

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE  
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DA TERRA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM QUÍMICA



Programa de Pós-Graduação  
em Química



Diagnóstico ambiental das águas do estuário Jundiá-Potengi pela  
determinação dos índices de qualidade da água e toxidez

**Emily Cintia Tossi de Araújo Costa**

---

Dissertação de Mestrado  
Natal/RN, julho de 2008

# **Livros Grátis**

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

Emily Cintia Tossi de Araújo Costa

DIAGNÓSTICO AMBIENTAL DAS ÁGUAS DO ESTUÁRIO JUNDIAÍ-POTENGI  
PELA DETERMINAÇÃO DOS ÍNDICES DE QUALIDADE DA ÁGUA E TOXIDEZ

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Química da Universidade Federal do Rio Grande do Norte como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Química.

Orientador: Prof. Dr. Djalma Ribeiro da Silva

Natal – RN  
2008

Divisão de Serviços Técnicos

Catálogo da Publicação na Fonte. UFRN / Biblioteca Setorial de Química

Costa, Emily Cintia Tossi de Araújo

Diagnóstico ambiental das águas do estuário Jundiá-Potengi pela determinação dos índices de qualidade da água e toxidez / Emily Cintia Tossi de Araújo Costa. Natal, RN, 2008.

133 f.

Orientadora: Djalma Ribeiro da Silva.

Dissertação (Mestrado em Química) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Centro de Ciências Exatas e da Terra. Programa de Pós-Graduação em Química.

1. Água – análise – Dissertação. 2. Diagnóstico ambiental – Dissertação. 3. Estuários – Dissertação. 4. Índice de qualidade de água – IQA – Dissertação. 5. Índice de toxidez – Dissertação. I. Silva, Djalma Ribeiro da. II. Universidade Federal do Rio Grande do Norte. III. Título.

RN/UFRN/BSE- Química

CDU 543.3

**EMILY CÍNTIA TOSSI DE ARAÚJO COSTA**

**DIAGNÓSTICO AMBIENTAL DAS ÁGUAS DO ESTUÁRIO JUNDIAÍ-POTENGI  
PELA DETERMINAÇÃO DOS ÍNDICES DE QUALIDADE DA ÁGUA E TOXIDEZ**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Química da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, em cumprimento às exigências para obtenção do título de Mestre em Química.

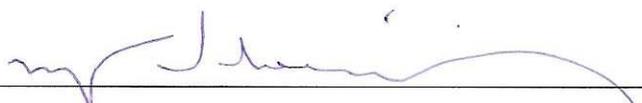
Aprovada em: 29 de julho de 2008.

Comissão Examinadora:



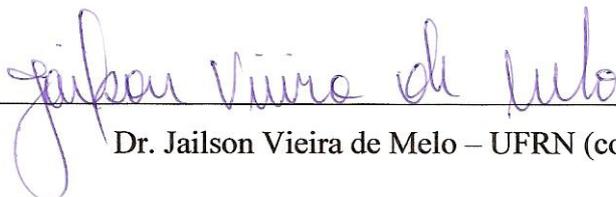
---

Dra. Suely Souza Leal de Castro – UERN



---

Dra. Maria de Fátima Vitória de Moura – UFRN



---

Dr. Jailson Vieira de Melo – UFRN (co-orientador)



---

Dr. Djalma Ribeiro da Silva – UFRN (orientador)

## DEDICATÓRIA

Dedico esta conquista ao meu pai, que sempre lutou muito nesta vida para criar a mim e as minhas irmãs, e sem ele nada disso seria realidade hoje. Te amo muitíssimo.

## AGRADECIMENTOS

Ao meu esposo Rodrigo, companheiro forte e compreensivo durante toda esta minha jornada acadêmica, sem o qual talvez não tivesse suportado tantas pressões (obrigada por suportar meu mau-humor). Te amo.

Às minhas irmãs, Suelen e Jéssica (saudades todos os dias), à minha mãe e minhas irmãs pequeninas Mariana e Naomi por fazerem parte da minha vida.

A CAPES, pelo apoio financeiro, através da bolsa de estudo ao longo de dois anos ininterruptos.

Ao professor Djalma, por acreditar e confiar em mim e me delegar responsabilidades dentro de nosso laboratório.

À minhas amigas, Rina e Aécia, companheiras de laboratório e de projeto, se Deus quiser, vamos juntas até o fim.

À minha amiga Verushka, por me ajudar na parte final da minha dissertação, pela amizade e companheirismo.

À Tarcila, por me deixar terminar de escrever minha dissertação, aliviando um pouco minhas responsabilidades dentro do laboratório. Obrigada pela amizade e confiança.

À toda equipe do LabCorr / Central Analítica - NEPGN: Shirley, Danyelle, Miquéias, Adriana, Fernanda, Allison, Jardel, Andréa, Philipp, Daniela, Juliana, Kaio, Caio, Fernando, Thiego, Kátia, Márcio, Nireide, Flávia e Janaíne. Obrigada pela amizade.

À Severino, pela grande ajuda no momento das coletas e por estar sempre disposto a nos ajudar a qualquer hora que se precise.

Ao IDEMA, nas pessoas de Sérgio Macedo e Ítan Cunha pelo apoio dado ao longo do monitoramento e por escolher nossa equipe e confiar nos nossos resultados.

À FUNPEC, pela estrutura montada em nosso laboratório, pelo apoio financeiro aos projetos de pesquisa.

E, por último, mas não menos importante, a Deus: Sem Sua luz a me guiar, quantas coisas eu não suportaria? Só tu sabes, Senhor...

***“ São nossas escolhas que define quem somos e não nossas  
habilidades”  
(J. K. Rowling)***

## RESUMO

O presente trabalho consiste em um diagnóstico ambiental das águas do sistema estuarino Jundiaí-Potengi/RN, através de cálculos de índices indicadores de poluição como o Índice de Qualidade da Água (IQA) e do Índice de Toxidez (IT). As amostras foram coletadas em doze pontos do estuário, em maré alta e baixa, entre os meses de agosto e novembro de 2007, totalizando quatro campanhas. A área de estudo está localizada numa região de alto impacto, tendo em suas margens diversas atividades como: lançamento de esgotos domésticos e industriais sem tratamento ou fora dos padrões de lançamento, carcinoculturas, lagoas de estabilização de imunizadoras, comunidades ribeirinhas, etc. Todos os parâmetros analisados tiveram seus resultados comparados com os limites da Resolução CONAMA N° 357 de 2005 para águas salobras e salinas Classe 1. Os resultados encontrados comprovam o impacto ocasionado pelas diversas atividades, principalmente os parâmetros relacionados com a presença de matéria orgânica, como DBO, COT e *Coliformes termotolerantes*. Assim, o IQA para a maioria dos pontos de coleta foi de qualidade MÉDIA. Para os metais, embora tenham sido encontrados valores acima do que permite a Resolução, a maioria deles estavam abaixo dos limites de detecção do ICP-OES utilizado, indicando que estes tendem a ser carregados pela dinâmica das marés ou precipitam e se depositam nos sedimentos de fundo, dando a essa água um IT igual 1,0, quando estes estão ausentes, o que ocorre na maioria dos casos, ou 0,0 quando se encontram teores de metais pesados nessas águas.

Palavras-chave: Diagnóstico Ambiental, Estuários, IQA, IT.

## ABSTRACT

This study is an environmental diagnosis of the Jundiaí-Potengi/RN estuarine system waters, using calculations of pollution indicator indices such as the Water Quality Index (WQI) and the Toxicity Index (TI). The samples were collected at twelve points on the estuary, at high and low tide, between August and November 2007, over four campaigns. The study area, located in a high impact region, has various activities on its banks such as: discharge of untreated or undertreated domestic and industrial sewage, shrimp farming, immunizer stabilization lakes, riverside communities, etc. All the parameters analyzed were compared to the limits of CONAMA Resolution No. 357 of 2005 for healthy and saline Class 1 waters. The results found prove the impact caused by various activities, mainly the parameters related to the presence of organic material, such as DQO, DBO, COT and thermotolerant coliforms. The IQA for most of the collection points was of medium quality. For the metals, although values above the Resolution limits were found, most of them were lower than the detection limits of ICP-OES used, indicating that they tend to be transported by the dynamic of the tides or rainfall and are deposited in bottom sediments, resulting in a TI of 1.0 in this water, when they are absent, which occurs in most cases, or 0.0, when heavy metals are found in these waters.

Key Words: Environmental diagnosis, Estuaries, WQI, TI.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 2.1</b>	Processos envolvidos no transportes de poluentes em Estuários	11
<b>Figura 3.1</b>	Localização das estações de monitoramento do Estuário Jundiaí - Potengi	29
<b>Figura 3.2</b>	Rio Jundiaí - Ponte sob a BR-226, ponto E01	30
<b>Figura 3.3</b>	Rio Jundiaí - Cidade de Macaíba - Hospital, ponto E02	31
<b>Figura 3.4</b>	Rio Jundiaí - Jusante do lançamento do CIA, ponto E03	31
<b>Figura 3.5</b>	Rio Jundiaí - Montante da Imunizadora Riograndense, ponto E04	32
<b>Figura 3.6</b>	Rio Jundiaí - Montante do Curtume J. Motta, ponto E05	32
<b>Figura 3.7</b>	Rio Jundiaí/Rio Potengi - Confluência, ponto E06	33
<b>Figura 3.8</b>	Rio Jundiaí/Rio Golandim - Proximidades da sua desembocadura, ponto E07	33
<b>Figura 3.9</b>	Rio Potengi - Ponte de Igapó, ponto E08	34
<b>Figura 3.10</b>	Rio Potengi - Dique da Marinha do Brasil, ponto E09	34
<b>Figura 3.11</b>	Rio Potengi - Jusante do Canal do Baldo, ponto E10	35
<b>Figura 3.12</b>	Rio Potengi - em frente ao late Clube, ponto E11	35
<b>Figura 3.13</b>	Rio Potengi - vão central Ponte Newton Navarro, ponto E12	36
<b>Figura 3.14</b>	Curva analítica de Nitrito, em mg.L <sup>-1</sup>	46
<b>Figura 3.15</b>	Curva analítica de Nitrato, em mg.L <sup>-1</sup>	46
<b>Figura 3.16</b>	Curva analítica de Fósforo, em µg.L <sup>-1</sup>	47
<b>Figura 3.17</b>	Curva analítica de Cádmio, em µg.L <sup>-1</sup>	49
<b>Figura 3.18</b>	Curva analítica de Cromo, em µg.L <sup>-1</sup>	49
<b>Figura 3.19</b>	Curva analítica de Cobre, em µg.L <sup>-1</sup>	50
<b>Figura 3.20</b>	Curva analítica de Níquel, em µg.L <sup>-1</sup>	50
<b>Figura 3.21</b>	Curva analítica de Chumbo, em µg.L <sup>-1</sup>	51
<b>Figura 3.22</b>	Curva analítica de Zinco, em µg.L <sup>-1</sup>	51
<b>Figura 3.23</b>	Curva analítica de Mercúrio, em µg.L <sup>-1</sup>	52
<b>Figura 4.1</b>	Resultado da Salinidade obtido na Maré Alta	57
<b>Figura 4.2</b>	Resultado da Salinidade obtido na Maré Baixa	57
<b>Figura 4.3</b>	Resultado dos Sólidos Dissolvidos obtidos na Maré Alta	58

<b>Figura 4.4</b>	Resultado dos Sólidos Dissolvidos obtidos na Maré Baixa	59
<b>Figura 4.5</b>	Registros do lançamento de efluentes nos pontos E02 e E03	60
<b>Figura 4.6</b>	Resultado do Teor de Sólidos Suspensos na Maré Alta	60
<b>Figura 4.7</b>	Resultado do Teor de Sólidos Suspensos na Maré Baixa	61
<b>Figura 4.8</b>	Resultado da Turbidez obtido na Maré Alta	62
<b>Figura 4.9</b>	Resultado da Turbidez obtido na Maré Baixa	62
<b>Figura 4.10</b>	Resultado da Cor Verdadeira obtido na Maré Alta	64
<b>Figura 4.11</b>	Resultado da Cor Verdadeira obtido na Maré Baixa	64
<b>Figura 4.12</b>	Temperatura da água no momento da coleta, Maré Alta	65
<b>Figura 4.13</b>	Temperatura da água no momento da coleta, Maré Baixa	66
<b>Figura 4.14</b>	Gráfico com os valores do Potencial Hidrogeniônico (pH) referente as coletas na Maré Alta	67
<b>Figura 4.15</b>	Gráfico com os valores do Potencial Hidrogeniônico (pH) referente as coletas na Maré Baixa	67
<b>Figura 4.16</b>	Gráfico da concentração de Oxigênio Dissolvido (OD) referente às coletas na Maré Alta	69
<b>Figura 4.17</b>	Gráfico da concentração de Oxigênio Dissolvido (OD) referente às coletas na Maré Baixa	70
<b>Figura 4.18</b>	Gráfico da concentração da Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) referente às coletas na Maré Alta	71
<b>Figura 4.19</b>	Gráfico da concentração da Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) referente às coletas na Maré Baixa	72
<b>Figura 4.20</b>	Gráfico da concentração de Carbono Orgânico Total (COT) referente às coletas na Maré Alta	73
<b>Figura 4.21</b>	Gráfico da concentração de Carbono Orgânico Total (COT) referente às coletas na Maré Baixa	73
<b>Figura 4.22</b>	Gráfico da concentração de <i>Coliformes termotolerantes</i> referente às coletas na Maré Alta	75
<b>Figura 4.23</b>	Gráfico da concentração de <i>Coliformes termotolerantes</i> referente às coletas na Maré Baixa	76
<b>Figura 4.24</b>	Gráfico da concentração de Nitrogênio Amoniacal referente às coletas na Maré Alta	77
<b>Figura 4.25</b>	Gráfico da concentração de Nitrogênio Amoniacal referente	

	às coletas na Maré Baixa	78
<b>Figura 4.26</b>	Gráfico da concentração de Nitrito referente às coletas na Maré Alta	79
<b>Figura 4.27</b>	Gráfico da concentração de Nitrito referente às coletas na Maré Baixa	79
<b>Figura 4.28</b>	Gráfico da concentração de Nitrato referente às coletas na Maré Alta	80
<b>Figura 4.29</b>	Gráfico da concentração de Nitrato referente às coletas na Maré Baixa	80
<b>Figura 4.30</b>	Gráfico da concentração de Fósforo Total referente às coletas na Maré Alta	83
<b>Figura 4.31</b>	Gráfico da concentração de Fósforo Total referente às coletas na Maré Baixa	83
<b>Figura 4.32</b>	Gráfico do Teor de Óleos e Graxas (TOG) referente às coletas na Maré Alta	84
<b>Figura 4.33</b>	Gráfico do Teor de Óleos e Graxas (TOG) referente às coletas na Maré Baixa	85
<b>Figura 4.34</b>	Gráfico do Índice de Qualidade da Água referente às coletas na Maré Alta	86
<b>Figura 4.35</b>	Gráfico do Índice de Qualidade da Água referente às coletas na Maré Baixa	86
<b>Figura 4.36</b>	Gráfico do Teor de Cádmio referente às coletas na Maré Alta	87
<b>Figura 4.37</b>	Gráfico do Teor de Cádmio referente às coletas na Maré Baixa	88
<b>Figura 4.38</b>	Gráfico do Teor de Cobre referente às coletas na Maré Alta	88
<b>Figura 4.39</b>	Gráfico do Teor de Cobre referente às coletas na Maré Baixa	89
<b>Figura 4.40</b>	Gráfico do Teor de Zinco referente às coletas na Maré Alta	89
<b>Figura 4.41</b>	Gráfico do Teor de Zinco referente às coletas na Maré Baixa	90
<b>Figura 4.42</b>	Gráfico do Teor de Chumbo referente às coletas na Maré Alta	90
<b>Figura 4.43</b>	Gráfico do Teor de Chumbo referente às coletas na Maré	

	Baixa	91
<b>Figura 4.44</b>	Gráfico do Teor de Níquel referente às coletas na Maré Alta	91
<b>Figura 4.45</b>	Gráfico do Teor de Níquel referente às coletas na Maré Baixa	92

## LISTA DE QUADROS

<b>Quadro 2.1</b>	Impactos antrópicos sobre as águas em decorrência do tipo de uso do solo	.13
<b>Quadro 2.2</b>	Fontes de alguns elementos-traço em águas naturais e seus efeitos	.22
<b>Quadro 3.1</b>	Pontos das coletas e suas coordenadas, em UTM	.27
<b>Quadro 3.2</b>	Data e horário das coletas realizadas	.37
<b>Quadro 3.3</b>	Informações sobre coleta, preservação e prazo de validade	.40
<b>Quadro 3.4</b>	Parâmetros para cálculo do IQA	.53
<b>Quadro 3.5</b>	Nível de Qualidade da Água	.54
<b>Quadro 3.6</b>	Valores máximos permitidos para os metais tóxicos, segundo a resolução CONAMA 357/2005	.55
<b>Quadro 4.1</b>	Resultados de Oxigênio Dissolvido	.68
<b>Quadro 4.2</b>	Resultados de Nitrogênio Total, em mg.L <sup>-1</sup>	81
<b>Quadro 4.3</b>	Resultados de Fósforo Total	82
<b>Quadro 4.4</b>	Índice de Toxidez para as quatro campanhas em maré alta e baixa.	93
<b>Quadro 4.5</b>	Média e Desvio Padrão (DP) para análise de metais no Estuário Jundiaí-Potengi adaptado de Araújo, 2005	. 94

## LISTA DE ABREVIATURA

IQA – Índice de Qualidade da Água

IT – Índice de Toxicidez

DQO – Demanda Química de Oxigênio

DBO – Demanda Bioquímica de Oxigênio

OD – Oxigênio Dissolvido

%OD – Oxigênio Dissolvido e sua Saturação

TOG – Teor de Óleos e Graxas

COT – Carbono Orgânico Total

MO – Matéria Orgânica

pH – Potencial Hidrogeniônico

ICP-OES – Espectroscopia de Emissão com Fonte de Plasma Indutivamente Acoplado

AAS – Espectrometria de Absorção Atômica

DP – Desvio Padrão

LD – Limite de Detecção

ppm – Partes por Milhão

ppb – Partes por Bilhão

ppt – Partes por Trilhão

$\mu\text{M}$  – Micrômetros

$\mu\text{g.L}^{-1}$  – Microgramas por Litro

$\text{mg.L}^{-1}$  – Miligrama por Litro

$\text{m}^3$  – Metros Cúbicos

UNT – Unidade Nefelométrica de Turbidez

$\text{mg (Pt-Co).L}^{-1}$  – Miligrama de Platina-Cobalto por Litro

IQA-NSF – Índice de Qualidade da Água pela National Sanitation Foundation

SITEL – Sistema de Tratamento de Efluentes Líquidos

ENSEG – Indústria Alimentícia LTDA

DIN – Distrito Industrial de Natal

CAERN – Companhia de Águas e Esgotos do RN

SERHID – Secretaria de Recursos Hídricos

OMS – Organização Mundial da Saúde

PNRH – Política Nacional de Recursos Hídricos

IDEMA – Instituto de Defesa do Meio Ambiente

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente

CETESB – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental

FUNPEC – Fundação Norte Riograndense de Pesquisa e Cultura

GPS – Global Position Search

UTM – Universal Transverse Mercator

APHA – American Public Health Association

EPA – United States Environmental Protection Agency

## SUMÁRIO

1	<b>INTRODUÇÃO</b>	1
2	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b>	4
2.1	O HISTÓRICO DAS ÁGUAS	4
2.2	ASPECTOS LEGAIS SOBRE OS RECURSOS HÍDRICOS NO BRASIL	5
2.2.1	<b>Classificação das águas</b>	6
2.3	ESTUÁRIOS	8
2.3.1	<b>Transporte de Poluentes em Sistemas Estuarinos</b>	10
2.4	QUALIDADE DAS ÁGUAS	11
2.4.1	<b>O uso das águas</b>	12
2.4.2	<b>Interferência Antrópica sobre a Qualidade das Águas</b>	12
2.4.3	<b>Índice de Qualidade das Águas</b>	14
2.4.3.1	Indicadores de Qualidade das Águas em Estuários	14
2.4.3.1.1	<u><b>Temperatura</b></u>	15
2.4.3.1.2	<u><b>Salinidade</b></u>	15
2.4.3.1.3	<u><b>Potencial Hidrogeniônico</b></u>	15
2.4.3.1.4	<u><b>Oxigênio Dissolvido e sua Saturação (OD e %OD)</b></u>	15
2.4.3.1.5	<u><b>Demanda Bioquímica de Oxigênio</b></u>	16
2.4.3.1.6	<u><b>Demanda Química de Oxigênio</b></u>	16
2.4.3.1.7	<u><b>Carbono Orgânico Total</b></u>	16
2.4.3.1.8	<u><b>Material em Suspensão</b></u>	17
2.4.3.1.9	<u><b>Cor</b></u>	17
2.4.3.1.10	<u><b>Turbidez</b></u>	17
2.4.3.1.11	<u><b>Coliformes Termotolerantes</b></u>	18
2.4.2.1.12	<u><b>Nutrientes Dissolvidos</b></u>	18
2.4.4	<b>Índice de Toxidez - Metais Pesados</b>	20
2.4.4.1	Origem dos Metais em Águas	23
2.5	ÁREA DE ESTUDO	25
2.5.1	<b>Estuário Potengi</b>	25
2.5.1.1	Rio potengi	25

2.5.1.2	Rio Jundiá	26
3	<b>MATERIAIS E MÉTODOS</b>	27
3.1	LOCAIS DE AMOSTRAGEM	27
3.2	COLETA DE AMOSTRAS	37
3.3	DETERMINAÇÕES DAS VARIÁVEIS PARA O DIAGNÓSTICO AMBIENTAL - METODOLOGIAS DE ANÁLISES	41
3.3.1	<b>Salinidade</b>	41
3.3.2	<b>Sólidos Totais</b>	41
3.3.2.1	Sólidos Dissolvidos	41
3.3.2.2	Sólidos Suspensos	42
3.3.3	<b>Turbidez</b>	42
3.3.4	<b>Cor verdadeira</b>	42
3.3.5	<b>Temperatura</b>	43
3.3.6	<b>Potencial Hidrogeniônico (pH)</b>	43
3.3.7	<b>Oxigênio Dissolvido</b>	43
3.3.8	<b>Demanda Química de Oxigênio (DQO)</b>	43
3.3.9	<b>Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO)</b>	44
3.3.10	<b>Carbono Orgânico Total (COT)</b>	44
3.3.11	<b>Coliformes termotolerantes</b>	44
3.3.12	<b>Nitrogênio</b>	45
3.3.12.1	Nitrogênio Amoniacal	45
3.3.12.2	Nitrito e Nitrato	45
3.3.13	<b>Fósforo Total</b>	46
3.3.14	<b>Teor de Óleos e Graxas</b>	47
3.3.15	<b>Metais Traços</b>	47
3.3.15.1	Digestão Ácida por Microondas	47
3.3.15.2	Análise por ICP-OES	48
3.4	DETERMINAÇÃO DO ÍNDICE DE QUALIDADE DAS ÁGUAS	53
3.5	DETERMINAÇÃO DO ÍNDICE DE TOXICIDADE (IT)	55
4	<b>RESULTADO E DISCUSSÃO</b>	56
4.1	SALINIDADE	56

4.2	SÓLIDOS TOTAIS	58
4.2.1	<b>Sólidos Dissolvidos</b>	58
4.2.2	<b>Sólidos Suspensos</b>	59
4.3	TURBIDEZ	61
4.4	COR VERDADEIRA	63
4.5	TEMPERATURA	65
4.6	POTENCIAL HIDROGENIÔNICO	66
4.7	OXIGÊNIO DISSOLVIDO	68
4.8	DEMANDA QUÍMICA E BIOQUÍMICA DE OXIGÊNIO	70
4.9	CARBONO ORGÂNICO TOTAL	72
4.10	COLIFORMES TERMOTOLERANTES	74
4.11	NITROGÊNIO	76
4.12	FÓSFORO TOTAL	82
4.13	TEOR DE ÓLEOS E GRAXAS	84
4.14	ÍNDICE DE QUALIDADE DA ÁGUA	85
4.15	METAIS TRAÇOS - ÍNDICE DE TOXIDEZ	87
5	<b>CONCLUSÕES</b>	96
	<b>REFERÊNCIA</b>	99
	<b>ANEXO</b>	103

---

## 1 INTRODUÇÃO

---

*“O mundo está nas mãos daqueles que têm coragem de sonhar, e correr os riscos de viver seus sonhos. Cada qual com seu talento.”*

*(Paulo Coelho)*

## 1 INTRODUÇÃO

O espaço natural do planeta tem sido transformado ao longo de toda a trajetória da ocupação humana. Historicamente, as civilizações, desde os tempos mais remotos, habitaram preferencialmente as margens de corpos hídricos, tais como rios, lagos, lagoas, lagunas, estuários e regiões litorâneas, devido à necessidade de água e de seus recursos vivos e minerais para a sobrevivência das populações humanas. Além disso, os corpos hídricos são fundamentais para a navegação. Por esses motivos, os maiores adensamentos populacionais localizam-se nas regiões litorâneas e ao redor de corpos d'água em todo o mundo.

As atividades antrópicas responsáveis por tais alterações no meio natural foram intensificadas, com a aceleração do processo de desenvolvimento industrial e urbano, especialmente após a Segunda Guerra Mundial, tornando-se mais impactantes para o meio ambiente. O crescente processo de degradação ambiental, a partir de então, desencadeou altos níveis de poluição industrial e contaminação de recursos hídricos, afetando diretamente a qualidade de vida da população em geral. Em relação aos recursos hídricos, os principais problemas recorrentes estão associados à super exploração dos corpos d'água e à sua contaminação. A utilização indevida dos corpos d'água, como receptores de esgotos domésticos, lixo, rejeitos industriais e agrícolas, tem comprometido sua utilização, especialmente nas zonas costeiras e nos grandes centros industriais.

Segundo Cunha (2004) a Frente Marítima de Natal está afetada por intensas modificações ocorridas no decorrer do último século sendo estas agravadas, nos últimos decênios, em função do crescimento desordenado da cidade e ausência de políticas públicas que focalizassem os problemas relacionados à gestão ambiental. Sua área costeira apresenta usos múltiplos, que se revestem da maior importância para o suporte do desenvolvimento do Estado do Rio Grande do Norte, em especial o centro dinâmico da Região Metropolitana de Natal, com inegáveis reflexos no plano social. Em termos de equilíbrio antrópico, na região de Natal, a manutenção do razoável grau de harmonização de usos múltiplos na costa é essencial ao seu desenvolvimento sustentado. A franja urbana, diretamente ligada à frente estuarina, apresenta um acentuado

grau de degradação devido sua maior proximidade com os centros urbanos mais antigos, marco de fundação do Município, a Fortaleza dos Reis Magos, bem como a estrutura portuária da cidade. Porém, em decorrência de sua desvalorização histórica, a margem estuarina consolidou-se com ocupações conflituosas e pontuadas por bolsões de pobreza que se formaram aproveitando a marginalização cultural dessa paisagem, ao longo do processo de expansão e consolidação da trama mais antiga da cidade, sem respeito aos condicionantes que garantem o equilíbrio ecológico.

Além das inconveniências decorrentes da ocupação desordenada de espaços extremamente importantes para o equilíbrio ecológico da interface entre os ambientes aquáticos e terrestres, a Frente Marítima de Natal incorporou diversos problemas advindos da ausência de planejamento para sua ocupação, traduzidos pelos seguintes pontos (CUNHA, 2004):

- Lançamento de grande carga de esgotos domésticos no Estuário Potengi, com uma carga orgânica da ordem de  $20.717\text{m}^3/\text{dia}$ , sem tratamento prévio, e de lançamentos industriais com teores de alguns metais pesados (chumbo, níquel e zinco) acima do máximo permitido;
- Presença de assentamentos subnormais (favelas), 12 no total, com 2.480 domicílios, somando uma população aproximada de 12.312 habitantes, em áreas de planície fluvio-estuarina, sob influência das marés;
- Acentuado desequilíbrio dos processos costeiros, resultando no desaparecimento de praias e destruição ocasional de estruturas viárias, situadas na orla marítima;
- Desmatamentos e utilização predatória dos manguezais para criação de viveiros de camarão.

O estuário Potengi-Jundiaí tem uma grande importância, devido a seu potencial cênico, turístico, e principalmente pesqueiro/aquícola, onde tem sido palco da experiência pioneira, do cultivo de camarão em viveiros, desde a década de 70, sendo hoje, o Rio Grande do Norte, o maior produtor brasileiro de camarão, com uma produção em 2002, de 17.500 toneladas, sendo que 11.370 foram exportadas. A projeção da ABCC do crescimento da carcinicultura nos próximos anos é de que em 2010, se atinja US\$ 1 bi em exportações, presumindo um crescimento apenas moderado (BALDI, 2006).

No conceito de desenvolvimento sustentável, verifica-se que o Estuário em questão exerce um papel fundamental de sustentação das atividades urbanas e turísticas, com significativo reflexo no equilíbrio socioeconômico da região de Natal. Além da população que tem atividades de subsistência diretamente ligadas ao estuário, como é o caso específico da comunidade de pescadores, o estuário tem um importante papel no abastecimento de gêneros e combustíveis e no escoamento da produção primária e secundária do Estado.

Infelizmente, todas essas formas de uso têm conseqüências desastrosas, quando feitas de forma desordenada, como é o caso das cidades de Natal e Macaíba, onde está localizada a área de estudo. A qualidade da água pode ser comprometida com a adição de poluentes e agentes poluidores. Dessa forma, a realização de um estudo sobre qualidade da água é essencial para permitir uma avaliação sobre as reais e atuais condições dos recursos hídricos em questão e servir como base para o desenvolvimento de programas de conservação ambiental que proporcionem ao município o desenvolvimento de suas atividades econômicas de forma sustentável.

Neste contexto, este trabalho tem como objetivo avaliar os efeitos das intervenções antrópicas sobre a qualidade das águas do estuário Potengi-Jundiá; realizar um monitoramento da qualidade físico-química e microbiológica da água, por meio da aplicação do índice de qualidade da água (IQA) e do Índice de Toxidez (IT); diagnosticar as fontes de poluição que interferem na qualidade das águas, por meio da análise individual dos parâmetros monitorados e propor um plano de gestão de monitoramento integrada com órgãos como o ministério público do estado do Rio Grande do Norte do IDEMA-RN.

---

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

---

*“A única coisa que vale a pena é fixar o olhar com mais atenção no presente; o futuro chegará sozinho, inesperadamente. É tolo quem pensa no futuro antes de pensar no presente”.*

*(Nikolai Gogol)*

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 O HISTÓRICO DAS ÁGUAS

A água é fundamental para a manutenção da vida e os  $1,36 \times 10^{18} \text{ m}^3$  disponíveis existentes na Terra está distribuída no nosso planeta sendo 97% de água do mar, 2,2% na forma de geleiras e 0,8% de água doce. Desta pequena fração de 0,8%, 97% são subterrâneas, sendo apenas 3% na forma de água superficial. Este valor ressalta a grande importância de se preservar os recursos hídricos na Terra e de se evitar a contaminação da pequena fração mais facilmente disponível (SPERLING, 1996).

Á água é constituinte de 75% da superfície da Terra e é o composto inorgânico de maior abundância na matéria viva, integrando aproximadamente dois terços do corpo humano e atingindo até 98% em certos animais aquáticos, legumes, frutas e verduras, pois é o solvente universal da maioria das substâncias, modificando-as e modificando-se em função destas. Aliada a capacidade de dissolução, a água atua como meio de transporte - em escoamento superficial e subterrâneo - permitindo que as características de um mesmo curso d'água alterem-se temporal e espacialmente (LIBÂNIO, 2005).

Desse modo, os ambientes aquáticos que são *habitat* de muitos organismos da fauna e da flora e comportam uma alta diversidade de espécies ficaram vulneráveis ao impacto das atividades antropogênicas (lançamentos de efluentes e emissões urbanas, rurais e industriais), seja pelo simples aporte de matéria orgânica, seja pelo aporte de contaminantes orgânicos ou inorgânicos, sintéticos ou naturais (WEBER, 1992).

A interferência do homem, quer de uma forma concentrada, como na geração de despejos domésticos ou industriais, quer de uma forma dispersa, como na aplicação de defensivos agrícolas no solo, contribui na introdução de compostos na água, afetando a sua qualidade. Portanto, a forma em que o homem usa e ocupa o solo tem uma implicação direta na qualidade da água (SPERLING, 1996).

Estima-se que há a 10000 anos, com a revolução da agricultura, o ser humano começou a abandonar a caça como principal fonte de sustento, renunciando ao nomadismo, e indo a busca de fontes de abastecimento

culminando com o estabelecimento dos primeiros povoados às margens dos cursos de água (LIBÂNIO, 2005).

Após a Segunda Guerra Mundial, com os incrementos do capital das transnacionais e dos investimentos de governo em infra-estrutura nos grandes centros urbanos, o processo de urbanização sofre um crescimento acelerado e descontrolado. A partir disso os problemas surgem e toma um vulto ainda maior, aumentando a pobreza, o desemprego, a favelização, a concentração de renda, a periferia e a poluição ambiental passando então a serem motivos de preocupação até então ignoradas pelos órgãos ambientais e elites (CERETTA, 2004).

Um relatório da Organização Mundial de Saúde (OMS) *apud* Ceretta, (2004) transcreve que:

Desde que o uso do solo tem sido tradicionalmente a chave para o planejamento metropolitano, deve ser considerado a sua interação com o sistema de abastecimento de água, de coleta e disposição de esgoto, drenagem, transporte, coleta e disposição de lixo, poluição da água, do solo e do ar, entre outros.

Infelizmente o inter-relacionamento tem sido entre o planejamento e o saneamento. Somente na área de preservação dos recursos hídricos tem ocorrido uma preocupação de relacionar o uso e ocupação do solo com a qualidade da água.

## 2.2 ASPECTOS LEGAIS SOBRE OS RECURSOS HÍDRICOS NO BRASIL

A água pode ter usos múltiplos, decorrendo daí à satisfação simultânea dos diversos critérios de qualidade.

Pode-se assim verificar que, em função da utilização que a água vai ter, existem diversos parâmetros de qualidade a serem respeitados.

A resolução normativa do CONAMA nº 357/2005 estabelece a classificação das águas, segundo a sua utilização, definindo os parâmetros de qualidade a serem atendidos para cada classe.

Por ser um recurso finito e ser necessário para todos nós ela deve ser preservada. Uma forma de reduzir o consumo da água é cobrando pelo seu uso.

A PNRH (Política Nacional de Recursos Hídricos) estabelece, em seu artigo 1º que a água é um bem de domínio público e que é um recurso natural limitado, dotado de valor econômico.

### **2.2.1 Classificação das Águas**

O CONAMA, em sua resolução nº 357/2005, classifica os recursos hídricos, segundo seus usos preponderantes, em 13 classes:

#### Águas Doces

##### a) Classe Especial

- Para o abastecimento doméstico com desinfecção simplificada;
- A preservação do equilíbrio natural das espécies aquáticas;
- A preservação dos ambientes aquáticos em unidades de preservação.

##### b) Classe 1

- Abastecimento doméstico após tratamento simplificado;
- Proteção de comunidades aquáticas;
- Irrigação de frutas e hortaliças consumidas cruas;
- Recreação de contato primário (natação, esqui, etc.);
- À proteção de comunidades aquáticas em Terras Indígenas.

##### c) Classe 2

- Abastecimento doméstico após tratamento convencional;
- Proteção de comunidades aquáticas;
- Recreação de contato primário;
- Irrigação de frutas e hortaliças consumidas cruas;
- Aqüicultura.

##### d) Classe 3

- Abastecimento doméstico após tratamento convencional ou avançado;
- Irrigação de culturas arbóreas, cerealíferas e forrageiras;
- À pesca amadora;

- À recreação de contato secundário;
- Dessedentação de animais.

e) Classe 4

- Navegação;
- Harmonia Paisagística.

Águas Salinas

f) Classe especial

- À preservação dos ambientes aquáticos em unidades de preservação.

g) Classe 1

- Recreação de contato primário;
- Proteção de comunidades aquáticas;
- Aqüicultura.

h) Classe 2

- À pesca amadora;
- Recreação de contato secundário.

i) Classe 3

- Navegação;
- À harmonia paisagística.

Águas Salobras

j) Classe especial

- À preservação dos ambientes aquáticos em unidades de preservação;
- À preservação do equilíbrio natural das comunidades aquáticas.

l) Classe 1

- Recreação de contato primário;
- Proteção de comunidades aquáticas;
- Aqüicultura;

- Abastecimento doméstico após tratamento convencional ou avançado;
- À irrigação de hortaliças e frutas que venham a ser ingeridas cruas.

m) Classe 2

- À pesca amadora;
- Recreação de contato secundário.

n) Classe 3

- Navegação comercial;
- Harmonia paisagística.

As águas doces e salobras até a classe 3 podem ser utilizadas para abastecimento humano (potável) após o tratamento adequado. Uma vez realizado este tratamento, ela deve atender à portaria 518 do Ministério da Saúde que apresenta as normas e o padrão de potabilidade da água destinada ao consumo humano.

### 2.3 ESTUÁRIOS

Um estuário é um corpo d'água parcialmente encerrado, que se forma quando as águas doces provenientes de rios e córregos fluem até o oceano e se misturam com a água salgada do mar. Os estuários e as áreas circundantes são áreas de transição entre a terra e o mar, entre água doce e salgada (USEPA, 2007).

Os estuários constituem os únicos sistemas costeiros semi-fechados onde ocorre interação dinâmica entre as águas doces, as águas marinhas, o sistema terrestre e a atmosfera. Estes ambientes apresentam características únicas que resultam em elevada produtividade biológica, o que os torna uma importante zona de alimentação para numerosas formas juvenis de peixes e crustáceos de relevância comercial. Para algumas espécies migratórias, os estuários são pontos de passagem obrigatórios entre o meio marinho e o fluvial. Além da importância ecológica, os estuários geram bens e serviços para as comunidades locais (CLARK, 2001 *apud* BARBOSA, 2006).

Estes sistemas são extremamente dinâmicos, que se movem e mudam constantemente em resposta aos ventos, às marés e ao escoamento do rio, daí

que a compreensão do transporte e destino de poluentes nestes sistemas requer um conhecimento dos processos físicos, químicos e biológicos que neste ocorrem, além das propriedades dos próprios contaminantes (FERNANDES, 2001).

Os estuários e suas áreas adjacentes, tais como pântanos salgados, manguezais, planícies de lama e águas costeiras, são de grande importância ecológica e estão entre os ecossistemas mais produtivos do planeta (ODUM, 1986). Por serem ambientes de transição entre o continente e o oceano e sofrerem uma intensa pressão de ocupação humana, as consequências ambientais de impactos antropogênicos costumam ser mais graves nestes que em outros ambientes (KENNISH *apud* DEL ROSSO, 2005).

A ligação permanente com o mar possibilita a propagação da maré e a entrada de água salgada no estuário. Esta interação dos processos marinho e fluvial constitui uma característica essencial dos estuários, não havendo, entretanto, acúmulo de água doce em seu interior. As variações de salinidade decorrem das variações dos afluxos de água salgada, que tem como agente físico a penetração da maré. A grande variabilidade da salinidade e a instabilidade de seus fatores ambientais são aspectos inerentes aos estuários. Os gradientes de salinidade conferem as mesmas condições químicas e bióticas peculiares desses sistemas (SILVA, 2000).

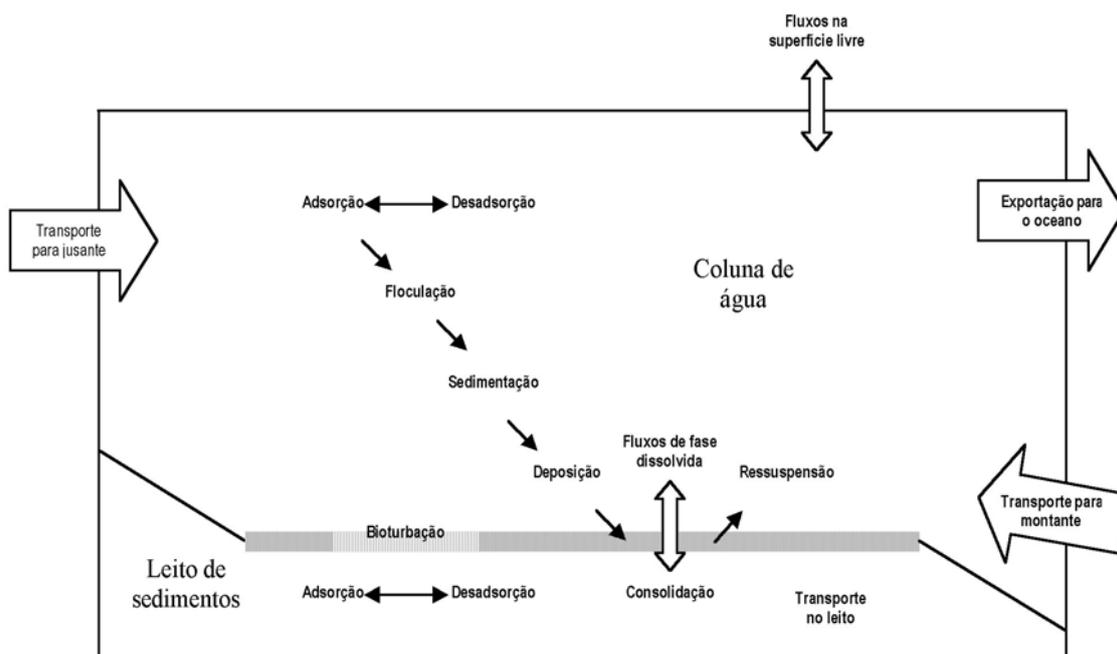
As margens dos estuários são, em geral, locais privilegiados para a implantação de atividades urbanas, industriais, portuárias, pesqueiras, de exploração mineral, turísticas, assim como para a prática de agricultura, o que conduz a uma pressão urbanística bastante acentuada. Associados a esta ocupação, a área envolvente do estuário é caracterizada pelo seu múltiplo uso e com isto, surgindo os impactos causados por atividades antrópicas que podem modificar as características originais destes ecossistemas (KENNISH *apud* BARBOSA, 2006)

É reconhecida a importância dos sistemas estuarinos pela sua capacidade de depuração e pelo papel crucial que desempenham ao nível da sustentabilidade ecológica, através dos complexos processos físicos e biogeoquímicos que ocorrem e que proporcionam elevadas produtividades biológicas e abrigo para muitas espécies em idade juvenil.

Existe cada vez maior conscientização dos impactos negativos sobre estes ecossistemas aquáticos provocados pela introdução de metais pesados, metalóides, pesticidas, entre outros, como também do potencial toxicológico que esta contaminação representa para os humanos. Daí que a comunidade científica tenha, ao longo das últimas décadas, virado os seus olhos para o problema crítico, em termos de qualidade da água, que representa a entrada por rota pontual ou difusa de poluentes de origem industrial, agrícola ou urbana nos estuários e os mecanismos que influenciam a sua circulação neste meio. Muitos destes sistemas encontram-se sujeitos as contaminações crônicas, devido a descargas contínuas ao longo de décadas. Este tipo de contaminação não apresenta geralmente efeitos visíveis, mas, por ser tão disseminado e por ocorrer de forma regular, pode ser mais importante numa escala global e em longo prazo do que outros eventos de poluição, mais visíveis e com mortalidades localizadas (FERNANDES, 2001).

### **2.3.1 Transporte de Poluentes em Sistemas Estuarinos**

Segundo Fernandes (2001) numa perspectiva cíclica, um poluente, entrando num estuário por rota pontual ou difusa, é controlado pela hidrodinâmica resultante do encontro do rio com o oceano sob a influência das marés, distribuindo-se por duas fases, dissolvida e particulada, de acordo com as condições ambientais. A fase particulada está associada às partículas em suspensão, podendo por isso acabar por se depositar no fundo, tendo aí o seu destino final, ou se ressuspendidos os sedimentos, voltar a ser mobilizada para a coluna de água. A fase dissolvida circula no estuário, dependendo do equilíbrio com a fase particulada, podendo receber contribuições importantes das águas intersticiais contaminadas pela concentração de poluentes no leito de sedimentos, sendo por fim exportada para o oceano. Este processo pode ser mais facilmente visualizado na figura 2.1 a seguir:



Fonte: Adaptado de Fernandes, 2001.

**Figura 2.1** - Processos envolvidos no transporte de poluentes em Estuários

A hidrodinâmica é a principal força motriz no transporte de substâncias químicas (poluentes, nutrientes), biológicas (fitoplâncton, zooplâncton) e geológicas (sedimentos) num estuário.

## 2.4 QUALIDADE DAS ÁGUAS

A noção de qualidade das águas está ligada aos objetivos de uso atribuídos aos corpos d'água. De forma que estes usos exigem diferentes níveis de qualidade de água, que variam em função da finalidade pretendida a uma determinada água (SPERLING, 1996)

Por se tratar de um ambiente com grande influência das marés, os estuários têm característica predominantemente salobra e salina, variando com a proximidade da sua foz, devendo então sua qualidade ser avaliada de acordo com essas características.

Segundo os padrões de qualidade contidos na resolução do CONAMA nº 357/2005, devemos avaliar nosso sistema de acordo com a classe 1, que destina águas salinas para uso em recreação de contato primário, conforme resolução CONAMA nº 274/2000, à proteção das comunidades aquáticas, à aqüicultura, à atividade de pesca e águas salobras à recreação de contato primário, ao

abastecimento para consumo humano após tratamento convencional ou avançado e à irrigação de hortaliças que são consumidas cruas e de frutas que se desenvolvam rentes ao solo e que sejam ingeridas cruas sem remoção de película, e à irrigação.

#### **2.4.1 O uso das Águas**

Em contraposição à qualidade existente de uma determinada água, tem-se a qualidade desejável para esta água. *A qualidade desejável para uma água é função do seu uso previsto* (SPERLING, 1996).

Segundo este autor, as principais formas de uso da água são as seguintes:

- Abastecimento doméstico;
- Abastecimento industrial;
- Irrigação;
- Dessedentação de animais;
- Aqüicultura;
- Preservação da flora e da fauna;
- Recreação e lazer;
- Harmonia paisagística;
- Geração de energia elétrica;
- Navegação;
- Diluição de despejos.

Destes usos, os quatro primeiros implicam na retirada de água do local onde se encontram. Os demais usos são desempenhados no próprio curso d'água.

#### **2.4.2 Interferência Antrópica sobre a Qualidade das Águas**

Resumidamente, alguns dos principais impactos antrópicos sobre as águas em decorrência do tipo de uso do solo encontram-se no quadro 2.1 a seguir:

**Quadro 2.1** - Impactos antrópicos sobre as águas em decorrência do tipo de uso do solo

Uso	Impacto sobre as águas	Parâmetros alterados
Agricultura	Contaminação por agrotóxicos, eutrofização e assoreamento	Fósforo, nitrito, nitrato e metais pesados
Pecuária	Contaminação microbiológica	Coliformes fecais e totais
Mineração	Assoreamento e contaminação por metais pesados	Turbidez, pH, sólidos em suspensão, OD, DBO e metais
Indústria	Contaminação por efluentes	Turbidez, pH, OD, DBO, temperatura e metais
Urbanização	Assoreamento, contaminação por efluentes domésticos e industriais	Coliformes fecais e totais, DBO e OD

Fonte: Adaptado de Barbieri et al, *apud* Lopes ( 2007)

Os rios urbanos são os que mais sofrem agressões, através do lançamento de esgotos “in natura” ou mesmo servindo como área de deposição de lixo de naturezas diversas, tais como: domésticos, hospitalares ou industriais (TUCCI, 2004)

Os resíduos de atividades antrópicas mais comuns na zona costeira são provenientes de esgotos domésticos e industriais. Contaminantes tipicamente associados a esses resíduos incluem os metais traço e os nutrientes fosfatados e nitrogenados. Como em geral os estuários estão localizados na interface entre ecossistemas terrestres e aquáticos, representam um risco adicional para a contaminação ambiental local (BARBOSA, 2006).

### 2.4.3 Índice de Qualidade das Águas – IQA

A utilização de índices de qualidade da água tem crescido ao longo dos últimos anos, devido à sua aplicabilidade em transmitir informações sobre o grau de poluição de mananciais utilizados pela comunidade (BENETTI & BIDONE, 2001). O índice consiste, basicamente, em uma média ponderada, na qual o resultado de múltiplos testes é representado em um único valor. Este índice tornou-se uma importante ferramenta para a avaliação da qualidade das águas em diversos pontos de rios e lagos ao longo do tempo. Mas apesar do IQA apresentar a vantagem de sumarizar, em um único valor, as nove variáveis utilizadas em seu cálculo, favorecendo a interpretação, compreensão e divulgação dos resultados, há uma perda na interpretação das variáveis individuais. Além disso, os efeitos originários de outras fontes de poluentes, não são representados, tendo em vista que este índice foi desenvolvido para avaliar o impacto dos esgotos domésticos nas águas de abastecimento público

No Brasil, este índice é utilizado pela CETESB desde 1975, tendo sido adaptado do original adotado pela *National Sanitation Foundation* (NSF). O IQA adotado pela CETESB considera o nitrogênio total, em vez do nitrogênio nitrato, devido à presença do nitrogênio nas águas em outras formas, tais como o nitrogênio orgânico e o amoniacal. No entanto, é possível aplicar a curva de nitrogênio total para os valores de nitrato, caso seja esta a forma preponderante nos rios (LOPES, 2007).

#### 2.4.3.1 Indicadores de Qualidade das Águas em Estuários: descrição e importância

##### 2.4.3.1.1 Temperatura

A temperatura influencia nas interações dos poluentes com o sistema aquático. Segundo Cunha (1982) a temperatura das águas estuarinas é função das condições meteorológicas e da profundidade do estuário, constituindo um fator controlador nos processos bioquímicos dos organismos, na solubilidade dos gases entre a água intersticial e coluna d'água. As águas superficiais, em geral, são aquecidas *in situ* pela radiação solar. As trocas de calor entre as águas

fluviais e marinhas produzem variações de temperatura nos estuários, envolvendo fatores como ventilação, correntes de maré, profundidade, situação geográfica do estuário, entre outros.

O aumento da temperatura provoca a diminuição da solubilidade dos gases e acelera o metabolismo dos organismos, acarretando na redução da quantidade de oxigênio dissolvido da água (AZEVEDO, 1999).

#### 2.4.3.1.2 **Salinidade**

A salinidade é a concentração de sais minerais dissolvidos na água. Sendo de fundamental importância em estudos em regiões estuarinas e costeiras, pois a mesma é função direta da propagação das ondas de maré e do volume de contribuição fluvial, além de atuar diretamente sobre a liberação e/ou remoção de elementos na coluna d'água e nas interfaces. Isso torna ao estuário totalmente instável sobre o ponto de vista químico (BARBOSA, 2006).

#### 2.4.3.1.3 **Potencial Hidrogeniônico (pH)**

O pH é a medida da atividade iônica do hidrogênio, representando o balanço entre ácidos e bases nas soluções. Desta forma, ele governa a solubilidade das espécies químicas nos sistemas aquáticos, sendo um dos fatores ecológicos que age como controlador das atividades respiratórias dos animais e plantas, regulando os principais processos metabólicos nos seres vivos em águas naturais. As variações de pH no meio aquático estão relacionadas com a dissolução de rochas, absorção de gases da atmosfera, oxidação da matéria orgânica (BARBOSA, 2006; SPERLING, 1996).

#### 2.4.3.1.4 **Oxigênio Dissolvido e sua Saturação (OD e %OD)**

O oxigênio dissolvido é um dos gases mais importantes para o ecossistema aquático, por ser vital aos organismos aeróbios no processo da respiração, fotossíntese e decomposição da matéria orgânica detritica. Na superfície é maior a quantidade deste gás devido à proximidade com a atmosfera, sendo esta a fonte principal dos gases nos oceanos, fotossíntese e processos físicos. A

diminuição dos teores de OD nos ecossistemas aquáticos pode ocorrer devido a vários fatores, como decomposição da matéria (oxidação), oxidação de sulfetos, processos de nitrificação e respiração dos organismos aquáticos (BARBOSA, 2006)

De acordo com Sperling (1996) o oxigênio dissolvido é o principal parâmetro para a caracterização de poluição orgânica, como os esgotos domésticos.

#### **2.4.3.1.5 Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO)**

O principal efeito ecológico da poluição orgânica em um curso d'água é o decréscimo dos teores de oxigênio dissolvido.

Nos processos aeróbicos é fundamental o adequado fornecimento de oxigênio para que os microorganismos possam degradar a matéria orgânica.

A demanda bioquímica de oxigênio consiste na quantidade de oxigênio dissolvido gasta para a oxidação da matéria orgânica pela decomposição microbiana aeróbica em uma forma inorgânica estável. Os maiores valores de DBO em corpos d'água estão associados a despejos de efluentes de composição essencialmente orgânica (BAIRD, 2002)

#### **2.4.3.1.6 Demanda Química de Oxigênio (DQO)**

A DQO é extensivamente utilizada para caracterizar a fração orgânica de um esgoto ou corpo d'água. O teste da DQO mede o consumo de oxigênio ocorrido durante a oxidação química da matéria orgânica, indicando assim indiretamente o teor de matéria orgânica presente.

#### **2.4.3.1.7 Carbono Orgânico Total (COT)**

Como um dos indicadores da concentração de matéria orgânica nas águas naturais, o Carbono Orgânico Total divide-se em frações referentes às parcelas dissolvidas ou particuladas. Em águas superficiais, o teor de COT varia de 1 a 20 mg.L<sup>-1</sup>, elevando-se para até 1000 mg.L<sup>-1</sup> nas águas residuárias. Dessa forma, uma alteração significativa desse parâmetro constitui-se em indicativo de novas

fontes e balizador das análises a serem realizadas, tais como cor verdadeira, clorofila *a*, fósforo total etc.

#### 2.4.3.1.8 **Material em Suspensão**

Uma característica bastante geral nos ecossistemas estuarinos é a grande quantidade de partículas em suspensão que se encontram na região de transição entre as águas doce e salgada (EISMA, apud BARBOSA, 2006). Altas concentrações de material em suspensão limitam a qualidade da água, por estarem relacionadas com a turbidez, dureza, salinidade e corrosão. O material em suspensão influi no aspecto estético, pode alterar a natureza do sedimento de fundo, assorear canais de navegação, diminuir a penetração de luz na coluna de água e ainda favorecer processos de adsorção de fosfato. Águas estuarinas são naturalmente mais ricas em material em suspensão do que as águas marinhas, devido às maiores intensidades das fontes e maior produtividade primária e secundária (BAUMGARTEN *et al.*, 2001).

#### 2.4.3.1.9 **Cor**

Responsável pela coloração da água é constituída por material sólido dissolvido. Ela pode ser de origem natural (decomposição da matéria orgânica gerando ácido húmico e fúlvico ou pela presença de Fe ou Mn) ou de origem antropogênica (resíduos industriais como corantes ou esgotos domésticos).

Quando de origem natural, não representa risco direto à saúde. Já a de origem industrial pode ou não ser tóxica. Este parâmetro é utilizado geralmente para águas brutas e tratadas. A cor aparente inclui a turbidez. Após a centrifugação, elimina-se esta e se obtém a cor verdadeira. A cor produzida por 1 mg.L<sup>-1</sup> de platina em combinação com 0,5 mg L<sup>-1</sup> de cobalto metálico é considerada a unidade padrão de cor (coloração amarela amarronzada).

#### 2.4.3.1.10 **Turbidez**

Representa o grau de interferência com a passagem da luz através da água, conferindo uma aparência turva à mesma. A fonte dela são os sólidos em

suspensão que podem ser de origem natural (partículas de rocha, areia e silte, além de algas e outros minerais) ou antropogênica (despejos domésticos, industriais, microorganismos e erosão).

A turbidez de origem natural não representa riscos, porém a de origem antropogênica pode estar associada à compostos tóxicos e microorganismos patogênicos. Nos corpos d'água, reduz a penetração da luz, prejudicando a fotossíntese. A unidade mais utilizada é a UNT (ou NTU em inglês) que é Unidade Nefelométrica de Turbidez. O turbidímetro é utilizado neste tipo de medição.

#### 2.4.3.1.11 **Coliformes termotolerantes**

Os coliformes totais correspondem às bactérias que, além do trato intestinal, podem ser encontrados em pastagens, solos e outros locais do organismo. Já os coliformes fecais estão associados às bactérias do trato intestinal, como a *Escherichia coli*, que é utilizada como indicador por ser específica de fezes humanas e outros animais de sangue quente. Estes microorganismos não são patogênicos, mas suas presenças são indicadores da potencialidade da água transmitir doenças.

As razões para a escolha na determinação destes organismos é o grande número contido nas fezes humanas (1/3 a 1/5 do peso das fezes); sendo assim, de fácil detecção.

A presença de coliformes fecais, mesmo não apresentando riscos à saúde humana, indica a possibilidade de existência de outros organismos patogênicos. Como o grupo dos coliformes totais inclui gêneros que não são de origem exclusivamente fecal, isto limita a aplicação como indicador específico de contaminação fecal. Partiu-se então para a determinação de um sub-grupo de coliformes chamados de termotolerantes pela sua capacidade de fermentar a lactose a 44,5°C.

#### 2.4.3.1.12 **Nutrientes Dissolvidos**

Os sistemas estuarinos são os principais fornecedores de nutrientes para região costeira, pois recebem e concentram o material originado de sua bacia de drenagem e podem vir a receber aportes significativos por ação antrópica. Todo

esse aporte de nutrientes coloca os estuários entre os sistemas mais produtivos do mundo, com altas taxas de produção primária e teores de biomassa autótrofa e heterótrofa (PEREIRA FILHO *et al.*, 2001). Esta entrada de nutrientes nas águas estuarinas e costeiras provoca diversas modificações no meio, com aumento da produtividade e rendimento pesqueiro (NIXON, 1980, *et al.*, BARBOSA, 2006). Entretanto, a entrada de origem antrópica freqüentemente se torna muito grande e pode provocar a eutrofização do ambiente, particularmente em situação de circulação restrita (BEUKEMA, 1991). e diminuição dos níveis de oxigênio (PARKER; O'RELLY, 1991).

### **Amônio**

Pode ser originado da excreção dos organismos aquáticos, principalmente de bactérias decompositoras da matéria orgânica protéica, a partir do metabolismo das proteínas, sendo produzido principalmente pela hidrólise da uréia (PARANHOS, *apud* BARBOSA, 2006). O enriquecimento por amônio pode tornar um problema para o equilíbrio do estuário, pois este íon é um dos principais nutrientes utilizados pelos vegetais. Altas concentrações de amônio e fosfato podem desencadear o processo de eutrofização, resultando em florações de espécies oportunistas, com conseqüente diminuição da riqueza de espécies natural do ambiente.

### **Nitrato**

Os nitratos ocorrem naturalmente nas águas por dissolução de rochas, drenagem do solo e decomposição de plantas e animais (JAWORSKI *et al.*, 1992). O nitrato atua como o principal nutriente de suporte para o desenvolvimento do fitoplâncton, e é regenerado por via bacteriana (nitrificação) a partir de formas orgânicas do nitrogênio. A velocidade de regeneração é menor que a de assimilação (utilização) pelos produtores primários, e por isso o íon nitrato pode se tornar um fator limitante ao desenvolvimento das algas. Nos estuários onde os aportes continentais são importantes, as concentrações de nitrato podem atingir até várias dezenas de  $\mu\text{M}$  (BAUMGARTEN *et al.*, 1996). As maiores

concentrações de nitrato decorrem da utilização de fertilizantes e do lançamento de esgotos orgânicos (JAWORSKI *et al.*, 1992).

### **Nitrito**

No ciclo do nitrogênio, os íons nitrito representam o estado de oxidação intermediário entre o amônio e o nitrato. Em fracas concentrações de oxigênio, pode haver redução do nitrato (desnitrificação), elevando as concentrações de nitrito (BAUMGARTEN *et al.*, 1996).

Segundo Baumgarten; Pozza (2001). valores altos de nitrito nas águas significam uma alta atividade bacteriana e carência de oxigênio. Valores altos podem ser encontrados para as águas de saídas de esgotos domésticos e industriais, sendo que o nitrito pode ser utilizado como indicador de poluição orgânica.

### **Fósforo**

O fósforo pode ocorrer em solução, em partículas ou detritos, ou nos corpos de organismos aquáticos (APHA, 1998). O fósforo é encontrado na água geralmente nas formas de ortofosfato, polifosfato e fósforo orgânico. Os ortofosfatos são diretamente disponíveis para os microorganismos (metabolismo biológico) sem a necessidade de conversão às formas mais simples. Os ortofosfatos apresentam-se nas formas  $\text{H}_2\text{PO}_4^{-1}$ ;  $\text{HPO}_4^{-2}$ ;  $\text{PO}_4^{-3}$  e  $\text{H}_3\text{PO}_4$  em função do pH. Na faixa mais usual de pH encontramos a forma  $\text{HPO}_4^{-2}$ .

O  $\text{Na}_2(\text{PO}_3)_6$  é um polifosfato utilizado na fórmula de detergentes sintéticos. Todos os fosfatos gradualmente se hidrolisam na água na forma de orto (estável), enquanto que o decantamento da matéria orgânica se decompõe biologicamente para liberar fosfato.

#### **2.4.4 Índice de Toxidez – Metais Pesados**

Este índice complementa o IQA-NSF. Em geral os índices não consideram a existência de substâncias tóxicas. Brown et al. (1970) recomendam a utilização de um índice de toxidez, cujo valor é 0 ou 1 indicando, respectivamente, a

presença de poluentes acima do seu limite máximo admissível, ou a ausência destes poluentes. O valor de IT deve ser multiplicado pelo IQA, confirmando o seu valor (IT=1), ou anulando o seu valor (IT=0).

Algumas substâncias tóxicas, como metais pesados e pesticidas, apresentam concentrações freqüentemente limitadas espacial e temporalmente a determinadas situações, razão pela qual não podem ser incluídas em índices mais amplos propostos para áreas com diferenças hidrológicas, demográficas ou geológicas. No IQA proposto pela NSF este problema é contornado através de uma variável binária, o Índice de Toxidez (IT), que assume o valor zero, caso um dos elementos tóxicos ultrapasse o limite permitido, ou o valor um (1) em caso contrário. A nota final de um ponto de amostragem será o produto do IQA pelo IT. Em suma: IT=0, quando pelo menos uma substância tóxica ultrapassar os padrões e IT=1, quando nenhuma substância tóxica ultrapassar os padrões.

Os sete metais integrantes do IT são os seguintes: cádmio, chumbo, cobre, mercúrio, "cromo total", níquel e zinco. Os metais ferro e manganês também são analisados, mas foram excluídos do IT, devido à sua baixa toxicidade e as particularidades geológicas da região, que apresentam naturalmente concentrações mais elevadas que os padrões existentes propostos para regiões com características diferentes (PNMA II, 2002).

Os metais pesados são elementos químicos (metais e alguns semi-metais) que possuem densidade superior a  $5 \text{ g.cm}^{-3}$ . São geralmente tóxicos aos organismos vivos sendo, portanto, considerados poluentes. Do ponto de vista químico, a denominação metal pesado não é muito apropriada. Dada a baixa concentração em meios ambientais, são conhecidos freqüentemente como metais traço ou elementos traço (ppm, ppb ou mesmo ppt) (BAIRD, 2002).

Os metais pesados podem ser encontrados na água como resultado de atividades antropogênicas (mineração, metalurgia, esgotos, lixos, uso de combustíveis) ou por atividades vulcânicas. Quando encontrados em teores altos em solos ou sedimentos de rios, podem estar associados a anomalias geoquímicas das rochas, o que determina quais íons serão mais abundantes nas águas dos rios, o que não indicaria poluição antropogênica (BAIRD, 2002; SHRIVER *et al*, 2008).

Quanto a sua toxicidade, os metais pesados podem ser classificados em:

- 1) metais não críticos, quando são considerados essenciais a vida;
- 2) metais tóxicos muito insolúveis (ou muito raros), quando possuem alta toxicidade, mas estão geodisponíveis na natureza em pequenas quantidades;
- 3) metais muito tóxicos e relativamente acessíveis, que possuem alta toxicidade e são facilmente encontrados na natureza;

Alguns metais pesados possuem efeito deletério, ocasionando vários problemas para a saúde humana quando ingeridos em altas doses. Assim estes metais respondem, dependendo da forma como eles estejam geodisponíveis, por contaminação em grande escala, o que depende fundamentalmente das fontes de poluição podendo ser, por exemplo, uma indústria que esteja localizada perto de um recurso hídrico superficial.

As diferentes fontes, onde os metais estão geodisponíveis, revelam os diferentes efeitos de poluição (Quadro 2.2).

**Quadro 2.2** - Fontes de alguns elementos-traço em águas naturais e seus efeitos

Elemento	Fontes	Efeito
As	Minas, pesticidas, resíduos químicos	Tóxico e possivelmente carcinogênico
Cr	Galvanização de metais	Possivelmente carcinogênico como Cr <sup>6+</sup>
Pb	Resíduos industriais, minas e combustíveis	Tóxico, destruidor da vida selvagem
Cd	Carvão, mineração de zinco	Doenças cardiovasculares, hipertensão
Zn	Resíduos industriais, canalização, galvanização	Elemento essencial, fitotóxico em níveis elevados

Fonte: Adaptado de Guedes, 2003).

#### 2.4.4.1 Origem dos Metais em Águas

##### **Cádmio (Cd)**

Os sistemas aquáticos recebem o cádmio decorrente da erosão do solo, do intemperismo das rochas, da deposição atmosférica seca e úmida, de efluentes industriais e do uso de fertilizantes na agricultura (ARAÚJO, 2005).

##### **Chumbo (Pb)**

Nos sistemas aquáticos o chumbo proveniente da atmosfera e da lixiviação do solo se divide rapidamente entre o sedimento e a fase aquosa, dependendo da temperatura, do pH e da água, dos sais nela dissolvidos e da presença de agentes complexantes orgânicos (ARAÚJO, 2005).

##### **Cobre (Cu)**

Ele pode ocorrer naturalmente ou ser resultante de processos antropogênicos. A maior parte do cobre natural vem dos minerais da litosfera, os quais são trazidos pela erosão e transportados pela água de chuva e rios sob as formas de partículas em suspensão, enquanto no fundo encontra-se ligado ao sedimento. Por sua vez, a maior parte da contaminação antropogênica provém de descargas da zona industrial, atividades de mineração e do esgoto doméstico.

##### **Zinco (Zn)**

As origens antropogênicas do zinco incluem a produção do ferro e do aço, as queimadas, a corrosão de estruturas galvanizadas, a queima de combustíveis fósseis, efluentes de esgotos sanitários, incineração de lixo, fertilizantes e pesticidas que contenham esse metal (ARAÚJO, 2005).

O principal uso de zinco é na galvanização, tendo também uma vasta aplicação na agricultura e na manufatura de fibras artificiais. Podendo ser encontrado em piroxênios e alguns fertilizantes (SIQUEIRA, 2003).

## **Cromo (Cr)**

Ocorre naturalmente nas rochas, nos animais, nas plantas, no solo, poeiras e névoas vulcânicas.

Fontes antropogênicas de contaminação por cromo são as emissões das indústrias de cimento, fundições, soldagens de ligações metálicas, manufaturas de aço e ligas, galvanoplastia, lâmpadas, lixo urbano e industrial, curtumes, fertilizantes e cinzas de carvão.

A sua toxicidade está associada ao seu estado de oxidação, sendo o cromo hexavalente bem mais tóxico que o trivalente.

## **Níquel (Ni)**

É encontrado no solo, na água e nas emissões vulcânicas, embora sua principal origem natural seja os minérios de sulfato de níquel.

As fontes antropogênicas são a queima de combustíveis fósseis, a incineração do lixo, a galvanoplastia, os esgotos sanitários e a liberação dos resíduos industriais que utilizam níquel, ligas e compostos, no seu processo de fabricação ou fundição.

No meio ambiente, o níquel se funde a partículas que contenham ferro ou manganês, as quais são geralmente presentes nas águas e nos sedimentos. Na água e nos esgotos, o níquel pode estar na fase dissolvida ou ligado ao material em suspensão.

## **Mercúrio**

O mercúrio está associado quase que inteiramente ao pescado. O metilmercúrio é produzido pela ação de bactérias redutoras de sulfato no  $Hg^{2+}$  dos sedimentos e se acumula a medida que os peixes pequenos são comidos pelos maiores na cadeia alimentar aquática. Em qualquer lugar, os peixes tem algum nível de mercúrio presentes, mas estes podem aumentar drasticamente se os sedimentos forem contaminados por mercúrio adicional (SHRIVER *et al*, 2008).

## 2.5 ÁREA DE ESTUDO

### 2.5.1 Estuário Potengi

O estuário do rio Potengi está localizado no litoral oriental do Rio Grande do Norte, compreendendo uma extensão marinha entre os baixios de Genipabu (ao norte), até a praia do Meio (ao sul) (ARAÚJO, 2005).

O estuário do Potengi tem como principais contribuintes os rios Potengi, Jundiá e Doce. O caráter intermitente dos rios, juntamente com as baixas descargas hídricas a montante acarreta numa contribuição hidrológica fluvial pequena (CUNHA, 1982). De acordo com o SEMARH (2008), esta bacia abrange uma superfície de cerca de 4.093 Km<sup>2</sup>, equivalendo a 7,7% do território estadual.

As condições atuais do Estuário Potengi mostram uma insignificante contribuição da drenagem continental, devido à grande parcela das águas precipitadas na região ser infiltrada nas dunas vizinhas, restringindo o escoamento superficial. Quanto aos cursos fluviais, notamos nos rios Potengi e Jundiá, um caráter intermitente com pequenas vazões durante o período chuvoso e quase nulo durante a estiagem. Como resposta, temos um estuário com influência tipicamente marinha, onde a ação das marés penetra com vazões que variam de 5.000 até 20.000 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup>, contribuindo com volumes d'água (prisma de maré) de até 32.910.000 m<sup>3</sup>. Portanto, com essa total predominância das águas oceânicas temos um estuário do tipo homogêneo, com salinidades maiores em direção à foz, e praticamente as mesmas da superfície ao fundo (principalmente na preamar) (CUNHA, 2004).

#### 2.5.1.1 Rio Potengi

O rio Potengi é o contribuinte mais importante do estuário Potengi. A sua Nascente acontece em um arco formado pelas serras Apertada Hora e do Doutor, situadas em altitudes de 500 metros aproximadamente. Ao longo dos seus 176 km de extensão, o rio Potengi apresenta uma declividade média de 2,80 m/Km e atravessa zonas distintas do estado, iniciando em região semi-árida e finalizando em zona costeira.

### 2.5.1.2 Rio Jundiáí

O rio Jundiáí é um afluente da bacia hidrográfica do estuário Potengi, nascendo em terreno cristalino, na serra Chata, município de Sítio Novo a 280 m de altitude. Em seu percurso de 85 km, a partir do Sítio Novo, o mesmo cruza parte dos municípios de Tangará, Serra Caiada, Senador Elói de Souza, Bom Jesus e Macaíba, encontrando-se com o rio Potengi a montante da cidade de Natal, desaguando no Oceano Atlântico (GUEDES, 2003).

Entre seus afluentes destacam-se o Riacho do Carvão, Riacho do Fundão e Riacho do Pedro. Em seu trajeto recebe várias denominações, dentre os quais Rio Grande do Norte. O mesmo possui uma drenagem pequena em relação ao Potengi, sendo o seu regime fluvial intermitente em sua maior parte, mas ao chegar às proximidades da cidade de Macaíba passa a ser influenciado pelas Marés (CUNHA, 1982).

---

## 3 MATERIAIS E MÉTODOS

---

*“Os sonhos não determinam o lugar onde vocês vão chegar, mas produzem a força necessária para tirá-los do lugar em que vocês estão”.*

*(Augusto Cury)*

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

As metodologias adotadas para o desenvolvimento do presente trabalho estão apresentadas neste capítulo, compreendendo a definição dos pontos de coleta das amostras de água, a data da realização das coletas, a descrição dos parâmetros analisados, o procedimento analítico adotado e o tratamento estatístico aplicado aos resultados obtidos.

#### 3.1 LOCAIS DE AMOSTRAGEM

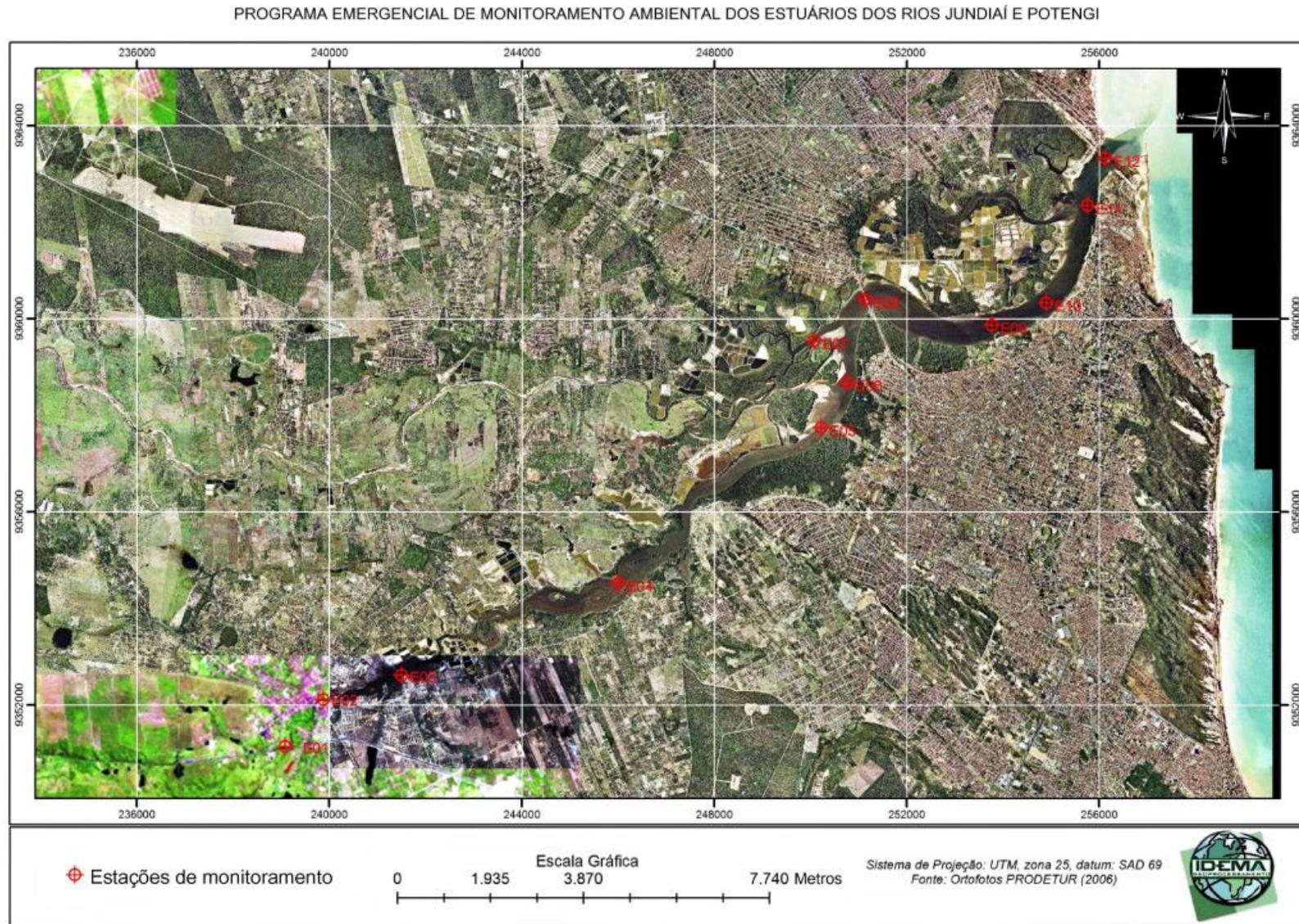
Os locais selecionados para as coletas foram anteriormente posicionados com um receptor GPS, vide Fig. 3.1, sendo que todos os dados utilizados foram registrados para o sistema de coordenadas UTM, conforme mostrados na Tabela 3.1. Todos os locais de amostragem foram estabelecidos de forma a assegurar que as amostras fossem as mais representativas para a caracterização do estuário, levando em consideração os efluentes lançados próximos aos locais de amostragem.

**Quadro 3.1** – Pontos das coletas e suas coordenadas, em UTM.

PONTO	LOCAL	COORDENADA X	COORDENADA Y
E 01	R. Jundiaí - Ponte sobre a BR-226	239.079	9.351.141
E 02	R. Jundiaí - Cidade de Macaíba – Hospital	239.871	9.352.113
E 03	R. Jundiaí - Jusante do lançamento do CIA	241.497	9.352.619
E 04	R. Jundiaí - Montante da Imunizadora Riograndense	246.001	9.354.524
E 05	R. Jundiaí - Montante do Curtume J. Motta	250.222	9.357.746
E 06	R. Jundiaí/R.Potengi – confluência	250.768	9.358.678
E 07	R. Golandim - Proximidades da sua desembocadura	250.071	9.359.543
E 08	R. Potengi - Ponte de Igapó	251.116	9.360.395
E 09	R. Potengi - Dique da Marinha do Brasil	253.767	9.359.873
E 10	R. Potengi - Jusante do Canal do Baldo	254.899	9.360.328

E 11	R. Potengi - Em frente ao late Clube	255.754	9.362.347
E 12	R. Potengi - Vão central da Ponte Newton Navarro	256.125	9.363.325

Os pontos de amostragem e sua distribuição ao longo da região de estudo podem ser visualizados através da Figura 3.1.



**Figura 3.1** - Localização das estações de monitoramento do Estuário Jundiá - Potengi

Os locais selecionados foram: Rio Jundiá- Ponte da BR-226 (E 01) – Figura. 3.2; Rio Jundiá-Cidade de Macaíba-Hospital (E 02) – Figura 3.3; Rio Jundiá-Jusante do lançamento do CIA (E 03) – Figura 3.4; Rio Jundiá-Montante da Imunizadora Riograndense (E 04) – Figura 3.5; Rio Jundiá-Montante do Curtume J. Motta (E 05) – Figura 3.6; Rio Jundiá/Rio Potengi-confluência (E 06) – Figura 3.7; Rio Golandim - Proximidades da sua desembocadura (E 07) – Figura 3.8; Rio Potengi - Ponte de Igapó (E 08) – Figura 3.9 Rio Potengi – Dique da Marinha do Brasil (E 09) – Figura 3.10; Rio Potengi – Jusante do Canal do Baldo (E 10) – Figura 3.11; Rio Potengi Em frente ao late Clube (E 11) – Figura. 3.12; Rio Potengi – Vão Central Ponte Newton Navarro (E 12) – Figura 3.13.



**Figura 3.2** - Rio Jundiá- Ponte da BR-226, ponto E01.



**Figura 3.3** - Rio Jundiá - Cidade de Macaíba - Hospital, ponto E02.



**Figura 3.4** - Rio Jundiá- Jusante do lançamento do CIA, ponto E03:



**Figura 3.5** - Rio Jundiáí- Montante da Imunizadora Riograndense, ponto E04.



**Figura 3.6** - Rio Jundiáí - Montante do Curtume J. Motta, ponto E05.



**Figura 3.7** – Rio Jundiá/Rio Potengi - confluência, ponto E06.



**Figura 3.8** – Rio Potengi/Rio Golandim - Proximidades da sua desembocadura, ponto E07.



**Figura 3.9** - Rio Potengi - Ponte de Igapó, ponto E08.



**Figura 3.10** - Rio Potengi - Dique da Marinha do Brasil, ponto E09.



**Figura 3.11** – Rio Potengi – Jusante do Canal do Baldo, ponto E10.



**Figura 3.12** - Rio Potengi em frente ao late Clube, ponto E11.



**Figura 3.13** - Rio Potengi – Vão Central Ponte Newton Navarro, ponto E12.

Estes pontos foram selecionados devido aos seus potenciais de degradação, com relação às seguintes possíveis fontes poluidoras:

- Ponto E01: Lançamento dos efluentes industriais tratados da tinturaria de fios de algodão e polyester da empresa Nóbrega e Dantas S/A;
- Ponto E02: Lançamento de esgotos domésticos sem tratamento da cidade de Macaíba;
- Ponto E03: Jusante do lançamento do Sistema de Tratamento de Efluentes Líquidos – SITEL do CIA, que descarta juntamente com os efluentes do SITEL da ENSEG e dos efluentes do SITEL da Coca-Cola. Contribuição de efluentes de diversos projetos de carcinicultura;
- Ponto E04: Efluentes das Estações de tratamento das imunizadoras Potiguar e Riograndense e dos projetos de carcinicultura da empresa Veríssimo e Filhos Ltda;
- Ponto E05: Lançamento de efluentes domésticos sem tratamento do bairro Felipe Camarão e efluentes da carcinicultura, principalmente da empresa Veríssimo e Filhos Ltda;
- Ponto E06: Efluente doméstico sem tratamento do Bairro Nordeste e da carcinicultura, principalmente da empresa Veríssimo e Filhos Ltda e Agropesca Rego Moleiro Ltda;

- Ponto E07: Lançamento de efluentes Industriais do DIN (Distrito Industrial de Natal e Extremoz) e da Coteminas, empresa de Carcinicultura Agropesca Rego Moleiro Ltda, estações de tratamento de esgotos sanitários da CAERN e esgotos Domésticos clandestinos;
- Ponto E08: Efluentes da Cooperativa de Carcinicultores e Pescadores de Igapó (Camarão do povo), estações de tratamento da CAERN, Indústria Coteminas e esgotos domésticos clandestinos;
- Ponto E09: Lançamento de esgoto pela CAERN, do bairro das Quintas;
- Ponto 10: Lançamento de esgoto do canal do Baldo;
- Ponto 11: Proximidade dos tanques de armazenamento da PETROBRAS, e trânsito de navios e embarcações de pesca.
- Ponto 12: Saída para o oceano Atlântico.

### 3.2 COLETA DE AMOSTRAS

As coletas de amostras de água foram realizadas em 12 (doze) pontos ao longo do Estuário dos Rios Jundiá e Potengi. Foram realizadas quatro coletas, sendo cada coleta realizada em duas etapas: em maré baixa e maré alta, no período de agosto a novembro de 2007 conforme o cronograma descrito no quadro 3.2.

**Quadro 3.2** - Data de horário das coletas realizadas.

	DATA DA COLETA	HORÁRIO - MARÉ ALTA	HORÁRIO - MARÉ BAIXA
1° Coleta	21.08.2007	09:50	15:40
2° Coleta	04.09.2007	09:50	15:50
3° Coleta	04.10.2007	11:30	05:00
4° Coleta	05.11.2007	13:50	07:20

Cada coleta foi planejada de forma a se administrar o tempo para que tudo pudesse ser feito em apenas um dia: coleta e preservação bem como o envio das amostras para laboratórios externos. Foram seguidas as seguintes etapas:

1<sup>a</sup>) Preparação do material de coleta – com pelo menos uma semana de antecedência, os frascos de coleta devem ser contados, separados e lavados para a coleta. Todos os frascos foram lavados da seguinte forma: lavagem com detergente aniônico diluído 1:1000, lavagem com água corrente pelo menos 3 vezes, lavagem com água ultra-pura (resistividade igual a 18,2 MΩ/cm) 3 vezes, lavagem com ácido clorídrico 5% uma vez e mais água ultra-pura 5 vezes ou mais. Os frascos de TOG foram ainda rinsados com n-hexano P.A.. Após os frascos limpos e secos, estes foram separados em engradados para transporte em quantidades suficientes para a coleta e divididos em duas partes (para os dois trechos da coleta que serão explicados a seguir). Houve ainda a preparação dos instrumentos de análise *in situ*, ou seja, os pHmetros, condutivímetros, salímetros, oxímetros e termômetros foram calibrados, no dia anterior ao de cada coleta.

2<sup>a</sup>) Coleta – A coleta ocorre da seguinte forma: são dois trechos de coleta a serem cobertos; o primeiro diz respeito aos oito primeiros pontos, que começam em Macaíba e tem seu fim na ponte de Igapó. Inicia-se a coleta pela ponte da BR-226, em Macaíba, e este ponto, juntamente com o ponto E02 são acessados por terra e a partir do ponto E03, percorre-se o restante do trecho de barco. Esta etapa tem uma duração média de 2 horas. O Segundo trecho, diz respeito aos quatro últimos pontos, que inicia próximo ao dique da Marinha, e termina abaixo do vão central da ponte Newton Navarro. O embarque ocorre no clube do remo, no barco do IDEMA que faz a coleta do lixo no rio Potengi, diariamente. Este percorre o trajeto da coleta e retorna para o mesmo ponto de embarque. Estes dois trechos são percorridos duas vezes, na maré baixa e após encher inicia-se novamente.

Por terra, o carro percorre o seguinte trajeto: deixa a equipe de Macaíba, depois a que vai coletar a partir da Ribeira e aguarda o fim desta coleta que tem uma duração média de 50 minutos. Esta equipe vai de carro para o ponto final da coleta da outra equipe que também entra no carro e voltam para o início (ponto

E01) para recomeçar com a nova maré. Desembarcado esta equipe, o carro segue com as amostras coletadas na primeira maré para o laboratório, na UFRN, e depois deixa a outra equipe na Ribeira novamente e repete o mesmo trajeto até o fim das coletas.

No laboratório, também se dispõe de uma equipe para o recebimento da amostras. Estas devem ser separadas entre as que devem ser armazenadas nas geladeiras para serem analisadas no próprio laboratório, ou permanecem no isopor para serem enviadas para os laboratórios externos.

No barco, ocorre o seguinte: são duas pessoas para a coleta, uma coleta água e faz medidas (pH, OD, condutividade, salinidade, temperatura do ar e da água) e outra para coletar o sedimento (este foi coletado para utilização em outro trabalho), um fiscal do IDEMA e o motorista do barco. Podem ser levados os equipamentos de medidas (multiparamétricos), os frascos de coletas nos engradados e um isopor pequeno para armazenagem imediata das amostras para análises microbiológicas. O restante das amostras eram refrigeradas no carro que continham isopores maiores com gelo para transporte até os laboratórios.

Para garantir e preservar as características das amostras desde a coleta até o momento de sua análise foram utilizados os procedimentos de conservação. Esses procedimentos levaram em consideração o agente conservante, o tipo de vasilhame e o volume adequado para a determinação de cada parâmetro, conforme descrito no quadro 3.3.

**Quadro 3.3** – Informações sobre coleta, preservação e prazo de análise.

PARÂMETRO	RECIPIENTE	VOLUME (ML)	PRESERVAÇÃO	PRAZO PARA ANÁLISE
Temperatura	<i>In situ</i>	-	-	Imediato
pH	<i>In situ</i>	-	-	Imediato
OD	<i>In situ</i>	-	-	Imediato
Salinidade	<i>In situ</i>	-	-	Imediato
DBO	P	1000	Refrigerar a 4°C	48h
DQO	P, V	1000	Adicionar H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> conc. até pH < 2. Refrigerar a 4°C.	7d
COT	V	100	Adicionar H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> conc. até pH < 2. Refrigerar a 4°C.	28d
TOG	V	1000	Refrigerar a 4°C.	7d
Turbidez	V <sub>ba</sub> , P	200	Refrigerar a 4°C	48h
Sólidos Totais	P, V	300	Refrigerar a 4°C	7d
Coliformes termotolerantes	P <sub>p</sub> , V <sub>b</sub>	100	Refrigerar a 4°C	6h
Fósforo	V	200	HNO <sub>3</sub> conc. até pH < 2. Refrigerar a 4°C.	28d
Fosfato	V	100	Refrigerar a 4°C	28d
Nitrato	P, V	100	Refrigerar a 4°C	48h
Nitrito	P, V	100	Refrigerar a 4°C	48h
Nitrogênio amoniacoal	P, V	500	Adicionar H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> conc. até pH < 2. Refrigerar a 4°C.	28d
Metais	P, V	200	HNO <sub>3</sub> conc. até pH < 2. Refrigerar a 4°C.	6 meses

### 3.3 DETERMINAÇÕES DAS VARIÁVEIS PARA O DIAGNÓSTICO AMBIENTAL - METODOLOGIAS DE ANÁLISE

O diagnóstico ambiental a que se propôs este trabalho foi determinado através do cálculo de índices como o de qualidade da água (IQA) e o de toxidez (IT). Os parâmetros analisados estão descritos a seguir, bem como o procedimento de análise realizado. Todas as metodologias de análises foram seguidas conforme manual de análises de águas APHA - Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 1998; e normas da USEPA.

#### 3.3.1 Salinidade

A salinidade é medida de forma direta, *in situ*, no momento da coleta, através de um salímetro contido no medidor da WTW, modelo Multi 340i, integrado a uma célula de medição TetraCon 325. Este deve ser calibrado utilizando-se uma solução padrão  $0,01 \text{ mg.L}^{-1}$  de KCl. A norma de referência utilizada para esta análise foi a Standard Methods (APHA, 1998) 2520 B – Electrical Conductivity Method, onde a célula de medida da salinidade mede, na verdade, a condutividade e o software do equipamento calcula automaticamente a salinidade.

#### 3.3.2 Sólidos Totais

##### 3.3.2.1 Sólidos Dissolvidos

Os sólidos dissolvidos foram medidos através da determinação da condutividade, que foi realizada no momento da coleta, através de cálculos que relacionam os dois parâmetros.

Primeiramente determinam-se os sólidos dissolvidos através do método convencional, por gravimetria, através da evaporação da umidade e pesagem da massa restante, e mede-se a condutividade a fim de se estabelecer uma correlação entre os dois parâmetros. Determina-se este fator, dividindo-se a condutividade pela massa encontrada e este valor será utilizado para multiplicar os resultados das condutividades das amostras, e assim se obter os sólidos

dissolvidos. Apesar de este método apresentar um erro em relação à medida real, este pode ser minimizado utilizando faixas de salinidade diferentes (doces, salobras e salinas), pois cada faixa tem um fator de correlação específica, ou seja, para cada faixa de salinidade, determina-se um fator multiplicativo diferente.

### 3.3.2.2 Sólidos Suspensos

Os sólidos suspensos foram medidos por gravimetria, através da filtração da amostra em duas membrana de acetato de celulose sobrepostas, com porosidade de 0,45  $\mu\text{m}$ , onde estas foram pesadas antes e depois da secagem em estufa com circulação de ar. O aumento de peso no superior, após secagem em condições prescritas, corresponde aos sólidos em suspensão. A variação de peso do filtro inferior, em igualdade de condições, traduz, essencialmente, fenômenos de adsorção ou dessorção que ambos sofreram e permite corrigir a massa do sedimento retido.

Este método pode ser verificado através do Standard Methods (APHA, 1998) 2540 D – Total Suspended Solids Dried at 103-105 °C.

### 3.3.3 Turbidez

A turbidez foi medida, utilizando-se o método nefelométrico, que é baseado na comparação da intensidade de luz desviada pela amostra, com a intensidade de luz desviada por uma suspensão padrão de referência, de 40 UNT. Este método está normatizado no Standard Methods (APHA, 1998) 2130 B – Nephelometric Method. O modelo do turbidímetro utilizado foi um Hach, 2100P, USA.

### 3.3.4 Cor verdadeira

Para a determinação da cor aparente usa-se a amostra de água em seu estado natural, sendo a cor verdadeira determinada após a filtração em membrana de 0,45 $\mu\text{m}$ . A realização da análise é feita pela leitura da cor aparente e verdadeira (após a filtração) em espectrofotômetro da marca DR 2500 HACH,

com comprimento de onda de 455 nm. Este método está normatizado no Standard Methods (APHA, 1998) 2120 C – Spectrophotometric Method.

### **3.3.5 Temperatura**

A temperatura é medida através da diferença da temperatura entre o ar e o meio (água). Estas são medidas com um termômetro digital.

### **3.3.6 Potencial Hidrogeniônico (pH)**

O pH dos pontos de amostragem também foram medidos *in situ*, utilizando o mesmo medidor multiparâmetros já citado no item anterior, com um eletrodo modelo SenTix 41. Este eletrodo foi calibrado segundo o procedimento do manual, utilizando-se para isso, soluções tampões de pHs 4,01 e 7,00.

### **3.3.7 Oxigênio Dissolvido (OD)**

Para determinação do OD, utilizou-se o método do eletrodo com membrana, realizada *in situ* através da utilização de oxímetro, contido em um medidor multiparâmetros da marca WTW, modelo Multi 340i, com eletrodo de medição de oxigênio modelo Cellox 325. Este oxímetro foi calibrado segundo o procedimento de calibração do manual do equipamento.

### **3.3.8 Demanda Química de Oxigênio (DQO)**

Este parâmetro é determinado rapidamente através de uma titulação com dicromato de potássio ( $K_2Cr_2O_7$ ). O íon dicromato,  $Cr_2O_7^{2-}$ , é dissolvido em ácido sulfúrico e o resultado é um poderoso agente oxidante que irá oxidar as substâncias com potencial de consumir o oxigênio do meio. Infelizmente, este método não é recomendado para amostras com altos teores de salinidade, pois utiliza-se uma solução catalizadora de ácido sulfúrico-sulfato de prata ( $H_2SO_4 - Ag_2SO_4$ ) que irá reagir com o cloreto e interferir na determinação real da DQO.

### 3.3.9 Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO)

Avalia-se experimentalmente, através da determinação das concentrações de oxigênio dissolvido antes e após um período de 5 dias em que a amostra fica mantida em ambiente com ausência de luz a uma temperatura de 20°C, em frascos apropriados e cheios até o seu transbordamento. A DBO é igual à quantidade de oxigênio consumido como resultado da oxidação da matéria orgânica presente na amostra. Usou-se como referência o método 5210 B – 5-Day BOD test, do Standard Methods (APHA, 1998).

### 3.3.10 Carbono Orgânico Total (COT)

O carbono orgânico é oxidado a dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) com persulfato na presença de calor e analisado em um fotômetro a 600 nm.

### 3.3.11 *Coliformes termotolerantes*

O ensaio presuntivo consiste na semeadura de volumes determinados da amostra em serie de tubos contendo caldo lactosado com a adição do indicador púrpura de bromocresol, que são incubados a 36±0,5°C durante 24-48 horas. A acidificação ou produção de gás é a prova presuntiva da presença de bactérias do grupo coliforme. O ensaio confirmativo consiste na transferência de cada cultura com resultado presuntivo positivo para tubos com meio lactosado (caldo lactoso-verde brilhante–bile 2%) que são incubados durante 24 horas, a 44,5°C em banho-maria. O resultado será positivo quando houver produção de gás a partir da fermentação da lactose contida no meio de caldo lactoso-verde brilhante –bile 2%. Este método é referenciado no Standard Methods (APHA, 1998), method 9221 B – Standard Total Coliform Fermentation Technique.

### 3.3.12 Nitrogênio

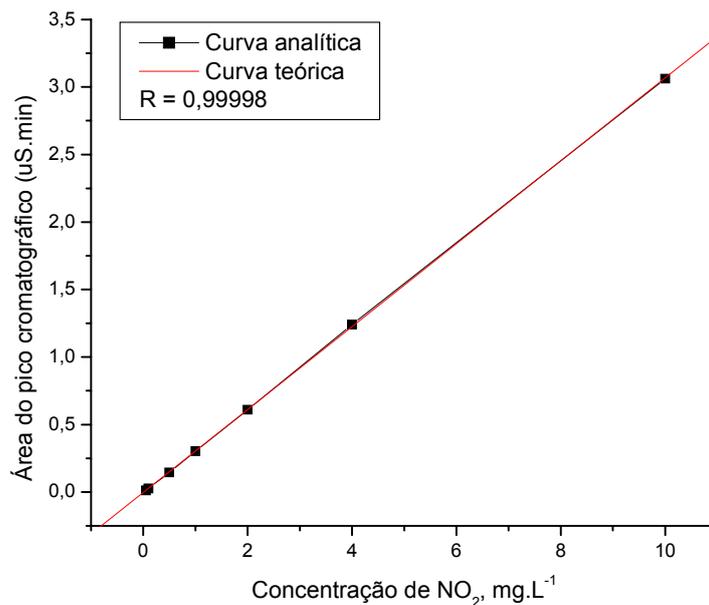
#### 3.3.12.1 Nitrogênio Amoniacal

O teste para a determinação do nitrogênio amoniacal é um processo de destilação, realizando-se o deslocamento do equilíbrio entre o íon amônio e a amônia livre, pela adição de uma base (NaOH), favorecendo a formação de amônia livre (gás amônia) que é liberada e coletada em uma solução de ácido bórico.

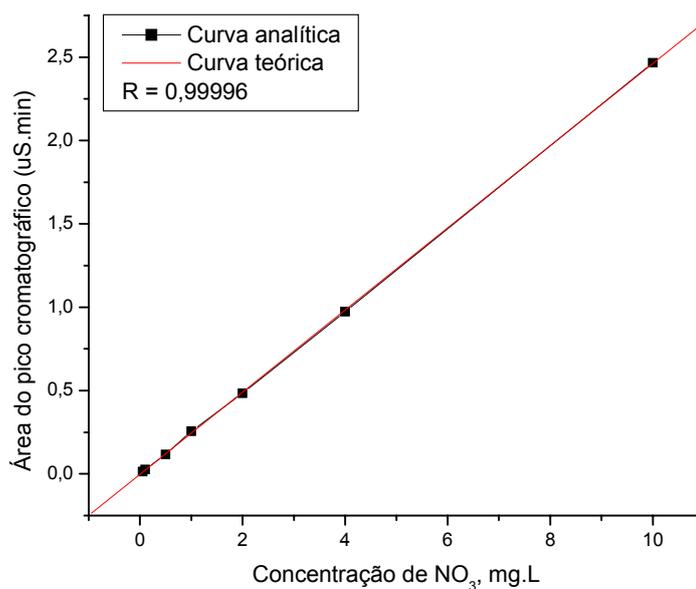
O gás amônia, que sai junto com o vapor, ao entrar em contato com ácido bórico formando íons amônio. A quantidade de amônia é determinada pela quantidade de ácido bórico consumido. Este método tem como referência o Standard Methods (APHA, 1998), method 4500-NH<sub>3</sub> C – Titrimetric Method.

#### 3.3.12.2 Nitrito e Nitrato

Estes dois ânions foram determinados através da técnica de Cromatografia Iônica, com detecção por condutividade e supressão do eluente, conforme procedimento contido no Standard Methods (20<sup>th</sup> Ed) 4110 C – Single-Column Ion Chromatography with Electronic Suppression of Eluent Conductivity and Conductimetric Detection. Utilizou-se para isso um Cromatógrafo de Íons, marca DIONEX modelo ICS-2000, com coluna AS19 e coluna de guarda AG19 e volume de injeção de 25 µL. As curvas de calibração foram preparadas a partir de um padrão multielementar, da DIONEX, rastreáveis ao NIST e estão descritas a seguir:



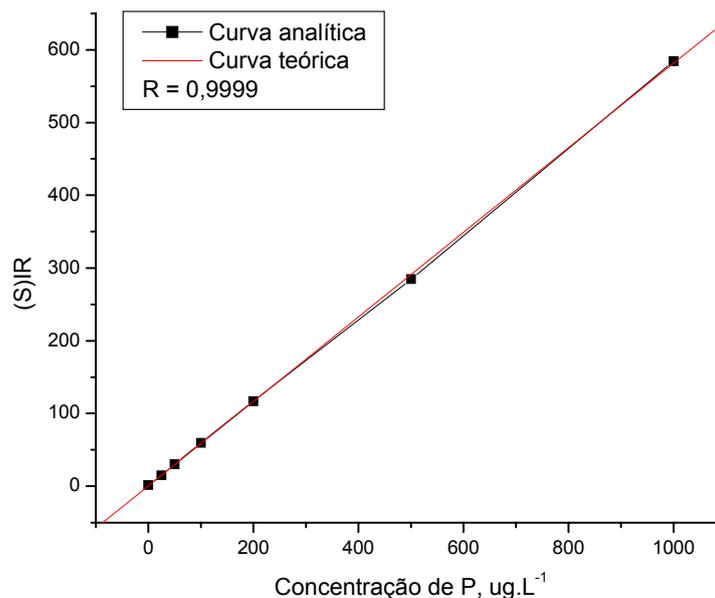
**Figura 3.14** – Curva analítica de Nitrito, em mg.L<sup>-1</sup>.



**Figura 3.15** – Curva analítica de Nitrato, em mg.L<sup>-1</sup>.

### 3.3.13 Fósforo Total

A determinação do fósforo total foi realizada em conjunto com a dos metais, e será descrita no ítem 3.3.15. A calibração foi realizada utilizando padrões SpecSol, rastreáveis ao NIST, e a curva está descrita, a seguir:



**Figura 3.16** – Curva analítica de Fósforo, em  $\mu\text{g.L}^{-1}$ .

### 3.3.14 Teor de Óleos e Graxas (TOG)

A amostra para determinação deste parâmetro é inicialmente submetida a uma extração com Hexano – HPLC e a fase extraída é submetida à análise dos teores de óleos e graxas totais, por radiação infravermelho através de um InfraCal® TOG/TPH Modelo HATR-T2 da Wilks Enterprise, Inc. este método tem referência no Standard Methods, (APHA, 1998) 5520 C – Partition-Infrared Method.

### 3.3.15 Metais traços

#### 3.3.15.1 Digestão Ácida por Microondas

As amostras destinadas a determinação de metais são primeiramente encaminhadas para a abertura em um digestor de microondas, modelo DGT-100 plus da Provecto Analítica. Para este procedimento, adicionou-se 1 ml de Ácido Nítrico ( $\text{HNO}_3$ ) concentrado, de alta pureza (P.A.) a 10 ml da amostra. A digestão foi feita em 2 etapas, sendo a primeira com duração de 6 minutos em potência de 300 W, a segunda de 6 minutos em potência de 0 W.

Após total dissolução dos metais, as amostras foram filtradas, e o volume restante completado em balão de 50 mL e encaminhadas para determinação dos metais traços totais, através da técnica de Espectroscopia de Emissão com Fonte de Plasma Indutivamente Acoplado (ICP-OES).

### 3.3.15.2 Análise por ICP-OES

O equipamento utilizado nas análises foi um iCAP 6300 dual, Thermo Scientific.

Neste tipo de equipamento, a amostra é transportada para a tocha de plasma, por uma corrente de argônio, através do tubo central. Geralmente, a grande fonte de ruído deste tipo de técnica é a introdução de amostra. Os dispositivos mais utilizados para injeção de amostra são os nebulizadores. Os mais utilizados são os que operam com o princípio pneumático ou ultra-sônico. O tipo de nebulizador mais indicado para as amostras deste trabalho (salinas) é o tipo Babington, também conhecido como “V-groove”, pois este possui uma reentrância sob a forma de V no injetor de argônio. A grande vantagem é a sua estabilidade ao se aspirarem soluções salinas contendo de 10 a 20% de sólidos dissolvidos. O equipamento foi calibrado utilizando-se para isso padrões multielementares, da marca Specsol, rastreáveis ao NIST e as curvas de calibração e os limites de detecção obtidos estão demonstrados a seguir:

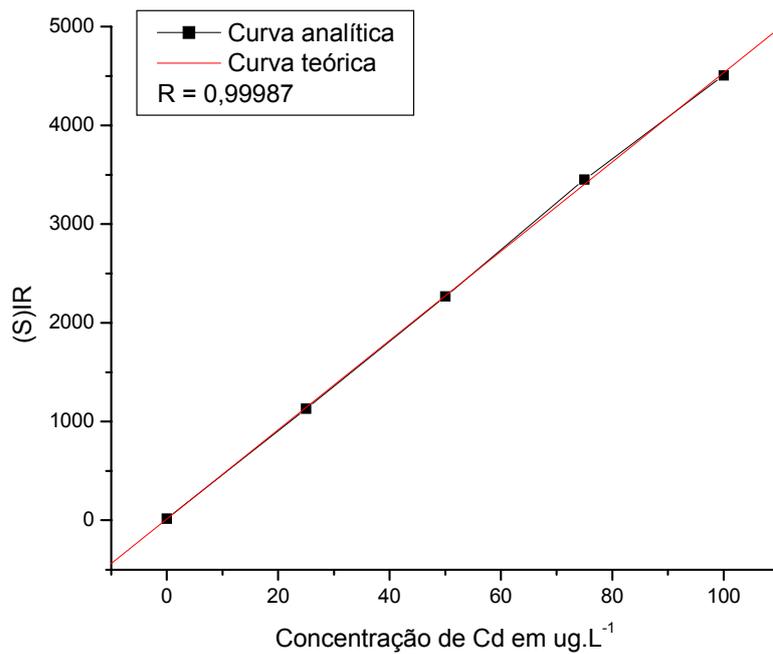


Figura 3.17 - Curva analítica de Cádmio, em  $\mu\text{g.L}^{-1}$ .

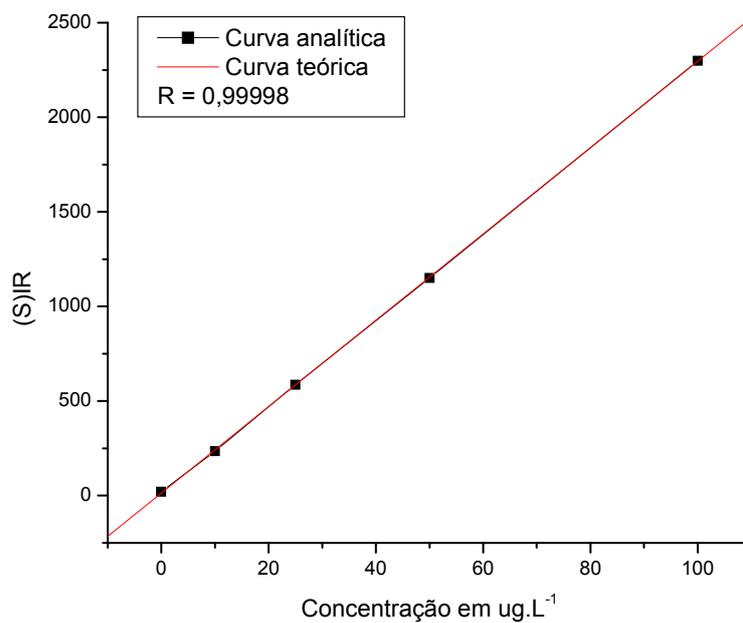
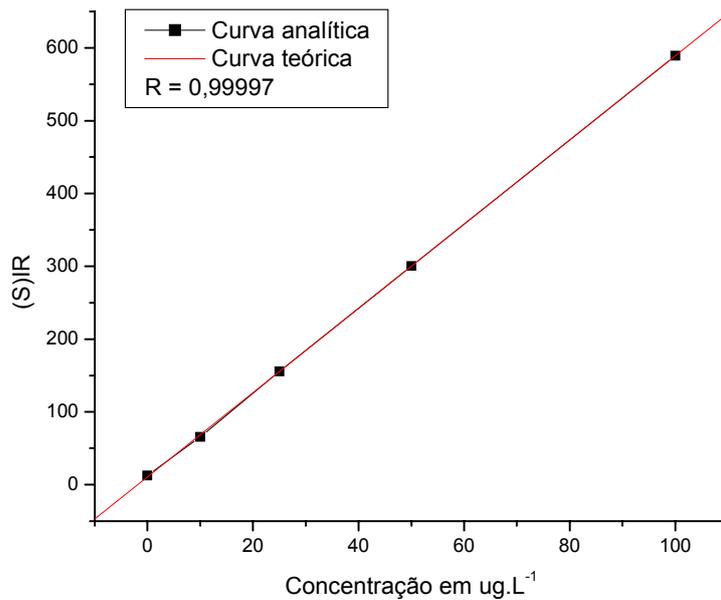
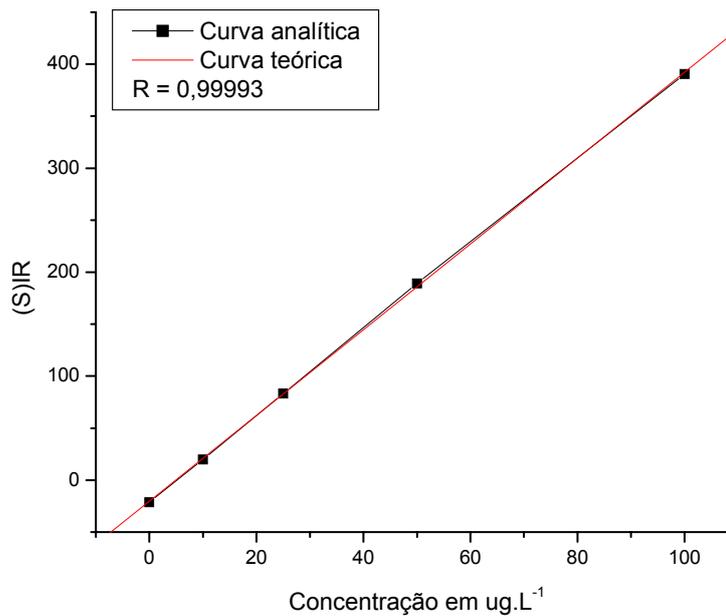


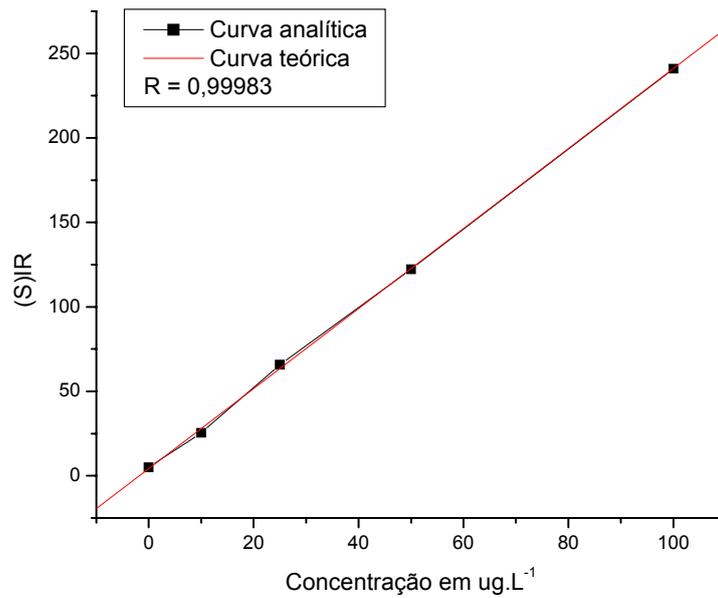
Figura 3.18 - Curva analítica de Cromo, em  $\mu\text{g.L}^{-1}$ .



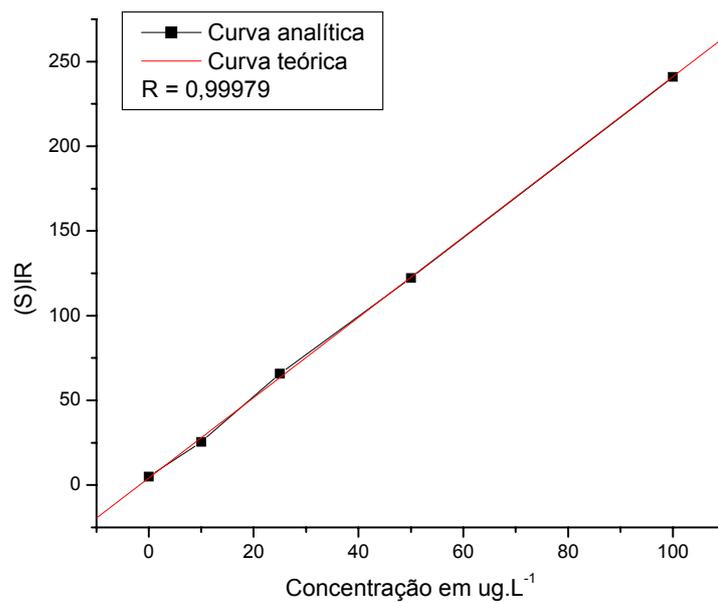
**Figura 3.19** - Curva analítica de Cobre, em  $\mu\text{g.L}^{-1}$ .



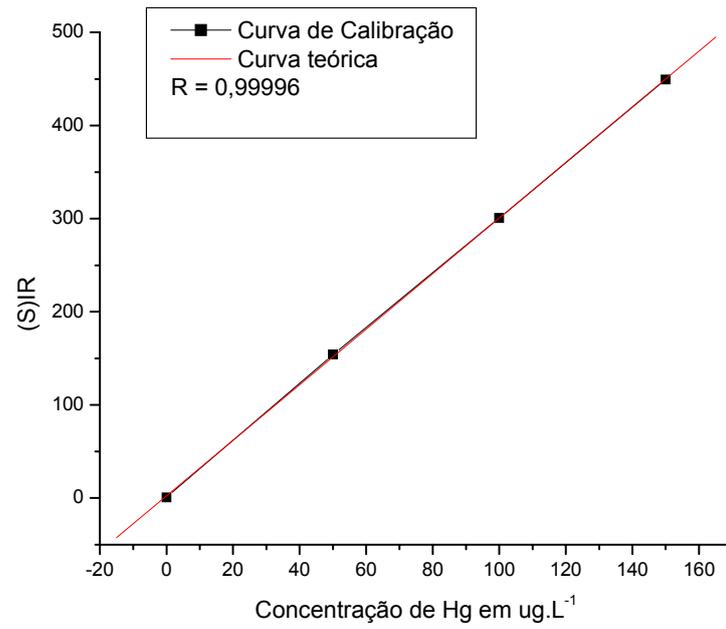
**Figura 3.20** - Curva analítica de Níquel, em  $\mu\text{g.L}^{-1}$ .



**Figura 3.21** - Curva analítica de Chumbo, em  $\mu\text{g.L}^{-1}$



**Figura 3.22** - Curva analítica de Zinco, em  $\mu\text{g.L}^{-1}$



**Figura 3.23** - Curva analítica de Mercúrio, em  $\mu\text{g.L}^{-1}$

### 3.4 DETERMINAÇÃO DO ÍNDICE DE QUALIDADE DA ÁGUA - IQA

O IQA utilizado neste trabalho foi adaptado do original adotado pela *National Sanitation Foundation*, (NSF) pelo CETESB, e considera o nitrogênio total, em vez do nitrogênio nitrato, devido à presença do nitrogênio nas águas em outras formas, tais como o nitrogênio orgânico e o amoniacal.

Os parâmetros utilizados para a determinação do IQA estão descritos no quadro 3.4 a seguir, bem como seus pesos relevantes para o cálculo:

**Quadro 3.4** - Parâmetros para cálculo do IQA.

PARÂMETRO	PESO – W <sub>i</sub>
Oxigênio Dissolvido – OD (%OD)	0,17
Coliformes termotolerantes (NMP.100 ml <sup>-1</sup> )	0,15
pH	0,12
Demanda Bioquímica de Oxigênio – DBO (mg.L <sup>-1</sup> )	0,10
Nitrogênio Total (mg.L <sup>-1</sup> N)	0,10
Fósforo Total (mg.L <sup>-1</sup> P)	0,10
Variação na Temperatura (°C)	0,10
Turbidez (UNT)	0,08
Resíduos totais (mg.L <sup>-1</sup> )	0,08

A seguinte fórmula é utilizada para o cálculo:

$$IQA = \prod_{i=0}^9 q_i^{w_i} \quad \text{Equação (1)}$$

Onde:

IQA – índice de qualidade da água, um número de 0 a 100 obtido da respectiva “curva média de variação de qualidade”, em função de sua concentração ou medida;

q<sub>i</sub> = qualidade do parâmetro i obtido através da curva média específica de qualidade;

w<sub>i</sub> = peso atribuído ao parâmetro, em função de sua importância na qualidade, entre 0 e 1.

As curvas de variação de qualidade das variáveis ( $q_{is}$ ) podem ser verificadas no Anexo 1 deste trabalho, bem como as tabelas contendo as expressões polinomiais utilizadas para o cálculo, adaptadas da CETESB (2008) e PNMA II (2005).

Após obtenção dos resultados, escolhe-se a expressão compatível com a faixa de concentração encontrada e calcula-se o IQA através do somatório dos resultados dos  $q_{is}$  encontrados multiplicados por seus respectivos pesos (Quadro 3.5), aplicando-se para isto a equação (1). O resultado encontrado deve ser comparado com o quadro, a fim de se classificar o Índice de Qualidade das Águas.

**Quadro 3.5 - Nível de Qualidade da Água**

NÍVEL DE QUALIDADE	FAIXA DO VALOR DE IQA
Excelente	91 - 100
Boa	71 - 90
Média	51 - 70
Ruim	26 - 50
Muito ruim	0 - 25

### 3.5 DETERMINAÇÃO DO ÍNDICE DE TOXICIDADE - (IT)

Os sete metais integrantes do IT são os seguintes: cádmio, chumbo, cobre, mercúrio, cromo, níquel e zinco. Caso um dos elementos ultrapasse o limite permitido pelos padrões da Resolução CONAMA n° 357/2005 para águas salobras e salinas, classe 1 (Quadro 3.6), o IT assumirá valor igual a zero. Caso contrário, será igual a um (1).

**Quadro 3.6** - Valores máximos permitidos para os metais tóxicos, segundo a resolução CONAMA 357/2005.

METAIS	ÁGUAS SALINAS, CLASSE 1 (mg.L <sup>-1</sup> )	ÁGUAS SALOBRAS, CLASSE 1 (mg.L <sup>-1</sup> )
Cádmio	0,005	0,005
Chumbo	0,01	0,01
Cobre dissolvido	0,005	0,005
Mercúrio	0,0002	0,0002
Cromo	0,05	0,05
Níquel	0,025	0,025
Zinco	0,09	0,09

---

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

---

*“A coisa mais importante da vida não é a situação em que estamos, mas a direção na qual nos movemos”.*

*(Oliver Wendell Holmes)*

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

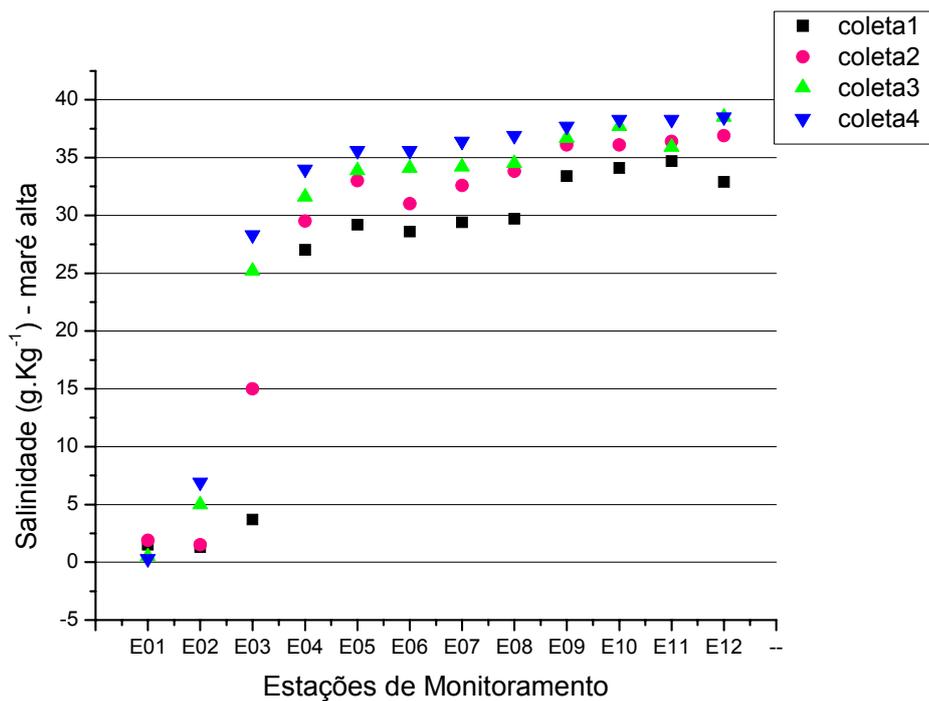
Com base na Resolução 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA, que dispõe sobre a classificação dos corpos d'água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, as amostras foram analisadas e seus resultados, sempre que possível, comparados com os padrões estabelecidos nesta legislação.

### 4.1 SALINIDADE

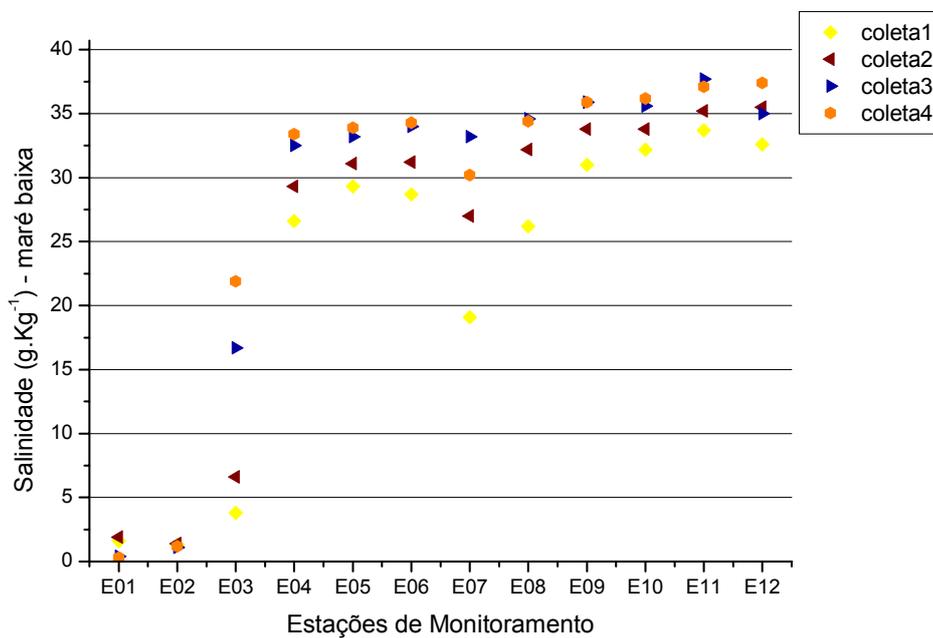
A salinidade é mencionada na legislação ambiental para enquadrar os ambientes hídricos nas Classes citadas na Resolução CONAMA nº 357/2005, na qual se caracteriza o tipo de água devido à quantidade de sais ali presentes: águas doces – salinidade igual ou inferior a 0,5 ‰; águas salobras – águas com salinidade superior a 0,5‰ e inferior a 30 ‰, (destacado nas tabelas em amarelo); águas salinas – salinidade igual ou superior a 30 ‰ (destacado nas tabelas em laranja).

Os altos valores determinados de salinidade nas coletas foram conseqüências da predominância do regime de enchente e vazante que fez com que o estuário ficasse sempre dominado pelas águas oceânicas que ingressaram no estuário. Essa influência é mais pronunciada, principalmente nos pontos mais próximos da foz do Rio Potengi. Os gráficos dos comparativos entre a salinidade das quatro coletas mostram bastante coerência através de um comportamento crescente do ponto E01 até E04 e se mantendo, praticamente, constante nos pontos onde a influência das marés é mais pronunciada. Observa-se um pequeno decréscimo da salinidade no ponto E07 em maré baixa. Este ponto sofre a influência do rio Golandim, que por ter uma salinidade inferior a do rio Potengi, contribui para essa redução.

Observa-se ainda, que a primeira campanha apresentou menor índice de salinidade, o que pode ser atribuído ao alto índice pluviométrico registrado no dia anterior ao da coleta; o que justifica também o aumento da salinidade da primeira até a última coleta, visto que para o ano de 2007, o período de estiagem começou a partir de setembro, promovendo assim uma concentração dos sais dissolvidos na água.



**Figura 4.1** - Gráficos da Salinidade referente às quatro coletas em cada ponto de amostragem, na maré alta.



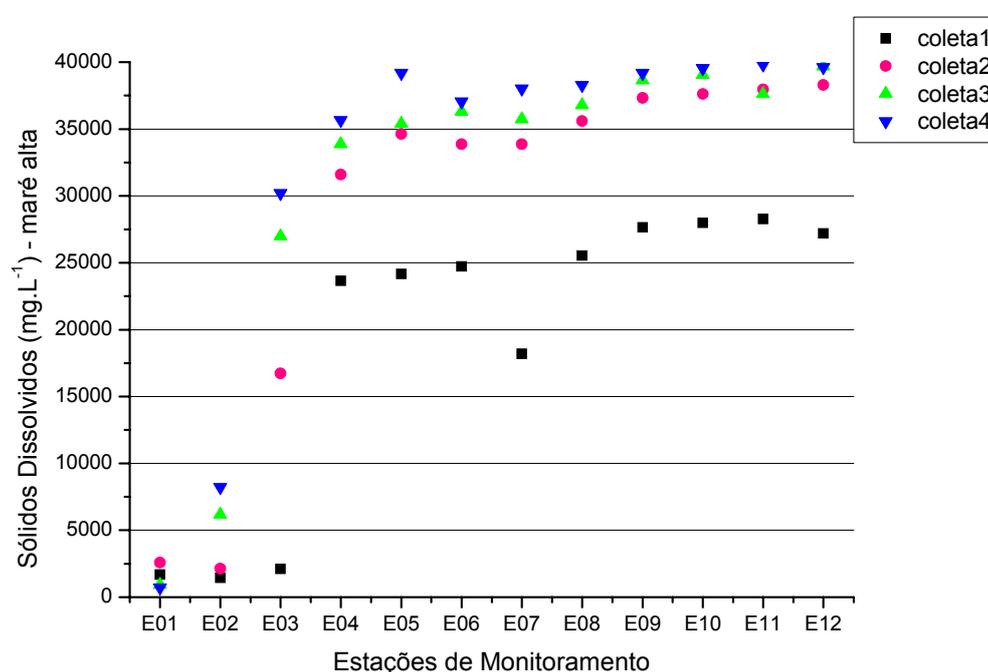
**Figura 4.2** - Gráficos da Salinidade referente às quatro coletas em cada ponto de amostragem, na maré baixa.

## 4.2 SÓLIDOS TOTAIS

Os sólidos totais são amplamente influenciados pela salinidade do Estuário, sendo alto onde a salinidade é alta por se tratar do NaCl, o composto de maior concentração nos sólidos dissolvidos nessa água.

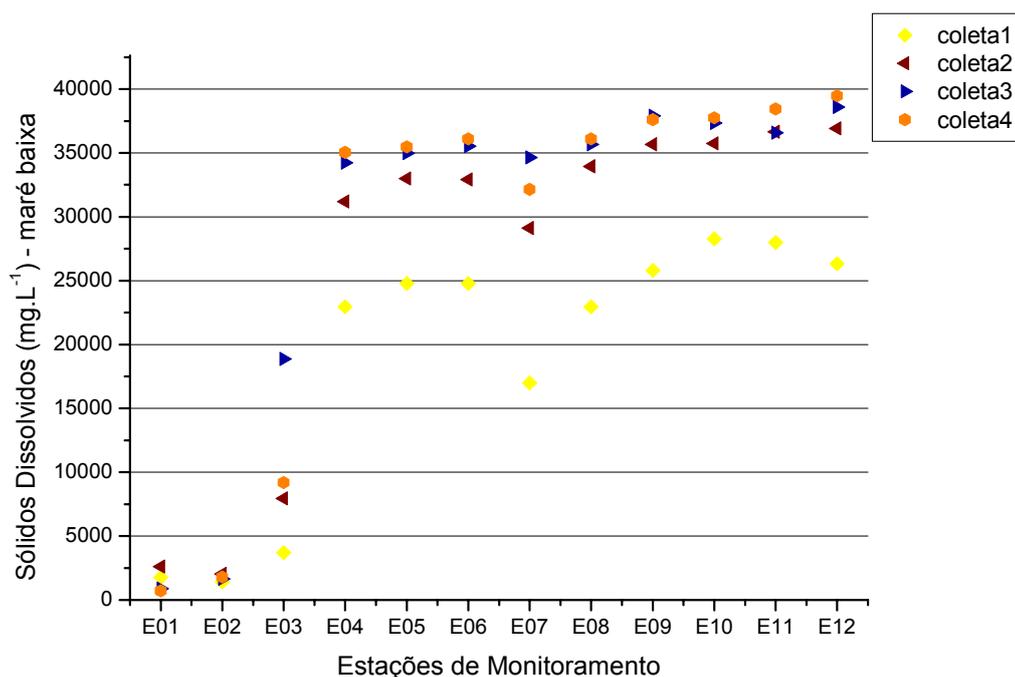
### 4.2.1 Sólidos Dissolvidos

Observa-se uma grande semelhança nos gráficos de comportamento de salinidade (Figuras 4.1 e 4.2) e sólidos dissolvidos, mostrados nas figuras 4.3 e 4.4:



**Figura 4.3** - Resultado dos Sólidos Dissolvidos obtidos na maré alta, em mg.L<sup>-1</sup>

Logo, com relação à salinidade, os pontos E01 e E02, tanto em maré alta quanto na baixa, possuem menor teor de sólidos dissolvidos. Isso se deve ao fato de que, estes dois locais sofrem uma menor incidência das marés, recebendo um maior aporte hídrico das águas doces provenientes do rio Jundiáí. O que também pode ser observado no ponto E03, é que este ainda sofre influência deste rio, mas isto só é facilmente observável em ocasião de baixa maré. A partir do ponto E04, a influência das águas doces do rio Jundiáí quase não pode ser mais verificada.



**Figura 4.4** - Resultado dos Sólidos Dissolvidos obtidos na maré baixa, em mg.L<sup>-1</sup>

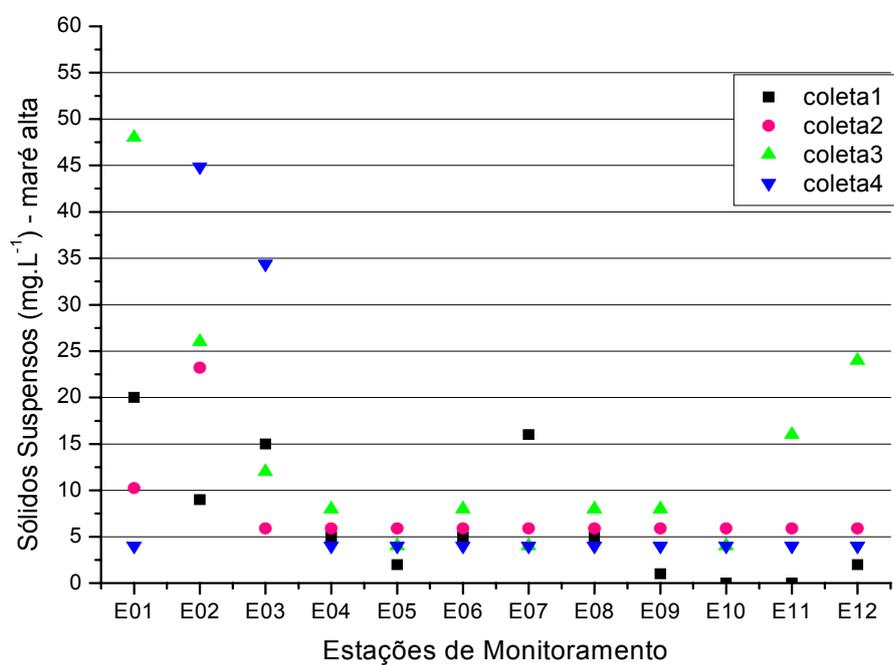
#### 4.2.2 Sólidos Suspensos

Os sólidos suspensos apresentam maiores resultados (Fig. 4.6 e 4.7), justamente, onde a salinidade é menor (nos três primeiros pontos de coleta), seja pela baixa profundidade da lâmina d'água oferecendo menor distância entre a água e o sedimento de fundo, ou pelo lançamento de efluentes, que é facilmente observado nos pontos E02 e E03 (Fig. 4.5), fornecendo uma maior quantidade de sólidos precipitados no meio. Observa-se ainda, maior concentração de sólidos em suspensão em ocasião de baixa maré, explicado pela menor dispersão destes sólidos no meio.

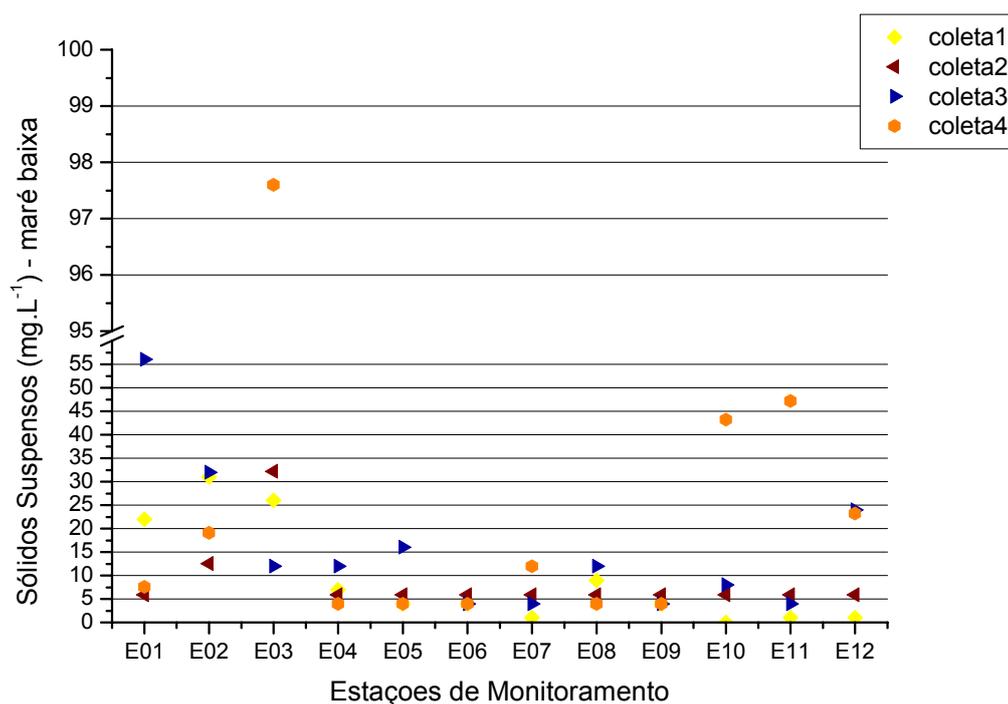
Em relação aos sólidos totais, pode-se é possível observar que, enquanto os dissolvidos têm influência predominantemente natural, os suspensos recebem influência antrópica, pois estes têm valores que diferem, independentes da influência da maré (como nos dois primeiros pontos).



**Figura 4.5** - Registros fotográficos de lançamento de efluentes; à esquerda no ponto E02 e a direita, E03.



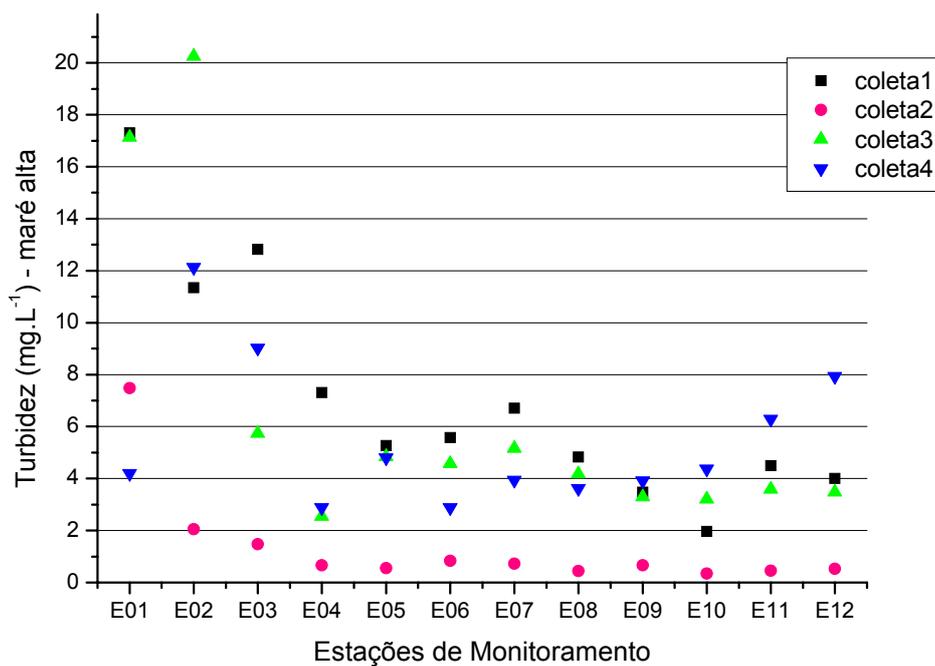
**Figura 4.6** - Teor de Sólidos Suspensos na maré alta, em mg.L<sup>-1</sup>



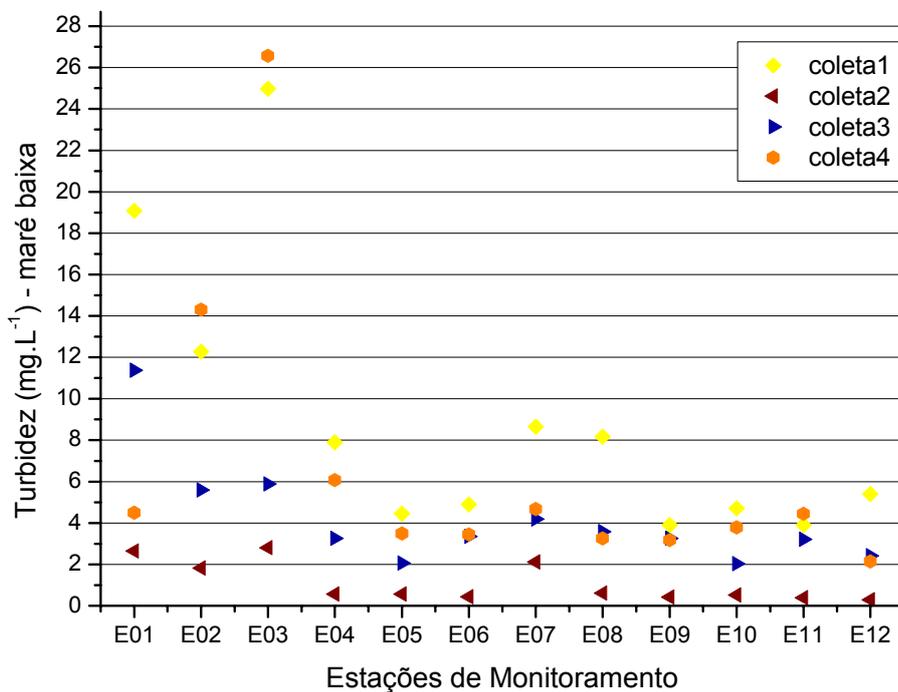
**Figura 4.7** - Teor de Sólidos Suspensos na maré baixa, em mg.L<sup>-1</sup>

### 4.3 TURBIDEZ

Os valores da turbidez mostram conformidade com os de sólidos suspensos, sendo estes, um dos principais responsáveis por provocar o espalhamento da luz no meio. Altas concentrações de sólidos dissolvidos podem contribuir, embora em menor intensidade, para o aumento de turbidez conforme observamos nos gráficos das figuras 4.8 e 4.9. Assim como para os sólidos suspensos, os três primeiros pontos de coleta apresentam maiores índices de turbidez, por motivos já antes expostos.



**Figura 4.8** - Gráficos da Turbidez referente às quatro coletas em cada ponto de amostragem, na maré alta.

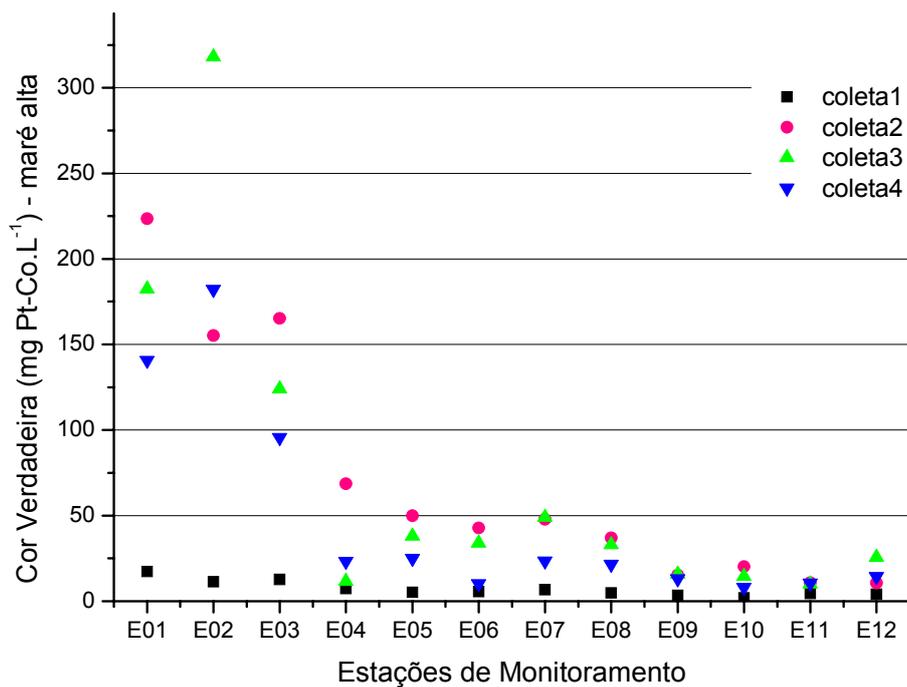


**Figura 4.9** - Gráficos da Turbidez referente as quatro coletas em cada ponto de amostragem, na maré baixa.

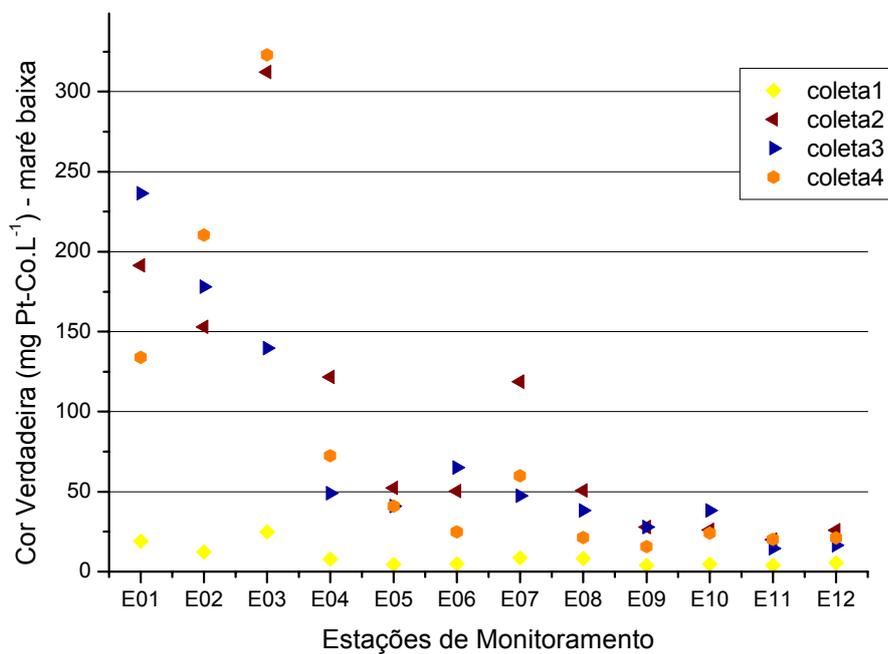
#### 4.4 COR VERDADEIRA

Concentrações altas de cor nos corpos d'água são indicativas de despejos de efluentes industriais, onde se utilizam de corantes e/ou efluentes com concentrações relevantes de matéria orgânica. Observa-se, mais uma vez, que os três primeiros pontos, tanto em maré alta quanto na baixa, apresentam sempre maiores concentrações de cor em comparação aos outros pontos, provavelmente, devido ao impacto recebido de efluentes industriais, como é o caso do ponto E01 que recebe lançamento de efluentes tratados da tinturaria da indústria têxtil Nóbrega e Dantas S/A. nas suas proximidades; o ponto E02, que recebe efluentes domésticos sem tratamento da cidade de macaíba, como já mostrado anteriormente; e o ponto E03, que recebe lançamento direto, a montante do ponto de coleta, da SITEL do CIA, Coca-Cola e ENSEG.

Observa-se ainda, que o ponto E07 apresenta sempre maiores valores para cor verdadeira em relação aos outros pontos que sofrem maiores influências da maré, provavelmente pela contribuição dos despejos do Distrito Industrial de Natal – DIN, onde também estar localizada a indústria têxtil Coteminas, podendo a referida indústria está contribuindo com a cor, através do lançamento de efluentes tratados de tinturaria. Nas figuras 4.10 e 4.11, encontram-se os gráficos de cor verdadeira, referentes às coletas em maré alta e baixa.



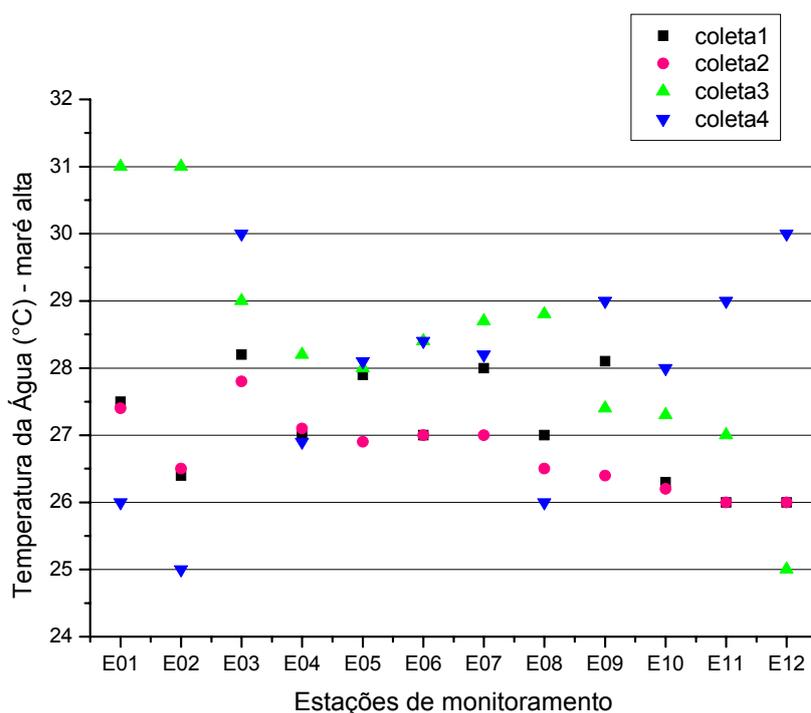
**Figura 4.10** - Gráficos da concentração de Cor Verdadeira referente às quatro coletas em cada ponto de amostragem, na maré alta.



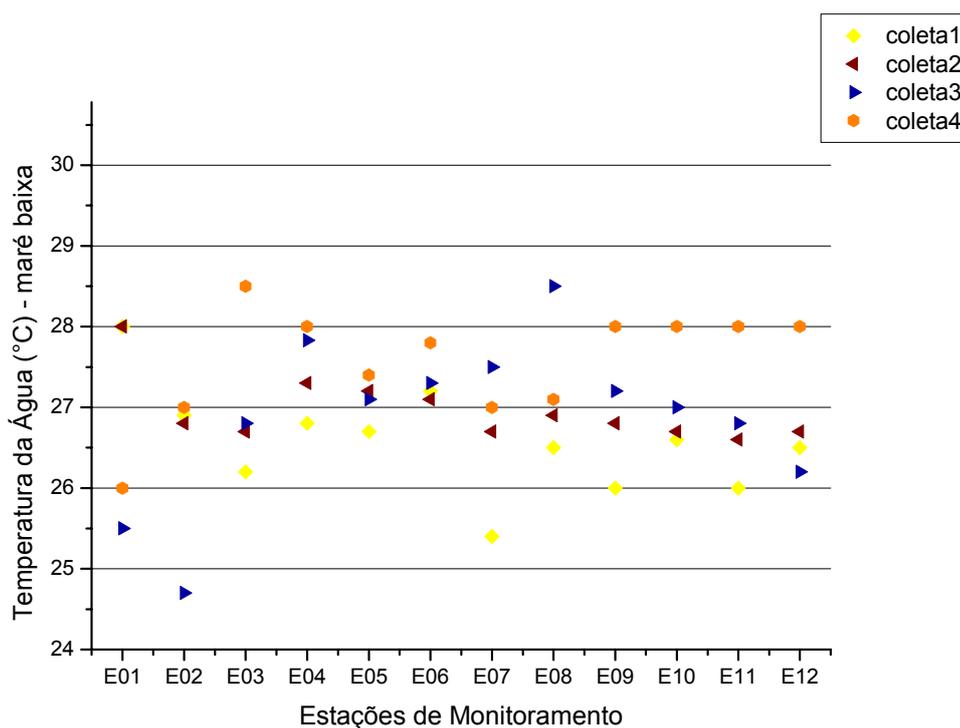
**Figura 4.11** - Gráficos da concentração de Cor Verdadeira referente às quatro coletas em cada ponto de amostragem, na maré baixa.

#### 4.5 TEMPERATURA

Em relação à temperatura, os valores encontrados se mostram praticamente constantes, ou com variações não significativas do ponto de vista a influenciar nas concentrações dos outros parâmetros, como por exemplo, a solubilidade. Em maré alta, nenhum valor se mostrou menor que 25°C, e apenas na terceira coleta, nos pontos E01 e E03, apresentaram valores maiores que 30°C.



**Figura 4.12** - Temperatura da água, no momento da coleta, em maré alta

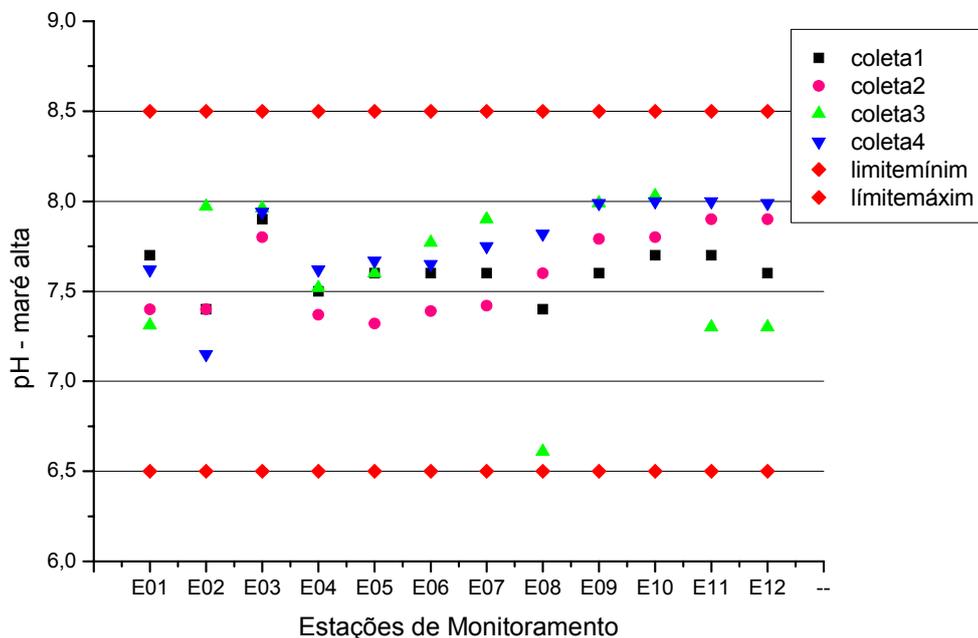


**Figura 4.13** - Temperatura da água, no momento da coleta, em maré baixa

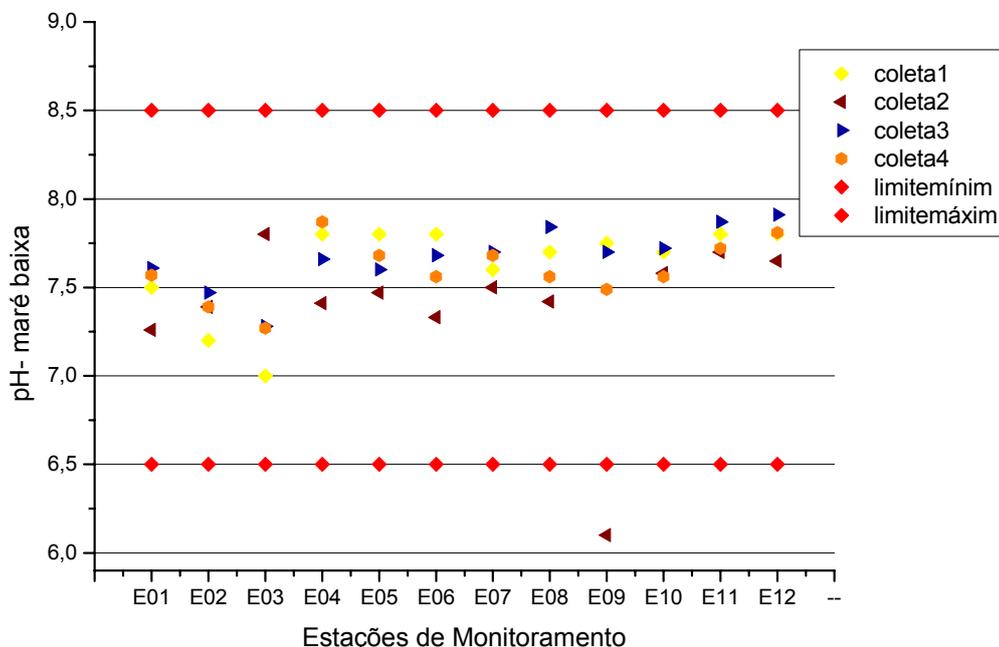
#### 4.6 POTENCIAL HIDROGENIÔNICO (pH)

A distribuição dos valores de pH, nas águas superficiais ao longo do canal, evidenciou uma tendência ao aumento dos valores em direção às regiões mais próximas ao Oceano Atlântico, ou seja, com maior salinidade. É possível se observar, através da visualização dos gráficos das Figuras 4.14 e 4.15, que os pontos onde o pH sofre maiores oscilações é, justamente, nos quatro primeiros pontos de monitoramento, onde a influência das marés é menos intensa, e por isso a ação antrópica é mais acentuada. Contudo, no geral, observa-se um comportamento uniforme entre todas as coletas, mantendo em quase toda a sua totalidade valores entre 7,00 e 8,00. Esta constância do pH nas águas costeiras, especialmente próximas aos locais de evidente contribuição continental, deve-se provavelmente, ao efeito da temperatura praticamente constante sobre o CO<sub>2</sub>. Temperaturas mais altas favorecem a liberação deste gás, influenciando nos valores de pH, que são menores quando há maiores concentrações de CO<sub>2</sub> na água. Os valores foram comparados com Resolução CONAMA nº 357/2005, para

as águas Salobras e Salinas Classe 1 (6,5 a 8,5) e estão descritos nas figuras 4.14 e 4.15 a seguir:



**Figura 4.14** - Gráfico com os valores do Potencial Hidrogeniônico (pH) referente às quatro coletas em cada ponto de amostragem, na maré alta



**Figura 4.15** - Gráfico com os valores do Potencial Hidrogeniônico (pH) referente às quatro coletas em cada ponto de amostragem, na maré baixa.

As legendas, limite mínimo e máximo, se referem ao intervalo de conformidade da resolução já citada. Os gráficos mostrados nas Figuras 4.14 e

4.15 revelam o comportamento do pH durante as quatro campanhas. Todos os valores se mantiveram no intervalo entre 7,0 e 8,0, não permanecendo, portanto, fora dos padrões da resolução em questão, com exceção do ponto E09 na 2ª campanha, em maré baixa (Fig. 4.15).

#### 4.7 OXIGÊNIO DISSOLVIDO (OD)

As concentrações encontradas estavam em sua maioria acima do valor mínimo estabelecido pela Resolução CONAMA nº 357/2005, cujo valor é 5,0 mg.L<sup>-1</sup> O<sub>2</sub>, para as águas Salobras Classe 1 e 6,0 mg.L<sup>-1</sup> O<sub>2</sub> para águas salinas classe 1.

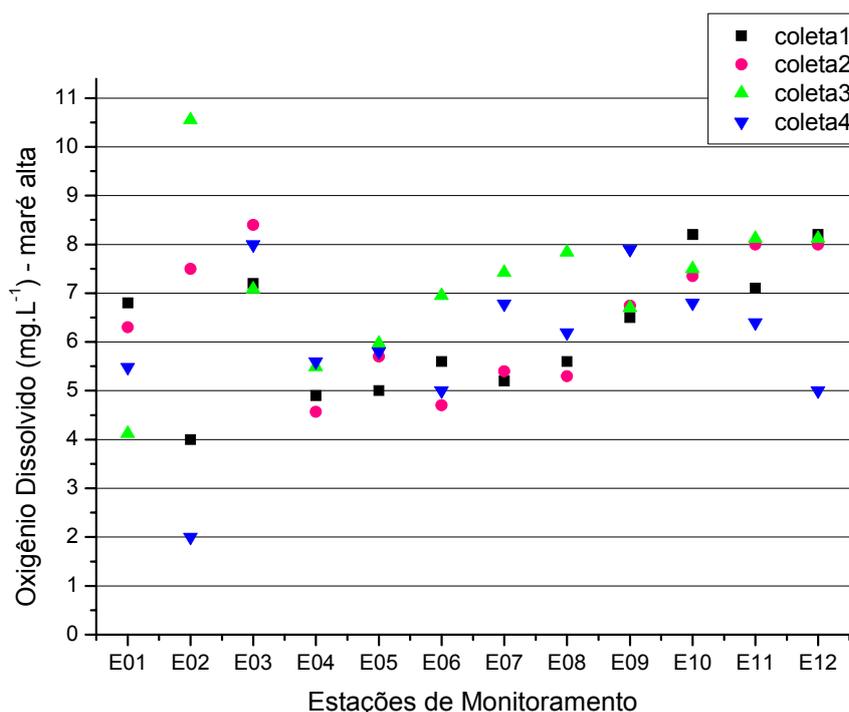
**Quadro 4.1** - Resultados de Oxigênio Dissolvido em mg.L<sup>-1</sup>

	1ª campanha (mg.L <sup>-1</sup> de OD)		2ª campanha (mg.L <sup>-1</sup> de OD)		3ª campanha (mg.L <sup>-1</sup> de OD)		4ª campanha (mg.L <sup>-1</sup> de OD)	
	Alta	Baixa	Alta	Baixa	Alta	Baixa	Alta	Baixa
E01	6,80	7,80	6,30	5,90	4,12	0,75	5,48	3,10
E02	4,00	4,10	7,50	7,78	10,55	0,76	2,00	0,20
E03	7,20	7,90	8,40	10,00	7,08	2,50	8,00	0,73
E04	4,90	8,40	4,57	6,22	5,49	6,03	5,60	5,61
E05	5,00	6,70	5,70	6,22	5,97	4,97	5,80	7,10
E06	5,60	7,10	4,70	4,50	6,95	6,2	5,00	4,96
E07	5,20	5,50	5,40	4,50	7,42	6,31	6,78	6,86
E08	5,60	5,60	5,30	5,34	7,84	6,27	6,19	5,27
E09	6,50	7,70	6,74	7,54	6,70	5,30	7,90	4,50
E10	8,20	8,30	7,35	5,80	7,50	5,30	6,80	6,90
E11	7,10	8,20	8,00	6,70	8,12	5,70	6,40	5,80
E12	8,20	8,30	8,00	6,70	8,12	5,50	5,00	6,50

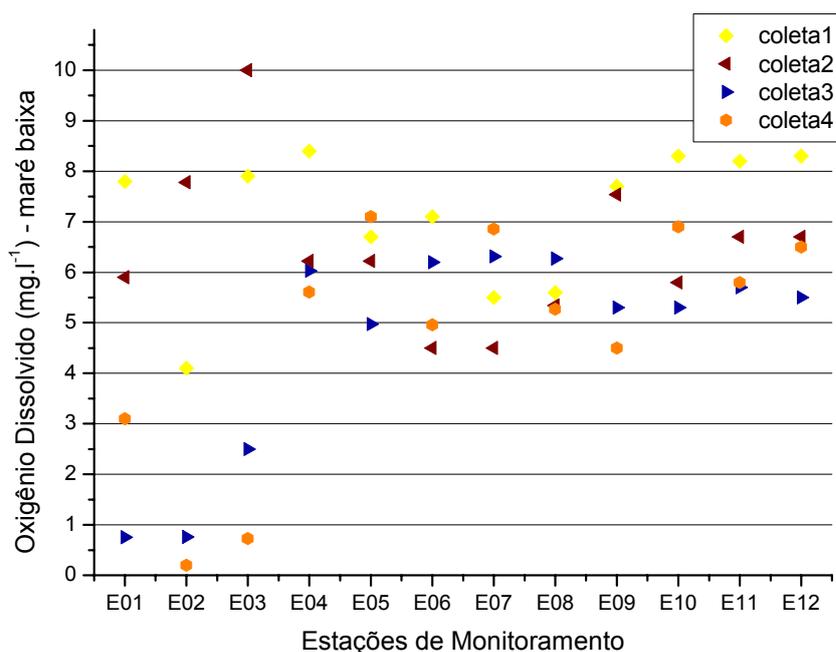
No quadro 4.1, as células dispostas em amarelo se referem às águas consideradas salobras e as laranjas são amostras salinas. Os resultados encontrados devem-se, principalmente, ao fato do regime hídrico do estuário em questão, ao manter um fluxo contínuo de águas, estabelecerem um equilíbrio entre a água e a superfície. Resultados abaixo dos limites (em vermelho), também foram encontrados, principalmente em locais onde era visível a descarga de efluentes com elevada carga de matéria orgânica e possível aumento da demanda de oxigênio, sobretudo de efluentes domésticos, ou onde a coleta foi realizada após um longo período com ausência de luz (caso 3ª e 4ª campanhas, pontos E01, E02 e E03 em maré baixa, às 5:00 e 6:00 horas respectivamente), que pode ser explicado pela baixa produção de Oxigênio a partir dos seres fotossintetizantes e o consumo a partir dos seres aeróbios. Segundo BAIRD

(2002), a solubilidade máxima de oxigênio em água é de  $8,7 \text{ mg L}^{-1}$  (água saturada de oxigênio). Valores acima desta teoria foram encontrados em pontos com alta descarga de efluentes no momento da coleta (ponto E03, em maré baixa, 2ª campanha). Efluentes com altas concentrações de compostos químicos, tal qual fósforo e nitrogênio, podem conter uma elevada proliferação de seres fotossintetizantes, como as algas cianofíceas (cianobactérias) por fornecer um ambiente eutrófico (com excesso de nutrientes).

Os gráficos de OD das figuras 4.16 e 4.17 nos mostram que os valores onde se tem a maior variação deste parâmetro, ocorrem onde a influência das marés é menos pronunciada, podendo ir desde  $< 1,0$  até  $10,0$  no ponto E03, por exemplo, na maré baixa. Nos demais pontos, a maioria dos valores mantém-se num intervalo entre  $5,0$  e  $8,0$ .



**Figura 4.16** - Gráficos da concentração de Oxigênio Dissolvido (OD) referente às quatro coletas em cada ponto de amostragem, na maré alta.



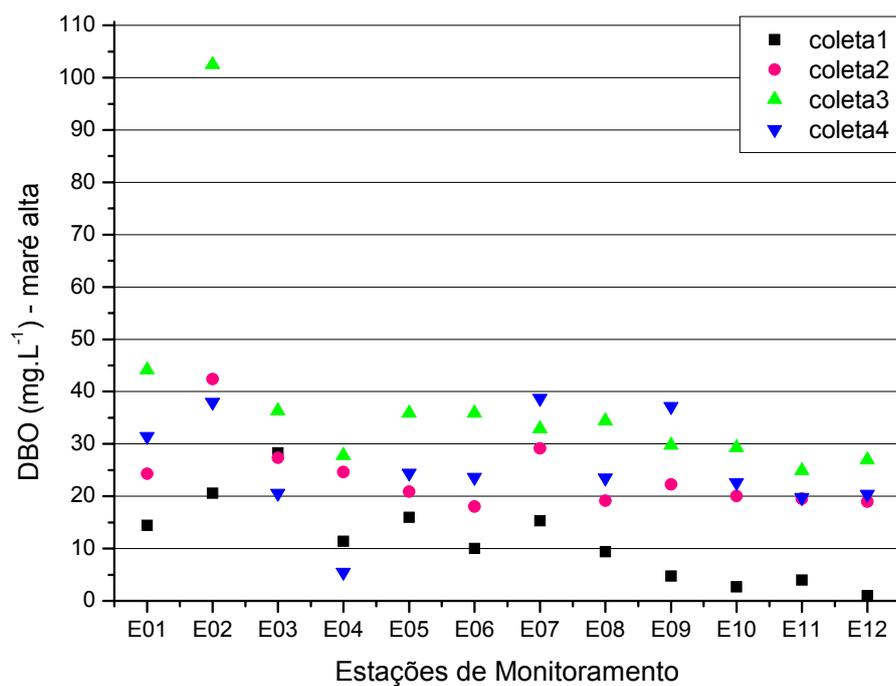
**Figura 4.17** - Gráficos da concentração de Oxigênio Dissolvido (OD) referente às quatro coletas em cada ponto de amostragem, na maré baixa.

#### 4.8 DEMANDA QUÍMICA E BIOQUÍMICA DE OXIGÊNIO (DQO E DBO)

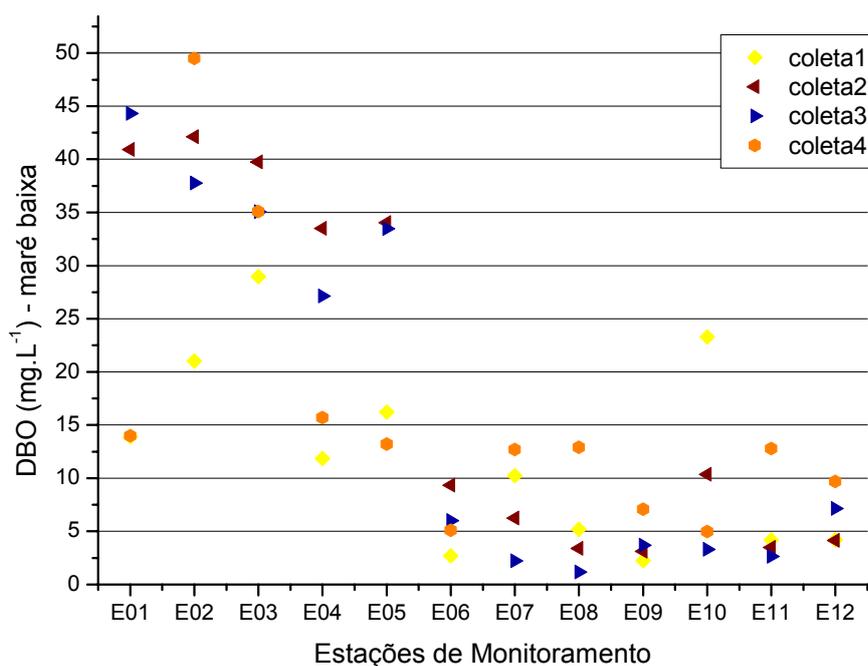
Devida a alta salinidade do meio em análise, não foi possível a realização dos ensaios de DQO, sem que estes apresentassem altos níveis de erro. Sendo assim, optou-se por determinar a matéria orgânica passível de oxidação apenas pela técnica de TOC, demonstrada no item 4.9, a seguir. Os valores de DBO estão dispostos nas figuras 4.18 e 4.19, de forma a serem comparados entre si, coleta a coleta. Este parâmetro não é referenciado na Resolução CONAMA 357/2005, para a classe em questão, mas constitui um importante indicador da contaminação de mananciais por indicar um aumento na concentração de matéria orgânica, principalmente pelo lançamento direto de efluentes e esgotos não tratados nos rios.

Os valores encontrados mostram uma redução nas duas últimas campanhas realizadas, o que evidencia uma redução nos lançamentos em função dos horários de coleta que ocorreram mais cedo nestas duas. Nos gráficos de DBO mostrados, conforme as Figuras 4.18 e 4.19, pode-se observar que no que se refere à comparação entre campanhas, as maiores variações ocorrem nos primeiros pontos, a exemplo do OD. Valores que apresentaram maiores

discrepâncias são observados para o ponto E02, em maré alta, na terceira coleta e E05 na primeira coleta, em maré baixa. Observa-se ainda, através dos gráficos de DBO, que o primeiro, relativo à maré alta, apresenta-se mais homogêneo que o da maré baixa, onde as variações são maiores, o que vem a evidenciar uma possível contribuição do aporte marítimo para com a DBO.



**Figura 4.18** - Gráficos da concentração de DBO referente às quatro coletas em cada ponto de amostragem, na maré alta.



**Figura 4.19** - Gráficos da concentração de DBO referente às quatro coletas em cada ponto de amostragem, na maré baixa.

#### 4.9 CARBONO ORGÂNICO TOTAL (COT)

Como um dos indicadores da concentração de matéria orgânica nas águas naturais, o COT pode, em águas superficiais, apresentar valores que variam de um valor mínimo de 1,0 a um valor máximo de 20,0 mg L<sup>-1</sup> (Libâneo, 2005), sendo que a Resolução do CONAMA n<sup>o</sup> 357/2005, limita para a classe em estudo 3,0 mg L<sup>-1</sup>. Ou seja, de acordo com os resultados dispostos nos gráficos das figuras 4.20 e 4.21, poucos pontos apresentaram valores de COT dentro do limite especificado. A linha vermelha se referem ao limite máximo da citada resolução.

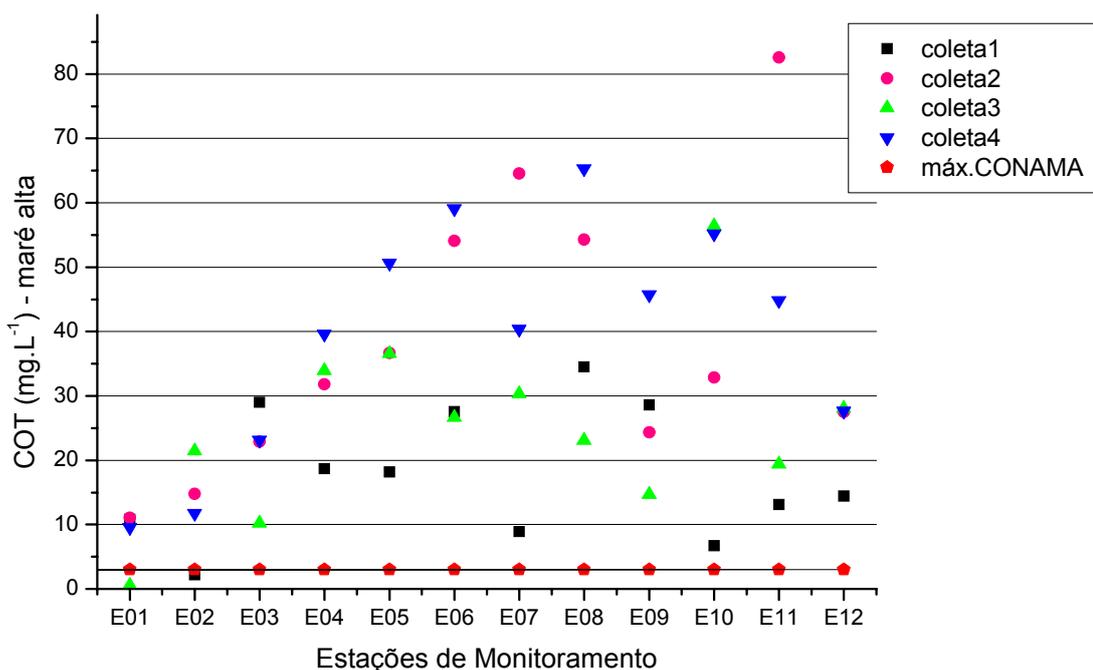


Figura 4.20 - Gráficos da concentração de Carbono Orgânico Total (COT) referente às quatro coletas em cada ponto de amostragem, na maré alta.

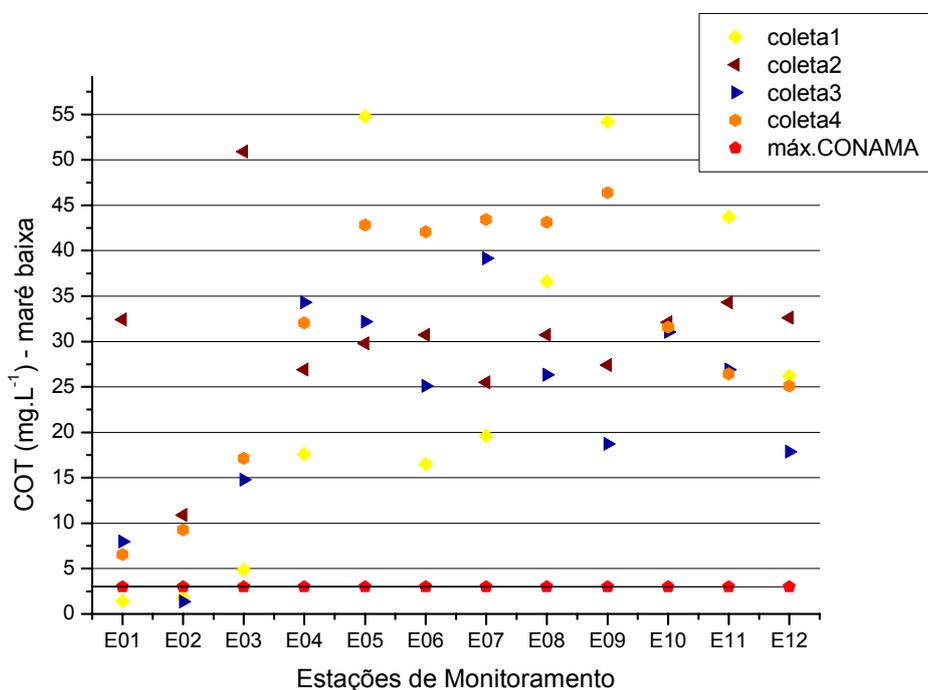


Figura 4.21 - Gráficos da concentração de carbono orgânico total referente às quatro coletas em cada ponto de amostragem, na maré baixa

A concentração de COT é a principal responsável pela DQO do meio. Sendo assim, estas devem apresentar valores diretamente proporcionais e suscetíveis a variação por recepção de aportes de matéria orgânica.

A matéria orgânica dos esgotos se apresenta de duas formas: em suspensão e dissolvida. A matéria em suspensão tende a sedimentar no corpo d'água, formando o lodo de fundo, e só pode ser determinada através da determinação de Matéria Orgânica (MO) no sedimento. A matéria dissolvida, conjuntamente com a matéria suspensa de pequenas dimensões (dificilmente sedimentáveis), permanece na massa líquida. A oxidação desta matéria orgânica corresponde ao principal fator de consumo de oxigênio. O consumo de oxigênio se deve a respiração dos microrganismos decompositores, principalmente as bactérias heterotróficas, aeróbias.

No entanto, devido à influência da constante reposição de água na maré cheia, esse acréscimo de matéria orgânica ainda não está influenciando nos valores determinados de oxigênio dissolvido, de forma a comprometer a fauna aquática.

Após uma descarga de matéria orgânica ocorre o consumo de OD, pelas bactérias aeróbias, conforme falado anteriormente. Nesta situação, diz-se haver um déficit de oxigênio. Se isto ocorre, então há uma busca para uma nova situação de equilíbrio, que sempre tenderá ao de saturação de oxigênio do meio ( $8,7\text{mg.L}^{-1}$ , a  $25^{\circ}\text{C}$ ). Sendo assim, então, apesar dos valores de OD se manterem dentro dos padrões da referida resolução, a maioria dos valores se encontram abaixo desta concentração, o que pode ser um indicativo deste consumo a partir da DBO e da DQO.

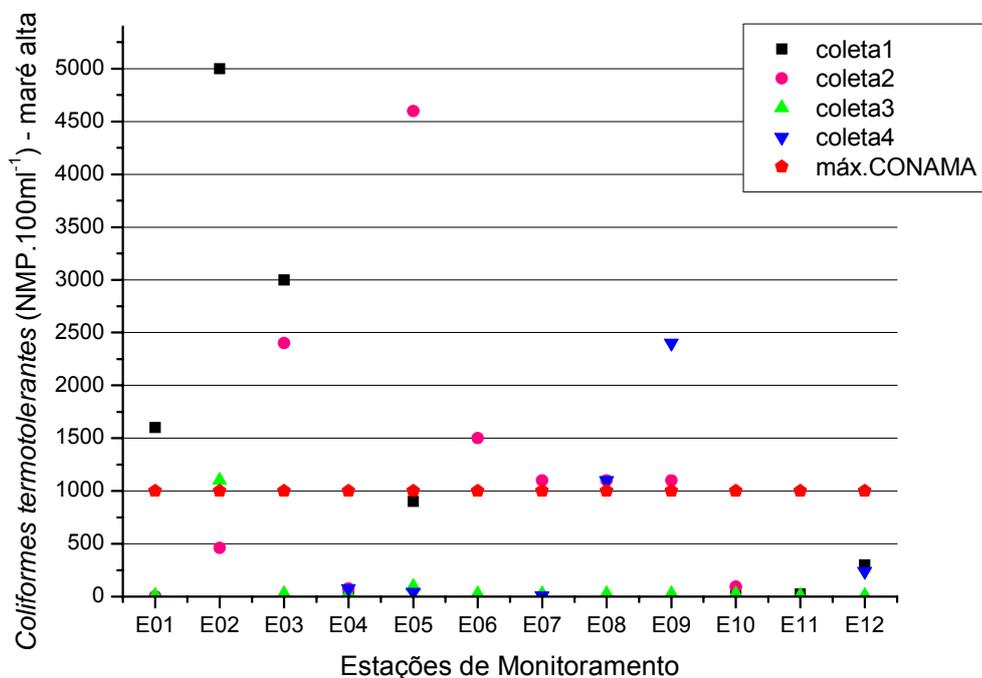
#### 4.10 COLIFORMES TERMOTOLERANTES

Foram levados em consideração, ainda, aspectos microbiológicos, como a determinação de bactérias do grupo *coliforme*. A resolução CONAMA n° 357/2005 para águas salobras e salinas classe 1, limita em 1000/100ml em 80% ou mais de pelo menos 6 amostras coletadas durante o período de um ano, com frequência bimestral. Sendo assim, apesar dos resultados encontrados serem de extrema importância por fornecerem informações relevantes, coleta a coleta, da situação

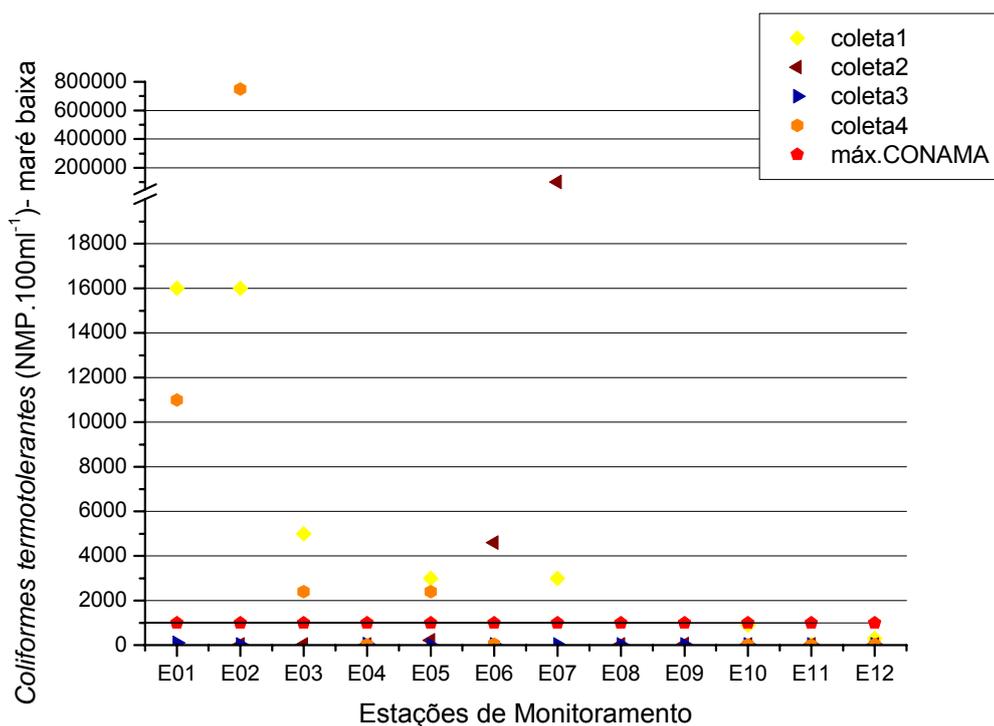
quanto a lançamentos irregulares de efluentes domésticos, estes não podem ser conclusivos, com base na legislação.

A determinação deste parâmetro é de grande importância por ser este, o principal indicador de contaminação fecal, através de esgotos domésticos lançados sem tratamento nos corpos d'água.

Através dos resultados obtidos e apresentados nos gráficos das Figuras 4.22 e 4.23, é possível observar uma redução nos lançamentos, tendo por base os resultados da terceira e quarta campanha e que estes estão coerentes com os valores de DBO e COT, por se tratarem de parâmetros relacionados a matéria orgânica.



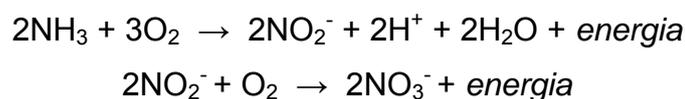
**Figura 4.22** - Gráficos da concentração de *Coliformes termotolerantes*, referente às quatro coletas em cada ponto de amostragem, na maré alta



**Figura 4.23** - Gráficos da concentração de *Coliformes termotolerantes*, referente às quatro coletas em cada ponto de amostragem, na maré baixa

#### 4.11 NITROGÊNIO

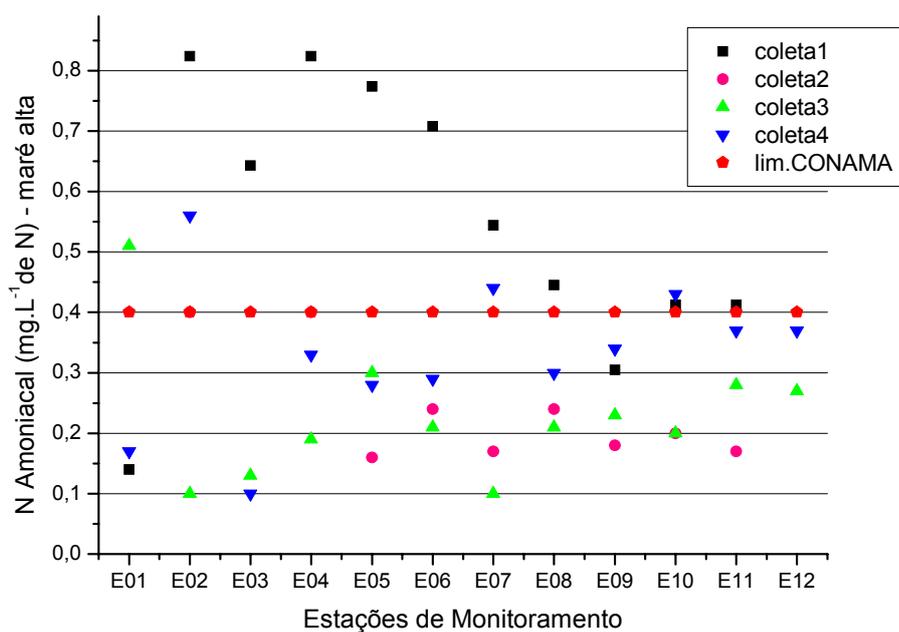
Outro processo de oxidação é o referente às formas nitrogenadas, responsável pela transformação da amônia em nitritos, e estes em nitratos, no fenômeno denominado *nitrificação*. Os microorganismos envolvidos neste processo são autótrofos quimiossintetizantes, para os quais o dióxido de carbono é a principal fonte de carbono, e a energia é obtida através da oxidação da amônia, como mostrado a seguir:



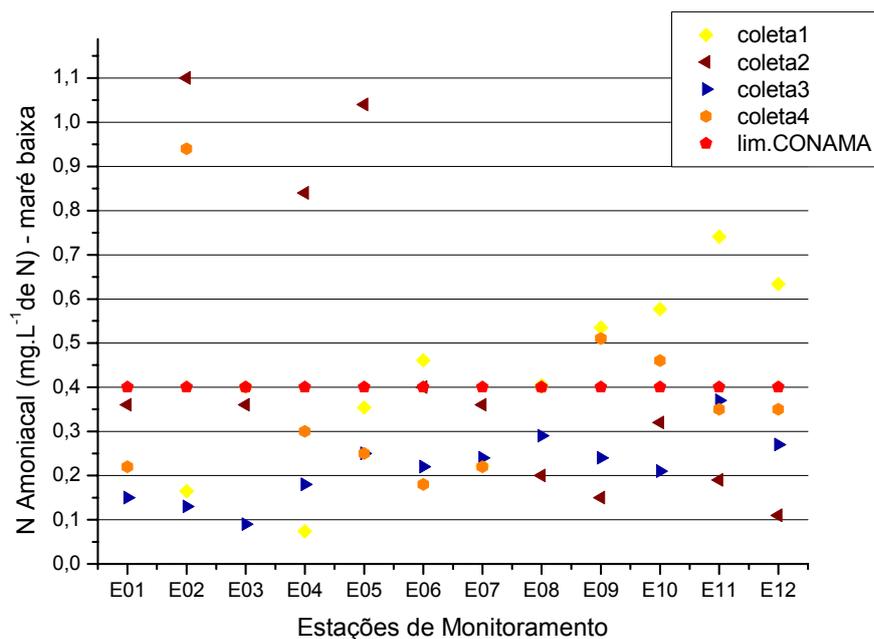
Observa-se que em ambas as reações há consumo de oxigênio, mas esse consumo ocorre após a reação de desoxigenação carbonácea (consumo de matéria orgânica). Tal é o fato que a taxa de crescimento das bactérias

nitrificantes é mais lenta que o das bactérias heterotróficas, implicando que a nitrificação ocorra também de forma mais lenta.

Apresentamos nas Figuras 4.24 a 4.29 os gráficos das três formas de nitrogênio inorgânicos determinadas nesse trabalho. Segundo a Resolução do CONAMA 357/2005, Classe 1 o limite para o nitrito ( $\text{NO}_2^-$ ) é de  $0,07 \text{ mg L}^{-1}$  como N. Já para nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) e nitrogênio amoniacal ( $\text{NH}_3$ ) é de  $0,4 \text{ mg L}^{-1}$  como N. Nestes gráficos, as barras vermelhas se referem a estes limites.

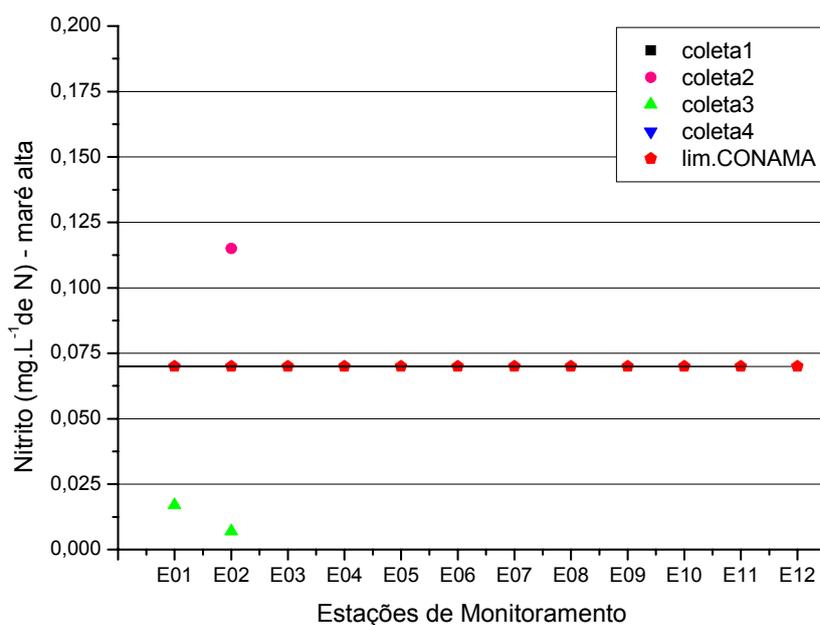


**Figura 4.24** - Gráfico da concentração de Nitrogênio Amoniacal, das quatro campanhas, em maré alta

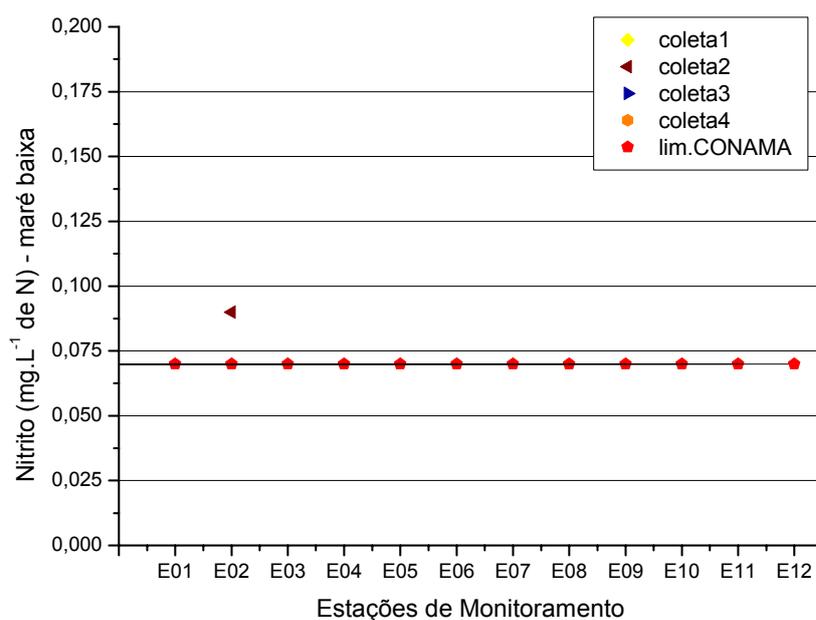


**Figura 4.25** - Gráfico da concentração de Nitrogênio Amoniacal, das quatro campanhas, em maré baixa

As maiores concentrações de nitrogênio amoniacal foram encontradas na primeira coleta em maré alta e na segunda coleta em maré baixa. Na terceira coleta, apenas o ponto E01 em maré alta, mostrou-se acima do máximo permitido, e na quarta coleta apenas os pontos E02, E07 e E10 em maré alta, e E02, E09 e E10 em maré baixa se mostraram acima do máximo permitido pela resolução. Em geral, verificam-se maiores valores de nitrogênio amoniacal em maré alta, o que pode ser atribuído a possíveis lançamentos que ocorrem com maiores frequências nestes períodos por ocasionarem menores impactos no meio como o abaixamento de OD, mortandade de peixes etc.



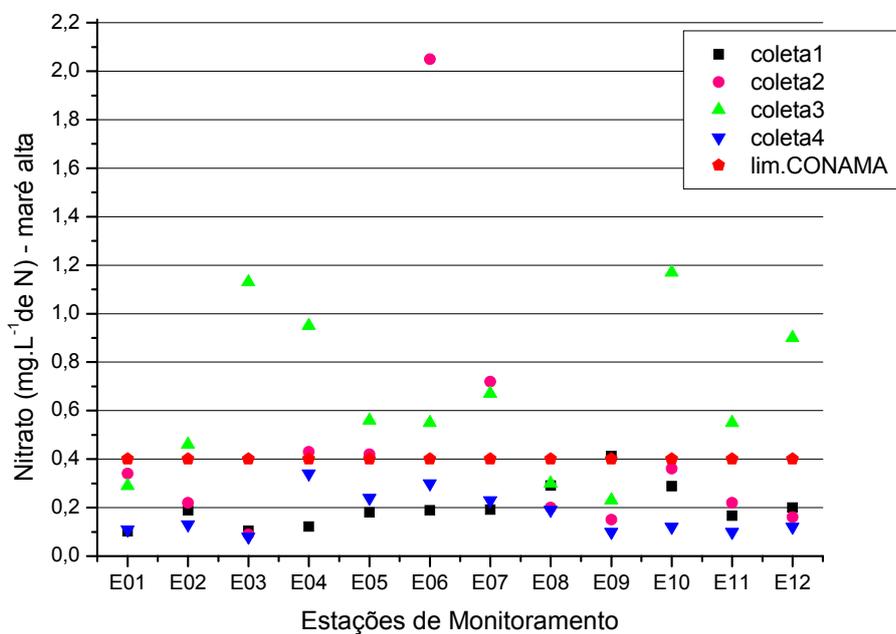
**Figura 4.26** - Gráfico da concentração de Nitrito, das quatro campanhas, em maré alta.



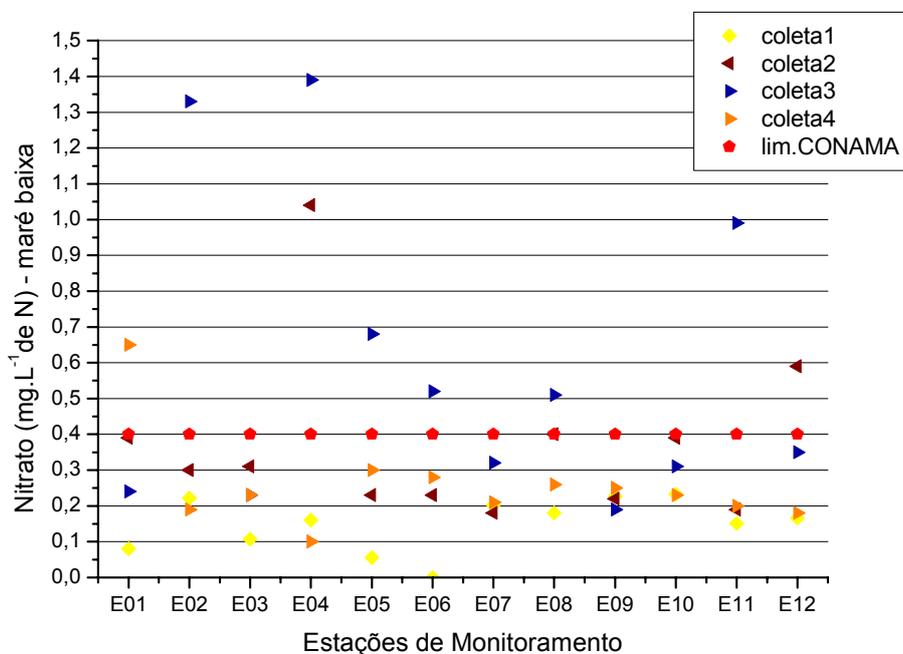
**Figura 4.27** - Gráfico da concentração de Nitrito, das quatro campanhas, em maré baixa.

Para o nitrito, apenas o ponto E02 na segunda coleta, nas duas marés, apresentou concentração acima do máximo permitido pela resolução CONAMA n° 357/2005 para águas salobras, classe 1. E com exceção destes pontos apresentados e do E01 e E02, na terceira coleta, em maré alta, não foram detectados concentrações de nitrito em nenhum outro ponto, o que pode ser

atribuído a baixa estabilidade deste ânion, que por ocasião nas marés e movimentação das águas provocam um acréscimo da concentração de OD no meio, promovendo a oxidação deste a nitrato.



**Figura 4.28** - Gráfico da concentração de Nitrato, das quatro campanhas, em maré alta.



**Figura 4.29** - Gráfico da concentração de Nitrato, das quatro campanhas, em maré baixa.

Como foi dito anteriormente, o nitrato, é a última etapa da oxidação do nitrogênio do meio, sendo esta forma então, a mais estável. Como observado, os teores de nitrito, que é o composto intermediário, estão praticamente ausentes no meio, ou em concentrações não detectáveis pela metodologia adotada. Isto se deve, provavelmente, a boa oxigenação do meio, que tende a promover a imediata oxidação deste a nitrato.

Altas concentrações de nitrogênio amoniacal em águas superficiais, provavelmente resultam de aportes originados do parque industrial e dos lançamentos de efluentes domésticos sem tratamento. Este enriquecimento da coluna d'água com amônio pode prejudicar o equilíbrio do estuário, pois este íon é um dos principais nutrientes utilizados pelos vegetais. Assim, a ocorrência de altas concentrações de nitrogênio amoniacal e fosfato podem causar problemas de eutrofização do ambiente, resultando em florações de espécies oportunistas, com conseqüente redução do número de espécies. Quando um ambiente tem excesso de este e não de nitrato, indica que a contaminação por matéria orgânica é mais recente, pois apesar da coluna d'água ter oxigênio, o amônio não teve tempo para se oxidar até nitrato. No entanto, quando o íon nitrato é o predominante, significa que o equilíbrio já está estabelecido. É possível observar a partir da visualização dos gráficos de nitrogênio amoniacal e nitrato, que na maioria das vezes em que o primeiro estava acima do máximo permitido, o nitrato não estava, e vice-versa. Porém, o mais importante de se observar é que mesmo quando não apresentam valores altos, estes estão sempre presentes, isto é um indicativo de que este rio vem sofrendo o impacto de lançamentos de efluentes sem tratamento, constantemente. No quadro a seguir, podemos observar as suas presenças, a partir da soma das da concentração do nitrogênio total.

**Quadro 4.2** - Resultados de Nitrogênio Total, em mg.L<sup>-1</sup>

	1ª campanha		2ª campanha		3ª campanha		4ª campanha	
	Alta	Baixa	Alta	Baixa	Alta	Baixa	Alta	Baixa
E01	0,24	0,08	0,39	0,77	0,81	0,39	0,27	0,88
E02	1,01	0,39	0,73	1,49	0,57	1,47	0,70	1,14
E03	0,74	0,11	0,14	0,69	1,27	0,32	0,19	0,63
E04	0,95	0,23	0,83	1,89	1,15	1,57	0,67	0,40
E05	0,95	0,41	0,59	1,28	0,87	0,93	0,52	0,55
E06	0,89	0,46	2,30	0,64	0,77	0,74	0,59	0,46
E07	0,73	0,42	0,91	0,55	0,77	0,56	0,68	0,43
E08	0,73	0,58	0,44	0,61	0,51	0,80	0,49	0,66
E09	0,72	0,76	0,34	0,38	0,46	0,43	0,44	0,77
E10	0,70	0,81	0,57	0,72	1,36	0,52	0,55	0,69
E11	0,51	0,89	0,41	0,39	0,83	1,36	0,47	0,56
E12	0,20	0,79	0,21	0,71	1,18	0,63	0,49	0,53

#### 4.12 FÓSFORO TOTAL

Segundo a Resolução 357/2005 do CONAMA, Classe 1, temos dois limites máximos para fósforo: um para águas salobras, que é de 0,124 mg L<sup>-1</sup> e outro para águas salinas que é de 0,062 mg.L<sup>-1</sup>. Conforme foi exposto anteriormente, apresentamos as células de resultados em cores amarelas para águas salobras e laranjas para águas salinas. No Quadro 4.3, os resultados em vermelho, representam concentrações acima da referida Resolução.

**Quadro 4.3 - Resultados de Fósforo Total, em mg L<sup>-1</sup>**

	1ª campanha		2ª campanha		3ª campanha		4ª campanha	
	Alta	Baixa	Alta	Baixa	Alta	Baixa	Alta	Baixa
E01	<0,0600	<0,0600	<0,0600	<0,0600	0,2300	0,9400	0,2600	0,3100
E02	<0,0600	<0,0600	<0,0600	0,4100	1,6500	0,6000	1,1900	1,4700
E03	<0,0600	<0,0600	<0,0600	0,1200	0,3500	0,4800	0,2100	0,8400
E04	<0,0600	<0,0600	<0,0600	<0,0600	0,3000	0,3500	0,1500	0,1400
E05	<0,0600	<0,0600	<0,0600	<0,0600	0,4700	0,6100	0,1400	0,1800
E06	<0,0600	<0,0600	<0,0600	<0,0600	0,6200	0,6400	0,1500	0,1800
E07	<0,0600	<0,0600	<0,0600	<0,0600	0,6000	0,7400	0,1300	0,2300
E08	<0,0600	<0,0600	<0,0600	<0,0600	0,5500	0,6400	0,1000	0,1800
E09	<0,0600	<0,0600	<0,0600	<0,0600	0,6200	0,6600	0,0400	0,1397
E10	<0,0600	<0,0600	<0,0600	<0,0600	0,5500	0,7000	0,0400	0,1465
E11	<0,0600	<0,0600	<0,0600	<0,0600	0,6500	0,5100	0,0300	0,1039
E12	<0,0600	<0,0600	<0,0600	<0,0600	0,5400	0,8600	0,0500	0,0729

O fósforo, assim como o nitrogênio, constitui um dos principais fatores de estímulo para o surgimento de um ambiente eutrófico, por ser também um importante nutriente, contribuindo assim para o crescimento excessivo de algas.

Como podemos observar, nas duas primeiras campanhas não foi detectado teores de fósforo nas águas. No entanto, para a terceira e quarta, os teores na sua maioria estavam acima do máximo permitido, tanto para águas salobras, quanto para salinas. Desta forma, estes ambientes podem ser considerados como ambientes com alto potencial de desenvolvimento de estado trófico. A instalação deste estado só pode ser prescrita a partir da determinação dos níveis de clorofila a no meio.

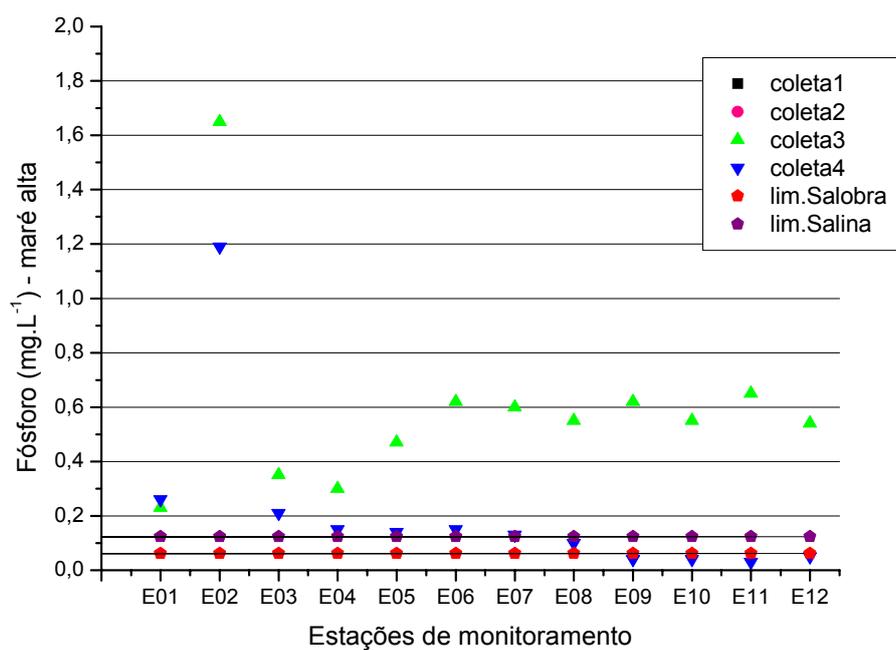


Figura 4.30 - Gráfico da concentração de Fósforo Total, das quatro campanhas, em maré alta.

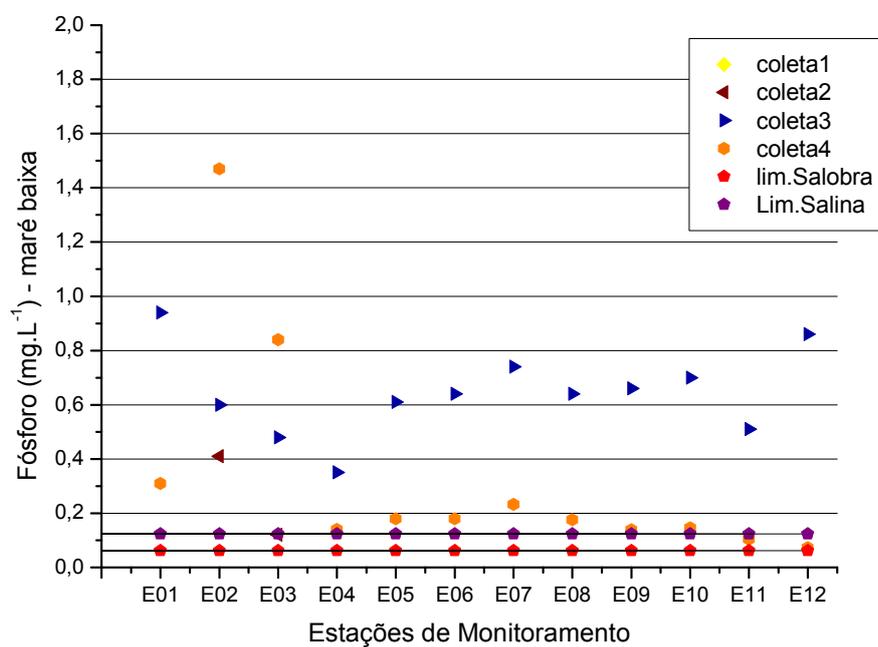
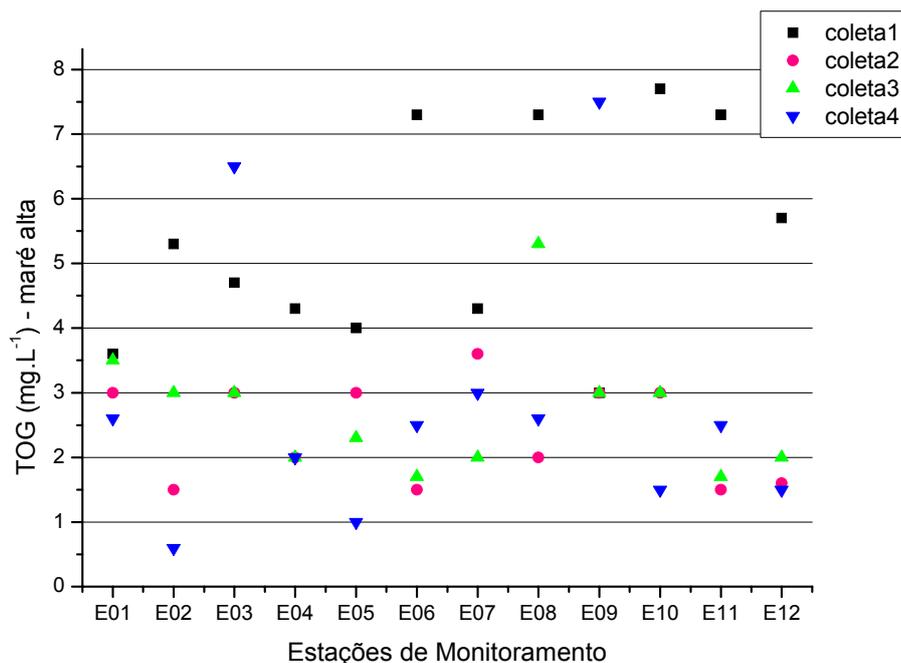


Figura 4.31 - Gráfico da concentração de Fósforo Total, das quatro campanhas, em maré baixa.

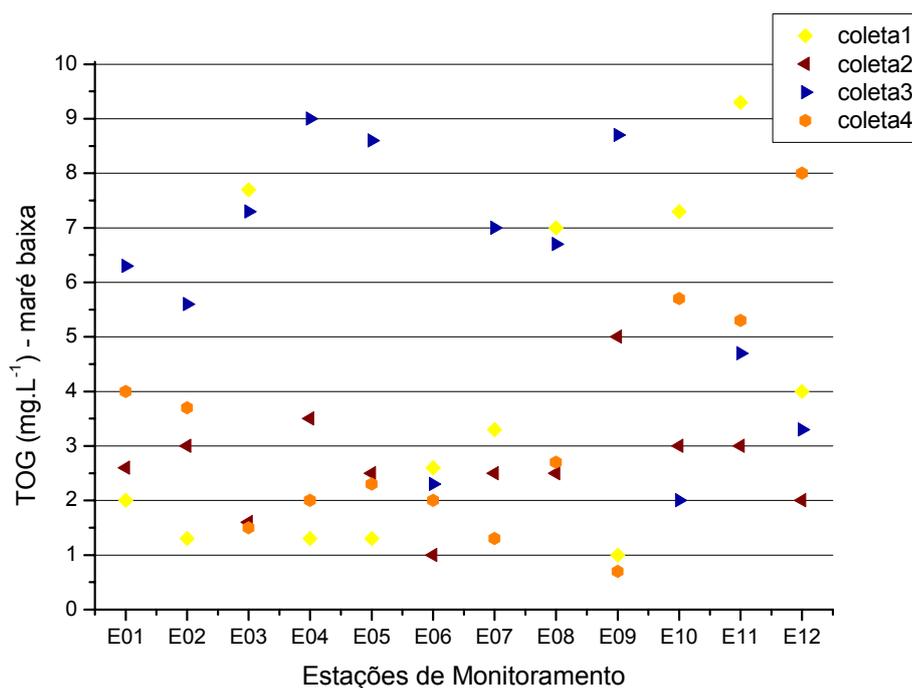
#### 4.13 TEOR DE ÓLEOS E GRAXAS (TOG)

Apesar de este parâmetro estar referido na resolução em questão, apenas em relação ao seu aspecto visual, ele também foi determinado quantitativamente e os resultados estão apresentados abaixo, conforme os gráficos das Figuras 4.32 e 4.33, a seguir:



**Figura 4.32** - Gráficos do Teor de Óleos e Graxas referente às quatro coletas em cada ponto de amostragem, na maré alta.

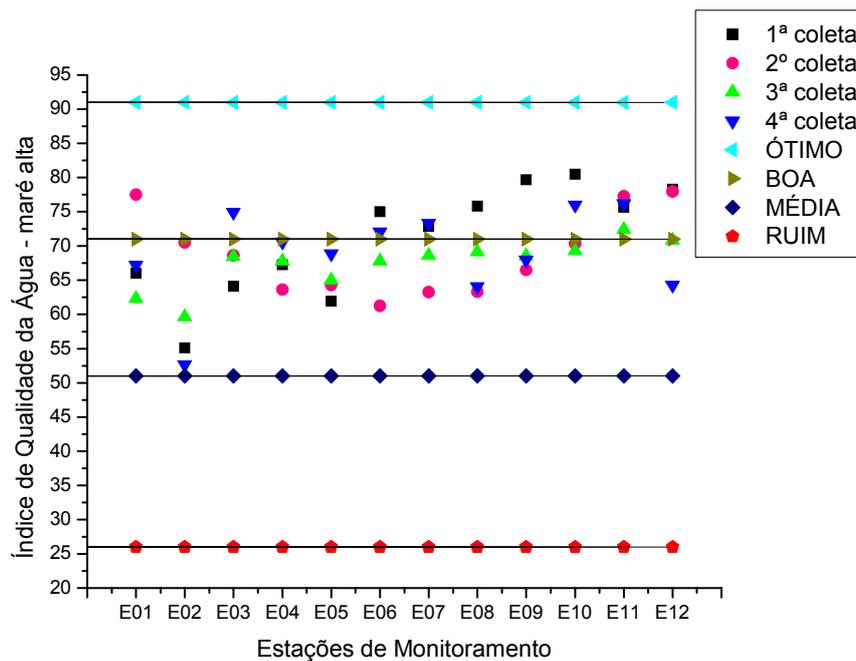
Os resultados encontrados foram determinados, quanto aos parâmetros não mensuráveis, como virtualmente ausentes em quase toda a totalidade deste monitoramento. Mesmo assim, concentrações, embora baixas, foram encontradas em todos os pontos coletados.



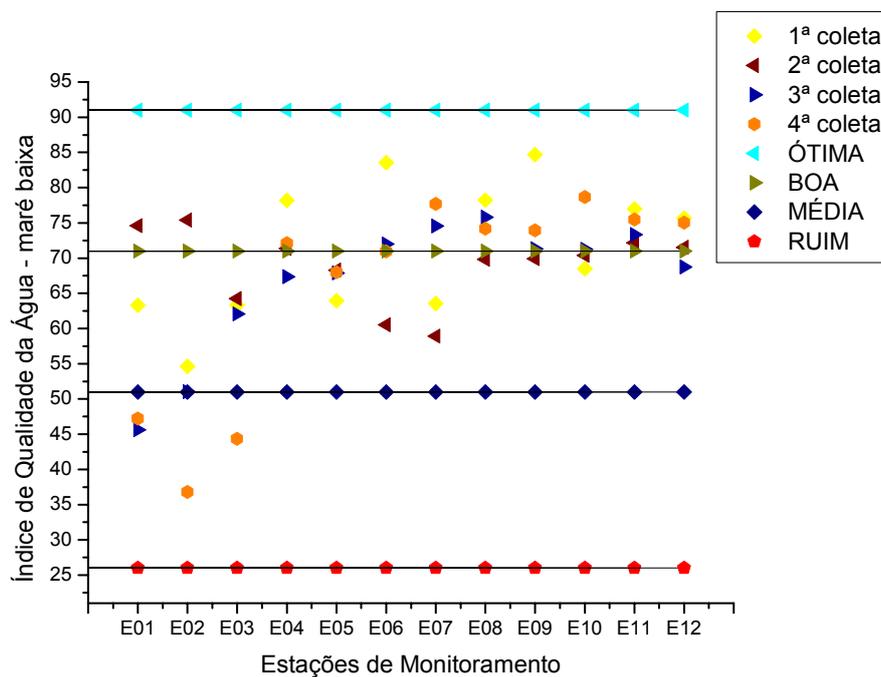
**Figura 4.33** - Gráficos do Teor de Óleos e Graxas referente às quatro coletas em cada ponto de amostragem, na maré baixa.

#### 4.14 ÍNDICE DE QUALIDADE DA ÁGUA (IQA)

O Índice de Qualidade da Água (IQA) é uma das principais formas de verificação de possíveis emissões irregulares e uso indevido dos corpos d'água através da descarga de efluentes, sejam eles de origem doméstica ou industrial. Levando em consideração a determinação de parâmetros como a variação da temperatura, pH, oxigênio dissolvido, demanda bioquímica de oxigênio, coliformes termotolerantes, nitrato, fósforo total, turbidez e sólidos dissolvidos; pode-se chegar a uma conclusão da situação real daquele meio. Os resultados encontrados através das medições realizadas durante esse monitoramento mostraram resultados, na maioria das vezes, entre Média e Boa. Isso vem apenas reforçar o que já vem sendo apontado pelos órgãos ambientais: que o rio vem sofrendo lentamente com as descargas diárias, e este só não apresenta resultados piores devido ao seu alto poder de dispersão dos poluentes através do fluxo das marés. Os pontos, em que a influência das águas oceânicas é menos pronunciada, encontram-se resultados que variam entre BOA e RUIM. Todos os resultados foram calculados e estão representados nos gráficos das figuras 4.34 e 3.35.



**Figura 4.34** - Gráficos do Índice de Qualidade da Água (IQA) calculado para cada ponto monitorado, em maré alta.

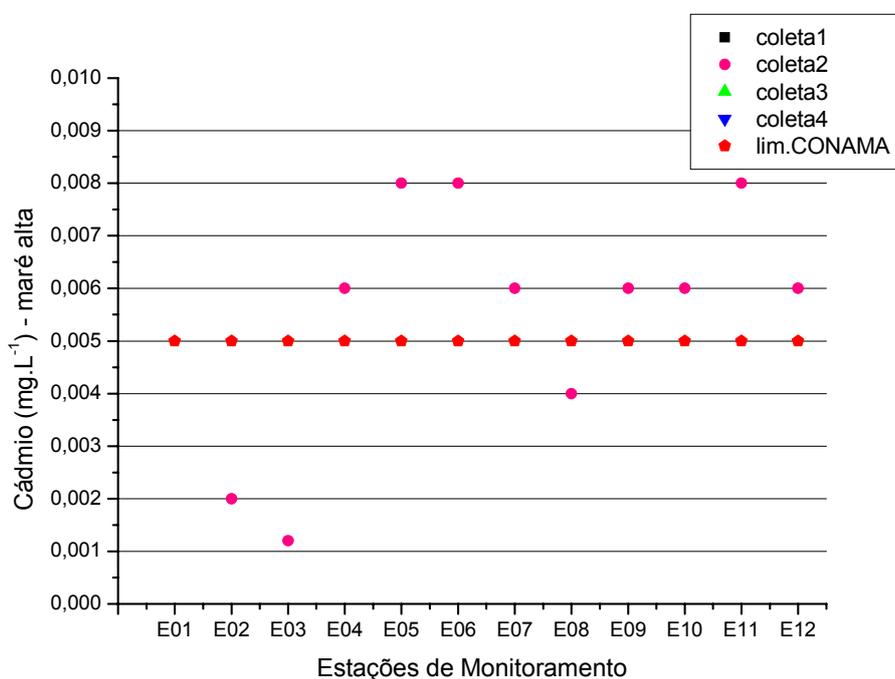


**Figura 4.35** - Gráficos do Índice de Qualidade da Água (IQA) calculado para cada ponto monitorado, em maré baixa.

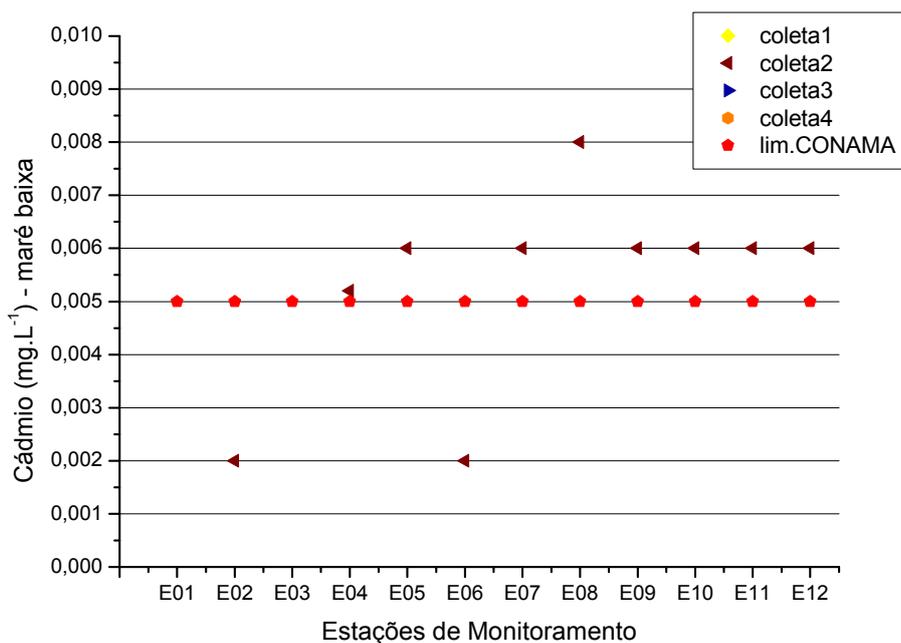
#### 4.15 METAIS TRAÇOS - ÍNDICE DE TOXIDEZ (IT)

Através da determinação de metais como Cádmio (Cd), Cromo (Cr), Cobre (Cu), Zinco (Zn), Chumbo (Pb), Níquel (Ni) e Mercúrio (Hg), é possível se calcular o índice de Toxidez da água. Nas Figuras 4.36 a 4.45, estão dispostos os gráficos com as concentrações encontradas, metal a metal, sendo estas comparadas entre as campanhas realizadas, por maré.

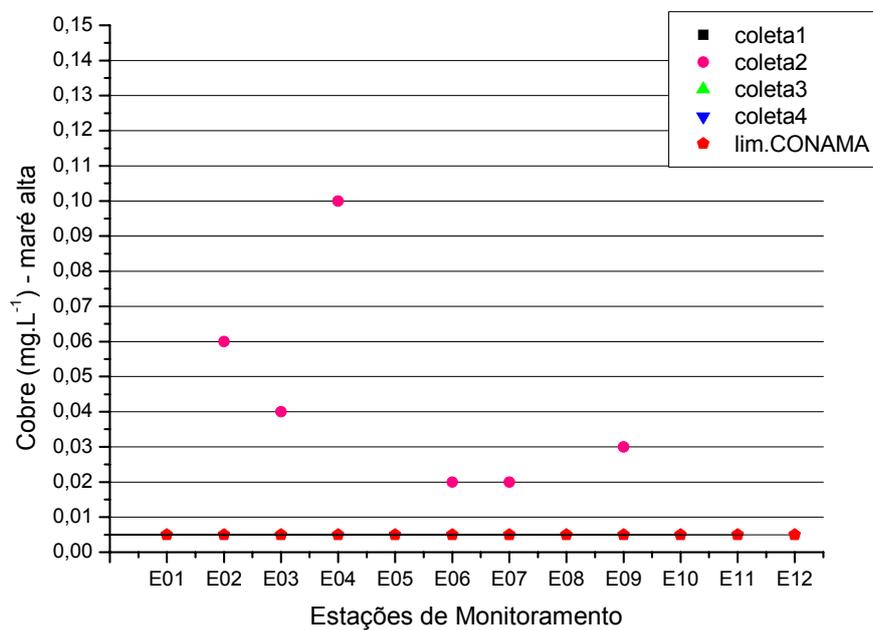
Não foram determinadas concentrações de cromo e nem de mercúrio, e por isso, estes gráficos não foram descritos.



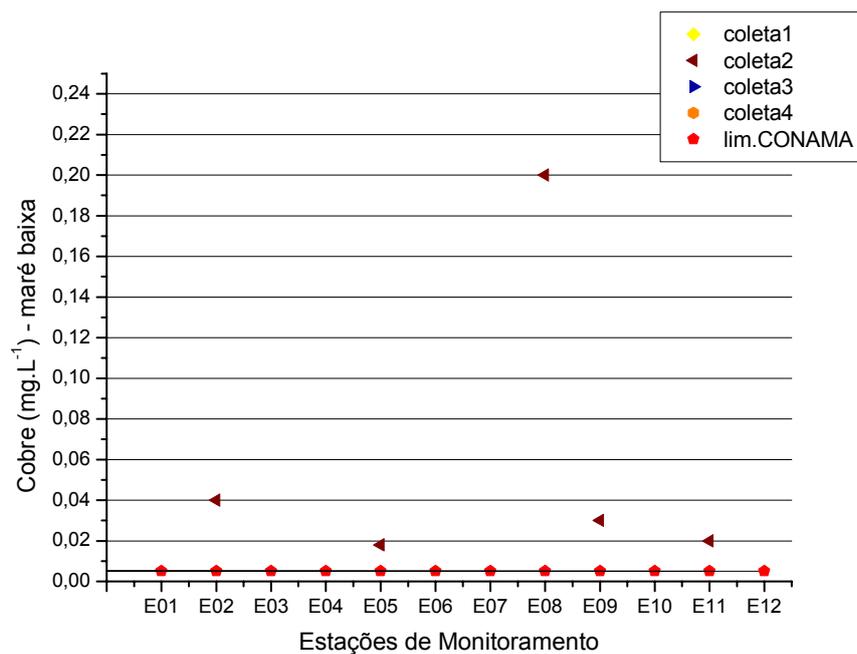
**Figura 4.36** - Gráficos do teor de Cádmio referente às quatro coletas em cada ponto de amostragem, na maré alta.



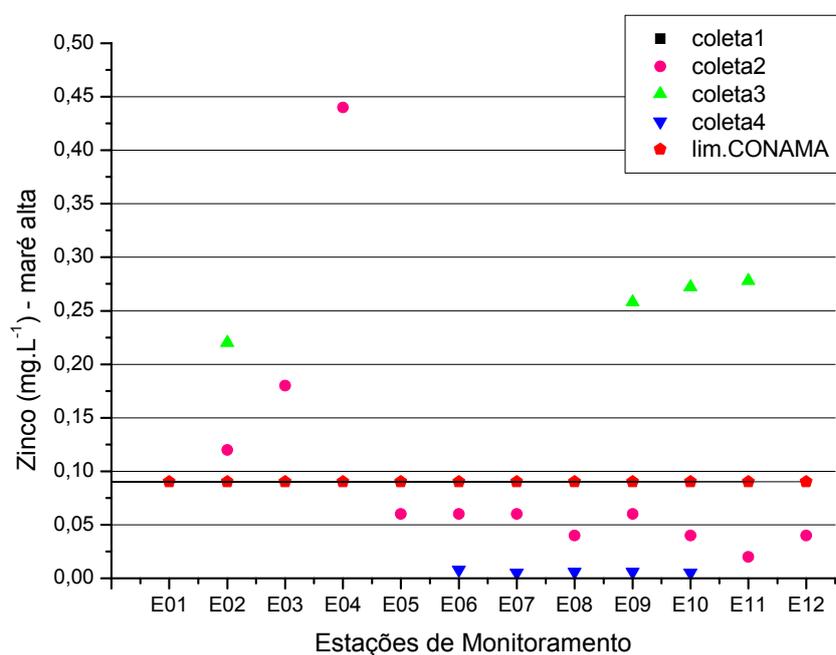
**Figura 4.37** - Gráficos do teor de Cádmio referente às quatro coletas em cada ponto de amostragem, na maré baixa.



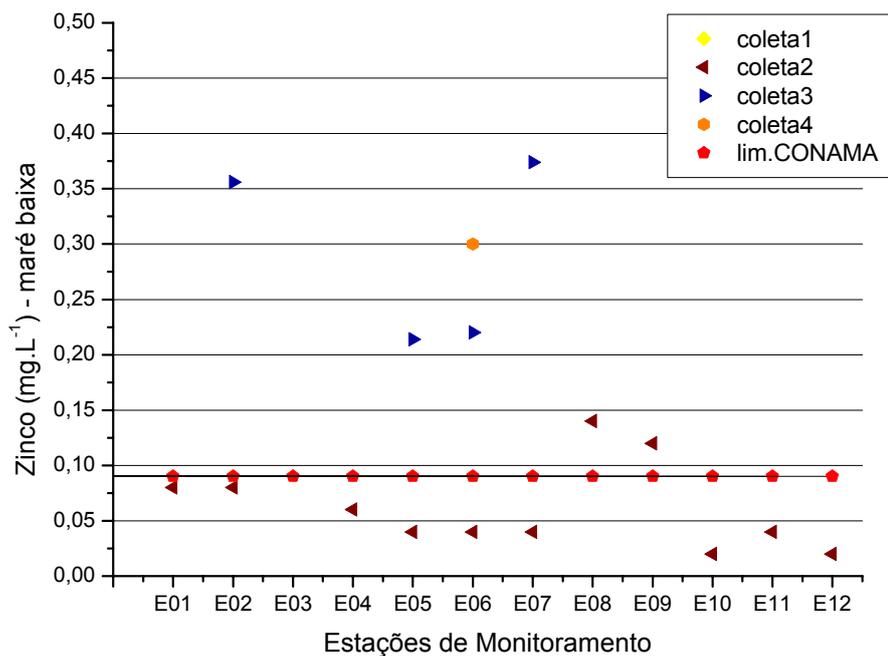
**Figura 4.38** - Gráficos do teor de Cobre referente às quatro coletas em cada ponto de amostragem, na maré alta.



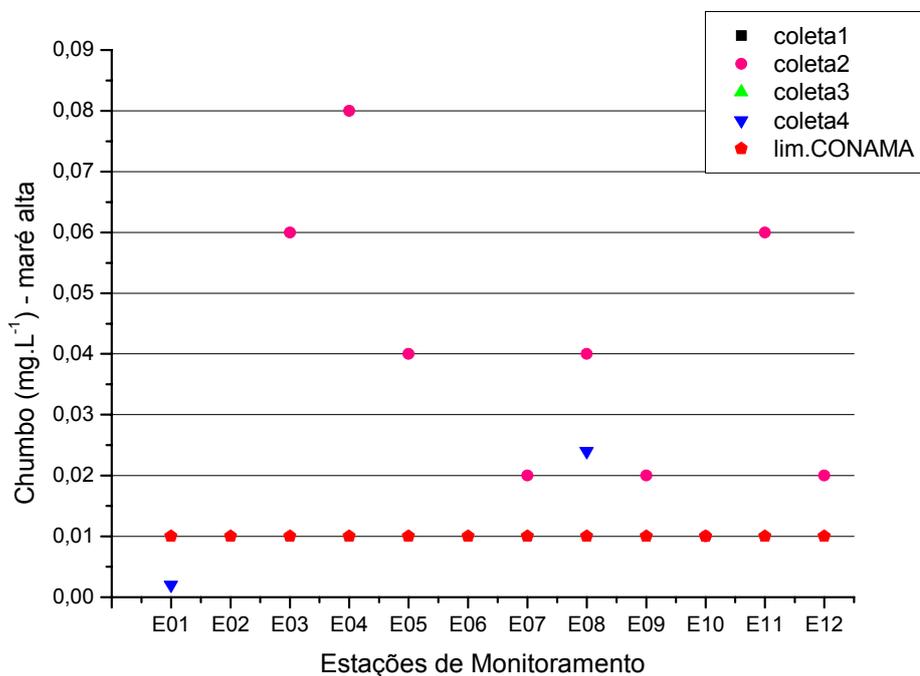
**Figura 4.39** - Gráficos do teor de Cobre referente às quatro coletas em cada ponto de amostragem, na maré baixa.



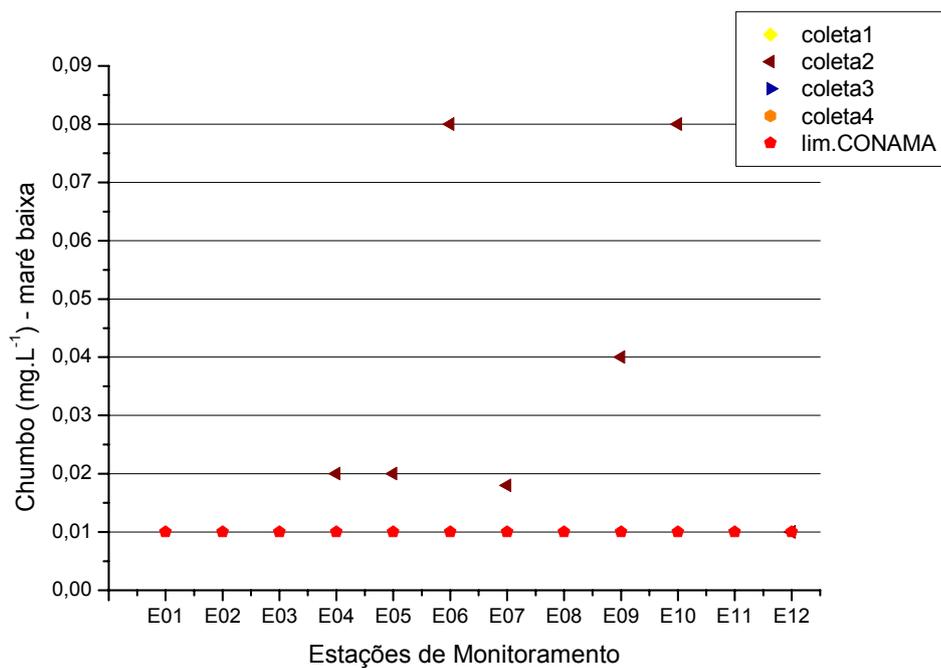
**Figura 4.40** - Gráficos do teor de Zinco referente às quatro coletas em cada ponto de amostragem, na maré alta.



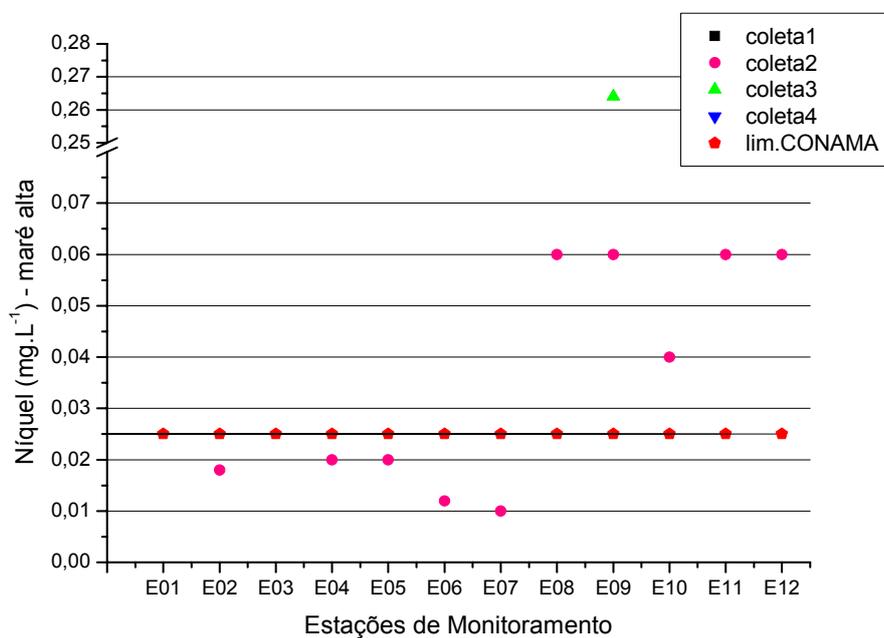
**Figura 4.41** - Gráficos do teor de Zinco referente às quatro coletas em cada ponto de amostragem, na maré baixa.



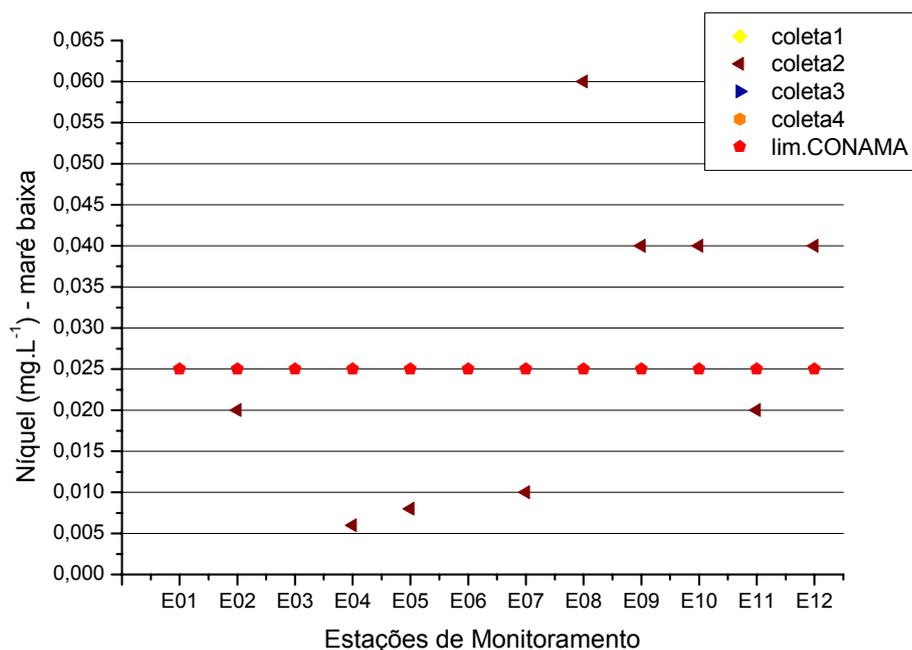
**Figura 4.42** - Gráficos do teor de Chumbo referente às quatro coletas em cada ponto de amostragem, na maré alta.



**Figura 4.43** - Gráficos do teor de Chumbo referente às quatro coletas em cada ponto de amostragem, na maré baixa.



**Figura 4.44** - Gráficos do teor de Níquel referente às quatro coletas em cada ponto de amostragem, na maré alta.



**Figura 4.45** - Gráficos do teor de Níquel referente às quatro coletas em cada ponto de amostragem, na maré baixa.

Observa-se a partir das análises realizadas que apenas na segunda campanha, com exceções para chumbo, zinco e níquel em alguns pontos da terceira coleta, foram encontradas concentrações de metais, estando estas, apesar de na maioria dos casos, acima do máximo permitido pela resolução referida neste trabalho, em baixas concentrações. Isso se deve ao fato de que em estuários, devido à dinâmica das marés, é difícil quantificar elementos que na maioria dos casos, estão em traços.

O Índice de Toxidez calculado para estas águas se encontram no Quadro 4.4.

**Quadro 4.4** - Índice de Toxidez para as quatro campanhas em maré alta e baixa.

	IT - 1 <sup>a</sup> CAMPANHA		IT - 2 <sup>a</sup> CAMPANHA		IT - 3 <sup>a</sup> CAMPANHA		IT - 4 <sup>a</sup> CAMPANHA	
	ALTA	BAIXA	ALTA	BAIXA	ALTA	BAIXA	ALTA	BAIXA
E01	1,0	1,0	0,0	0,0	1,0	1,0	1,0	1,0
E02	1,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	1,0
E03	1,0	1,0	0,0	0,0	1,0	1,0	1,0	1,0
E04	1,0	1,0	0,0	0,0	1,0	1,0	1,0	1,0
E05	1,0	1,0	0,0	0,0	1,0	0,0	1,0	1,0
E06	1,0	1,0	0,0	0,0	1,0	0,0	1,0	0,0
E07	1,0	1,0	0,0	0,0	1,0	0,0	1,0	1,0
E08	1,0	1,0	0,0	0,0	1,0	1,0	0,0	1,0
E09	1,0	1,0	0,0	0,0	0,0	1,0	1,0	1,0
E10	1,0	1,0	0,0	0,0	0,0	1,0	1,0	1,0
E11	1,0	1,0	0,0	0,0	0,0	1,0	1,0	1,0
E12	1,0	1,0	0,0	0,0	1,0	1,0	1,0	1,0

Vários trabalhos de monitoramento de metais pesados em água no estuário dos rios Jundiá e Potengi (Araujo, 2005) têm sido realizados. No entanto, muitos deles utilizaram a técnica de Espectrometria de Absorção Atômica (AAS), que é, portanto, um método dos mais acessíveis para a determinação de metais em água e, principalmente, em sedimentos. A atomização com chama não fornece a sensibilidade requerida para atender os limites de detecção da Resolução CONAMA nº 357/2005, onde para a quantificação da maioria dos metais em água, são requeridas as determinações de baixíssimas concentrações, ou seja, traços. Os limites de quantificação típicos determinados pela técnica de Absorção Atômica encontra-se em torno de  $1 \text{ mg.L}^{-1}$  (Santos *et al.*, 2006). Além do limite de detecção e sensibilidade da técnica AAS, ainda tem-se um problema gravíssimo para resolver na análise de água desse estuário nos pontos onde a salinidade é elevada, pois se tem o efeito matriz que, possivelmente, não foi levado em consideração em nenhum dos trabalhos anteriores, uma vez que em nenhum momento os autores fizeram referência a esse efeito tão pronunciado e que muito interfere nos resultados. Para minimizar esse efeito, faz-se necessário um tratamento especial, pois quando a concentração de cloreto de sódio é maior  $2000 \text{ mg.L}^{-1}$ , o sódio é um interferente na maioria das análises. Neste estudo o problema é ainda maior, visto que foram feitas determinações em concentrações salinas maiores que 30‰.

Os valores das concentrações médias dos metais pesados Cd, Pb, Cr, Ni, Cu e Zn determinados pela técnica de Absorção Atômica nas análises de águas coletadas em diferentes pontos do Estuário do Rio Potengi, e realizadas por

Araújo (2005) estão apresentados no Quadro 4.5, juntamente com os desvios padrões encontrados.

**Quadro 4.5** - Média e Desvio Padrão (DP) para análise de metais no Estuário Jundiá-Potengi por AAS. Adaptado de Araújo, 2005.

Ponto de Coleta	Cd (mg L-1)		Pb (mg L-1)		Cr (mg L-1)		Ni (mg L-1)		Cu (mg L-1)		Zn (mg L-1)	
	Média	D.P.										
Ponto 1	0,086	0,033	0,315	0,049	0,034	0,021	0,379	0,077	0,070	0,010	0,046	0,023
Ponto 2	0,088	0,073	0,291	0,060	0,042	0,024	0,320	0,119	0,072	0,014	0,044	0,015
Ponto 3	0,078	0,034	0,311	0,047	0,034	0,020	0,334	0,064	0,062	0,012	0,048	0,051
Ponto 4	0,071	0,035	0,277	0,064	0,037	0,024	0,315	0,107	0,067	0,009	0,036	0,018
Ponto 5	0,089	0,080	0,294	0,083	0,034	0,024	0,251	0,113	0,062	0,016	0,044	0,022
Ponto 6	0,073	0,030	0,256	0,069	0,027	0,025	0,270	0,090	0,055	0,016	0,050	0,034
Ponto 7	0,066	0,031	0,263	0,049	0,033	0,025	0,273	0,079	0,059	0,012	0,039	0,015

Ponto 1 = Foz do Rio Potengi; Ponto 2 = Rampa; Ponto 3 = Clube do Remo; Ponto 4 = Pedra do Rosário; Ponto 5 = Canal do Baldo; Ponto 6 = Ponte de Igapó; Ponto 7 = Canal do Curtume; D.P. = Desvio padrão.

Ressalta-se, que pelo fato dos autores utilizarem a técnica de AAS para quantificarem a concentração de metais pesados em água a baixíssimas concentrações, o desvio apresenta-se muito expressivo, como no caso do valor da concentração média de Cádmio [Cd] = 0,089 mg L<sup>-1</sup>, desvio D.P. = 0,080 mg L<sup>-1</sup>, tanto no ponto 05 quanto no ponto 02, onde a [Cd] = 0,088 mg L<sup>-1</sup>, desvio D.P. = 0,073 mg L<sup>-1</sup>.

A determinação dos baixíssimos níveis de metais encontrados nas águas do estuário dos rios Jundiá e Potengi, na faixa de µg.L<sup>-1</sup>, impõe exigências especiais no momento de selecionar o método a ser empregado, tais como: disponibilidade do equipamento, o tempo e a complexidade do processamento das amostras, a reprodutibilidade, a sensibilidade e limite de detecção e quantificação dos cátions. Nesse trabalho, optamos pela técnica de Espectroscopia de Emissão Atômica com Plasma Induzido com gerador de hidretos - ICP-OES, com limite de detecção da ordem de 0,06 µg.L<sup>-1</sup>.

A presença de metais pesados no Estuário dos Rios Jundiá e Potengi, deve-se principalmente, ao lançamento de esgotos brutos no canal do baldo, esgotos brutos na cidade de Macaíba, Centro Industrial Avançado – CIA, as

imunizadoras, sanitários domésticos, Distrito Industrial de Natal – DIN, o Dique da Marinha e a carcinicultura, pois os fungicidas e algicidas que contêm compostos de Cu são usados nas fazendas de cultivo de camarão. Além disto, são utilizados ainda, compostos de Cu, Zn e Cr na dieta alimentar dos mesmos. Logo, esses efluentes são responsáveis pelo aumento da concentração de metais pesados no estuário.

Salienta-se ainda, que devido à notável penetração das marés no estuário, aumenta a capacidade de dispersão e diluição dos metais pesados na água dos Rios Jundiá e Potengi, e como consequência, tem-se uma diminuição na concentração de cátions e ânions em todos os pontos coletados, ficando abaixo dos limites mínimos estipulados na Resolução CONAMA nº 357/2005, a não ser que ocorra algum fato novo, como uma grande descarga de efluentes brutos. Logo, se forem feitas coletas da água nestes períodos, provavelmente poderemos observar uma concentração de metais bem acima do normal. Esse fato reforça a necessidade de um Programa de Monitoramento contínuo dos Rios Jundiá/Potengi.

---

## 5 CONCLUSÕES

---

*“O futuro tem muitos nomes. Para os fracos, é o inatingível. Para os temerosos, o desconhecido. Para os valentes, é a oportunidade”.*

*(Victor Hugo)*

## 5 CONCLUSÕES

Ao longo de quatro meses, foram realizadas quatro coletas, todas ocorridas em ocasiões de maré alta e maré baixa, a fim de se determinar a atual situação do sistema estuarino Jundiaí-Potengi, quanto aos níveis de poluição e degradação destes.

Com base na análise dos resultados encontrados, pode-se concluir que:

- Através dos registros fotográficos apresentados, foi possível se observar emissão de efluentes, que podem provocar perturbações visuais no meio, de modo a modificar a aparência do corpo hídrico receptor, quanto à coloração e odores.
- O sistema estuarino Potengi/Jundiaí vem sofrendo diariamente com agressões de fontes antrópicas, tendo em vista a detecção de parâmetros que levaram à queda da qualidade da água (IQA), principalmente nos três primeiros pontos de monitoramento da região de estudo.
- Valores como DBO, cor verdadeira, COT e teor de óleos e graxas foram detectados, podendo variar para mais ou para menos, mas mesmo assim, caracterizam o descarte em intervalos regulares de matéria orgânica no rio.
- É evidente a necessidade de uma rede de monitoramento de qualidade de águas que forneça as informações indispensáveis para o tão almejado conhecimento dos níveis de contaminação do estuário Jundiaí e Potengi.
- Em maré baixa, o nível de poluição é consideravelmente maior em concordância com o regime hídrico do estuário, que promove uma menor dispersão dos poluentes nessa ocasião.
- As estações de monitoramento E01, E02, E03 e E04, merecem uma maior atenção dos órgãos responsáveis pelo monitoramento ambiental do estado,

do ponto de vista das fontes poluidoras, pois estas apresentaram valores acima dos limites permitidos pela referida Resolução, que considera como uma água de classe 1. De forma geral, fazendo-se uma média entre todos os valores encontrados nas quatro campanhas, ponto a ponto, chega-se a conclusão de que os sete primeiros pontos têm uma água de qualidade MÉDIA, enquanto os pontos de E08 até E12 têm suas águas consideradas de BOA qualidade.

- Apesar da maioria das determinações de *Coliformes termotolerantes* terem ficado acima do permitido pela legislação em vigência, o resultado deste monitoramento não pode ser considerado conclusivo, tendo como base a Resolução 357/2005 do CONAMA, que para águas salobras e salinas classe 1, limita em 1000/100ml em 80% ou mais de pelo menos 6 amostras coletadas durante o período de um ano, com frequência bimestral. Mesmo assim, os *Coliformes termotolerantes* constituem um excelente parâmetro de monitoramento, tendo em vista que quando detectado, é sinal de lançamento recente de efluente doméstico.

## **SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS**

- Sugere-se, para trabalhos futuros, um monitoramento da água a fim de que sejam determinados os principais causadores dos impactos ocorridos ao longo dos rios Jundiaí e Potengi, bem como formas de tratamento dos efluentes lançados no leito.
- Sugere-se ainda o monitoramento dos sedimentos, para que se possa ter um histórico do cumulativo dos metais presentes nestes, já que os metais pesados, devido a sua baixa solubilidade, são muito desfavoráveis a serem monitorados em meio aquoso.
- Como as coletas realizadas neste trabalho foram realizadas na parte central do rio, ou seja, não coletou-se amostras nas margens, sugere-se realizá-las desta forma, para fins comparativos com trabalhos anteriormente realizados.

- Sugere-se para melhor verificação deste tipo de agressão, a análise a partir da coleta dos sedimentos, que pode vir a comprovar que, apesar da ocorrência da dispersão dos poluentes, devido ao fluxo das marés, estes precipitam em parte, provocando bioacumulação nos sedimentos de fundo, tendendo a permanecer no meio por tempo indeterminado.

---

## CAPÍTULO 6 - REFERÊNCIAS

---

*“Só é possível realizar um sonho quando rompemos as velhas cordas que nos prendem ao passado, à rotina e à acomodação”.*

*(Legrand)*

## 6. REFERÊNCIAS

APHA - (AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION). **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 20<sup>a</sup> ed., Washington, Estados Unidos, 1998, p.1193.

ARAÚJO, A. G.; **Avaliação da poluição por metais pesados no estuário do rio Potengi – Natal-RN**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Sanitária) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal, 2005. 92 p.

AZEVEDO, E.B.; **Poluição vs. Tratamento de água**. Química Nova na Escola. v.10 (1), 1999. p. 21-25.

BAIRD, C.; **Química Ambiental**, 2<sup>a</sup> Ed.. Editora Bookman, Porto Alegre. 2002. p 622.

BALDI, M. **O agronegócio da carcinicultura no RN e a estruturação da sua rede local e mundial: aspectos necessários a uma competitividade sustentável a médio e longo prazo**. Relatório de Projeto. FAPERN, 2006. p. 17.

BARBOSA, F. G.; **Variações espaciais e temporais de nutrientes dissolvidos e metais traço na área portuária da cidade do Rio Grande (Estuário Lagoa dos Patos-RS)**. Dissertação (Mestrado em Oceanografia Física, Química e Geológica) - Fundação Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande, 2006, p. 135.

BAUMGARTEN, M.G.Z. & POZZA, S.A.P. **Qualidade de águas - Descrição de parâmetros químicos referidos na legislação ambiental**, Editora FURG, Rio Grande, 2001, p. 164.

BENETTI, A.; BIDONE, F.; **O meio ambiente e os recursos hídricos**. In: TUCCI, C.E.M. Hidrologia: ciência e aplicação. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2001, p. 849-876.

BEUKEMA, J.J. **Changes in composition of bottom fauna of a tidal – flat area during a period of eutrophication**. Marine Biology, v.111 (2), 1991. p. 293-301.

BRAGA, E.S., BONETTI, C.V.D.H., BURONE, L., BONETTI FILHO, J. **Eutrophication and bacterial pollution caused by industrial and domestic wastes at the Baixada Santista estuarine system Brazil**. Marine Pollution Bulletin, v. 40 (1), 2000, p. 165- 173.

BROWN R. M., MCCLELLAND N. I., DEININGER R. A., TOZER R. G. **A Water Quality Index –Do We Dare?** Water Sewage Works. Chicago, v. 17, 1970, p. 339-343.

CERETTA, M. C.; **Avaliação dos aspectos da qualidade da água na sub-bacia hidrográfica do Arroio Cadena – município de Santa Maria-RS**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2004, p.142 .

CLARK, R.B. **Marine pollution**. Oxford University Press, Oxford. 2001, p. 161.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL - CETESB (São Paulo-SP). Disponível em: [http://www.cetesb.sp.gov.br/Agua/rios/indice\\_iap\\_iqu.asp](http://www.cetesb.sp.gov.br/Agua/rios/indice_iap_iqu.asp). Acesso em: 15. Abr. 2008.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (BRASIL). **Resolução nº 274 de 29 de novembro de 2000**. Define os critérios de balneabilidade em águas brasileiras. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=272>. Acesso em: 14. Abr. 2008.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (BRASIL). **Resolução nº 357 de março de 2005**. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf> Acesso em: 14. Abr. 2008.

CUNHA, E. M. S., **Caracterização e planejamento ambiental do Estuário do Potengi**. Dissertação de Mestrado. Centro de Biociências, Departamento de Oceanografia e Limnologia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 1982, p. 221.

CUNHA, E. M. S., **Evolução atual do litoral de Natal–RN (Brasil) e suas aplicações a gestão integrada**. Tese de Doutorado. Departament d'Ecologia i Departament d'Estratigrafia i Paleontologia de La Universitat de Barcelona. Barcelona, 2004, p. 393.

DEL ROSSO, C. B.; **Avaliação dos aportes de hidrocarbonetos à Lagoa dos Patos (RS - BRASIL)**. Dissertação (Mestrado em Oceanografia Física, Química e Geológica) - Fundação Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande, 2005, p. 107.

EISMA, D. **Suspended matter in the aquatic environment**. Springer-Verlag, Berlin, 1993, 313p. *Apud* BARBOSA, *op. cit.*, p. 135.

FERNANDES, L. D. F.; **Transporte de poluentes em estuários**. Trabalho Final de Curso da Licenciatura em Engenharia do Ambiente da Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 2001. 54 p.

GUEDES, J. A.; **Diagnóstico geoquímico-ambiental do rio Jundiá nas imediações da cidade de Macaíba/RN**. Dissertação (Mestrado e Geociências) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2003, 137 p.

HARTMANN, C. & SCHETTINI, C. A. F. **Aspectos hidrológicos na desembocadura da Laguna dos Patos**, Revista Brasileira de Geociências, Rio Grande do Sul, 1991. v. 21: p. 371-377.

JAWORSKI, N.A., GROFFMAN, P.M., KELLER, A.A., PRAGER, J.C. **A watershed nitrogen and phosphorus balance: the upper Potomac River Basin**. Estuaries, Narragansett, Rhode Island, USA, 1992. v.15 (1): p. 83-95.

KENNISH, M. J. **Practical Handbook of Estuarine and Marine Pollution**. CRC Press, Boca Raton, Florida, USA, 1997, 524 p. *Apud* DEL ROSSO, *op. cit.* 107 p.

KNOX, A.S., KAPLAN, D.I., PALLER, M.H. **Phosphate sources and their suitability for remediation of contaminated soils**. *Science of the Total Environment*, 2006, v. 357: p. 271-279.

LIBÂNIO, M. **Fundamentos de qualidade e tratamento de água**. Campinas, SP. Editora Átomo, 2005. 444 p.

LOPES, F.W.A., **Avaliação da qualidade das águas e condições de balneabilidade na bacia do Ribeirão de Carrancas-MG**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2007. 96 p.

MINISTÉRIO DA SAÚDE (BRASIL). **Portaria nº 518 de 25 de março de 2004**. Disponível em: [http://portal.saude.gov.br/portal/arquivos/pdf/portaria\\_518\\_2004.pdf](http://portal.saude.gov.br/portal/arquivos/pdf/portaria_518_2004.pdf). Acesso em: 14. Abr. 2008.

NASH, D. & MURDOCH, C. **Phosphorus in runoff from a fertile dairy pasture**. *Australian Journal of Soil Research*, v. 35 (2), 1997. 419-429.

NIXON, S.W., KELLY, J., FURNAS, B., OVIATT, C., HALE, S. **Phosphorus regeneration and the metabolism of coastal marine bottom communities**. In: TENORE, K., COULL, B. (Eds.). *Marine benthic dynamics*. University South Carolina Press, Columbia, 1980, p. 219-242. *Apud* BARBOSA, *op. cit.*, p. 135.

ODUM, E.P., **Ecologia**. Rio de Janeiro-SP. Ed. Guanabara 1986, p. 434.

ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DE SAÚDE (OMS), 2002. *Apud* CERETTA, *op. cit.*, p. 142.

PARKER, C.A. & O'REILLY, J.E. **Oxygen depletion in Long Island Sound: a historical perspective**. *Estuaries*, v.14, 1991, p. 248-265.

PEREIRA FILHO, J., SPILLERE, L.C., SCHETTINI, C.A. **Intratidal variation and net Transport of Dissolved Inorganic Nutrients, POC and chlorophyll a in the Camboriú River Estuary, Brazil**. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, v.53, 2001, 249-257.

PNMA II, **Índice e indicadores de qualidade da água – Revisão da Literatura**, 2002. Disponível em: <http://www.cprh.pe.gov.br/downloads/indice-agua-volume1.pdf>. Acesso em: 05. Abr. 2008.

POLÍTICA NACIONAL DE RECURSOS HÍDRICOS (BRASIL). **Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997**. Disponível em: [www.mma.gov.br/port/srh/politica/legislacao/corpo.html](http://www.mma.gov.br/port/srh/politica/legislacao/corpo.html). Acesso em: 5. Nov. 2007.

SANTOS, D.M. 2006. **Avaliação de Metais Pesados na Baía de Paranaguá, PR, Brasil, sob Influência das Atividades Antrópicas**. *J. Braz. Soc. Ecotoxicol.*, v. 1 (2), p.2006.

SECRETARIA DE ESTADO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS HÍDRICOS ( Rio Grande do Norte). Disponível em: <http://www.semarh.rn.gov.br/consulta/cBaciaDetalhe.asp?CodigoEstadual=08>. Acesso em: 14. Abr. 2008.

SHRIVER, D. F.; ATKINS, P. **Química Inorgânica**. 4ª Ed. Editora, Bookman Porto Alegre, 2008, p. 848.

SILVA, A.P., **Ciclagem de Cr, Cu, Zn, Ni, Pb, Fe, Al, Mn e Cd no manguezal do Estuário do Potengi – Natal/RN**. Dissertação (Mestrado em Oceanografia e Limnologia\_ Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal, 2000, p 48.

SIQUEIRA, G.W.; PEREIRA, S.F.P.; APRILE, F.M.; **Determinação dos elementos-traço (Zn, Co e Ni) em sedimentos da Plataforma Continental Amazônica sob influência da descarga do rio Amazonas**. Acta Amazonica, v. 36(3), 2006, p 6.

SPERLING, M. von., **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 2ª Ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade Federal de Minas Gerais, 1996. 243 p.

TUCCI, C.E.M., **Enchentes urbanas no Brasil**. Revista Brasileira de Engenharia – Caderno de Recursos Hídricos. v. 12, 2004, p. 117-136.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **National Estuary Program**. Disponível em: <http://www.epa.gov/owow/estuaries/about1.htm>. Acesso em: 26 nov. 2007.

WEBER, R. R.; **Sistemas costeiros e oceânicos**. Química Nova, v. 15(2), 1992, p. 137-143.

---

## ANEXO

---

*“Aprendi que Deus sempre me escuta, mesmo quando nada lhe digo”.*

*(Legrand)*

## ANEXO 1

### A.1 - CÁLCULO DOS ÍNDICES DE QUALIDADE ( $q_i$ ) PARA DETERMINAÇÃO DO IQA

A seguir estão descritos as expressões para os cálculos de cada uma das variáveis de qualidade bem como as curvas médias de variação de qualidade, em função de sua concentração ou medida.

#### A.1.1 Oxigênio Dissolvido (OD)

Tabela A.1 – Expressões para o cálculo do sub-índice de qualidade  $q_1$ , OD.

% OD	Expressão
0 - 50	$q_1 = [0,34 (\%OD) + 0,008095 (\%OD)^2 + 1,35252 \cdot 10^{-5} (\%OD)^3] + 3$
51 - 85	$q_1 = [-1,166 (\%OD) + 0,058 (\%OD)^2 - 3,803435 \cdot 10^{-4} (\%OD)^3] + 3$
86 - 100	$q_1 = 3,7745 (\%OD)^{0,704889} + 3$
101 - 140	$q_1 = [2,90 (\%OD) - 0,025 (\%OD)^2 + 5,60919 \cdot 10^{-5} (\%OD)^3] + 3$
> 140	$q_1 = 50$

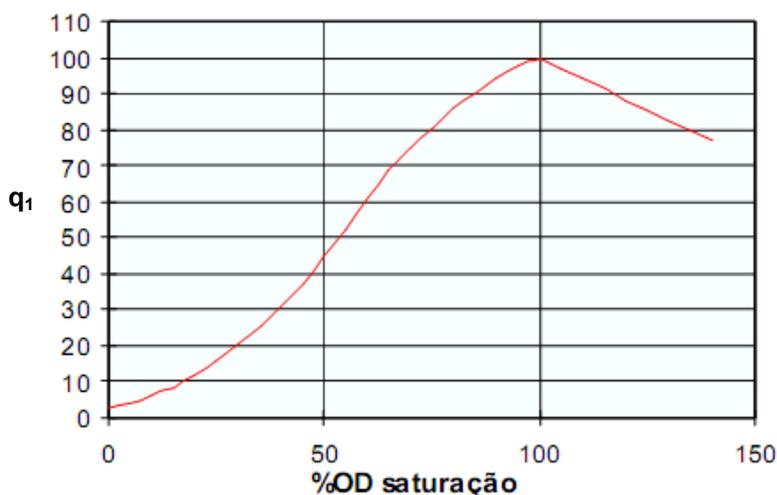


Figura A.1 – Curva de variação da qualidade para o parâmetro OD.

### A.1.2 Coliformes termotolerantes (CTt)

Tabela A.2 – Expressões para o cálculo do sub-índice de qualidade  $q_2$ , CTt.

CTt.100mL <sup>-1</sup>	Expressão
0	$q_2 = 100$
1 - 10	$q_2 = 100 - 33,5\log(\log CTt)$
11 - 10 <sup>5</sup>	$q_2 = 100 - 37,2\log(CTt) + 3,607145 (\log CTt)^2$
>10 <sup>5</sup>	$q_2 = 3$

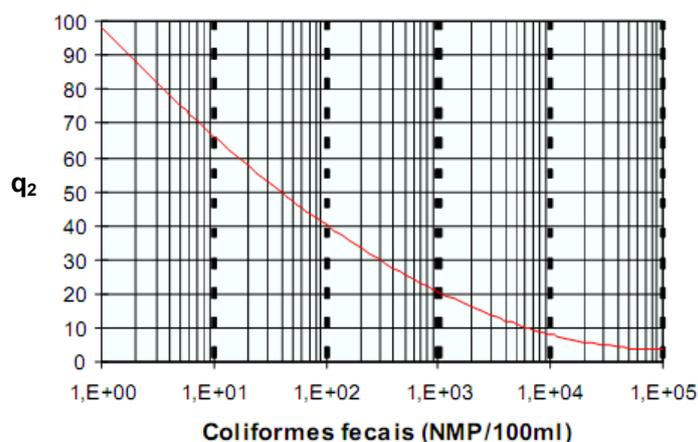


Figura A.2 – Curva de variação da qualidade para o parâmetro CTt.

### A.1.3 – Potencial Hidrogeniônico (pH)

Tabela A.3 – Expressões para o cálculo do sub-índice de qualidade  $q_3$ , pH.

pH	Expressão
$\leq 2,0$	$q_3 = 2,0$
2,1 - 4,0	$q_3 = 13,6 - 10,64(pH) + 10,2481 (pH)^2$
4,1 - 6,2	$q_3 = 155,5 - 77,36(pH) + 10,2481 (pH)^2$
6,3 - 7,0	$q_3 = - 657,2 + 197,38(pH) - 12,9167 (pH)^2$
7,1 - 8,0	$q_3 = - 427,8 + 142,05(pH) - 9,695 (pH)^2$
8,1 - 8,5	$q_3 = 21,6 - 16,0(pH)$
8,6 - 9,0	$q_3 = 1,415823e^{-(1,1507pH)}$
9,1 - 10,0	$q_3 = 288,0 - 27,0(pH)$
10,1 - 12,0	$q_3 = 633,0 - 106,5(pH) + 4,5 (pH)^2$
> 12,0	$q_3 = 3,0$

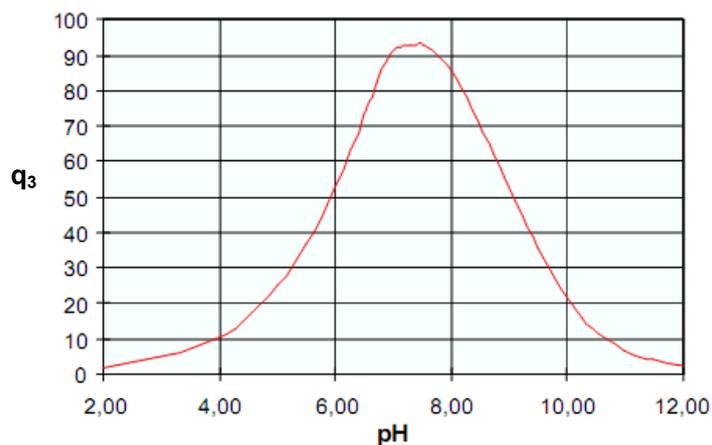


Figura A.3 – Curva de variação da qualidade para o parâmetro pH.

#### A.1.4 - Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO)

Tabela A.4 – Expressões para o cálculo do sub-índice de qualidade q<sub>4</sub>, DBO.

DBO <sub>5</sub> (mg.L <sup>-1</sup> )	Expressão
0,0 – 5,0	$q_4 = 99,96e^{-(0,1232728DBO_5)}$
5,1 – 15,0	$q_4 = 104,67 - 31,5463\ln(DBO_5)$
15,1 – 30,0	$q_4 = 4.394,91(DBO_5)e^{-(1,99809)}$
> 30,0	$q_4 = 2,0$

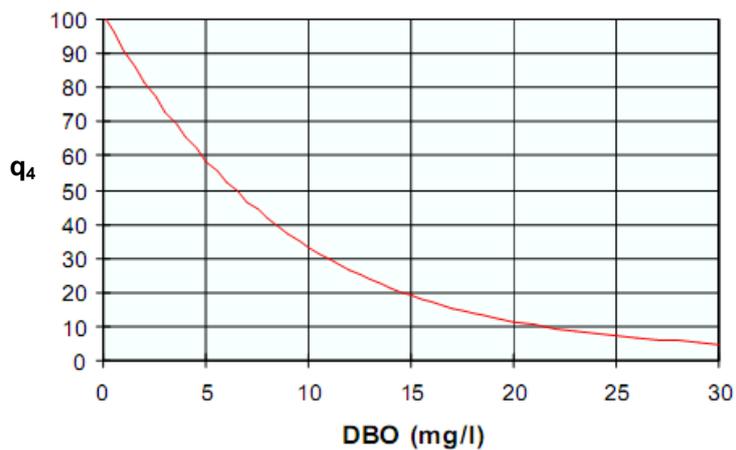


Figura A.4 – Curva de variação da qualidade para o parâmetro DBO.

### A.1.5 – Nitrogênio Total (NT)

Tabela A.5 – Expressões para o cálculo do sub-índice de qualidade  $q_5$ , NT

NT (mg.L <sup>-1</sup> N)	Expressão
0,0 – 10,0	$q_5 = 100,0 - 8,169NT + 0,3059(NT)^2$
10,1 – 60,0	$q_5 = 101,9 - 23,1023 \ln(NT)$
60,1 – 100,0	$q_5 = 159,3148e^{-(0,0512842NT)}$
>100,0	$q_5 = 1,0$

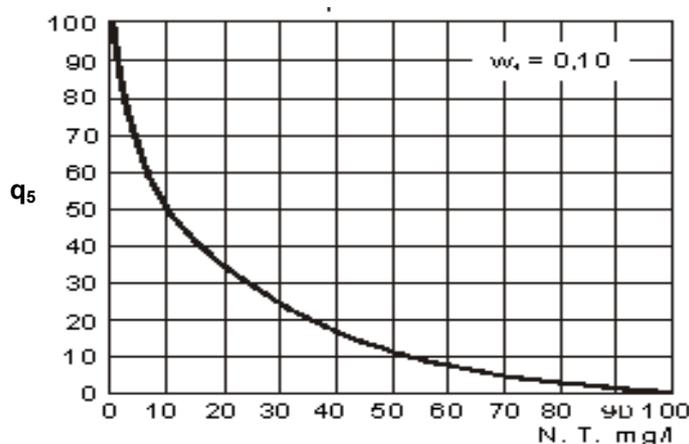


Figura A.5 – Curva de variação da qualidade para o parâmetro NT.

### A.1.6 – Fósforo Total (PT)

Tabela A.6 – Expressões para o cálculo do sub-índice de qualidade  $q_6$ , PT

PT (mg.L <sup>-1</sup> P)	Expressão
0,0 – 1,0	$q_6 = 99,9e^{-(0,91629PT)}$
1,1 – 5,0	$q_6 = 57,6 - 20,178PT + 2,1326 (NT)^2$
5,1 – 10,0	$q_6 = 19,08e^{-(0,13544PT)}$
>10,0	$q_6 = 5,0$

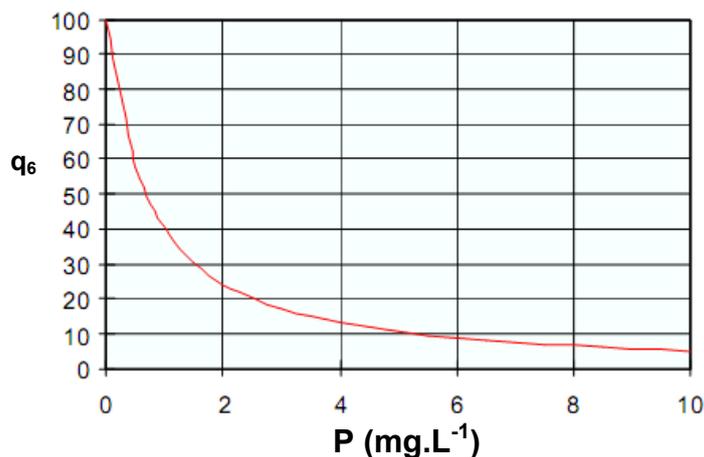


Figura 7.6 – Curva de variação da qualidade para o parâmetro PT.

### A.1.7 – Temperatura (T)

Tabela A.7 – Expressões para o cálculo do sub-índice de qualidade  $q_7$ , T

$\Delta T$ (°C)	Expressão
$\leq -5,0$	$q_7 = 30,0$
-4,9 – 0,0	$q_7 = 92,5 + 1,5 (\Delta T) - 1,52 (\Delta T)^2$
0,1 – 3,0	$q_7 = 92,5 - 2,1 (\Delta T) - 1,8 (\Delta T)^2$
3,1 – 5,0	$q_7 = 233,17 (\Delta T)^{-(1,09576)}$
5,1 – 15,0	$q_7 = 75,27 - 8,398 (\Delta T) + 0,265455 (\Delta T)^2$
$>15,0$	$q_7 = 9,0$

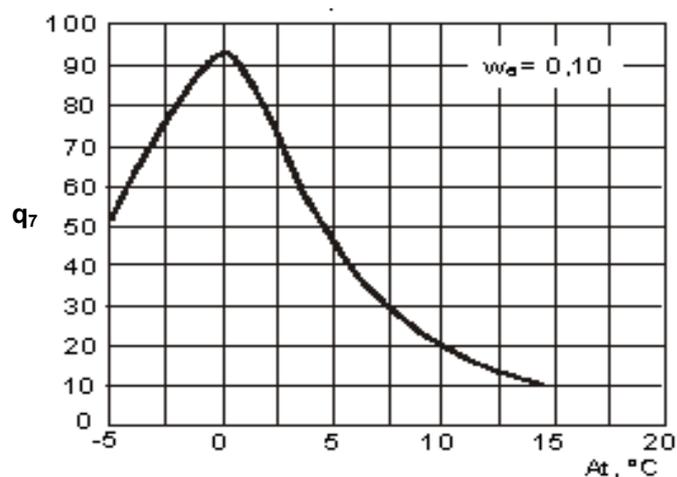


Figura A.7 – Curva de variação da qualidade para o parâmetro T.

### A.1.8 –Turbidez

Tabela A.8 – Expressões para o cálculo do sub-índice de qualidade  $q_8$ , Turbidez.

Turbidez (NTU)	Expressão
0,0 – 25,0	$q_8 = 100,17 - 2,67 \text{ Turb} + 0,03755 (\text{Turb})^2$
25,1 – 100,0	$q_8 = 84,96e^{-(0,016206\text{Turb})}$
>100,0	$q_8 = 5,0$

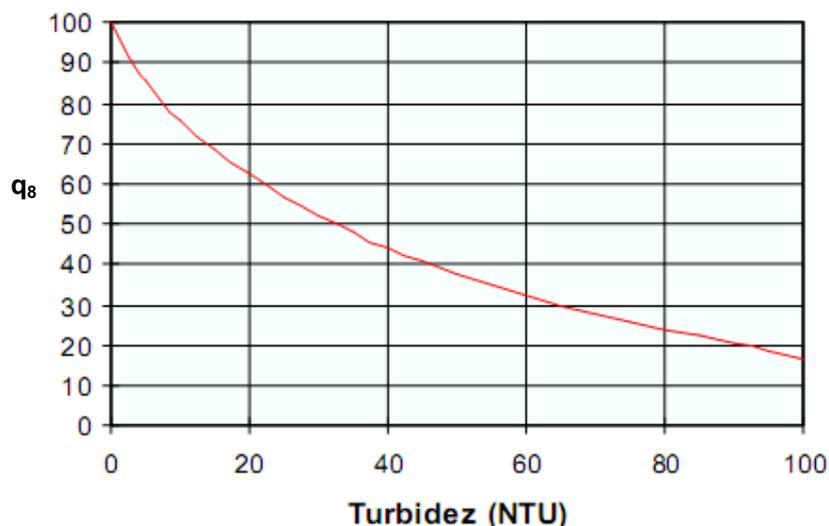


Figura A.8 – Curva de variação da qualidade para o parâmetro Turbidez.

### A.1.9 – Sólidos Totais (ST)

Tabela A.9 – Expressões para o cálculo do sub-índice de qualidade  $q_9$ , ST.

ST (mg.L <sup>-1</sup> )	Expressão
0 - 150	$q_9 = 79,75 + 0,166 (\text{ST}) - 0,001088 (\text{ST})^2$
151 - 500	$q_9 = 101,67 - 0,13917 (\text{ST})$
>500,0	$q_9 = 32,0$



**Figura A.9** – Curva de variação da qualidade para o parâmetro ST.

# Livros Grátis

( <http://www.livrosgratis.com.br> )

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)  
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)  
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)  
[Baixar livros de Matemática](#)  
[Baixar livros de Medicina](#)  
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)  
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)  
[Baixar livros de Meteorologia](#)  
[Baixar Monografias e TCC](#)  
[Baixar livros Multidisciplinar](#)  
[Baixar livros de Música](#)  
[Baixar livros de Psicologia](#)  
[Baixar livros de Química](#)  
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)  
[Baixar livros de Serviço Social](#)  
[Baixar livros de Sociologia](#)  
[Baixar livros de Teologia](#)  
[Baixar livros de Trabalho](#)  
[Baixar livros de Turismo](#)