipersalino (salinidade igual a 43) e conserva-se com esta característica ao longo de todo o ano (Kjerfve *et al.* 1996).

2.2. Águas azuis

A Lagoa de Araruama sempre foi considerada um dos ambientes mais importantes na Região dos Lagos por suas águas azuis e translúcidas, extensas praias, manguezais, restingas e dunas. Sua beleza cênica e paisagística, associada ao fácil acesso, resultou no desenvolvimento do turismo de forma rápida e desordenada. Desde os anos 1960, a lagoa tem sido procurada por turistas e veranistas devido à baixa pluviosidade e elevada incidência de raios solares na região. Esta população flutuante chega a duplicar a quantidade de residentes fixos dos municípios ao seu entorno nas estações de clima quente e em feriados prolongados (Vaz 2012).

Em razão da proximidade com os grandes centros, o turismo passou a ser encarado como a mais importante atividade econômica regional. Foi a partir da construção da ponte Rio-Niterói e a rodovia Via Lagos (RJ-124), em meados da década de 1970, que houve o surgimento da segunda moradia. Ou seja, muitas pessoas, buscando amenizar a vida agitada dos grandes centros, foram beneficiadas pelo rápido acesso à região e adotaram a Lagoa de Araruama como uma opção de veraneio para os finais de semana. Nessa época, houve também a facilitação do Poder Público Estadual e dos municípios para que o turismo se desenvolvesse, incentivando a recuperação de estradas, a pavimentação de novas vias e revitalizando praças e espaços de lazer. Aliado

a isto, o surgimento intensivo da especulação imobiliária foi determinante para uma nova lógica de apropriação dos espaços à margem da lagoa (Melo 2011).

2.3. A vida no sal

A Lagoa de Araruama, além de suas águas límpidas e excelentes condições climáticas é, ainda, ambiente costeiro de grande biodiversidade (Silva & Fernandes 1994) apresentando diversos redutos para a fauna aquática, como criadouros de peixes, crustáceos e moluscos, bem como refúgio para muitas espécies de aves nas áreas de manguezais (Hanssen 1988).

A maioria dos organismos encontrados na lagoa é de origem marinha. Em alguns, o excesso de sal reduz o tamanho ou limita a reprodução. Embora mais reduzida que a do mar, a fauna lagunar atinge grande biomassa em certos locais. Animais como esponjas, briozoários, cnidários, anfípodes, pequenos nematódeos e poliquetas são comuns.

A Lagoa de Araruama é, ainda, um importante criadouro de camarão-rosa (*Farfantepenaeus brasiliensis* e *F. paulensis*). O crustáceo entra na lagoa através do Canal do Itajuru, ainda na fase de pós-larva, ajudado pela maré enchente, e só volta ao oceano aos quatro meses de vida, para iniciar sua vida reprodutiva. Esse hábitat fechado também é seguro para o crescimento de 43 espécies de peixes. Algumas nascem e permanecem na lagoa, como a carapeba (*Eugerres brasilianus*), e outras voltam ao oceano após a maturação para iniciar seu período reprodutivo, como a tainha (*Mugil liza*).

Sua bacia de drenagem é constituída de diversos biomas que proporcionam seu desenvolvimento em setores como a agricultura, pesca, atividade extrativista e, até mesmo, o turismo e a recreação.

2.4. Ararú-lama

Com suas mais de 40 espécies de peixes (Mansur 2010) não é surpreendente que a primeira atividade econômica desenvolvida, e que favoreceu o desenvolvimento de núcleos urbanos na região, tenha sido a pesca artesanal. Na atualidade, as principais comunidades pesqueiras da Lagoa estão fixadas no município de São Pedro da Aldeia.

Com a desvalorização da atividade de pesca artesanal devido ao esgotamento do pescado, a economia da lagoa passou a ser sustentada por outras atividades extrativistas: a extração de sal através das salinas e a de conchas extraídas no fundo da lagoa para a fabricação de cal e farinha de ostras. Estas atividades foram favorecidas pelas condições ambientais do sistema lagunar e adquiriram maior impulso com a desobstrução do canal no começo do século passado (Hanssen 1988). A exploração do sal se desenvolveu com força e a indústria salineira tinha boas safras no período entre agosto e março. Contudo, a concorrência com o produto extraído e beneficiado no nordeste era alta e levou a indústria a um declínio paulatino (Alcoforado 1936).

A palavra Araruama é justamente a abundância em conchas (do tupi, ararú = conchas, iama = abundância) ou “lagoa das conchas” (Alcoforado 1936). A atividade extrativista de calcário conchífero iniciou-se a partir da criação da Companhia Nacional de Álcalis em 1952. Contudo, a produção só foi regularizada no início da década de 1960, com a primeira barrilha nacional produzida. Essa crescente exploração da Lagoa foi revitalizando a economia da maioria dos municípios com o aumento da oferta de empregos no setor terciário como o comércio e a construção civil (Vaz 2012).

A prática dessas atividades econômicas devem ser levadas em conta, também, no desenvolvimento do turismo. A construção de paisagens singulares (as comunidades pesqueiras, os moinhos de ventos, os montes brancos de sal), a ampliação dos acessos à região e a busca de novos lugares de recreação, esporte e lazer promoveram a valorização dos espaços litorâneos, modificando a identidade dos municípios e das populações em virtude da forte especulação imobiliária.

Com a valorização dos espaços e a queda na produção de sal, diversas salinas foram desativadas para loteamentos de terras e construção imobiliária. A preponderância do turismo acarretou uma transformação dinâmica do ecossistema devido aos impactos de crescimento e desenvolvimento sem planejamento. Esses fatores provocaram o assoreamento em algumas regiões da lagoa e prejudicaram a qualidade ambiental do sistema como um todo (Pires 2006).

2.5. Poluição doce

A introdução artificial de água doce e o lançamento de efluentes domésticos e industriais na lagoa sem qualquer tratamento prévio persistiu durante um longo período. As estações de tratamento de esgoto, apesar de terem sido concedidas às empresas competentes no ano de 2000, começaram a funcionar de fato somente a partir do ano de 2003 e apenas com captações de esgoto em “tempo seco” (Bidegain & Bizerril 2002).

O crescimento demográfico desordenado as margens da Lagoa aumentou a pressão antrópica sob o ecossistema, pondo em risco a saúde deste. O aporte de água doce, proveniente das águas de uso da população, causou uma mudança de estado no sistema que tem consequências até hoje. O processo de eutrofização cultural vem se tornando um problema cada vez mais grave e, possivelmente, irreversível, provocando a redução da qualidade da água e ameaçando todo o sistema lagunar e as atividades econômicas ali desenvolvidas (Coutinho *et al.* 1999).

O aumento excessivo do setor terciário (comércio e serviço) e a apropriação do espelho d'água para construções imobiliárias resultaram na poluição e degradação ambiental da lagoa. Assim, a especulação imobiliária e à exploração turística resultaram na degradação ambiental, decorrente do crescente impacto antropogênico sobre o ecossistema da lagoa. Atividades econômicas como as atividades extrativistas, pesqueiras e de recreação entraram em decadência econômica. A falta de infraestrutura adequada e de manutenção do meio ambiente põe em risco, hoje, a saúde econômica dos municípios no entorno da Lagoa de Araruama.

2.6. Pela Lagoa

A decadência econômica associada à degradação ambiental e paisagística da região fomentou o desenvolvimento de inúmeras iniciativas do estado e da sociedade civil para monitorar o ambiente lagunar. Em dezembro de 1986, uma Área de Proteção Ambiental (APA) foi criada na parte mais ao sul da restinga de Massambaba, compreendendo os municípios de Saquarema, Araruama e Arraial do Cabo. Dentro dela, há também a Reserva Ecológica Estadual de Massambaba. No total, foram criadas cerca de oito APAs no entorno da lagoa a fim de manter suas características ambientais

preservadas, tanto em sua bacia hidrográfica, quanto em todo o ambiente pertencente à sua bacia de drenagem (Artázcoz 2000).

Aliado a isto e com o intuito de barrar o processo de deterioração ambiental e promover a recuperação do ecossistema da Lagoa de Araruama, houve a criação do Consórcio Intermunicipal Lagos São João-CILSJ, no final de 1999. Desta maneira, foi possível reunir o poder municipal, a Secretaria Estadual do Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável, empresas privadas e ONG's em prol da conservação do ambiente (CILSJ 2012).

O objetivo do Consórcio é um monitoramento ambiental que identifique e analise as condições dos recursos naturais da Lagoa da Araruama ao longo do tempo, a partir da coleta de dados, acompanhamento frequente de variáveis ambientais, variáveis econômicas e sociais. Este programa monitora a qualidade das águas através da análise de uma vasta gama de fatores e processos biológicos. O trabalho é realizado por diversas instituições, sendo os parâmetros técnicos medidos e avaliados pelo Consórcio e pelas concessionárias de água e esgoto - Águas de Juturnaíba e Prolagos. Como instrumento de gestão de política ambiental e de recurso hídrico, sua intenção é a recuperação ambiental do ecossistema lagunar de Araruama, realizando programas e projetos de melhoria no local e em seu entorno (CILSJ 2012).

3- HISTÓRIA DAS ÁGUAS

3.1. Homem e Natureza

A relação do Homem com a natureza é de ordem complexa. Antes de surgir o âmbito da história ambiental, as histórias social, econômica e cultural conceituavam o Homem como um elemento separado da natureza, desenvolvendo-se sem qualquer restrição natural. Foi então, a partir da década de 1970, que nasceu um novo modelo conceitual da interação homem e natureza através do fortalecimento dos movimentos ambientalistas em todo o mundo. Diante de uma série de crises globais, o interesse por questões ambientais e de preservação foi realçado frente às questões políticas e cultural (Worster 1991).

O interesse por essas questões foi se ampliando à medida que era adquirida a percepção da finitude dos recursos naturais. Nesse contexto, a

história ambiental teve um papel importante. Inicialmente através da preocupação pública e de compromissos políticos. Posteriormente, o interesse acadêmico pelo problema aumentou em razão da complexidade intrínseca das relações do homem com a natureza (Worster 1991).

Um dos aspectos importantes relacionados à história ambiental é a construção da paisagem. Além de reproduzir uma história e uma identidade urbana, a paisagem é pertencente ao espaço e, portanto, está sujeita às diversas transformações que o homem faz. Por exemplo, o avanço da urbanização modifica o cenário de uma região, ou seja, ele é intensamente modificado, desconstruído e reconstruído na medida em que as práticas espaciais se estabelecem em momentos históricos distintos. Segundo o geógrafo brasileiro Milton Santos (2004):

A paisagem não tem nada de fixo, de imóvel. Cada vez que a sociedade passa por um processo de mudança, a economia, as relações sociais e políticas também mudam, em ritmos e intensidades variados. A mesma coisa acontece em relação ao espaço e a paisagem que se transforma para se adaptar às novas necessidades da sociedade.

Na medida em que a natureza é considerada como um conjunto de bens utilizáveis, o homem passa a construir sua história através da mercantilização desse ambiente sem levar em consideração a sua capacidade de reprodução e, até mesmo, a sua resiliência. A sociedade capitalista encara a exploração dos recursos naturais, oferecidos pelo meio ambiente, como uma possibilidade de acumulação de capital seja por intermédio de atividades extrativistas ou turísticas. A falta do entendimento na relação do ser humano com o seu meio proporciona uma crescente exploração e alienação da força de trabalho frente à deterioração da fonte de riqueza, a natureza (Teófilo *et al.* 2013).

Na economia capitalista, as interações são basicamente reduzidas às questões monetárias com um enfoque no aumento da produção de mercadorias para a maximização dos lucros. Essas questões, por conseguinte, estão relacionadas à insistente exploração da natureza quando tratamos das interações desta com o homem. Como consequência, a deterioração do meio é inevitável, prejudicando não só os recursos naturais, bem como a própria existência da sociedade. Segundo o historiador Donald Worster:

Os capitalistas constroem uma ordem social e tecnológica que os enriquece e os leva ao poder. Montam fábricas para a produção em massa. Levam a terra à beira do colapso com a sua tecnologia, a sua administração da classe trabalhadora e o seu apetite. A subsistência é redefinida como a necessidade sem fim, o consumo sem limites, a interminável competição por status. O sistema com o tempo se autodestrói e é substituído por um novo (Worster, 1991, p. 209).

No julgamento contra os modos de produção capitalista, o fundador da doutrina comunista, o alemão Karl Marx (1818-1883), colocava que esses modos de produção eram realizados através da exploração da força de trabalho e a produção e acumulação máxima do capital. Marx percebia que a natureza era uma fonte de recursos limitados e que os seres humanos se relacionavam de forma recíproca com o seu meio, fazendo parte dele:

A natureza é o corpo inorgânico do homem, a saber, a natureza enquanto ela mesma não é corpo humano. O homem vive da natureza significa: a natureza é o seu corpo, com o qual ele tem de ficar num processo contínuo para não morrer. Que a vida física e mental do homem está interconectada com a natureza não tem outro sentido senão que a natureza está interconectada consigo mesma, pois o homem é uma parte da natureza” (Marx, 2004, p.84).

O conceito da necessidade de acumulação de capital faz com que as atividades de produção e consumo do homem determinem uma sociedade. Numa sociedade puramente capitalista, essa acumulação é baseada através da exploração e alienação da força de trabalho, tendo em vista a maximização dos lucros, sem se preocupar com os limites que são estabelecidos pela natureza. A desigualdade e a injustiça resultantes dessa estruturação social são prejudiciais não só para as classes trabalhadoras, mas é de mesma intensidade causadora da degradação da natureza. Segundo o historiador Donald Worster, o domínio socioeconômico interage com o ambiente:

O poder de tomar decisões, inclusive as que afetam o ambiente, raramente se distribui de forma igualitária por uma sociedade, de modo que descobrir as configurações do poder faz parte desse nível de análise (Worster, 1991, p. 200).

Esta parece ser a circunstância do primeiro ciclo de atividades econômicas ligadas a Lagoa de Araruama (pesca, extrativismo, turismo). Ou seja, o binômio desenvolvimento econômico/decadência ambiental se

estabeleceu fortemente em todos os municípios no entorno da Lagoa até a década de 1970 quando a situação começou a afetar a atividade econômica principal da região que era, naquele momento, o turismo.

A falta de controle dos avanços das atividades econômicas sobre o meio ambiente, ou segundo Marx a “escada sobre a natureza”, é considerado um dos fatores da crise ambiental no mundo moderno. A “natureza humanizada”, ou seja, o meio ambiente visto como um produto do homem é um dos temas abordados nas obras do autor. Segundo ele, os efeitos negativos causados por meio da degradação ambiental apresentam implicações diretas sobre os custos de reprodução e da capacidade produtiva da força de trabalho. O resultado dessa violação na integridade da natureza afeta assim o processo de produção de mais-valia. Por esse motivo, o Estado deve prover a preservação do meio ambiente construído por ser considerado um meio de produção numa sociedade capitalista (Altvater 2007).

3.2- Desenvolvimento Sustentável

O desenvolvimento sustentável tem sido uma das propostas discutidas pelos governos e pela sociedade civil para compatibilizar o crescimento econômico e a preservação ambiental. Contudo, em uma análise rápida, fica evidente, que a preservação da natureza nada mais é do que uma tentativa de criar metas para o pleno desenvolvimento do capital. Assim, a sustentabilidade nada mais é que taxa de lucro, continuando, portanto, como sinônimo de predação e degradação dos recursos naturais (Dantas 2011). Dessa forma, a proposta de desenvolvimento sustentável não consegue ir além da teoria e, na prática, garante o contínuo avanço sobre o meio ambiente resultando em consequências irreversíveis. Ou seja, a natureza e o homem continuam sendo concebidos como mercadorias do sistema capitalista, sendo o eco desenvolvimento uma falácia (Andrioli 2008).

No entanto, a partir dessa releitura do ambiente ecológico em termos econômicos, surge uma valorização da natureza, na medida em que ela é necessária para a expansão do desenvolvimento econômico. Por se tratar de um ambiente altamente produtivo e com uma grande biodiversidade, é na natureza que a sociedade encontra uma forma de reprodução do capital. Contudo, o meio ambiente não produz mercadorias para vender e, mesmo com

essa utilização descontrolada, a natureza permanece fora de qualquer discurso de caráter econômico. A principal discussão nesse aspecto baseia-se apenas na questão da exploração e alienação da força de trabalho, ou seja, grande parte dos discursos é voltada somente para uma construção social e econômica (Vaz 2012).

Essa contradição também se aplica na discussão da exploração do turismo. A valorização do espaço e a transformação da paisagem frente ao desenvolvimento urbano faz com que a atividade turística seja um dos principais fatores na degradação do meio ambiente na maioria das cidades costeiras. Para alguns autores, a única forma de aumentar o lucro nessa atividade é através da atribuição de um valor de mercadoria necessária nos espaços geográficos. A rápida exploração do homem sobre o ambiente não possui um regime de tempo semelhante à demorada recuperação e reprodução natural de um ecossistema. Esse é um dos aspectos mais destrutivos da valorização. Outro fator que agrega o devido valor a esses ambientes é a sua escassez, sendo poucos os lugares que proporcionam as mesmas condições de beleza cênica e paisagística.

A reconfiguração da paisagem, através de novas formas de utilização dos espaços, é um resultado direto da especulação turística e imobiliária. A maioria das cidades turísticas se desenvolve segundo as leis de consumo e lazer, diferentemente das cidades industriais que, desde a Revolução Urbana, são construídas para a produção. Dessa forma, a atividade turística, além de se sobrepôr às demais atividades tradicionais da região, faz com que a apropriação desse espaço prejudique o seu desenvolvimento sustentável. A transformação efetiva da paisagem acontece de forma arbitrária e sem qualquer planejamento de infraestrutura, facilitando a destruição de muitos ambientes de elevada riqueza natural.

A Lagoa de Araruama é um exemplo clássico dessa transformação. Devido à suas belas paisagens e sua riqueza de biodiversidade, a atividade turística e o desenvolvimento urbano crescente e desordenado nos municípios adjacentes foram determinantes para a degradação ambiental desse ecossistema. A incansável contradição da expansão do setor econômico contra o consumo arbitrário de sua fonte de riqueza, a natureza, é observada nessa região.

A situação da poluição da lagoa atualmente é de extrema preocupação para os órgãos competentes, tendo em vista que, sem a possibilidade do consumo e lazer propriamente dito, as atividades econômicas se encontram em decadência. É neste panorama que muitos programas de revitalização urbana e de recuperação ambiental foram desenvolvidos na tentativa de melhorar as condições ambientais da Lagoa de Araruama.

Obras de recuperação no sistema lagunar foram realizadas a fim de renovar as águas no seu interior, visando a manutenção da utilização da Lagoa para fins turísticos e de lazer. Contudo, o principal interesse desses programas é a recuperação do desenvolvimento pleno das atividades econômicas e a geração de capital para os municípios. O setor turístico é dependente da manutenção do estado de beleza e, portanto de uso, da natureza.

Desta forma, é interessante perceber que a atual consciência ecológica voltada para os problemas ambientais que Lagoa de Araruama enfrenta, estão menos relacionados a uma verdadeira mudança de consciência dos governos e da sociedade civil, representando, de fato, os velhos interesses do capitalismo. As medidas mitigadoras atendem aos interesses de expansão ligados ao turismo que hoje são a principal atividade econômica ligada a Lagoa (especulação imobiliária, comércio etc.).

Esta parece ser a circunstância do segundo ciclo de atividades econômicas ligadas a Lagoa de Araruama (especulação imobiliária, turismo). Ou seja, o binômio decadência econômica/preservação ambiental envelopado no discurso ideológico do desenvolvimento sustentável. A degradação ambiental evidenciada nesse ecossistema pode ter resultado em um estado além da sua resiliência e do poder de recuperação das medidas mitigatórias postas em curso pelos interesses da indústria imobiliária e do turismo local. Contudo, os interesses capitalistas podem sobreviver no local por muito tempo ainda, tanto por força da recriação de uma paisagem estéril quanto das forças produtivas postas em ação para manter um simulacro de natureza.

5- CONCLUSÃO

Neste ensaio foram descritas as características ambientais da Lagoa de Araruama e as atividades econômicas que nela tiveram lugar em dois momentos definidos pelos binômios desenvolvimento econômico/decadência ambiental e decadência econômica/ preservação ambiental.

No primeiro momento o ciclo de atividades econômicas ligadas a Lagoa de Araruama envolveu principalmente a pesca, o extrativismo e o turismo. A natureza foi explorada como um conjunto de bens utilizáveis e mercantilizada sem levar em consideração a sua capacidade de reprodução e resiliência. A consequência deste processo foi uma forte degradação ambiental que começou a afetar o turismo.

O segundo ciclo de atividades econômicas (especulação imobiliária, turismo) é capitaneado pelo paradigma do desenvolvimento sustentável. Ou seja, a degradação ambiental leva a decadência econômica que demanda a preservação ambiental como forma de recuperação das atividades econômicas fortemente ligadas ao turismo e a indústria imobiliária.

A Lagoa de Araruama, ao longo destes anos, foi impactada em função da ampliação de novas formas de apropriação dos espaços no intuito de satisfazer a demanda da atividade turística. No âmbito da valorização dos espaços, um ambiente preservado favorece as atividades econômicas e a geração de capital para a região. O planejamento do desenvolvimento urbano e a ocupação organizada desses espaços são sinônimos de riqueza e vantagem para exploração capitalista.

6- REFERÊNCIAS

Alcoforado PG (1936) *O Sal Fluminense*. Departamento de Estatística e Publicidade, Rio de Janeiro, 98 p.

Andreatta JV, Oliveira LOV, Meurer BC, Freret NV, Teixeira DE, Manzano FV & Longo MM (2004) Peixes pelágicos da Lagoa Rodrigo de Freitas, Rio de Janeiro, Brasil. *Revista Estudos de Biologia*, 26 (55):25-31.

Andrioli AI (2008) A atualidade de Marx para o debate sobre a tecnologia e meio ambiente. *Crítica Marxista* 27:11-25.

Artázcoz F (2000) *Lagoa de Araruama: Desafio Político e Conflitos Ambientais*. Aspergillus – Pelo desenvolvimento sustentável (ONG), Rio de Janeiro, 91 p.

Altvater E (2007) Existe um Marxismo Ecológico. In: *A teoria marxista hoje, Problemas e perspectivas*. Ed. Expressão Popular, São Paulo, 488 p.

Barroso LV & Fabiano FFC (1995) Estudo da pesca com artes fixas na Lagoa de Araruama. *Oecologia Brasiliensis*, 1:569-585.

Bidegain P & Bizerril C (2002) *Lagoa de Araruama - Perfil Ambiental do Maior Ecosistema Lagunar Hipersalino do Mundo*. SEMADS - Rio de Janeiro, 160 p.

CILSJ. Site oficial do Consórcio Intermunicipal Lagos São João. Disponível em: <http://www.lagossaojoao.org.br/index-2.html>. Acesso em 27 de julho de 2012.

Coutinho R, Ribeiro P, Kjerfve B, Knoppers B, Muehe D & Valentin (1999) Araruama uma lagoa ameaçada. *Ciência Hoje* 25(149):24-31.

Dantas G (2011) *Natureza atormentada, marxismo e classe trabalhadora*. Centelha Cultural Editoração, Brasília - DF, 139 p.

Gomes LV, Cavalcante PRS, Ibañez MdSR, Silva RNMD & Silva MdNdS (2005) Avaliação de parâmetros físicos e químicos da água e colimetria em água e pescado da laguna da jansen (São Luís - MA). *Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental*, 23:18-23.

Gomes NF (2009) *Análises de circulação hidrodinâmica e de transporte de sal em um estuário hipersalino: Lagoa de Araruama - RJ*. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Oceânica. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 137 p.

Hanssen G (1988) *Cabo Frio: dos Tamoios à Álcalis*. Ed. Achiamé, Rio de Janeiro, 239 p.

Javor B (1986) *Hypersaline Environments: Microbiology and Biogeochemistry*. Berlin: Springer-Verlag, 328 p.

Karl M (2004) *Manuscritos Econômico – Filosóficos*. Boitempo Editorial, São Paulo, 176 p.

Kjerfve B, Schettini CAF, Knoppers B, Lessa G & Ferreira HO (1996) Hydrology and salt balance in a large hypersaline coastal lagoon: Lagoa de Araruama, Brazil. *Estuarine Coastal and Shelf Science* 42:701-725.

Lloret J, Marín A & Marín-Guirao L (2008) Is coastal lagoon eutrophication likely to be aggravated by global climate change? *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 78:403-412.

Mansur KL (2010) *Diretrizes para geoconservação do patrimônio geológico do estado do Rio de Janeiro: o caso do domínio tectônico de Cabo Frio*. Tese (Doutorado em Geografia) – Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 249 f.

Melo ESO (2011) Gênese da Urbanização Turística em Cabo Frio (1950-1978). In: *XIV Encontro Nacional da ANPUR*, Rio de Janeiro, 20 p.

Pires OS (2006) As múltiplas facetas e implicações da relação turismo e meio ambiente. In: *IV Seminário de Pesquisa em Turismo do MERCOSUL*, Universidade de Caxias do Sul, Caxias do Sul, RS, 17 f.

Santos M (2004) *Pensando o espaço do homem*. São Paulo: EdUSP, 90 p.

SEMADS (2001) *Bacias Hidrográficas e Rios Fluminenses - Síntese Informativa por Macrorregião Ambiental*. SEMADS, Rio de Janeiro, 73 p.

Silva EP & Fernandes FC (1994) A vida no sal. *Ciência Hoje* 18(104):74-75.

Souza MFL, Bjorn K, Knoppers B, de Souza WFL & Damasceno RN (2003) Nutrient budgets and trophic state in a hypersaline coastal lagoon: Lagoa de Araruama, Brazil. *Estuarine Coastal and Shelf Science*, 57:843-858.

Teófilo RMT, Souza FG & Jimenez S (2013) Crise Ambiental: uma análise preliminar perspectivada no materialismo histórico dialético. In: *Anais I Semana de Economia Política, GT9 – Ecologia e Marxismo*, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, CE, 7 f.

Vaz AJ (2012) *A Bacia Hidrográfica Lagos – São João pós década de 1960: um estudo das transformações espaciais da região e suas influências sobre a qualidade ambiental*. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Instituto de Geografia, Universidade Estadual do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 127 f.

Worster D (1991) Para fazer história ambiental. *Revista Estudos Históricos*, Rio de Janeiro 4(8):198–215.