

**UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA**  
**CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA - CAMPUS II**  
**COORDENAÇÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**  
**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM ENGENHARIA CIVIL**

**UTILIZAÇÃO DOS ÍNDICES DO ESTADO TRÓFICO (IET) E  
DE QUALIDADE DA ÁGUA (IQA) NA CARACTERIZAÇÃO  
LIMNOLÓGICA E SANITÁRIA DAS LAGOAS DE BONFIM,  
EXTREMÓZ E JIQUI- RN.**

**MARCO ANTONIO CALAZANS DUARTE**

**CAMPINA GRANDE - PB**

**1999**

---

**UTILIZAÇÃO DOS ÍNDICES DO ESTADO TRÓFICO (IET) E  
DE QUALIDADE DA ÁGUA (IQA) NA CARACTERIZAÇÃO  
LIMNOLÓGICA E SANITÁRIA DAS LAGOAS DE BONFIM,  
EXTREMÓZ E JIQUI- RN.**

**MARCO ANTONIO CALAZANS DUARTE**

**UTILIZAÇÃO DOS ÍNDICES DO ESTADO TRÓFICO (IET) E DE  
QUALIDADE DA ÁGUA (IQA) NA CARACTERIZAÇÃO  
LIMNOLÓGICA E SANITÁRIA DAS LAGOAS DE BONFIM,  
EXTREMÓZ E JIQUI- RN.**

**Dissertação apresentada ao Curso  
de Mestrado em Engenharia Civil da  
Universidade Federal da Paraíba,  
em cumprimento às exigências para  
a obtenção de grau de Mestre.**

**ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: RECURSOS HÍDRICOS**

**SUB-ÁREA: ENGENHARIA SANITÁRIA**

**ORIENTADORES: Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> BEATRIZ S. O. de CEBALLOS**

**Prof<sup>º</sup> Dr<sup>º</sup> HENIO NORMANDO de S. MELO**

**Campina Grande - PB**

**1999**



D812u

Duarte, Marco Antonio Calazans.

Utilização dos índices do estado trófico (IET) e de qualidade da água (IQA) na caracterização limnológica e sanitária das lagoas de Bonfim, Extermóz e Jiqui - RN / Marco Antonio Calazans Duarte. - Campina Grande, 1999. 156 f.

Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal da Paraíba, Centro de Ciências e Tecnologia, 1999.

"Orientação : Profa. Dra. Beatriz Susana Ovruski de Ceballos, Prof. Dr. Henio Normando de Souza Melo".

Referências.

1. Água. 2. Água - Qualidade. 3. Hidrografia. 4. Lagoas de Superfície. 5. Dissertação - Engenharia Civil. I. Ceballos, Beatriz Suzana Ovruski de. II. Melo, Henio Normando de Souza. III. Universidade Federal da Paraíba - Campina Grande (PB). IV. Título

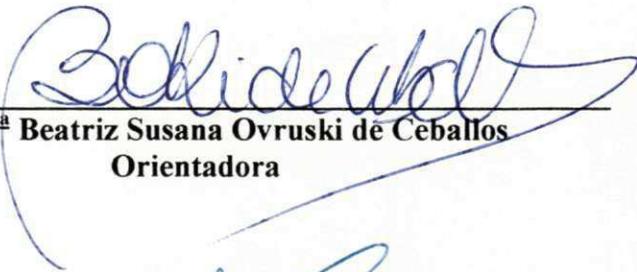
CDU 628.1(043)

MARCO ANTONIO CALAZANS DUARTE

UTILIZAÇÃO DOS ÍNDICES DO ESTADO TRÓFICO (IET) E DE  
QUALIDADE DA ÁGUA (IQA) NA CARACTERIZAÇÃO  
LIMNOLÓGICA E SANITÁRIA DAS LAGOAS DE BONFIM,  
EXTREMÓZ E JIQUI- RN.

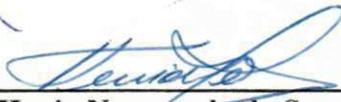
DISSERTAÇÃO APROVADA EM: 08/09/1999.

COMISSÃO EXAMINADORA



---

Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Beatriz Susana Ovruski de Ceballos  
Orientadora



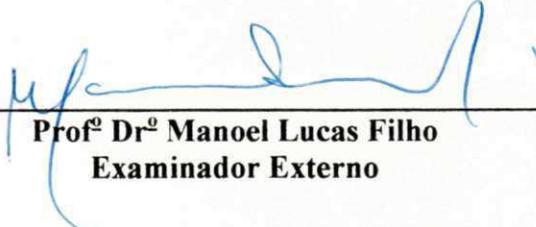
---

Prof<sup>º</sup> Dr<sup>º</sup> Henio Normando de Souza Melo  
Orientador



---

Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Annemarie König  
Examinador Interno



---

Prof<sup>º</sup> Dr<sup>º</sup> Manoel Lucas Filho  
Examinador Externo

Campina Grande – PB

1999

***“TERRA, planeta água...”***

(Guilherme Arantes)

***Para:***

*Antonio, J3ria, Ana, Ricardo, Nonato e Juliana;*

*Concei33o, Thiago, Rafael e Gustavo.*

*Origem, presente e futuro,*

*com amor, carinho e admira33o.*

## AGRADECIMENTOS

À amiga professora Beatriz Ceballos, pelos importantes e valiosos conhecimentos transmitidos e pela forma fraterna e encorajadora como conduziu-me durante o desenvolvimento deste trabalho;

Ao professor Hênio Normando, da UFRN, que incentivou e colaborou para a realização deste trabalho e pela cessão do laboratório na fase inicial da pesquisa;

À professora Annemarie König, pelas importantes contribuições durante o desenvolvimento da pesquisa e redação dos textos;

Aos professores da AESA/ UFPB, pela oportunidade de aprendizagem proporcionada durante as aulas e práticas realizadas durante o curso;

Ao amigo e colega eng.º Tadeu Carlos O. Guedes (CAERN), pela confiança e irrestrito incentivo dados ao presente trabalho;

Aos amigos e amigas do Laboratório Central da CAERN, pelo apoio, participação e estímulo nas atividades de coleta, análises de amostras e outras atividades;

Aos amigos e colegas geólogos Marcelo Augusto de Queiróz (CAERN) e José Geraldo Melo (UFRN), pelas ricas discussões sobre os aspectos hidrogeológicas das áreas estudadas;

À amiga Eliene Silvana de Souza, estagiária da área de Tecnologia Ambiental do CEFET-RN, que participou incansavelmente durante o período de análises laboratoriais e processamento de dados;

Ao colega Agostinho Santiago de Medeiros, aluno da área de Informática do CEFET-RN, pela idealização dos programas de informática utilizados para cálculo dos Índices;

À Diretoria da Companhia de Águas e Esgotos do Rio Grande do Norte- CAERN-, pelo apoio financeiro e logístico dado à pesquisa;

---

## SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS

LISTA DE TABELAS

LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

RESUMO

<b>1.0 - INTRODUÇÃO.....</b>	<b>15</b>
<b>2.0 - REVISÃO DE BIBLIOGRAFIA.....</b>	<b>20</b>
2.1 - Considerações gerais sobre os usos da água .....	20
2.2 - O índice de qualidade da água (IQA).....	27
2.3 - Eutrofização : a doença dos lagos.....	42
2.4 - O índice do estado trófico (IET).....	44
<b>3.0 - MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>53</b>
3.1 - A Área Estudada.....	53
3.2 - Os locais amostrados.....	54
3.2.1 - Seleção dos pontos de coleta.....	54
3.2.2 - Lagoa de Bonfim.....	56
3.2.3 - Lagoa de Extremóz.....	57
3.2.4 - Lagoa de Jiqui.....	60
3.3 - Metodologia de coleta e preservação de amostras.....	63
3.4 - Parâmetros analisados e métodos utilizados.....	63
3.4.1 - Parâmetros microbiológicos.....	63
3.4.1.1 - Coliformes Totais (CT).....	63
3.4.1.2 - Coliformes Fecais (CF).....	64
3.4.1.3 - Bactérias Heterótrofas Mesófilas (BHM).....	64
3.4.2 - Variáveis biológicas.....	65
3.4.2.1 - Clorofila “a” (Cl”a”).....	65
3.4.3 - Variáveis físico-químicas.....	66
3.4.3.1 - pH.....	66

3.4.3.2 - Temperatura (T).....	66
3.4.3.3 - Turbidez (Tur).....	66
3.4.3.4 - Oxigênio Dissolvido (OD).....	66
3.4.3.5 - Condutividade Elétrica (CE).....	67
3.4.3.6 - Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO).....	67
3.4.3.7 - Nitrogênio Amoniacal (NH <sub>3</sub> ).....	67
3.4.3.8 - Nitrogênio Orgânico (N <sub>org</sub> ).....	68
3.4.3.9 - Nitrato (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ).....	68
3.4.3.10 - Nitrito (NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> ).....	68
3.4.3.11 - Ortofosfato Solúvel (OF).....	68
3.4.3.12 - Fósforo Total (PT).....	68
3.4.3.13 - Sólidos Totais e frações fixas e voláteis (ST, STF e STV).....	68
3.4.3.14 - Transparência (Tra).....	69
3.4.3.15 - Demanda Química de Oxigênio (DQO).....	69
3.4.3.16 - Cor.....	69
3.4.3.17 - Alcalinidade (Alc).....	69
3.4.3.18 - Cloretos (Cl <sup>-</sup> ).....	69
3.4.3.19 - Dureza (Dur).....	69
3.4.3.20 - Acidez (Aci).....	70
3.4.3.21 - Cálcio (Ca <sup>++</sup> ) e Magnésio (Mg <sup>++</sup> ).....	70
3.4.3.22 - Sódio (Na <sup>+</sup> ) e Potássio (K <sup>+</sup> ).....	70
<b>3.5 - Análise estatística de dados.....</b>	<b>70</b>
<b>4.0 - APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....</b>	<b>71</b>
<b>4.1 - Dados pluviométricos e de temperatura do ar.....</b>	<b>71</b>
<b>4.2 - Lagoa de Bonfim.....</b>	<b>72</b>
<b>4.3 - Lagoa de Extremóz.....</b>	<b>81</b>
<b>4.4 - Lagoa de Jiqui.....</b>	<b>89</b>
<b>4.5 - Correlação entre variáveis.....</b>	<b>97</b>
<b>5.0 - CONCLUSÕES.....</b>	<b>144</b>
<b>6.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>147</b>

## LISTA DE FIGURAS

- Figura 2.1 - Curvas das variáveis  $OD_{SAT}$ , CF e pH sub- índices de qualidade da água.
- Figura 2.2 - Curvas das variáveis  $DBO_5$ , NT e PT sub- índices de qualidade da água.
- Figura 2.3 - Curvas das variáveis Tur, ST e  $\Delta T$  sub- índices de qualidade da água.
- Figura 3.1 - Localização geográfica das lagoas de Bonfim, Extremóz e Jiqui- RN.
- Figura 3.2 - Localização dos pontos de coleta na lagoa de Bonfim- RN.
- Figura 3.3 - Localização dos pontos de coleta na lagoa de Extremóz- RN.
- Figura 3.4 - Localização dos pontos de coleta na lagoa de Jiqui- RN.
- Figura 4.1 - Ciclo de precipitação pluviométrica (valores mensais-1996/1997 e médias mensais climáticas-1911/1985) nas áreas das lagoas de Bonfim, Extremóz e Jiqui- RN.
- Figura 4.2 - Distribuição temporal dos valores médios de cor, turbidez e transparência (a), pH, temperatura e condutividade elétrica (b) e OD,  $DBO_5$  e DQO (c), nos pontos B1, B2 e B3 da lagoa de Bonfim- RN no período de dez/96 a dez/97.
- Figura 4.3 - Distribuição temporal dos valores médios de nitrogênio total, amoniacal, nitrato e nitrogênio orgânico (a), fósforo total, ortofosfato solúvel e clorofila "a" (b) e sólidos totais, sólidos totais voláteis e sólidos totais fixos (c), nos pontos B1, B2 e B3 da lagoa de Bonfim- RN no período de dez/96 a dez/97.
- Figura 4.4 - Distribuição temporal dos valores médios de sódio e potássio (a), cálcio, magnésio e cloretos (b) e dureza, alcalinidade e acidez (c), nos pontos B1, B2 e B3 da lagoa de Bonfim- RN no período de dez/96 a dez/97.
- Figura 4.5 - Distribuição temporal dos valores médios de coliformes totais, coliformes fecais e bactérias heterótrofas mesófilas, nos pontos B1, B2 e B3 da lagoa de Bonfim- RN no período de dez/96 a dez/97.
- Figura 4.6 - Variação espaço- temporal do IET nos pontos B1 (a), B2 (b), B3 (c) e média (d) da lagoa de Bonfim- RN no período de dez/96 a dez/97.
- Figura 4.7 - Variação espaço- temporal da média do IET tradicional e modificado na lagoa de Bonfim- RN no período de dez/96 a dez/97.

Figura 4.8 - Variação espaço- temporal do IQA aditivo (a) e multiplicativo (b) na lagoa de Bonfim- RN no período de dez/96 a dez/97.

Figura 4.9 - Variação espaço- temporal dos sub- índices de qualidade OD (a), CF (b), pH (c) e DBO<sub>5</sub> (d) nos pontos B1, B2 e B3 da lagoa de Bonfim- RN no período de dez/96 a dez/97.

Figura 4.10 - Variação espaço- temporal dos sub- índices de qualidade NT (a), PT (b), Tur (c) e ST (d) nos pontos B1, B2 e B3 da lagoa de Bonfim- RN no período de dez/96 a dez/97.

Figura 4.11 - Distribuição temporal dos valores médios de cor, turbidez e transparência (a), pH, temperatura e condutividade elétrica (b) e OD, DBO<sub>5</sub> e DQO (c), nos pontos E1, E2 e E3 da lagoa de Extremóz- RN no período de dez/96 a dez/97.

Figura 4.12 - Distribuição temporal dos valores médios de nitrogênio total, amoniacal, nitrato e nitrogênio orgânico (a), fósforo total, ortofosfato solúvel e clorofila "a" (b) e sólidos totais, sólidos totais voláteis e sólidos totais fixos (c), nos pontos E1, E2 e E3 da lagoa de Extremóz- RN no período de dez/96 a dez/97.

Figura 4.13 - Distribuição temporal dos valores médios de sódio e potássio (a), cálcio, magnésio e cloretos (b) e dureza, alcalinidade e acidez (c), nos pontos E1, E2 e E3 da lagoa de Extremóz- RN no período de dez/96 a dez/97.

Figura 4.14 - Distribuição temporal dos valores médios de coliformes totais, coliformes fecais e bactérias heterótrofas mesófilas, nos pontos E1, E2 e E3 da lagoa de Extremóz- RN no período de dez/96 a dez/97.

Figura 4.15 - Variação espaço- temporal do IET nos pontos E1 (a), E2 (b), E3 (c) e média (d) da lagoa de Extremóz- RN no período de dez/96 a dez/97.

Figura 4.16 - Variação espaço- temporal da média do IET tradicional e modificado na lagoa de Extremóz- RN no período de dez/96 a dez/97.

Figura 4.17 - Variação espaço- temporal do IQA aditivo (a) e multiplicativo (b) na lagoa de Extremóz- RN no período de dez/96 a dez/97.

Figura 4.18 - Variação espaço- temporal dos sub- índices de qualidade OD (a), CF (b), pH (c) e DBO<sub>5</sub> (d) nos pontos E1, E2 e E3 da lagoa de Extremóz- RN no período de dez/96 a dez/97.

Figura 4.19 - Variação espaço- temporal dos sub- índices de qualidade NT (a), PT (b), Tur (c) e ST (d) nos pontos E1, E2 e E3 da lagoa de Extremóz- RN no período de dez/96 a dez/97.

Figura 4.20 - Distribuição temporal dos valores médios de cor, turbidez e transparência (a), pH, temperatura e condutividade elétrica (b) e OD, DBO<sub>5</sub> e DQO (c), nos pontos J1, J2 e J3 da lagoa de Jiqui- RN no período de dez/96 a dez/97.

Figura 4.21 - Distribuição temporal dos valores médios de nitrogênio total, amoniacal, nitrato e nitrogênio orgânico (a), fósforo total, ortofosfato solúvel e clorofila "a" (b) e sólidos totais, sólidos totais voláteis e sólidos totais fixos (c), nos pontos J1, J2 e J3 da lagoa de Jiqui- RN no período de dez/96 a dez/97.

Figura 4.22 - Distribuição temporal dos valores médios de sódio e potássio (a), cálcio, magnésio e cloretos (b) e dureza, alcalinidade e acidez (c), nos pontos J1, J2 e J3 da lagoa de Jiqui- RN no período de dez/96 a dez/97.

Figura 4.23 - Distribuição temporal dos valores médios de coliformes totais, coliformes fecais e bactérias heterótrofas mesófilas, nos pontos J1, J2 e J3 da lagoa de Jiqui- RN no período de dez/96 a dez/97.

Figura 4.24 - Variação espaço- temporal do IET nos pontos J1 (a), J2 (b), J3 (c) e média (d) da lagoa de Jiqui- RN no período de dez/96 a dez/97.

Figura 4.25 - Variação espaço- temporal da média do IET tradicional e modificado na lagoa de Jiqui- RN no período de dez/96 a dez/97.

Figura 4.26 - Variação espaço- temporal do IQA aditivo (a) e multiplicativo (b) na lagoa de Jiqui- RN no período de dez/96 a dez/97.

Figura 4.27 - Variação espaço- temporal dos sub- índices de qualidade OD (a), CF (b), pH (c) e DBO<sub>5</sub> (d) nos pontos J1, J2 e J3 da lagoa de Jiqui- RN no período de dez/96 a dez/97.

Figura 4.28 - Variação espaço- temporal dos sub- índices de qualidade NT (a), PT (b), Tur (c) e ST (d) nos pontos J1, J2 e J3 da lagoa de Jiqui- RN no período de dez 96 a dez 97.

## LISTA DE TABELAS

- Tabela 2.1 - Demandas de água para diversos usos na região Nordeste do Brasil.
- Tabela 2.2 - Disponibilidade hídrica per capita das UP's do Rio Grande do Norte.
- Tabela 2.3 - Necessidade de gerenciamento de recursos hídricos
- Tabela 2.4 - Parâmetros e pesos para cálculo do IQA.
- Tabela 2.5 - Classificação de águas naturais, conforme o IQA.
- Tabela 2.6 - Parâmetros envolvidos no Índice de Toxidez (IT) e limites máximos.
- Tabela 2.7 - Expressões analíticas para cálculo do sub-índice de qualidade  $q_1$  (OD).
- Tabela 2.8 - Valores teóricos do sub-índice de qualidade  $q_1$  (OD).
- Tabela 2.9 - Expressões analíticas para cálculo do sub-índice de qualidade  $q_2$  (CF).
- Tabela 2.10 - Valores teóricos do sub-índice de qualidade  $q_2$  (CF).
- Tabela 2.11 - Expressões analíticas para cálculo do sub-índice de qualidade  $q_3$  (pH).
- Tabela 2.12 - Valores teóricos do sub-índice de qualidade  $q_3$  (pH).
- Tabela 2.13 - Expressões analíticas para cálculo do sub-índice de qualidade  $q_4$  (DBO<sub>5</sub>).
- Tabela 2.14 - Valores teóricos do sub-índice de qualidade  $q_4$  (DBO<sub>5</sub>).
- Tabela 2.15 - Expressões analíticas para cálculo do sub-índice de qualidade  $q_5$  (NT).
- Tabela 2.16 - Valores teóricos do sub-índice de qualidade  $q_5$  (NT).
- Tabela 2.17 - Expressões analíticas para cálculo do sub-índice de qualidade  $q_6$  (PT).
- Tabela 2.18 - Valores teóricos do sub-índice de qualidade  $q_6$  (PT).
- Tabela 2.19 - Expressões analíticas para cálculo do sub-índice de qualidade  $q_7$  (Tur).
- Tabela 2.20 - Valores teóricos do sub-índice de qualidade  $q_7$  (Tur).
- Tabela 2.21 - Expressões analíticas para cálculo do sub-índice de qualidade  $q_8$  (ST).
- Tabela 2.22 - Valores teóricos do sub-índice de qualidade  $q_8$  (ST).
- Tabela 2.23 - Expressões analíticas para cálculo do sub-índice de qualidade  $q_9$  (T).
- Tabela 2.24 - Valores teóricos do sub-índice de qualidade  $q_9$  (T).
- Tabela 2.25 - Índices e sub-índices de qualidade para condições- limites.
- Tabela 2.26 - Classificação de lagos temperados, segundo o IET
- Tabela 2.27 - Classificação de lagos tropicais, segundo o IET modificado

Tabela 4.1 - Valores médios, máximos, mínimos e medianos de parâmetros físicos, químicos e biológicos da lagoa de Bonfim- RN no período de dez/96 a dez/97.

Tabela 4.2 - Índices do estado trófico nos pontos B1, B2 e B3, na lagoa de Bonfim- RN no período de dez/96 a dez/97.

Tabela 4.3 - Valores médios mensais de parâmetros limnológicos e índices do estado trófico tradicional e modificado da lagoa de Bonfim- RN no período de dez/96 a dez/97.

Tabela 4.4 - Valores do índice de qualidade da água (aditivo e multiplicativo) da lagoa de Bonfim- RN no período de dez/96 a dez/97.

Tabela 4.5 - Valores médios, máximos, mínimos e medianos de parâmetros físicos, químicos e biológicos da lagoa de Extremóz- RN no período de dez/96 a dez/97.

Tabela 4.6 - Índices do estado trófico nos pontos E1, E2 e E3, na lagoa de Extremóz- RN no período de dez/96 a dez/97.

Tabela 4.7 - Valores médios mensais de parâmetros limnológicos e índices do estado trófico tradicional e modificado da lagoa de Extremóz- RN no período de dez/96 a dez/97.

Tabela 4.8 - Valores do índice de qualidade da água (aditivo e multiplicativo) da lagoa de Extremóz- RN no período de dez/96 a dez/97.

Tabela 4.9 - Valores médios, máximos, mínimos e medianos de parâmetros físicos, químicos e biológicos da lagoa de Jiqui- RN no período de dez/96 a dez/97.

Tabela 4.10 - Índices do estado trófico nos pontos J1, J2 e J3, na lagoa de Jiqui- RN no período de dez/96 a dez/97.

Tabela 4.11 - Valores médios mensais de parâmetros limnológicos e índices do estado trófico tradicional e modificado da lagoa de Jiqui- RN no período de dez/96 a dez/97.

Tabela 4.12 - Valores do índice de qualidade da água (aditivo e multiplicativo) da lagoa de Jiqui- RN no período de dez/96 a dez/97.

Tabela 4.13 - Estatística descritiva dos parâmetros físico-químicos, biológicos e microbiológicos nos três pontos de amostragem da lagoa de Bonfim- RN no período de dez/96 a dez/97.

Tabela 4.14 - Estatística descritiva dos parâmetros físico-químicos, biológicos e microbiológicos nos três pontos de amostragem da lagoa de Extremóz- RN no período de dez/96 a dez/97.

Tabela 4.15 - Estatística descritiva dos parâmetros físico-químicos, biológicos e microbiológicos nos três pontos de amostragem da lagoa de Jiqui- RN no período de dez/96 a dez/97.

Tabela 4.16 - Resultados da matriz de correlação de Pearson dos valores de parâmetros físico-químicos, biológicos e microbiológicos nos três pontos de coleta da lagoa de Bonfim- RN no período de dez/96 a dez/97.

Tabela 4.17 - Resultados da matriz de correlação de Pearson dos valores de parâmetros físico-químicos, biológicos e microbiológicos nos três pontos de coleta da lagoa de Extremóz- RN no período de dez/96 a dez/97.

Tabela 4.18 - Resultados da matriz de correlação de Pearson dos valores de parâmetros físico-químicos, biológicos e microbiológicos nos três pontos de coleta da lagoa de Jiqui- RN no período de dez/96 a dez/97.

## LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

Ta - temperatura da amostra  
pH - potencial hidrogeniônico  
CE - condutividade elétrica  
OD - oxigênio dissolvido  
DBO<sub>5</sub> - demanda bioquímica de oxigênio  
DQO - demanda química de oxigênio  
NT - nitrogênio total  
NH<sub>4</sub><sup>+</sup> - nitrogênio amoniacal  
NO<sub>2</sub><sup>-</sup> - nitrito  
NO<sub>3</sub><sup>-</sup> - nitrato  
N<sub>org</sub> - nitrogênio orgânico  
OF - ortofosfato solúvel  
PT - fósforo total  
Cl "a" - clorofila "a"  
ST - sólidos totais  
STV - sólidos totais voláteis  
STF - sólidos totais fixos  
Tur - turbidez  
Alc - alcalinidade  
Aci - acidez  
Dur - dureza total  
Ca<sup>++</sup> - cálcio  
Mg<sup>++</sup> - magnésio  
Na<sup>+</sup> - sódio  
K<sup>+</sup> - potássio  
Cl<sup>-</sup> - cloretos  
CT - coliformes totais  
CF - coliformes fecais  
BHM - bactérias heterótrofas mesófilas

UFC - unidade formadora de colônia

NMP - número mais provável

## RESUMO

Foram avaliadas as condições sanitárias de três mananciais de superfície (Bonfim, Extremóz e Jiqui) situados no litoral Oriental do Rio Grande do Norte. Os resultados apresentados correspondem ao período de dezembro/1996 a dezembro/1997. As coletas, com frequência mensal, foram realizadas em três pontos de cada lagoa. Foram analisados os parâmetros que determinam o Índice de Qualidade da Água -IQA- (oxigênio dissolvido, coliformes fecais, pH, DBO<sub>5</sub>, nitrogênio total, fósforo total, turbidez, sólidos totais e temperatura), além de alcalinidade, cor, transparência de Secchi, condutividade elétrica, sólidos totais voláteis e fixos, DQO, ortofosfato solúvel, clorofila "a", formas de nitrogênio, cálcio, magnésio, sódio, potássio, cloretos, acidez, dureza, coliformes totais e bactérias heterotróficas mesófilas. O IQA (aditivo e multiplicativo) classificou a água de Bonfim como ótima e as de Extremóz e Jiqui entre ótima e boa. O método multiplicativo mostrou-se mais restritivo e em consequência, mais sensível para refletir valores de qualidade mais baixa em relação aos diferentes parâmetros. No caso em estudo, as variáveis que influenciaram negativamente para o cálculo do IQA foram coliformes fecais, DBO<sub>5</sub>, nitrogênio total, turbidez e sólidos totais. Segundo estes índices, os três mananciais apresentaram águas apropriadas para o tratamento convencional, sendo que Bonfim possui águas apropriadas para consumo humano apenas com tratamento simplificado (simples desinfecção), enquanto Extremóz e Jiqui necessitam de processos convencionais de tratamento. Segundo a resolução n.º 20/86-CONAMA, a lagoa de Bonfim (2-80 NMP coliformes fecais/100 mL) se enquadraria na classe 1 (< 200 coliformes fecais/100 mL), sendo que todas as amostras apresentaram índices inferiores a 80 coliformes fecais/100 mL. As lagoas de Extremóz (4-900 NMP coliformes fecais/100 mL) e de Jiqui (2-2.200 NMP coliformes fecais/100 mL) estariam enquadradas nas classes 2 ( $\leq$  1.000 coliformes fecais/100 mL) e 3 ( $\leq$  4.000 coliformes fecais/100 mL), respectivamente. Foram também aplicados o Índice do Estado Trófico de Carlson (IET) e sua versão modificada (IET<sub>M</sub>) a fim de avaliar as condições limnológicas das três lagoas. O IET<sub>M</sub> classificou Bonfim como oligomesotrófica, Extremóz como mesotrófica e Jiqui como mesoeutrófica. Segundo o IET, Bonfim pode ser considerada como mesotrófica, Extremóz entre eutrófica e hipereutrófica e Jiqui como mesoeutrófica com tendência para a hipertrofia. Nas três

lagoas os valores dos índices apresentaram variações temporais e espaciais, segundo o parâmetro considerado. A clorofila "a", influenciou nos valores de índices mais baixos em Bonfim e Jiqui; fósforo total gerou os índices mais altos nas três lagoas. Os dois índices apresentaram variações em relação ao estado trófico de um mesmo corpo aquático; IET pode ser considerado como mais restritivo e conservador, resultando em números mais elevados, enquanto IET<sub>M</sub> absorve valores mais altos dos parâmetros, em particular do fósforo total; a versão modificada do índice mostra-se mais adequada para a determinação do estado trófico de lagos de clima tropical.

---

## ABSTRACT

This work evaluated the sanitary conditions of three surface water bodies: Bonfim, Extremóz and Jiqui, located in the Oriental coast of Rio Grande do Norte State-Northeast Brazil. The results correspond to the period from december/96 to december/97. Three sampling stations were chosen in each pond for a monthly program of sample collection. Some parameters were analyzed to determine the Water Quality Index (WQI): dissolved oxygen, fecal coliforms, pH, BOD<sub>5</sub>, total nitrogen, total phosphorous, turbidity, total solids and temperature, and also total coliforms and heterotrophic mesophilic bacterias. The WQI (additive and multiplicative) classified the Bonfim water as excellent, the Extremóz and Jiqui between excellent and good. The multiplicative method was more restrictive and consequently, more sensitive to reflect values of lower quality in relation to the different parameters. In this study, the variables which influenced the calculation of WQI negatively were fecal coliforms, BOD<sub>5</sub>, total nitrogen, total solids and turbidity. According to these indexes, the waters of the three reservoirs could be used for the human consumption, being Bonfim adequate after simplified treatment (simple disinfection), while Extremóz and Jiqui need conventional treatment processes. According to the CONAMA Resolution nr. 20/86, Bonfim pond (2-80 MPN fecal coliforms/100mL) would fit in class 1 (< 200 fecal coliforms/100mL), since samples presented less than 80 fecal coliforms/100mL. The ponds of Extremóz (4-900 MPN fecal coliforms/100mL) and of Jiqui (2-2.200 MPN fecal coliforms/100mL) they would be classified in the classes 2 (< 1.000 fecal coliforms/100mL) and class 3 (< 4.000 fecal coliforms/100mL), respectively. The Trophic State Index of Carlson (TSI) and its modified version (MTSI) were also applied in order to evaluate the limnological conditions of these three lakes. MTSI classified Bonfim as oligomesotrophic, Extremóz as mesotrophic and Jiqui as mesoeutrophic. TSI classified Bonfim as mesotrophic, Extremóz as eutrophic-hipereutrophic and Jiqui as mesoeutrophic. These indexes presented temporal and spacial variations, according to the considered parameter. The chlorophyll "a", reduced the index values in Bonfim and Jiqui and the total phosphorous generated the highest indexes in all three ponds. The two indexes present variations in relation to the trophic state of a same aquatic body. The TSI can be considered as more restrictive and conservative, resulting in higher numbers, while MTSI

absorbs higher values of the parameters, in particular of the total phosphorous. The modified version of the index showed more adequate for the trophic state determination of tropical lakes.

## 1.0 - INTRODUÇÃO

A água, como um composto essencial à vida, deve atender a requisitos de qualidade e quantidade adequadas ao consumo da população, com a finalidade de garantir a manutenção da sua saúde e preservar o ecossistema terrestre.

Quando a disponibilidade e, principalmente, a qualidade da água encontram-se comprometidas, esta pode causar transtornos ao bem-estar da população e inclusive contribuir para o surgimento de doenças, cujos agentes são veiculados pela água. A flora e a fauna, a depender da carga poluidora, podem ser afetadas.

O Brasil, país que possui a maior malha hidrográfica do mundo, não ficou isento dos problemas referentes à disponibilidade de água. Este paradoxo surge em função da distribuição irregular dos recursos hídricos no espaço territorial brasileiro, concentrando-se na região Norte em detrimento das regiões Nordeste e Sudeste, o que acarreta um desequilíbrio entre a oferta e demanda por água disponível.

Por outro lado, o compromisso assumido pelo país com o desenvolvimento sustentado, ao término da Conferência das Nações Unidas para o Meio Ambiente (Rio-92), conforme os termos da Agenda 21, implica na sua opção pelo novo paradigma do desenvolvimento sustentado: promoção da qualidade de vida da população com sustentabilidade ambiental.

Nesse quadro, a água, em geral e a disponibilidade de água doce, apropriada ao consumo humano, em especial - água com teor de sólidos totais dissolvidos inferior a 500-600 mg/l (APHA *et al.*, 1995; OMS, 1995)- deve ser considerada como um recurso natural essencial à qualidade de vida da população humana, em especial, e ao desenvolvimento sócio-econômico, sem que seu uso acarrete riscos ambientais.

Portanto, o estudo das condições de utilização sustentada do potencial de água doce de uma determinada região já não se pode restringir ao simples balanço entre oferta e demanda. Ao contrário, deve abranger, também, os seus inter-relacionamentos com as demais peculiaridades ambientais e socioculturais, tendo em vista alcançar e garantir, prioritariamente, a qualidade de vida da sua população.

Como resultado, a gestão sustentada dos recursos hídricos impõe a prática de determinados princípios, tais como: (i) adoção da bacia hidrográfica como unidade físico-territorial de planejamento e controle; (ii) usos múltiplos integrados das águas atmosféricas, superficiais e subterrâneas, com prioridade para o abastecimento humano; (iii) reconhecimento da água como um bem natural, renovável, limitado e dotado de valor econômico e que portanto, seu uso racional deve incluir a preservação de sua qualidade e (iv) gestão descentralizada, multidisciplinar e participativa (MMA,1997).

A região Nordeste caracteriza-se pela baixa taxa de ocupação das áreas rurais e um limitado desenvolvimento industrial. A estrutura fundiária conservadora e o avanço técnico na agricultura, apenas favoreceu o predomínio maciço da monocultura de alguns produtos, em especial a cana-de-açúcar e transformou as relações de trabalho no campo. Como consequência, restaram para o trabalhador rural apenas duas alternativas para a sua sobrevivência: ou migrar para as periferias das cidades e trabalhar como bóia-fria no campo, ou ir para os grandes centros urbanos e ingressar quando possível, no mercado informal.

Em complementação aos efeitos danosos dos empreendimentos canavieiros e similares, destaca-se o lançamento das cargas poluidoras provenientes destes locais nos cursos d'água, bem como o assoreamento dos mesmos.

Esta forma de organização da economia nordestina tem gerado grandes bolsões de miséria, com graves consequências ambientais. Nas áreas metropolitanas, embora com baixa ocupação industrial e populacional, o tratamento quase inexistente dos esgotos domésticos, já ameaça os mananciais responsáveis pelo abastecimento público de água.

Problemas sérios de disponibilidade de água são enfrentados pelo sertão nordestino e esta escassez deve-se aos períodos cíclicos de estiagem, fato este que tem sido utilizado para justificar o baixo desenvolvimento da região.

A ecologia de lagoas de pequeno e grande porte está intimamente associada com os fenômenos físicos, climáticos, biológicos e sociais que atuam na bacia hidrográfica e que causam diferentes tipos de impactos. Influenciam também na alteração temporal da qualidade da água acumulada, as vazões e a qualidade dos afluentes, a taxa de evaporação, a extensão da zona de litoral que oferece maior ou menor área de intercâmbio com o compartimento terrestre, o tempo de permanência da água no reservatório, a presença de vegetação submersa e o clima ( CALIJURI, 1988; MARGALEF, 1981 ).

Com relação ao clima, a precipitação pluviométrica tem forte impacto nos ecossistemas aquáticos nordestinos, por se concentrar em poucos meses do ano (CEBALLOS *et al.*, 1995).

Na medida em que se torna mais intenso e diversificado o uso dos mananciais e de suas bacias hidrográficas, maior é a necessidade de se definir formas de manejo sustentado e de gestão ambiental deste ecossistemas. Para isso, torna-se necessário um monitoramento sistemático, o qual resulta em séries temporais de dados que permitem avaliar a evolução da qualidade do corpo aquático e conhecer tendências de sua variação. Normalmente, os dados acumulados são abundantes e relacionados com 15-20 parâmetros ou até mais. Para facilitar a sua interpretação pode-se recorrer a índices que permitem resumir em um único ou em poucos valores o conjunto de informações obtidas. Dentre estes, o Índice do Estado Trófico-IET (CARLSON,1977) permite uma avaliação limnológica bastante aproximada do nível de enriquecimento nutricional de um corpo aquático e abrange apenas três parâmetros (transparência, clorofila "a" e fósforo total). Trata-se de uma forma simples de analisar um conceito multidimensional que envolve critérios de oxigenação, de transparência, de nutrientes eutrofizantes, de biomassa, de composição e concentração de fito e zooplâncton, entre outros dados (Von SPERLING,1994).

Por outro lado, o Índice de Qualidade da Água (IQA) se baseia em curvas de qualidade elaboradas para nove parâmetros considerados representativos (coliformes fecais, DBO<sub>5</sub>, fósforo total, nitrogênio total, pH, oxigênio dissolvido, sólidos totais, temperatura e turbidez), envolvendo conceitos sanitários de classificação de uma determinada água. Este índice atribui notas de qualidade entre zero (pior qualidade) e cem (qualidade ótima), evidenciando desta forma, a vocação de um determinado manancial para fornecer água para consumo humano. (CETESB,1979;1990).

O grande potencial de água doce (subterrânea e superficial) da zona Costeira Oriental do Estado do Rio Grande do Norte, deve ser considerado como um capital ecológico de grande importância ambiental e como fator competitivo essencial ao mercado, para o abastecimento da população e para o desenvolvimento sócio-econômico sustentado da região. O Estado do Rio Grande do Norte apresenta uma grande diversidade nas características hidrológicas e ambientais, destacando-se a sua zona Costeira, onde estão inseridas as Lagoas de Bonfim, Extremóz e Jiqui (IDEC, 1995).

As lagoas em estudo estão situadas na área compreendida entre os paralelos 5°37' e 6°66', sul e os meridianos 35°05' e 35°38', oeste (IDEC,1991). A lagoa de Jiqui, localizada

a 13 km de Natal, recebe as águas do rio Pitimbú que atravessa zonas urbanas e industriais, drenando uma bacia de 98 km<sup>2</sup>. É também alimentada por água do lençol subterrâneo. A lagoa tem volume de 0,32 hm<sup>3</sup>, uma profundidade média de 1,00m e um tempo de detenção hidráulica aproximado de 2,6 dias. Abastece a 30% (≅130 mil hab.) da população da região sul de Natal.

A lagoa de Extremóz (12 hm<sup>3</sup>, profundidade média de 3,00m e tempo de detenção hidráulica aproximado de 28 dias) se situa a 15 km da cidade de Natal e abastece a população da sua região norte (≅150.000 hab.) (CAERN, 1999). Sua alimentação se dá, principalmente, através da infiltração d'água subterrânea oriunda dos tabuleiros arenosos que predominam em sua bacia hidrográfica, de 329 km<sup>2</sup>. O rio Guagirú é o afluente de seu extremo sul e o rio do Mudo desemboca em seu extremo norte. A ocupação humana é bastante dispersa e o uso do solo é predominantemente de característica agrícola.

A lagoa do Bonfim, situada a 35 km de Natal, é alimentada, principalmente, por infiltração de água do lençol subterrâneo, além da precipitação pluviométrica e possui uma lâmina de água média de 9,50 m. Está em funcionamento o sistema denominado de Adutora Monsenhor Expedito que atualmente capta cerca de 170 L/s, abastecendo 127 mil habitantes, em 17 municípios e 34 comunidades rurais da região do cristalino da Estado (CAERN, 1999). A bacia de drenagem é pouco impactada, ocorrendo em suas margens plantações de cana-de-açúcar e frutas tropicais. A lagoa é usada também para recreação (principalmente banho e esportes náuticos) e irrigação, apresentando um consumo atual estimado em 120 L/s (SERHID, 1997).

A característica geológica desta área é marcada pela ocorrência de sedimentos areno-argilosos terciários do Grupo Barreiras, recobertos por depósitos de areia quartzosa que formam dunas, de idade quaternária. Esta área constitui, devido suas características hidrogeológicas e altas taxas de excedentes pluviométricos um dos mais importantes potenciais hídricos renováveis do estado. A faixa que delimita esta zona tem uma largura média da ordem de 30 km, sendo considerada como a mais chuvosa do estado, com valores médios que variam entre 900 e perto de 2.000 mm/ano (PEREIRA *et al.*, 1996).

Em relação aos três corpos aquáticos, existem poucos registros de estudos limnológicos e sanitários nestes ecossistemas, dificultando, ou até mesmo impedindo a implementação de medidas racionais de manejo, objetivando evitar a deterioração acelerada dos mesmos. Para tanto, é necessário avaliar a influência da área da bacia de drenagem e das condições climáticas sobre a qualidade da água, através de análises

pontuais no tempo e distribuídas espacialmente, de modo que se possa verificar a variação de diversos parâmetros microbiológicos e físico-químicos.

O estudo comparativo destes três mananciais é importante porque: (i) as lagoas de Extremóz e Jiqui são os mananciais de superfície que abastecem a cidade do Natal-RN ( $\cong$  660.000 habitantes) e a de Bonfim é um manancial que fornece água para mais de 120 mil habitantes de 17 municípios e 34 comunidades rurais das regiões Agreste, Trairi e Potengi do Estado; (ii) os corpos aquáticos possuem água acumulada de diferentes origens (rios e aquíferos); (iii) localizam-se em diferentes bacias hidrográficas com geografia diversificada e distintas atividades agropastoris, industriais e urbanas.

Em síntese, a presente pesquisa teve como objetivos:

#### GERAIS

- Avaliar o comportamento dos índices do estado trófico proposto por CARLSON (1977) e o modificado, proposto por TOLEDO Jr. (1985), para lagos de clima tropical, assim como verificar a variação temporal do grau de eutrofização, nos três lagos estudados;
- Avaliar os resultados do IQA nas versões aditiva e multiplicativa para a classificação sanitária dos três mananciais;

#### ESPECÍFICOS

- Obter informações sobre a influência de fatores climatológicos, nos aspectos físicos, químicos, biológicos e hidrobiológicos dos lagos naturais em estudo;
- Oferecer subsídios para a classificação sanitária dos corpos aquáticos;
- Iniciar um banco de dados que sirva como base para modelos matemáticos de funcionamento de corpos aquáticos lênticos tropicais.

## 2.0 - REVISÃO DE BIBLIOGRAFIA

### 2.1 - Considerações gerais sobre o uso da água

A água, como elemento integrante da natureza, é um recurso natural que compõe o patrimônio ambiental que deve ser protegido, tendo em vista seu uso coletivo. Entretanto, em todos os países do mundo, ainda é considerada como um bem livre, sem valor econômico (VIEIRA, 1994).

Com a aceleração do desenvolvimento econômico ocorrido no último século, os recursos hídricos ficaram sujeitos às ações predatórias das atividades humanas. O mau uso das águas, em especial as superficiais, vem acarretando a degradação dos recursos hídricos disponíveis e a sua escassez relativa (ABEAS, 1996).

O problema da escassez relativa, devido ao desperdício e ao uso mal planejado, assim como o acelerado decréscimo da biodiversidade e até o comprometimento da biota em rios e lagos, como resultado do alto nível de degradação da qualidade, já é uma realidade em muitas regiões do mundo (REBOUÇAS, 1997a). Esta progressiva deterioração das águas está diminuindo a quantidade das parcelas utilizáveis para fins mais nobres, como abastecimento das populações, recreação, irrigação, aquicultura e pesca.

A crise da água no Brasil resulta da intervenção antrópica altamente predatória deste espaço, agravada pela adoção de medidas paliativas para resolução de um fenômeno de características marcadamente estruturais, resultando na manutenção do problema. É um exemplo o estímulo da urbanização e da industrialização em bacias hidrográficas onde já existe escassez de água para abastecimento.

Dentre os fatores que contribuem à situação de crise de água no Brasil, destacam-se:

- crescimento rápido e desordenado das demandas: 27% da população brasileira (42,5 milhões de habitantes) está concentrada em 3% dos municípios (156 cidades) (IBAM, 1993);
- a degradação da qualidade dos mananciais disponíveis, em níveis comprometedores, resultante do lançamento de esgotos domésticos e industriais brutos

(90% dos efluentes domésticos e 70% dos industriais) e da disposição inadequada do lixo (ABES, 1997).

Merece destaque a questão do esgotamento sanitário, onde 15,1 milhões de domicílios catalogados pelo IBGE (1992) dispõem de rede coletora de esgotos, o que significa que apenas 38,8% das residências urbanas e rurais contam com serviços de esgotamento sanitário, enquanto 62,2% não têm e os despejos são descartados nos corpos receptores. Na região Nordeste, o quadro se repete: 3,1 milhões dos 10,3 milhões de domicílios não têm nenhuma forma de coleta de efluentes, enquanto 1,4 milhão estão ligados à rede coletora e os restantes (3,8 milhão) têm outras formas de afastar seus resíduos líquidos, terminando em cursos d'água poluídos que escoam na bacia hidrográfica. Agravando o quadro ambiental, apenas 10% da parcela que é coletada, recebe algum tipo de tratamento, enquanto os 90% restantes são lançados brutos em corpos aquáticos (ABES, 1998).

Dados do IBGE (1992), apontam que os mananciais de superfície que abastecem as 2.641 sedes municipais (rios e riachos, 2.161; lagos e lagoas, 74; açudes e reservatórios artificiais, 406) já apresentam alguma forma de poluição. Dos 38,9 milhões de domicílios permanentes existentes no país, 29,6 milhões (76,9%) dispõem de rede de abastecimento de água, sendo 28,4 milhões (73%) na área urbana e apenas 1,2 milhão (3,9%) na área rural. Na região Nordeste, a situação é mais crítica ainda, onde apenas 6,2 milhões (60%) de domicílios, nas áreas urbana e rural têm rede de abastecimento (ABES, 1998).

Embora não existam muitos dados sobre a qualidade das águas dos mananciais hídricos da região Nordeste e em especial do Estado do Rio Grande do Norte, as informações disponíveis (OLIVEIRA, 1994; PEREIRA, 1993), permitem concluir que esta foi alterada pelas atividades desordenadas desenvolvidas nas suas bacias hidrográficas (SOUZA & MOTA, 1994). Estes problemas são agravados pela condição de intermitência de muitos cursos de água, fenômeno que ocorre em uma área considerável da região. Tendo vazão zero durante a maior parte do ano, os mesmos não podem ser usados como diluidores de despejos. O lançamento de esgotos, mesmo que tratados, significa o escoamento de águas poluídas pelas calhas dos cursos d'água, em determinados períodos do ano. Nestes casos, os rios intermitentes tornam-se perenes pela vazão de esgotos neles lançados e sua capacidade de autodepuração fica comprometida, além de acelerar o assoreamento (MAYER, 1998). Associados a estes fatos, ocorrem problemas de salinização, contaminação fecal e superprodução de algas, principais fatores responsáveis pela degradação da qualidade da água da região (CEBALLOS *et al.*, 1998).

Com relação à salinização, diversos estudos apontam o clima como o principal responsável pelo agravamento do fenômeno. Nos períodos de seca, em que as temperaturas são mais elevadas, atingindo valores de até 35°C, as concentrações de sais elevam-se consideravelmente pelo aumento das taxas de evaporação. Já em 1934, WRIGHT (1981), estudando os açudes de Bodocongó e Velho no estado da Paraíba, observou que entre a época de chuvas e a de estiagem havia aumentos de até três vezes da concentração de cloretos. De forma semelhante, a alcalinidade teve elevações de até quatro vezes. Dados do Projeto ARIDAS, mostram valores de condutividade elétrica de até 45.000  $\mu\text{S}/\text{cm}$  em açudes salinizados do Nordeste após a seca de 1987 (SOUZA & MOTA, 1994).

Deve-se observar que contribuem com a situação de escassez da água a baixa eficiência dos serviços de saneamento básico, representada pelos altos índices de perdas de água que ocorrem nos sistemas de abastecimento (entre 25 e 60%) e os grandes desperdícios gerados pela falta de conscientização da população (cultura da abundância), pelo mal gerenciamento dos órgãos operadores e pelo atraso tecnológico dos fabricantes de equipamentos, principalmente torneiras e descargas sanitárias. Simultaneamente, há uma distribuição não equitativa de água nos sistemas públicos de abastecimento (ABES, 1998).

Devem-se destacar outros tipos de desperdício da água em atividades como a utilização de técnicas de irrigação de superfície (espalhamento, pivô central, aspersão e outras) de baixa eficiência, que resultam em perdas de até 70%, em 90% dos casos (FAO, 1988). De fato, a atividade de irrigação consome em torno de 70% de toda água utilizada (MAYBEC, 1991). Dados para o Nordeste do Brasil, mostram a seguinte distribuição das demandas de água (Tabela 2.1).

**Tabela 2.1-Demandas de água para diversos usos na região Nordeste do Brasil.**

Demanda	% Demanda Total
Irrigação	37,2
Ecológica	37,2
Abastecimento Urbano	12,0
Agro-Industrial	5,1
Pecuária	3,7
Industrial	3,0
Abastecimento Rural	1,8

Fonte: Vieira (1994).

Através da evaporação produzida pela energia calorífica proveniente do sol e a transpiração dos organismos vivos, parte da água dos oceanos e continentes (rios, lagos e umidade do solo) é transformada em vapor. Este sobe à atmosfera, condensando-se e

formando as nuvens. Sob a ação do campo gravitacional, a água atmosférica volta a cair na forma de chuva, neblina, neve, granizo e orvalho, indo alimentar o fluxo dos rios, a umidade do solo e promover a recarga das águas subterrâneas. Embora o ciclo hidrológico possa garantir a renovabilidade da água na biosfera, sua qualidade está comprometida pela poluição dos compartimentos solo-água-ar (REBOUÇAS, 1997a).

A gestão integrada dos recursos hídricos no âmbito de uma bacia hidrográfica, constitui a condição básica para que a água continue sendo o suporte fundamental da vida.

Consciente desse problema, o homem tem procurado, ao longo do tempo, criar formas e sistemas de gestão dos recursos hídricos. No Brasil, a administração das águas públicas, foi iniciada com a criação da Diretoria de Águas, no Ministério da Agricultura, em 1933. Teve prosseguimento com a edição da Medida Provisória Nº 813, de 01/01/95, que criou a Secretaria de Recursos Hídricos, no Ministério do Meio Ambiente, dos Recursos Hídricos e da Amazônia Legal e culminou com a sanção da lei Nº 9.433, em 06 de janeiro de 1997, que instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos (ABEAS, 1996).

Esta Política está fundamentada em princípios que explicitam o domínio público da água e reconhecem-na como um recurso natural limitado e dotado de valor econômico. Em situações de escassez, seu uso prioritário é o consumo humano e a dessedentação de animais. A gestão dos recursos hídricos deve proporcionar o uso múltiplo, tendo a bacia hidrográfica como unidade territorial e ser descentralizada, contando com a participação do poder público, dos usuários e das comunidades (MMA, 1997).

A implementação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, objetiva :

- assegurar à atual e às futuras gerações a necessária disponibilidade de água, com padrões de qualidade adequados aos respectivos usos;
- a utilização racional e integrada dos recursos hídricos, com vistas ao desenvolvimento sustentável
- a prevenção e a defesa contra efeitos hidrológicos críticos de origem natural ou decorrentes do uso inadequado dos recursos naturais (MMA, 1997).

A Política Nacional de Recursos Hídricos está fundamentada em diretrizes gerais que prevêm a gestão sistemática destes sem dissociação dos aspectos de quantidade e qualidade, em paralelo à sua adequação às diversidades físicas, bióticas e sociais, dentre outras, das diversas regiões do País.

No Rio Grande do Norte, a água possui uma importância relevante para o desenvolvimento econômico e social, dada a condição de semi-aridez de 75% do seu

território (IDEC, 1995). Em 01 de julho de 1996, foi aprovada a lei estadual Nº 6908, que dispõe sobre a Política Estadual de Recursos Hídricos, a qual instituiu o Sistema Integrado de Gestão de Recursos Hídricos, antecipando-se à lei federal Nº 9.433, porém embasada nos mesmos princípios e perseguindo objetivos semelhantes. De acordo com este instrumento jurídico, a política estadual de recursos hídricos fundamenta-se em diretrizes gerais que prevêm:

- maximização dos benefícios econômicos e sociais, resultantes do aproveitamento múltiplo e integrado destes;
- a proteção das bacias hidrográficas contra ações que possam comprometer seu uso atual e futuro;
- o desenvolvimento de programas permanentes de conservação e proteção das águas contra a poluição e a exploração excessiva ou não controlada
- a articulação intergovernamental com os governos federal e municipal e de Estados vizinhos, visando a compatibilidade de planos de uso e preservação dos recursos hídricos.

O Plano de Aproveitamento Integrado dos Recursos Hídricos do Nordeste do Brasil-PLIRHINE dividiu a região em 24 unidades geo-econômicas de planejamento (UP), objetivando compatibilizar a variabilidade da distribuição espacial da água e suas demandas. Estas UP's são formadas por bacias ou conjunto destas, inseridas parcial ou totalmente em um ou mais Estado. A Tabela 2.2 apresenta os dados de disponibilidade hídrica para o Rio Grande do Norte, atualizados pelo Projeto ARIDAS (VIEIRA, 1994).

A quantidade de água que cada habitante de uma região pode dispor, caracterizada por uma relação água/população, constitui uma importante informação para o processo de gerenciamento da água. A sustentabilidade hídrica corresponde "ao número máximo de usuários e demandas associadas que determinado ambiente pode prover de forma permanente" (CAREY, 1993). Portanto, a utilização dos recursos hídricos de uma determinada região deve priorizar as necessidades básicas, como consumo humano e ~~essencial~~ <sup>essencial</sup> de animais e a proteção dos ecossistemas. O excedente destes dois usos principais, tem a característica de insumo básico indispensável ao desenvolvimento econômico, que poderá ser utilizado na indústria, agricultura e outras atividades econômicas.

A necessidade de gerenciamento aumenta conforme a evolução das demandas, que podem comprometer a utilização dos recursos hídricos acima da disponibilidade per capita em uma dada unidade de planejamento.

Segundo REBOUÇAS (1997a), estudos desenvolvidos por diversos pesquisadores, analisando a situação de cada um dos países membros das Nações Unidas, revelou o seguinte :

- se a demanda de água representa menos de 6% dos seus potenciais de águas renováveis medidos como vazão média de séries longas de dados dos rios (componentes de fluxo superficial mais subterrâneo) pouca atividade de gerenciamento seria necessária. Neste caso, a água é geralmente considerada como um bem livre;

- se a relação fica entre 5 e 10%, tem-se ainda uma situação confortável, podendo ocorrer a necessidade de gerenciamento e pequeno investimento para solucionar conflitos localizados;

- se o percentual fica entre 10 e 20%, o gerenciamento já se torna indispensável, exigindo a realização de investimentos médios;

- se o coeficiente é superior a 20% a situação torna-se crítica, exigindo gerenciamento e investimentos intensivos. A Tabela 2.3 apresenta um resumo da situação.

Considerando-se os dados da Tabela 2.2, verifica-se que a UP do Leste Potiguar apresenta um percentual de demanda total/vazão média de 22%, o que significa já haver necessidade urgente de gerenciamento intensivo. A situação se agrava quando se considera o índice de 34% projetado para o ano 2.020. De forma semelhante, as outras duas UP's (Apodí-Mossoró e Piranhas-Assú) também precisam de um gerenciamento preventivo a fim de evitar o comprometimento tanto da qualidade como da quantidade de água disponível. Ressalva-se, entretanto, que para a estimativa das vazões médias, as reservas de água subterrânea não foram consideradas.

**Tabela 2.2 – Disponibilidade hídrica per capita das UP's do Rio Grande do Norte.**

UP	Área (km <sup>2</sup> )	Vazão média rios (Sup. + Sub.) (10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> /ano) <sup>(1)</sup>	População Total (Urb.+Rur.) <sup>(2)</sup>	Disponibilidade Social (m <sup>3</sup> /hab/ano)	Demanda Total / Vazão Média (%) <sup>(3)</sup>
Apodí – Mossoró	15.900	520+300	368.000+223.712	1.386	16-27
Piranhas – Assú	44.100	2.130+590	684.734+560.677	2.184	17-24
Leste Potiguar	24.440	950+730	1145.863+539.203	997	22-34

Fontes: (1) PLIRHINE (SUDENE (1980); (2) IBGE (1991); (3) Projeto ÁRIDAS (1994), demandas de 1994 e 2020. (Sup.+Sub.): Fluxos superficiais e subterrâneos; (Urb.+Rur.): População urbana e rural.

Esta realidade implica na necessidade de implementação de modelos de gerenciamento integrado (ambiental e dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos),

dos conceitos de uso e proteção do solo, do ar e da água, dos sistemas de usuário-pagador e de poluidor-pagador, dentre outras medidas.

**Tabela 2.3 - Necessidade de gerenciamento de recursos hídricos**

Demanda Total / Vazão Média (%)	Situação Ambiental	Necessidade de Gerenciamento	Nível de Investimento
< 5	Privilegiada	Pouca	Nenhum (água: bem-livre)
5 – 10	Confortável	Ocasional	Baixo (conflitos locais)
10 – 20	Impacto	Indispensável	Médio
> 20	Crítica	Intensiva	Intensivo/Alto

Para elaborar projetos de gerenciamento integrado, é necessário dispor de séries temporais de dados sobre a qualidade e quantidade, que permitam avaliar a evolução das coleções hídricas. Uma rede básica de acompanhamento de qualidade de águas deve levar em consideração os tipos de levantamento de dados de qualidade, a saber (RAMEH, 1981):

- monitoramento: consiste em um levantamento sistemático de dados para avaliação de tendências no tempo e no espaço;
- vigilância: coleta sistemática de dados que permite a avaliação de variações instantâneas;
- levantamento: campanhas eventuais e com objetivos específicos de avaliação da qualidade.

Estas séries temporais resultam em uma quantidade apreciável de informações numéricas referidas a inúmeros parâmetros, que dificulta sua interpretação. Dentre estes parâmetros, destacam-se: oxigênio dissolvido, pH, DBO<sub>5</sub>, DQO, formas de nitrogênio (amônia, nitrato, orgânico, nitrito), formas de fósforo (orgânico, inorgânico), cor, turbidez, temperatura, alcalinidade, sódio, potássio, coliformes totais e fecais, bactérias heterotróficas mesófilas, entre outros.

Tradicionalmente, para contornar estes problemas, recorre-se à utilização de índices que permitem resumir todos os valores dos parâmetros medidos em um único número. Os índices são números resultantes da síntese de vários parâmetros e fornecem uma indicação relativa da qualidade da água em pontos geográficos e/ou ao longo do tempo. Variam normalmente entre zero e 100 e quanto maior for o seu valor, melhor é a qualidade da água. São úteis como meio de comunicação entre profissionais e o público, permitindo informar-lhes, de forma simples e compreensível, o grau e a localização da poluição (GASTALDINI, 1998).

## 2.2- O Índice de Qualidade da Água (IQA)

Conceitualmente, trata-se de um número resultante de uma equação matemática que se baseia em valores de vários parâmetros de qualidade tanto físicos e químicos como microbiológicos. Este índice fornece uma indicação relativa da qualidade da água, permitindo uma comparação espaço-temporal de pontos distribuídos num mesmo corpo aquático ou entre distintas coleções hídricas (comparação inter e intra reservatórios). Foi desenvolvido inicialmente pela National Sanitation Foundation (NSF), da cidade de Ann Arbor, Michigan, EUA, em 1970, através de uma pesquisa realizada com vários profissionais de distintas especialidades, que indicou os parâmetros mais significativos, bem como seu peso relativo na composição do índice final. A pesquisa foi baseada no método Delphi, da Rand Corporation e teve como resultado curvas que exprimem a variação dos sub-índices que compõem o índice, segundo a média da opinião dos consultores (BROWN & McCLELAND, 1970).

Para o cálculo do IQA, foram selecionados 9 (nove) parâmetros considerados os mais importantes na qualificação da água, e para cada um deles definiu-se um peso significativo da sua importância na determinação do índice. A Tabela 2.4 apresenta os componentes do IQA, bem como seus pesos. Pode-se verificar que o somatório dos pesos é igual a 1,00.

**Tabela 2.4 - Parâmetros e pesos para cálculo do IQA.**

Nº	Parâmetro	Unidade	Peso (W)
1	Oxigênio Dissolvido (OD)	% saturação	0,17
2	Coliformes Fecais (CF)	NMP/100mL	0,15
3	pH	-	0,12
4	DBO <sub>5</sub>	mg O <sub>2</sub> /L	0,10
5	Nitrogênio Total (NT)	mg N /L	0,10
6	Fósforo Total (PT)	mg P /L	0,10
7	Turbidez (Tur)	uT	0,08
8	Sólidos Totais (ST)	mg /L	0,08
9	Temperatura de Desvio (ΔT)	°C	0,10

Fonte: CETESB (1979).

O IQA pode ser calculado através de duas expressões matemáticas que definem o IQA aditivo (IQA<sub>A</sub>) e o IQA multiplicativo (IQA<sub>M</sub>), ou seja:

$$IQA_A = \sum_{i=1}^9 q_i * W_i \text{ (equação 1)}$$

$$IQA_M = \prod_{i=1}^p q_i W_i \quad (\text{equação 2})$$

Onde :

IQA= índice de qualidade da água, representado por um número em escala contínua de 0 a 100.

$q_i$ = qualidade individual (sub-índice de qualidade) do  $i$ ésimo parâmetro, um valor entre 0 e 100.

$W_i$ = peso unitário do  $i$ ésimo parâmetro.

O IQA classifica uma água de acordo com a nota atribuída à mesma, conforme se verifica na Tabela 2.5.

**Tabela 2.5 – Classificação de águas naturais, conforme o IQA.**

Índice (IQA)	Qualidade
80 – 100	Ótima
52 – 79	Boa
37 – 51	Aceitável
20 – 36	Imprópria para tratamento convencional
0 - 19	Imprópria para consumo humano

Fonte: GUAZZELLI & OTTA (1979).

Embora a formulação do IQA aditivo (ou aritmético) seja de fácil compreensão e determinação, esta não é suficientemente sensível para refletir os efeitos que um parâmetro possa causar no resultado final. Uma outra formulação multiplicativa (ou geométrica) foi proposta como forma de superar as deficiências do IQA aditivo.

Os parâmetros escolhidos para elaboração do índice foram considerados como os mais relevantes para o estabelecimento da qualidade da água. Entretanto, é reconhecido que certos poluentes não incluídos no cálculo, tais como substâncias tóxicas (metais pesados), pesticidas e derivados de petróleo, devem ser levados em consideração. Para tanto, adotou-se um indicador que assume valor zero, caso seja ultrapassado o valor limite (Tabela 2.6) ou 1, quando nenhum elemento tóxico excede o máximo definido. Assim, a nota final de um corpo aquático em um determinado ponto de amostragem deve resultar do produto do IQA pelo IT (índice de toxidez). O valor final confirma a nota atribuída pelo IQA ou é anulada tendo em vista os teores de substâncias tóxicas serem superiores aos valores máximos permissíveis (RAMEH, 1981).

As curvas das variáveis sub-índices (Figuras 2.1a, b, c, 2.2 a, b, c e 2.3a, b, c) estão expressas através de funções polinomiais, como resultado da pesquisa realizada através de enquetes, têm sua fundamentação em dados valiosos para sua escolha. Estudos desenvolvidos pela CETESB (1979) levaram à obtenção de várias expressões matemáticas

que exprimem a variação de um parâmetro determinante do IQA. Para tal, as curvas de variação de  $q_i$  x parâmetro, foram divididas em intervalos convenientes e a cada um desses intervalos foi ajustada uma expressão analítica, pelo método dos mínimos quadrados (equação da reta, exponencial, curva logarítmica, curva de potência e polinômios de 2° e 3° graus).

**Tabela 2.6-Parâmetros envolvidos no Índice de Toxidez (IT) e limites máximos.**

Parâmetro	Concentração-limite (mg/L)
Bário	1,0
Cádmio	0,01
Chumbo	0,1
Cobre	1,0
Cromo	0,05
Estanho	2,00
Fenol	0,001
Mercúrio	0,002
Zinco	5,0

Fonte: RAMEH (1981).

Apresentam-se a seguir as expressões de cálculo dos índices parciais de qualidade (Tabelas 2.7 a 2.24) e as indicações da construção das curvas relacionadas com os diversos parâmetros (Figuras 2.1 a, b, c, 2.2 a, b, c e 2.3 a, b, c).

### 1. Oxigênio Dissolvido

A curva definida (Figura 2.1a) mostra que o valor máximo ( $q_i=100$ ) é atribuído à amostra quando o nível de saturação atinge o patamar de 95–105 % e que para valores superiores a 140%, a qualidade cai para aproximadamente a metade da faixa ( $q_i=47$ ). No extremo oposto a curva tende a passar pela origem, correspondente a uma qualidade  $q_i=3$ , quando a saturação é zero. A curva foi assim estabelecida porque valores de supersaturação podem estar associados à atividade fotossintética que pode resultar na transformação de carbonatos e bicarbonatos em hidróxidos livres, elevando o valor do pH. Por outro lado, corpos aquáticos lóticos, sujeitos a turbulências provocadas por correntes de ar e/ou por obstáculos e sinuosidades também apresentam supersaturação de oxigênio, principalmente nas camadas superficiais. ESTEVES (1998) afirma que o pH pode afetar o metabolismo de peixes e outros animais aquáticos. Os elevados valores de OD durante o dia podem estar associados com baixos teores de OD durante a noite, o que afeta a vida aquática. Valores elevados de pH estimulam a predominância de nitrogênio amoniacal na forma de amônia ( $\text{NH}_3$ ), a qual é tóxica para peixes, particularmente se a concentração é superior a 0,200 mg/L (SAWYER *et al.*, 1994). Por outro lado, os valores de OD altos durante as horas

iluminadas do dia não garantem os mesmos teores durante a noite, principalmente em países tropicais onde a elevada temperatura favorece o desenvolvimento de algas e sua acumulação nas camadas superiores. Com isso, a distribuição de oxigênio não é homogênea na coluna de água, sendo privilegiadas as camadas superficiais, onde a luz solar permite a fotossíntese, enquanto que as camadas inferiores são pobres em OD ou são anaeróbias. Desta forma, os reservatórios e lagos que tendem a apresentar alguma estratificação térmica durante o dia, podem à noite, com a mistura da massa de água, tornarem-se anaeróbios ou diminuir acentuadamente os níveis de OD, afetando também a vida aquática. Sabe-se que quanto mais a concentração de OD se aproxima dos níveis de supersaturação, maior é a biomassa de algas e que na ausência de luz, maior será a demanda por oxigênio exercida pela própria biomassa e pela biota do corpo aquático.

**Tabela 2.7 – Expressões analíticas para cálculo do sub-índice de qualidade  $q_1$  (OD).**

% OD <sub>Sat</sub>	Expressão
0 – 50	$q_1 = [0,34.(%OD_{Sat}) + 0,008095.(%OD_{Sat})^2 + 1,35252.10^{-5} . (%OD_{Sat})^3] + 3$
51 – 85	$q_1 = [-1,166.(%OD_{Sat}) + 0,058.(%OD_{Sat})^2 - 3,803435.10^{-4} . (%OD_{Sat})^3] + 3$
86 – 100	$q_1 = [3,7745.(%OD_{Sat})^{0,704889}] + 3$
101 – 140	$q_1 = [2,90.(%OD_{Sat}) + 0,025.(%OD_{Sat})^2 + 5,60919.10^{-5} . (%OD_{Sat})^3] + 3$
> 140	$q_1 = 50$

Fonte: CETESB (1979).

**Tabela 2.8 – Valores teóricos do sub-índice de qualidade  $q_1$  (OD).**

% OD <sub>Sat</sub>	Qualidade $q_1$	% OD <sub>Sat</sub>	Qualidade $q_1$
0	3,0	70	75,1
5	4,9	80	86,2
10	7,2	85	89,4
15	10,0	90	93,0
20	13,1	95	96,5
25	16,8	100	100,0
30	20,9	110	94,2
35	25,4	120	87,9
40	30,4	130	80,7
45	35,9	140	72,9
50	41,9	141	50,0
60	59,7	-	-

## 2. Coliformes Fecais

Para a construção da curva (Figura 2.1b), os teores de coliformes fecais, foram comparados com as concentrações de OD e DBO<sub>5</sub>. A ausência de coliformes fecais foi considerada como indicativa de máxima qualidade ( $q_2=100$ ) e teores de  $10^5$  NMP/100mL

como a qualidade mínima ( $q_2=3$ ). O valor médio,  $q_2=50$ , correspondeu à concentração de 70 NMP/100mL.

Ao se comparar o formato da curva de coliformes fecais com a de DBO<sub>5</sub> pode-se assumir que a demanda de oxigênio é originada principalmente pelos esgotos domésticos.

GELDREICH (1966), associou teores de coliformes fecais superiores a 2.000 NMP/100mL, como indicativos da presença de patogênicos, baseado em dados experimentais que mostravam que em águas superficiais com mais de 2.000 NMP/100mL, 40% das amostras eram positivas para *Salmonella*, enquanto que para águas de superfície que apresentavam teores de coliformes fecais menores que 1.000 NMP/100mL, apenas uma fração inferior a 10% das amostras indicavam a presença de *Salmonella*. Com efeito, o valor de  $10^5$  NMP/100 mL de coliformes fecais, que corresponde a efluentes de estações de tratamento de esgotos de nível secundário, merece o valor definido,  $q_2=3$ . Por outro lado, o valor atribuído para o índice,  $q_2=50$ , quando a concentração de coliformes fecais for igual a 70 NMP/100ml, pode ser visto como conservador porque provavelmente se baseia no conceito de risco nulo ou mínimo risco para a saúde.

**Tabela 2.9 – Expressões analíticas para cálculo do sub-índice de qualidade  $q_2$  (CF).**

CF/ 100 mL	Expressão
0	$q_2=100$
1 - 10	$q_2=100- 33,5.logCF$
11 - $10^5$	$q_2=100- 37,2logCF+ 3,607145.(logCF)^2$
$> 10^5$	$q_2=3$

Fonte: CETESB (1979).

**Tabela 2.10 – Valores teóricos do sub-índice de qualidade  $q_2$  (CF).**

CF/100 mL	Qualidade $q_2$
0	100
1	100
10	66,5
$10^2$	40,0
$10^3$	20,9
$10^4$	8,9
$10^5$	4,2
$> 10^5$	3,0

### 3. pH

De acordo com a Figura 2.1c, o valor ótimo foi considerado igual a 7,25 e está vinculado ao valor de qualidade máxima ( $q_3=95$ ). Também associou-se alta qualidade a valores de pH iguais a 6,5 e 8,5 ( $q_3=80$ ), uma vez que seus efeitos não são nocivos ao corpo aquático. Os valores de pH entre 8,5 e 9,0, definem os limites de pH normalmente encontrados em águas naturais, atribuindo-se uma qualidade  $q_3=50$ , quando pH=8,9.

Valores fora desta faixa normalmente provêm de descargas de efluentes ou crescimento excessivo de algas, sendo representados pelos extremos finais da curva, chegando à qualidade mínima, quando alcançar valores inferiores ou iguais a 2,0 ( $q_3=2,0$ ) e superiores a 12,0 ( $q_3=3,0$ ).

**Tabela 2.11 – Expressões analíticas para cálculo do sub-índice de qualidade  $q_3$  (pH).**

pH	Expressão
$\leq 2,0$	$q_3=2,0$
2,1–4,0	$q_3=13,6- 10,64.pH+ 2,4364.(pH)^2$
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	$q_3=1,415823.e^{-(1,1507.pH)}$
9,1–10,0	$q_3=288,0- 27,0.pH$
10,1–12,0	$q_3=633,0- 106,5.pH+ 4,5.(pH)^2$
$>12,0$	$q_3=3,0$

Fonte: CETESB (1979).

**Tabela 2.12 – Valores teóricos do sub-índice de qualidade  $q_3$  (pH).**

pH	Qualidade $q_3$	pH	Qualidade $q_3$
2,0	2,0	7,3	92,5
2,5	2,2	7,8	90,3
3,0	3,6	8,0	88,1
4,0	10,0	8,3	84,0
5,0	24,9	8,5	80,0
5,5	40,0	8,8	60,0
6,0	60,3	9,0	45,0
6,2	69,8	10,0	18,0
6,5	80,0	11,0	6,0
7,0	91,5	12,0	3,0

#### 4. DBO<sub>5</sub>

De acordo com recomendações da ROYAL COMMISSION (1912) *apud* BROWN & MACCLAND (1970) e aplicadas pelos autores do IQA (CETESB,1979), um corpo aquático não deve ter mal aspecto ou apresentar nenhum sinal de poluição, o que levou a se sugerir um limite máximo de DBO<sub>5</sub> de 4 mg/L. Esta recomendação está refletida na curva (Figura 2.2a) onde o valor de qualidade  $q_4=60$  está associado a este limite. Foi definido um outro ponto intermediário, baseado em que uma DBO<sub>5</sub> de 10 mg/L é considerada indicativa de uma água de má qualidade e associando-se ao valor  $q_4= 30$ . A curva que une estes pontos corta o eixo dos valores de qualidade no ponto 100 (DBO<sub>5</sub>=0,0 mg/L) e na horizontal em uma DBO<sub>5</sub> maior que 30 mg/L, correspondente ao ponto  $q_4=2,0$ , qualidade

mínima. Um valor intermediário de qualidade ( $q_4=54$ ) está associado a uma  $DBO_5$  de 5,0 mg/L.

**Tabela 2.13 – Expressões analíticas para cálculo do sub-índice de qualidade  $q_4$  ( $DBO_5$ ).**

$DBO_5$	Expressão
0,0–5,0	$q_4=59,96.e^{-(0,1232728.DBO)}$
5,1–15,0	$q_4=104,67-31,5463.lnDBO_5$
15,1–30,0	$q_3=4.394,91.(DBO_5)^{-1,99809}$
>30,0	$q_2=2,0$

Fonte: CETESB (1979).

**Tabela 2.14 – Valores teóricos do sub-índice de qualidade  $q_4$  ( $DBO_5$ ).**

$DBO_5$ (mgO <sub>2</sub> /L)	Qualidade $q_4$	$DBO_5$ (mgO <sub>2</sub> /L)	Qualidade $q_4$
0,0	100,0	16,0	17,3
3,0	69,1	21,0	10,0
5,0	54,0	25,0	7,1
8,0	39,1	27,0	6,1
12,0	26,3	30,0	4,9
15,0	19,2	31,0	2,0

## 5. Nitrogênio Total

Os nitratos constituem a forma mais importante de nitrogênio, devido sua rápida assimilação por organismos vegetais, porém, estes não são os únicos consumidores. Na água e no solo, certas bactérias podem desenvolver-se e reduzir nitratos para nitritos, enquanto outras realizam sua redução para amônia. Este processo, denominado de desnitrificação, fornece às bactérias desnitrificantes oxigênio para seu metabolismo. Estas bactérias formam nitratos à partir de nitrito, na ausência de oxigênio livre, para obtê-lo à partir do oxigênio incorporado no nitrito.

A amônia existente no meio ambiente é proveniente de processos metabólicos e das atividades agrícolas e industriais. A espécie não ionizada ( $NH_3$ ) é denominada de amônia, enquanto que a forma iônica ( $NH_4^+$ ) conhece-se por amônio. As concentrações naturalmente existentes em águas subterrâneas e superficiais se situam geralmente abaixo de 0,200 mg/L, porém, atividades de agropecuária podem resultar numa elevação deste teor para acima de 3,0 mg/L (OMS, 1995).

Uma importante parcela do nitrogênio solúvel é encontrada na água sob a forma orgânica, proveniente de excreções e secreções de organismos, assim como das células, quando liberada pela morte destas. Desta forma, são muito diversificados os compostos nitrogenados existentes em um corpo aquático. Diversos estudos indicam que os ácidos amínicos ocupam um lugar preponderante entre estes. O restante do nitrogênio encontra-se

sob a forma orgânica insolúvel, isto é, nos organismos e partículas orgânicas e detritos suspensos na água.

Para o cálculo do IQA, foram estabelecidos três pontos de referência para a curva deste parâmetro (Figura 2.2b). A qualidade  $q_5=100$  é atribuída para a ausência de nitrogênio total. Quando a concentração alcança 10 mg/L, foi considerado que o enriquecimento nutricional propicia o crescimento exagerado de organismos autótrofos (macrófitas e algas), além de ser tóxico aos seres humanos se a forma predominante for nitrato. Conseqüentemente, esta concentração foi associada com a qualidade  $q_5=48,9$ . À partir deste valor, a curva suaviza-se, atingindo  $q_5=30$  para um teor de 22 mg/L. Finalmente, uma concentração superior a 100 mg/L, define a pior condição de qualidade ( $q_5=0,9$ ). Esta curva apresenta grande disparidade entre o valor médio adotado e os limites de confiança (80%), principalmente o inferior ( para um teor de 3,7 mg/L,  $q_5=50$ );

**Tabela 2.15 – Expressões analíticas para cálculo do sub-índice de qualidade  $q_5$  (NT).**

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

Fonte: CETESB (1979).

**Tabela 2.16 – Valores teóricos do sub-índice de qualidade  $q_5$  (NT).**

NT(mgN/L)	Qualidade $q_5$	NT(mgN/L)	Qualidade $q_5$
0,0	100,0	50,0	11,5
5,0	66,8	60,0	7,3
6,0	62,0	70,0	4,4
10,0	48,9	80,0	2,6
20,0	32,7	90,0	1,6
30,0	23,3	100,0	0,9
40,0	16,7	-	-

## 6. Fósforo Total

Os elementos essenciais ao metabolismo dos organismos autotróficos podem tornar-se o fator limitante da produtividade, se em concentrações inferiores ao mínimo requerido pelos seres vivos. O fósforo, juntamente com o nitrogênio, constituem elementos indispensáveis ao protoplasma celular (BRANCO, 1991).

Em águas não poluídas, o fósforo total encontra-se em pequenas quantidades, parte em forma de fosfatos solúveis, parte em forma insolúvel suspensa na água (matéria orgânica) ou fazendo parte da biomassa dos organismos vivos.

Assim como o nitrogênio, o fósforo é uma fonte nutricional para algas e outros organismos autotróficos. O ortofosfato solúvel é a forma imediatamente disponível deste nutriente. O fósforo insolúvel precipitado, também contribui para as condições de enriquecimento nutricional da água, estimulando a eutrofização. A medida de ortofosfato não é suficiente para definir a condição qualitativa do corpo aquático, porque segundo diversos vários autores o ortofosfato indica a quantidade de fósforo que não foi ainda assimilada, ou seja, que está disponível. O fósforo total representa a parcela contida na biomassa, que poderá ser disponibilizada posteriormente (WETZEL, 1981). Portanto, no IQA foi adotada a concentração de fósforo total. Conforme se observa na Figura 2.2c, o valor 100 corresponde à ausência do nutriente ou valores inferiores a 0,05 µg/L, enquanto que 500 µg/L, reduz a qualidade para  $q_6=63,2$  e o valor mínimo foi adotado para um teor superior a 10 mg/L ( $q_6=5,0$ ). A exemplo do nitrogênio, verifica-se uma forte disparidade entre a curva média e a que define o limite inferior do intervalo de confiança de 80%:  $q_6=10$ , para  $PT=0,5$  mg/L e  $q_6=0$ , quando  $PT > 1,0$  mg/L.

**Tabela 2.17 – Expressões analíticas para cálculo do sub-índice de qualidade  $q_6$  (PT).**

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

Fonte: CETESB (1979).

**Tabela 2.18 – Valores teóricos do sub-índice de qualidade  $q_6$  (PT).**

PT(mgP/L)	Qualidade $q_6$	PT(mgP/L)	Qualidade $q_6$
0,0	99,9	6,0	8,5
0,5	63,2	7,0	7,4
1,0	40,0	8,0	6,5
1,6	30,8	9,0	5,6
2,6	19,6	10,0	4,9
5,0	10,0	-	-

### 7. Turbidez $\approx 3$

A turbidez na água é causada pela presença de materiais em suspensão, tais como argila, sílica, matéria orgânica e inorgânica finamente dividida e organismos microscópicos. Estes materiais ocorrem em tamanhos diversos, variando desde as partículas maiores, que se depositam (tamanho superior a 1 µm) até as que permanecem em suspensão por muito tempo (como é o caso das partículas coloidais) (APHA *et al.*, 1995).

A água limpa, isenta de turbidez, é importante quando se destina direta ou indiretamente ao consumo humano ou a processos industriais. Turbidez acima de 5 uT é notada pelo consumidor e representa uma condição insatisfatória. As águas de sistemas de abastecimento são coaguladas, decantadas e filtradas para reduzir o número e o tamanho das partículas em suspensão a um nível admissível. De acordo com a Portaria nº 36/GM, os processos de coagulação e filtração devem produzir água com turbidez inferior 1 uT (MS, 1990). A ocorrência de turbidez na água filtrada pode indicar fendas no filtro de areia, precipitação de flocos de coagulantes ou coagulação incompleta. A cloração nos sistemas de abastecimento é mais eficiente à baixa turbidez, pois material em suspensão pode envolver os organismos e dificultar a ação do desinfetante (SAWYER *et al.*, 1994).

Uma turbidez excessiva reduz a penetração da luz na água e com isso reduz a fotossíntese dos organismos do fitoplâncton e da vegetação submersa. Materiais que sedimentam preenchem os espaços entre pedras e pedregulhos do fundo, eliminando os locais de desova de peixes e o habitat de muitos insetos aquáticos e outros invertebrados, afetando a produtividade dos peixes.

**Tabela 2.19 – Expressões analíticas para cálculo do sub-índice de qualidade  $q_7$  (Tur).**

Tur (uT)	Expressão
0,0–25,0	$q_7 = 100,17 - 2,67 \cdot Tur + 0,03755 \cdot (Tur)^2$
25,1–100,0	$q_7 = 84,96 \cdot e^{-(0,016206 \cdot Tur)}$
>100,0	$q_7 = 5,0$

Fonte: CETESB (1979).

**Tabela 2.20 – Valores teóricos do sub-índice de qualidade  $q_7$  (Tur).**

Tur (uT)	Qualidade $q_7$	Tur (uT)	Qualidade $q_7$
0,0	100,2	50,0	37,8
8,0	81,2	60,0	32,1
14,0	70,2	70,0	27,3
20,0	61,9	80,0	23,2
25,0	57,0	90,0	19,8
30,0	52,2	100,0	16,8
40,0	44,4	101,0	5,0

Para a elaboração da curva de qualidade (Figura 2.3a), atribuiu-se o valor  $q_7=100$  à turbidez inferior a 1,0 uT, decrescendo para aproximadamente  $q_7=50$  quando esta atinge 30 uT e o valor mínimo ( $q_7=5,0$ ) foi estipulado para turbidez superior a 100 uT.

### 8. Sólidos Totais

Este parâmetro foi considerado principalmente pela sua simplicidade de obtenção e por ser amplamente utilizado em laboratórios de controle de qualidade de águas. As

frações fixas (sólidos inertes ou inorgânicos) e voláteis (em sua maioria, orgânicos) são reconhecidas como importantes para a avaliação da qualidade da água. A influência dos sólidos inorgânicos na qualidade da água se reflete na elevação da turbidez a ponto de reduzir significativamente a penetração da luz, na aceleração do assoreamento e no aumento da salinização do corpo aquático. Por sua vez, os sólidos voláteis dão uma idéia da quantidade de matéria orgânica presente, na forma de microrganismos assim como de alguns compostos inorgânicos que se volatilizam a altas temperaturas ( $500 \pm 50^\circ\text{C}$ ). O teste para sua quantificação é feito através da combustão da matéria orgânica, transformando-a em gás carbônico, água e sais minerais. A perda de peso é correspondente à quantidade de matéria orgânica existente, enquanto a parcela inorgânica é determinada por diferença de peso.

O valor máximo obtido para o sub-índice é de aproximadamente 80, quando o parâmetro é zero, enquanto o ponto de inflexão da curva (Figura 2.3b) corresponde ao valor de 75 mg/L ( $q_8=86,1$ ). Valores superiores resultam em significativa queda da qualidade. Para concentrações de ST superiores a 500 mg/L, convencionou-se adotar  $q_8=32$  (CETESB,1979);

**Tabela 2.21 – Expressões analíticas para cálculo do sub-índice de qualidade  $q_8$  (ST).**

ST (mg/L)	Expressão
0–150	$q_8=79,75+ 0,166.ST- 0,001088.(ST)^2$
151–500	$q_8=101,67- 0,13917.ST$
>500	$q_8=32,0$

Fonte: CETESB (1979).

**Tabela 2.22 – Valores teóricos do sub-índice de qualidade  $q_8$  (ST).**

ST(mg/L)	Qualidade $q_8$	ST(mg/L)	Qualidade $q_8$
0,0	79,8	200,0	73,8
50,0	85,3	300,0	59,9
75,0	86,1	450,0	39,0
100,0	85,5	500,0	32,1
150,0	80,2	501,0	32,0

## 9. Temperatura

Para regiões de clima temperado, considerou-se que temperaturas abaixo de  $15^\circ\text{C}$ , exercem pouca influência sobre a vida aquática (ESTEVEZ, 1988). Acima de  $23^\circ\text{C}$ , poderão ocorrer mortes de algumas espécies adaptadas a climas temperados, elevando-se esses efeitos quando a temperatura atinge valores acima de  $30^\circ\text{C}$ . Estes pontos estão considerados na curva de qualidade. Para a construção do gráfico, foi utilizada a variação de temperatura ( $\Delta T$ ), em relação à de equilíbrio ecológico-biológico do curso da água. Este

equilíbrio foi considerado com base nas variações médias de cada região (temperada, subtropical, tropical, etc.), utilizando-se dados de médias climáticas de séries temporais de longa duração. Verifica-se na Figura 2.3c que o valor máximo ( $q_9=92,5$ ) foi considerado quando  $\Delta T=0$ , enquanto que para  $\Delta T=\pm 5^\circ\text{C}$ , a qualidade atinge  $q_9=40,0$  e  $q_9=53,0$ , respectivamente. Uma elevação de  $+15^\circ\text{C}$ , rebaixa a qualidade para um mínimo:  $q_9=9,0$ .

**Tabela 2.23 – Expressões analíticas para cálculo do sub-índice de qualidade  $q_9$  (T).**

$\Delta T = T_a - T_e$	Expressão
$\leq -5,0$	$q_9=30,0$
$-4,9-0,0$	$q_9=92,5+ 1,3. \Delta T - 1,32.( \Delta T)^2$
$0,1-3,0$	$q_9=92,5- 2,1. \Delta T - 1,8.( \Delta T)^2$
$3,1-5,0$	$q_9=233,17.( \Delta T)^{-1,09576}$
$5,1-15,0$	$q_9=75,27- 8,398. \Delta T+ 0,265455.( \Delta T)^2$
$>15,0$	$q_9=9,0$

Fonte: CETESB (1979).

**Tabela 2.24 – Valores teóricos do sub-índice de qualidade  $q_9$  (T).**

$\Delta T(^{\circ}\text{C})$	Qualidade $q_9$	$\Delta T(^{\circ}\text{C})$	Qualidade $q_9$
-5,0	53,0	+4,0	51,0
-2,5	81,0	+5,0	40,0
0,0	92,5	+7,5	27,2
+2,5	76,0	+10,0	17,8
+3,0	70,0	+15,0	9,0

Para as condições-limites de pior e melhor qualidade, os índices  $\text{IQA}_A$  e  $\text{IQA}_M$  e os sub-índices  $q_i$ , assumem os valores calculados de acordo com as expressões analíticas apresentadas nas Tabelas 2.7 a 2.24 e resumidos na tabela 2.25.

**Tabela 2.25 – Índices e sub-índices de qualidade para condições- limites.**

Condição	OD	%OD	$q_1$	CF	$q_2$	pH	$q_3$	DBO <sub>5</sub>	$q_4$	NT	$q_5$	PT	$q_6$	Tur	$q_7$	ST	$q_8$	$\Delta T$	$q_9$	IQA	
																				ADITIVO	MULT.
Pior	0	0	3	1,E5	0	2	2	30	4,9	100	0,9	10	4,9	100	16,8	500	32,1	15	9	7	0
Melhor	8	100	100	0	100	7	91,5	0	100	0	100	0	99,9	0	100	25	83,2	0	92,5	97	97

Além dos parâmetros considerados no IQA, vários outros são determinados na prática diária para a avaliação da qualidade da água. Somente a análise do conjunto de dados obtidos e a interrelação entre os mesmos é que permitirá a tomada de decisões no sentido de uma gestão adequada dos recursos hídricos de uma região. A seguir, são descritos alguns destes parâmetros.

#### a) Alcalinidade

A alcalinidade de uma água mede sua capacidade de neutralização de ácidos e equivale à soma de todas as bases tituláveis. A alcalinidade é a medida de uma propriedade

da água associada à sua capacidade de tamponação e só pode ser interpretada em função de substâncias específicas, quando a composição química da amostra analisada é conhecida. O valor determinado pode variar significativamente, dependendo do valor do pH final usado como referência (APHA *et al.*, 1995).

Trata-se de um parâmetro importante para muitos usos da água e no tratamento de águas naturais e residuárias. Em águas superficiais, a alcalinidade total é principalmente devida a carbonatos, bicarbonatos e hidróxidos e geralmente seu valor é aceito como uma indicação da concentração desses constituintes. O valor determinado, pode também incluir contribuições referentes a boratos, fosfatos, silicatos e outras bases que possam estar presentes. A determinação da alcalinidade é muito importante na prática da Engenharia Ambiental e encontra especial aplicação no campo do tratamento de águas de abastecimento e residuárias podendo ser destacados os processos de flocculação para as primeiras e digestão anaeróbia para as últimas e para lodos. Além do mais, a alcalinidade que excede a concentração de metais alcalino-terrosos, é uma informação importante para a definição da possibilidade de uso de uma determinada água na irrigação.

#### b) Acidez

A acidez de uma água é a medida de sua capacidade de reagir com uma base forte até ser atingido um pH determinado (igual a 3,7, que é o ponto final da titulação com o indicador laranja de metila, chamada também de acidez mineral). A titulação até o pH= 8,7 (ponto final do indicador fenolftaleína) mede a acidez mineral mais a acidez devida aos ácidos fracos, chamada de acidez total. Sendo a acidez uma propriedade agregada da água, só pode ser interpretada em termos de substâncias específicas quando a composição química da amostra é conhecida. É devida a ácidos minerais fortes, ácidos fracos e a sais hidrolizáveis tais como os sulfatos de alumínio e de ferro. Embora não seja um parâmetro importante do ponto de vista da saúde pública, a acidez é um fator fundamental no controle da corrosão, especialmente de componentes metálicos, pois é a responsável pela agressividade da água (SAWYER *et al.*, 1994).

Em águas naturais a acidez decorre principalmente do dióxido de carbono que pode entrar na água por difusão da atmosfera ou ser resultante de processos biológicos de degradação de material orgânico. Em águas residuárias, além da acidez devida ao ácido carbônico (gás carbônico), predominante em faixas de pH acima de 3,7, pode ocorrer também a acidez mineral que predomina em valores de pH abaixo de 3,7, e é devida à presença de ácidos minerais fortes. Águas residuárias industriais, particularmente aquelas

da indústria metalúrgica e as águas de drenagem de minas podem ser citadas como exemplos de águas contendo predominantemente acidez mineral

c) Cloretos

O cloreto presente na água potável procede de fontes naturais, das águas residuárias e efluentes industriais, da drenagem urbana e do escoamento de águas pluviais e das intrusões marinhas. A principal fonte deste composto nas águas residuárias é o sal adicionado às comidas, o que acarreta concentrações mais elevadas nestas que a da água potável.

A excessiva concentração de cloretos aumenta a taxa de corrosão das partes metálicas de sistemas de distribuição, em função da alcalinidade da água, podendo ainda elevar as concentrações de metais nesta.

d) Dureza

A dureza da água é causada pelos sais dissolvidos de cálcio e em menor grau, pelos de magnésio. Geralmente se expressa pela quantidade equivalente de carbonato de cálcio ( $\text{CaCO}_3$ ). Conforme o pH e a alcalinidade, dureza superior a 200 mg/L, pode resultar em incrustações, especialmente nos sistemas de aquecimento e caldeiras. As águas brandas, com dureza inferior a 100 mg/L, têm baixa capacidade de tamponamento e podem ser corrosivas.

O grau de dureza da água influi na aceitação pelo consumidor, devido aos seus efeitos sobre o sabor e a possibilidade de incrustação.

e) Cálcio

É um elemento de grande importância para os organismos aquáticos. Não somente faz parte indispensável da biomassa de animais e vegetais, como exerce ação indireta sobre os demais elementos da água e do solo. Muitos organismos têm exigências bem definidas em relação ao teor deste elemento na água. Sua forma predominante em meio aquoso é a de bicarbonatos.

f) Magnésio

Encontra-se geralmente em quantidades muito pequenas nas águas naturais sob a forma de carbonatos e bicarbonatos. Trata-se de um elemento indispensável no metabolismo dos organismos fotossintetizantes, pois faz parte da molécula da clorofila; entretanto sua função fisiológica no ser humano ainda não é bem definida (SAWYER *et al.*, 1994).

### g) Cor

A cor conferida à água pelas substâncias dissolvidas e pelas substâncias em suspensão, é denominada de cor aparente, enquanto que a cor real ou verdadeira é aquela da qual se removeu as substâncias em suspensão, causadoras de turbidez.

É medida pela cor causada por 1 mg de platina, na forma de íon cloroplatinato, dissolvido em 1000 mL de água destilada, na presença de cobalto em proporção adequada para comparação com águas naturais (APHA *et al.*, 1995). De acordo com a Portaria nº 36/GM, os processos de tratamento (coagulação, decantação e filtração) devem reduzir a cor para valores inferiores a 5 uH, medida na saída da estação de tratamento. É expressa em uH (unidades Hazen), equivalentes a 1 mg Pt/ L (MS, 1990).

A cor na água pode derivar da presença de íons metálicos (principalmente ferro e manganês), de fitoplâncton, de húmus, de ligninas e produtos de sua decomposição (taninos, ácidos húmicos) e de efluentes industriais. Também dependente do pH, a cor torna a água esteticamente inaceitável para uso doméstico, bem como, em alguns casos, para uso industrial.

O método mais comumente empregado para a determinação de cor é o da comparação visual (a amostra pode ser comparada com soluções-padrão de cor) ou a comparação pode ser feita em aparelhos. A determinação também pode ser feita por método espectrofotométrico (APHA *et al.*, 1995).

### h) Clorofila "a"

Os ambientes aquáticos e, em especial, os lagos, possuem comunidades planctônicas com variedade, abundância e distribuição próprias, que dependem das características abióticas (temperatura, luz, OD e concentração de nutrientes) e bióticas (predadores, parasitas, competição). A ação do ser humano (aportes de fósforo e nitrogênio) também provoca mudanças significativas na comunidade planctônica de um corpo aquático. Dentre os fatores ambientais que influenciam, a luz constitui um dos principais. A fotossíntese somente ocorre nas camadas superficiais onde penetra a luz. Em lagos profundos, observa-se a existência de duas regiões, quanto à intensidade luminosa: uma superior ou fótica, onde há luz suficiente para que a quantidade de oxigênio produzido pela fotossíntese seja superior à requerida pela respiração, num ciclo de 24 horas (zona trofotônica) e outra inferior ou profunda e afótica, na qual o consumo de oxigênio é maior que a quantidade produzida pela fotossíntese, em virtude da escassez ou ausência de luz (zona trofolítica) (ESTEVES, 1998). A intensidade luminosa que atinge a superfície de um lago diminui exponencialmente com a profundidade, devido à absorção por compostos

orgânicos dissolvidos, pelas moléculas de água e por partículas suspensas, as quais também causam sua dispersão, influenciando na distribuição vertical das algas. A biomassa de algas, expressa como clorofila "a" é usada para indicar a quantidade de fitoplâncton presente na água.

As algas podem estar presentes na água bruta, provocando uma redução da vazão afluente à ETA, aumentando a quantidade de água de lavagem dos filtros ou conferindo sabor e odor à água. Além de exigir o emprego de oxidantes ou de carvão ativado, podem influir na coagulação química e nos processos de decantação e filtração. Algumas espécies são tóxicas ao ser humano e outras podem produzir subprodutos metabólicos que em presença de cloro, formam compostos cancerígenos. Podem ainda causar corrosão e obstrução de canalizações (DI BERNARDO, 1995).

## 2.4 - Eutrofização: a doença dos lagos

Segundo MEHNER & BENNEDORF (1985), a eutrofização é considerada como um incremento da produção autotrófica de matéria orgânica particulada e dissolvida, em lagos e reservatórios, devido ao aumento de nutrientes essenciais para o fitoplâncton e macrófitas aquáticas.

A eutrofização é ainda hoje um dos principais processos que podem comprometer a qualidade das águas dos lagos e reservatórios. Caracteriza-se pela mudança de um meio oligotrófico (elementos nutrientes, principalmente formas de nitrogênio e fósforo, em equilíbrio) para eutrófico ou distrófico (acúmulo de nutrientes) (ESTEVEZ, 1998).

O processo ocorre pelo enriquecimento do corpo aquático por nutrientes inorgânicos, provocando um crescimento excessivo de organismos autótrofos (macrófitas e algas), que interfere na qualidade da água. Diversos outros fatores exercem influência sobre o fenômeno, destacando-se a luz e a temperatura (MARGALEF, 1981).

A eutrofização devido a fatores naturais é lenta e se desenvolve ao longo de vários anos, podendo durar até séculos. Ocorre devido a erosão de rochas e à decomposição da matéria orgânica vegetal e animal. Entretanto, a eutrofização cultural, decorrente das atividades antrópicas é um processo rápido e mais intenso que a natural, acarretando alterações do corpo aquático e modificações ecológicas, (cor, turbidez, teores de sólidos, concentrações de ânions e cátions, etc.), aumentando o poder corrosivo e gerando dificuldades nos processos de tratamento das águas (ODUM, 1971).

Também pode afetar a saúde humana se os agentes eutrofizantes são esgotos domésticos. DI BERNARDO (1995) relaciona uma série de situações indesejáveis decorrentes do processo de eutrofização:

- interferência nos usos recreacionais devido ao acúmulo de algas na superfície das águas, causando aspecto e odor desagradáveis;
- sedimentação da biomassa algácea, ocasionando o incremento da demanda bentônica, com a conseqüente exaustão do oxigênio dissolvido das camadas profundas;
- obstrução de filtros nas estações de tratamento de água por algas filamentosas;
- crescimento extensivo de macrófitas interferindo nas atividades de navegação, aeração, evaporação e diminuindo a capacidade de escoamento de canais, além de servir de meio para o desenvolvimento de parasitas e mosquitos;
- crescimento de algas tóxicas que podem ser letais para animais e para o homem, se ingeridas em quantidades suficientes.

Nos últimos 50 anos, tem-se observado um agravamento do problema da eutrofização em toda o planeta. Segundo VOLLENWEIDER (1981), para dados de 1964-1972, 75% de 800 lagos norte-americanos, encontravam-se afetados pelo processo. O lago Kasumigaura, no Japão, se encontra em avançado estado de enriquecimento nutricional, ocorrendo freqüentes florações de algas, causando a mortandade de peixes, pela ausência de oxigênio (SAWYER *et al.*, 1994). Verifica-se também a existência de lagos eutrofizados na África, Nova Zelândia, Índia e na América do Sul, a exemplo do Lago Maracaibo, na Venezuela.

No Brasil há inúmeros casos de grandes, médias e pequenas lagoas eutrofizadas e não recuperadas que apresentam periódicas florações de algas, a exemplo das Represas Billings-SP, Guarapiranga-SP, do Lago Paranoá-DF, da Lagoa de Mundaú-AL e da Lagoa Rodrigo de Freitas-RJ (BRANCO, 1986).

No Brasil, tem-se desenvolvido vários estudos sobre o processo da eutrofização: destacando-se, dentre outros BRANCO (1960, 1961, 1966, 1975, 1984), que estudou as Represas Pedro Beicht, Cachoeira<sup>da</sup> Graça, Billings, do Rasgão, Pirapora, Edgard de Souza, Cantareira e Lago Paranoá-DF e ROCHA (1976, 1980) estudou aspectos ecológicos (variáveis físico-químicas) e sanitários da Represa de Guarapiranga-SP.

TOLEDO Jr. *et al.* (1984) desenvolveram modelos simplificados do processo de eutrofização visando adaptá-lo às condições climáticas tropicais. Na busca de dados de

campo, foram avaliados os reservatórios de Barra Bonita, Americana, Guarapiranga, Paiva Castro e Ponte Nova, em São Paulo, que serviram para testar a modelação.

Dentre os estudos realizados em corpos aquáticos nordestinos, merecem destaque: WRIGHT, que em 1934 pesquisou os açudes Bodocongó, Velho, Puxinanã e Simão, no estado da Paraíba; MELO & CHACON (1976) que estudaram o açude de Soledade-PB; CEBALLOS *et al.* (1997) que avaliaram a tipologia de vários açudes da Paraíba, definindo a qualidade sob o ponto de vista sanitário, biológico e físico-químico, além de selecionarem um conjunto simplificado de parâmetros de avaliação do nível trófico de águas superficiais em regiões tropicais semi-áridas. No Estado do Rio Grande do Norte, as pesquisas desenvolvidas por PEREIRA (1993) sobre o IQA das lagoas de Extremóz e Jiqui, por OLIVEIRA (1994) sobre a capacidade de autodepuração do rio Pitimbú e por ARAÚJO (1997) sobre a variação anual da comunidade fitoplanctônica, da clorofila e da produtividade primária da lagoa de Extremóz, constituem exemplos sobre estudos limnológicos realizados.

Sendo o estado trófico um conceito multidimensional, que envolve aspectos de aporte de nutrientes, concentração de nutrientes, produtividade, quantidade e diversidade da biota, além da morfometria do corpo aquático, tal fato levou ao estabelecimento de índices multiparamétricos, que têm seu uso limitado, devido ao elevado número de variáveis a serem medidas. Por outro lado, índices baseados em uma única variável, apresentam o inconveniente da dificuldade de definição do parâmetro mais representativo. Portanto, para aplicação prática, o estado trófico precisa ser quantificado através de um conjunto de variáveis que exercem influência no processo.

Diversas são as classificações quantitativas do grau de trofia, sendo a maioria baseada em concentrações limites de fósforo, nitrogênio e clorofila "a". Alguns autores sugerem a utilização de índices. Entre estes, o índice de CARLSON (1977), é um dos mais utilizados para a classificação limnológica de lagos.

## 2.5- O Índice do Estado Trófico (IET)

O autor definiu um índice do estado trófico (IET), usando uma transformação linear da transparência do disco de Secchi, que serve para avaliar a concentração da biomassa. Foram apontadas as razões que levaram à escolha desta variável, entre as quais, destacam-se: os valores medidos são facilmente transformados para uma escala

conveniente; trata-se de um ensaio bastante simples, sendo um dos mais executados em estudos limnológicos e os valores obtidos são de fácil entendimento e apreciação. Segundo Carlson, a relação entre a biomassa de algas e a transparência pode ser expressa pela equação da extinção vertical da luz incidente em uma superfície de água, dada por:

$$I_T = I_o * e^{-(K_w + K_b) * Tra} \text{ (equação 3)}$$

Onde,

$I_T$  = intensidade da luz na profundidade onde o disco de Secchi desaparece;

$I_o$  = intensidade da luz incidente na superfície da água;

$K_w$  = coeficiente de atenuação da luz pela água e sólidos dissolvidos;

$K_b$  = coeficiente de atenuação da luz pelos sólidos suspensos =  $\alpha * C$ ;

$\alpha$  = inverso da concentração superficial de sólidos suspensos, na coluna de água acima do disco de Secchi ( $m^2/mg$ );

$C$  = concentração de sólidos suspensos ( $mg/m^3$ );

$Tra$  = profundidade na qual o disco de Secchi desaparece (m).

Os estados tróficos foram definidos de forma que cada duplicação de biomassa define a divisão entre cada estado. Como a relação entre biomassa e transparência é inversamente proporcional, se a primeira duplica, a transparência diminui pela metade. Transformando os valores da transparência em  $\log_2$ , a duplicação de biomassa será representada por um número inteiro da transparência (1m, 2m, 4m, 8m, etc.). O ponto inicial da escala foi definido para um valor de transparência superior ao máximo encontrado, até então (41,6 m, no lago Masyuko, Japão (HUTCHINSON, 1957 *apud* CARLSON, 1977). Como o número inteiro mais próximo na escala de  $\log_2$  é 64 ( $\log_2 64 = 6$ ), foi arbitrado que o valor zero do IET seria atribuído à transparência de 64,00 m. Portanto, a escala inicia em zero (IET= 0), para uma transparência igual a 64 m; para 32 m IET= 10; para 16 m, IET= 20; para 8m, IET= 30 e assim por diante. O limite superior é teoricamente indefinido, mas na prática seria 100 ou 110 (para transparências iguais a 6,4 e 3,2 cm). A expressão final obtida é a seguinte:

$$IET_{(Tra)} = 10 * (6 - \log_2 Tra) \text{ (equação 4)}$$

O valor final é multiplicado por 10 para obter-se uma escala de 0 a 100, ao invés de 0 a 10. Esta foi intencionalmente definida como numérica ao invés de qualitativa, já que

existem poucas categorias para definir o estado trófico, resultando em perdas de informação quando se compara diferentes corpos aquáticos como também falta de sensibilidade para detectar as mudanças tróficas ocorridas. A escala proposta, com mais de cem categorias tróficas, evita esses problemas.

CARLSON (1977), através de análise de regressão linear simples e utilizando as medidas de transparência contra clorofila "a" e fósforo total, definiu as seguintes correlações:

$$\ln Tra = 2,04 - 0,68 \ln Cl "a", \text{ com } n = 147 \text{ e } R = 0,93$$

$$Tra = 64,9 / PT, \text{ com } n = 61 \text{ e } R = 0,89$$

Os três parâmetros utilizados (transparência, fósforo total e clorofila "a"), representam, respectivamente, as características físicas, químicas e biológicas de um corpo aquático, medidos em amostras coletadas próximo à superfície da água. Verifica-se que o fósforo total se relaciona bem com a profundidade de Secchi, quando este é o fator limitante principal. Esta relação não existe quando a luz ou a temperatura limitam a atividade fotossintética. O IET não somente classifica um corpo aquático, como também serve de verificação sobre as relações entre os vários parâmetros de um ecossistema aquático. É importante frisar que o número gerado é apenas um índice que não define o estado de trofia. Em outras palavras, a clorofila "a" e o fósforo não são parâmetros de base para definição do estado trófico, mas apenas indicadores de um conceito mais abrangente. O melhor indicador varia de lago para lago e conforme a estação climática. Portanto, o melhor índice deve ser aquele que tem por base um conhecimento mais detalhado do corpo aquático.

A transparência pode levar a erros em lagos que contenham elevadas concentrações de partículas suspensas inorgânicas, em águas muito coloridas (altos valores de  $K_w$ ) e em lagos com águas extremamente claras, quando o coeficiente  $K_w$  novamente é um importante fator na extinção da luz. A transparência é muito sensível às mudanças na biomassa, quando em baixas concentrações, não refletindo estas mudanças quando em altos teores. A vantagem de sua utilização deve-se ao fato de ser uma medida extremamente simples e de baixo custo. Normalmente o IET resultante tem um valor similar àquele obtido para a clorofila "a".

A clorofila "a" é um valor aparentemente livre de interferências. Alguns autores sugerem, atualmente, medidas de produção primária como melhores indicadoras, entretanto a técnica é operacionalmente complicada.

Valores mais acurados obtidos através do fósforo total dependem da condição de que o fósforo seja o fator limitante principal para o crescimento de algas e de que as concentrações de todas as formas presentes dependam da biomassa algal.

CARLSON (1977) recomenda que para fins de classificação, deve ser dada prioridade aos parâmetros biológicos (clorofila "a") e ao fósforo total. Estas recomendações resultarão em índices praticamente iguais durante qualquer estação do ano.

São as seguintes as expressões numéricas para o cálculo:

$$IET_{(Tra)} = 10 \cdot (6 - \ln Tra / \ln 2) \text{ (equação 5)}$$

$$IET_{(PT)} = 10 \cdot [6 - \ln (65/PT) / \ln 2] \text{ (equação 6)}$$

$$IET_{(Cl "a")} = 10 \cdot [6 - (2,04 - 0,68 \cdot \ln Cl "a") / \ln 2] \text{ (equação 7)}$$

A distinção entre o estado oligotrófico e eutrófico é feita por  $IET=40$ , o que corresponde a concentrações de 2,6  $\mu\text{g/L}$  de clorofila "a", 12  $\mu\text{g/L}$  de fósforo total e transparência  $\leq 4$  m.

Verifica-se que o IET pode ser calculado separadamente para cada uma das variáveis independentemente, ou como a média dos três valores. KRATZER & BREZONIC (1981), utilizando dados de lagos da Flórida-EUA, ampliaram o IET, introduzindo o nitrogênio total, através da seguinte relação:

$$IET_{(NT)} = 10 \cdot [6 - \ln (1,47/NT) / \ln 2] \text{ (equação 8)}$$

Os critérios do grau de trofia, segundo o índice, são mostrados na Tabela 2.26

**Tabela 2.26-Classificação de lagos temperados, segundo o IET**

Classificação	IET	PT ( $\mu\text{g/L}$ )	Tra (m)	Cl "a" ( $\mu\text{g/L}$ )
Ultraoligotrófico	$\leq 20$	$\leq 3$	$\geq 16$	$\leq 0,34$
Oligotrófico	21-40	3-12	16-4	0,34-2,6
Mesotrófico	41-50	12-24	4-2	2,6-6,4
Eutrófico	51-60	24-48	2-1	6,4-20
Hípereutrófico	$\geq 61$	$> 48$	$< 1$	$> 20$

Fonte: CARLSON (1977)

Apesar de apresentar várias limitações, entre as que se destaca a influência dos sólidos suspensos inorgânicos (fixos) na transparência, este índice é considerado como bastante adequado para o estudo da tipologia de ambientes lacustres (TUNDISI *et al.*, 1988; CALIJURI, 1988). Outra limitação a considerar reside no fato de que o modelo está baseado em dados obtidos em lagoas de clima temperado. As diferenças existentes entre estas regiões e países como o Brasil, de clima predominantemente tropical, podem alterar significativamente as respostas dos organismos aquáticos aos fatores que influem no seu metabolismo.

SALAS (1983), evidenciou as seguintes características que diferenciam ambientes tropicais de temperados:

- faixa de temperatura;
- ciclo climatológico definido por um período seco e outro chuvoso;
- velocidades de reação dos processos bioquímicos mais elevadas devido as temperaturas mais altas;
- diferenças nos regimes de mistura e ciclos de estratificação;
- presença expressiva de macrófitas, em alguns casos adquirindo mais importância que as algas;
- o nitrogênio, por ter seu metabolismo acelerado em lagos tropicais, pode tornar-se o nutriente limitante, assim como o carbono;
- ocorrência de taxas de precipitação e / ou evaporação mais elevadas

Esse conjunto de situações resulta na necessidade de se proceder a uma verificação da aplicabilidade dos modelos existentes aos lagos e reservatórios brasileiros, para, à partir de dados obtidos nesses corpos aquáticos, introduzir alterações nos modelos definidos para as regiões de clima temperado.

Para expressar o estado trófico de um corpo aquático através de valores limites de alguns parâmetros, correspondentes a cada estado trófico, é necessário considerar o critério do aporte ou de carga volumétrica de nutrientes. Desta forma, o controle da eutrofização é feito na maioria dos casos, pela redução do aporte destes, principalmente o fósforo.

Estudos realizados no Brasil propõem modificações nas expressões originais do IET de Carlson, baseadas nos dados médios obtidos para a Represa de Barra Bonita-SP, no período de 1978, 1979 e 1980. Incluiu-se ainda uma equação para o ortofosfato solúvel. As equações obtidas, que exprimem o Índice do Estado Trófico de Carlson Modificado (IET<sub>M</sub>), são as seguintes (TOLEDO Jr. *et al.*, 1985):

$$IETM_{(Tra)} = 10 * \left[ 6 - \frac{(0,64 + \ln Tra)}{\ln 2} \right] \text{ (equação 9)}$$

$$IETM_{(PT)} = 10 * \left[ 6 - \frac{\ln(80,32/PT)}{\ln 2} \right] \text{ (equação 10)}$$

$$IETM_{(OF)} = 10 * \left[ 6 - \frac{\ln(21,67/OF)}{\ln 2} \right] \text{ (equação 11)}$$

$$IETM_{(Cl "a")} = 10 * \left[ 6 - \frac{(2,04 - 0,695 \ln Cl "a")}{\ln 2} \right] \text{ (equação 12)}$$

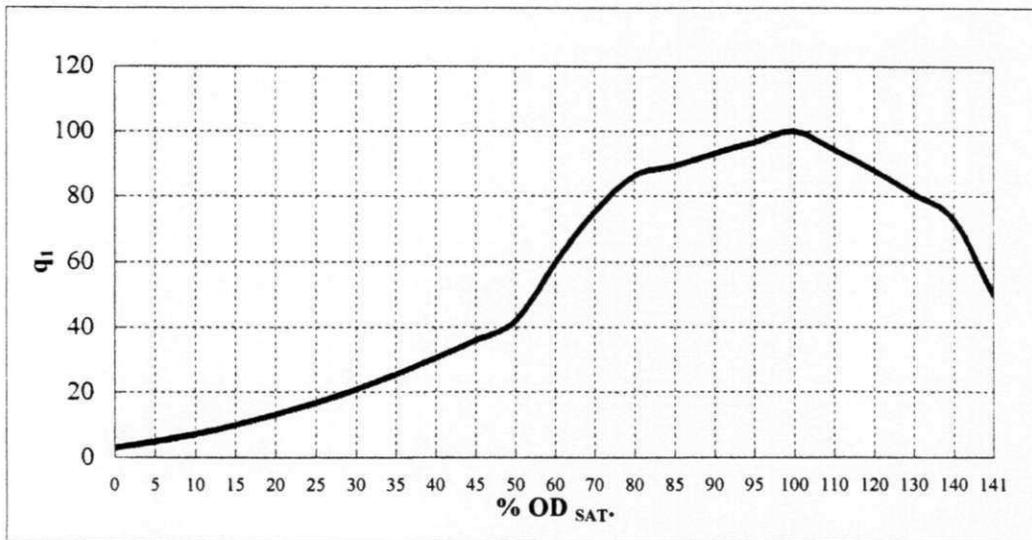
O critério de classificação, segundo este índice, é o apresentado na Tabela 2.27.

**Tabela 2.27– Classificação de lagos tropicais, segundo o IET modificado**

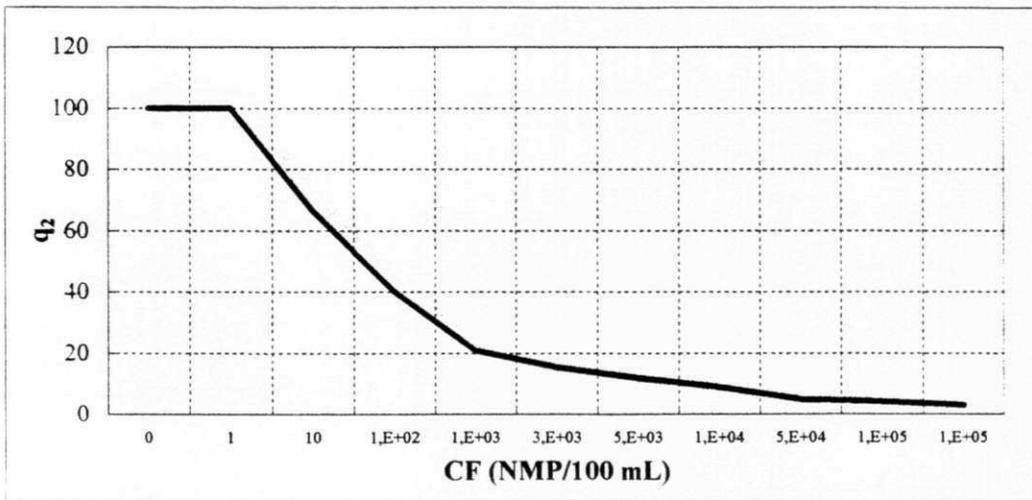
Classificação	IETM	PT(µg/L)	OF(µg/L)	Tra(m)	Cl "a"(µg/L)
Oligotrófico	< 44	≤ 27	≤ 73	≥ 1,6	≤ 4
Mesotrófico	44-54	28-51	74-130	1,6-0,79	4,1- 9,9
Eutrófico	> 54	≥ 52	≥ 140	≤ 0,80	≥ 10

Fonte: TOLEDO Jr. *et al.*(1985).

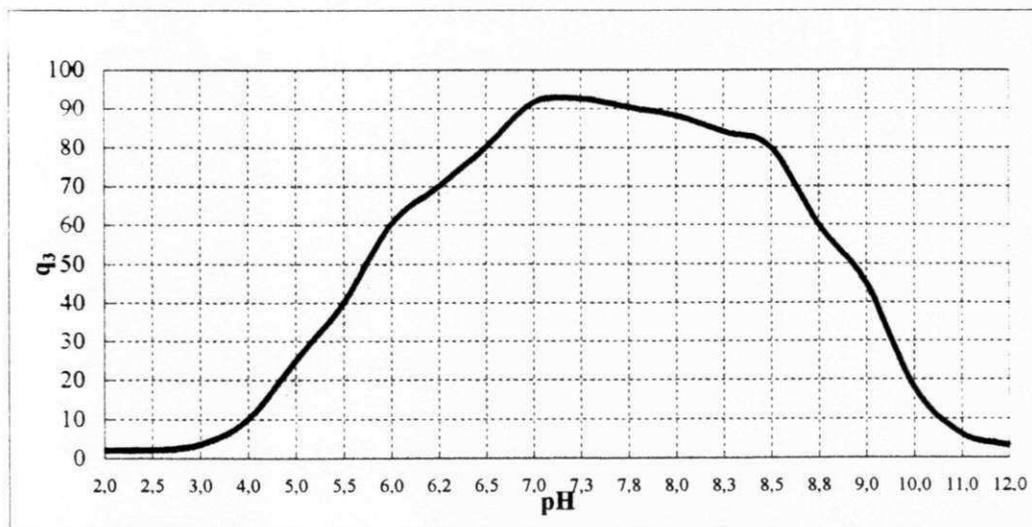
**Figura 2.1 - Curvas das variáveis  $OD_{SAT}$  (a), CF (b) e pH (c) sub- índices de qualidade da água.**



(a)

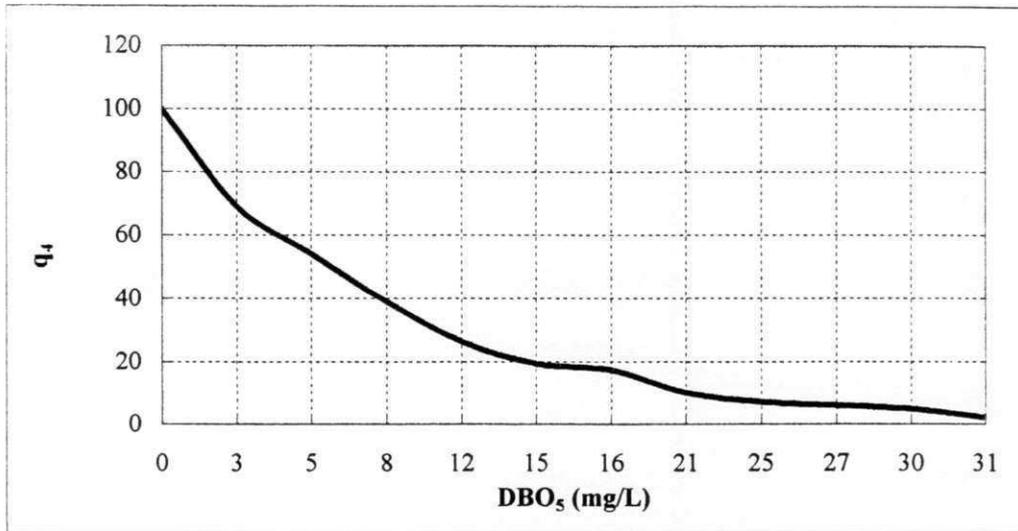


(b)

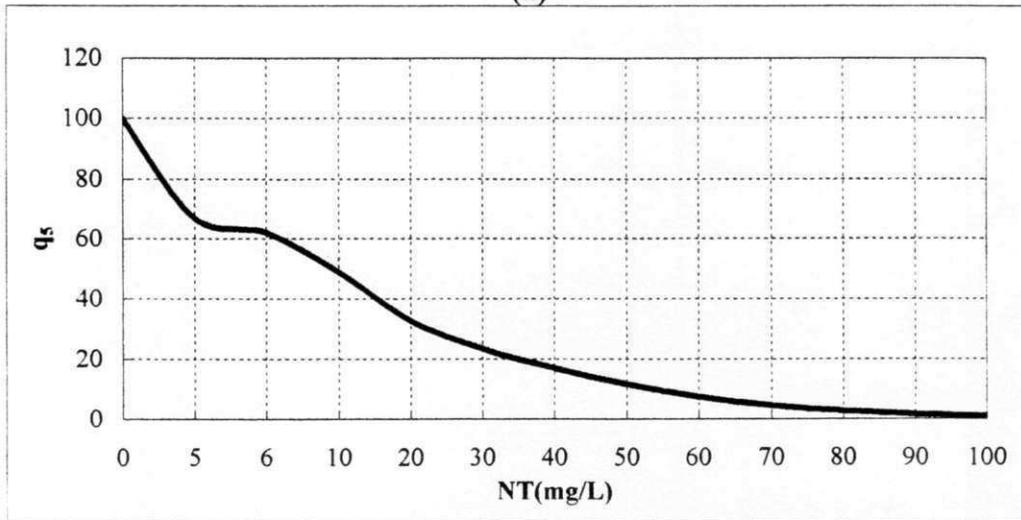


(c)

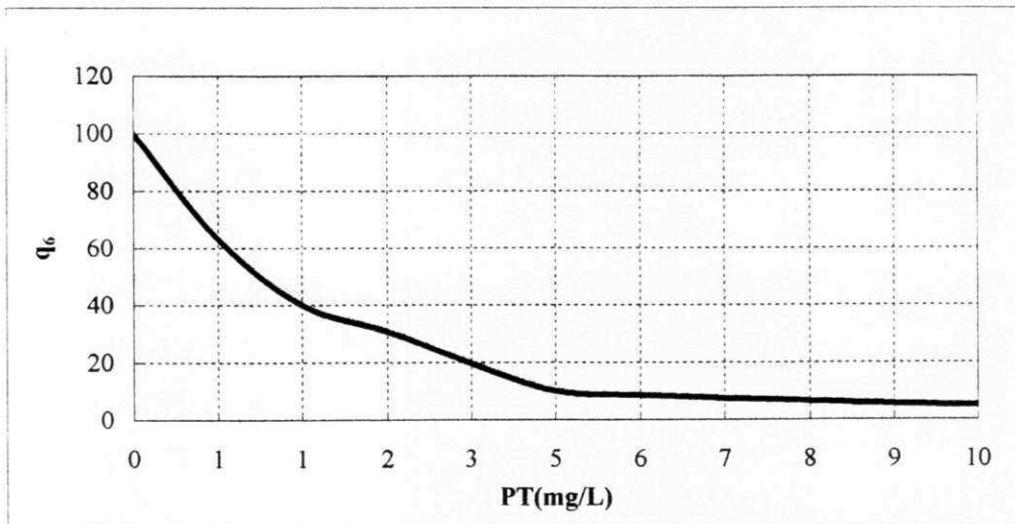
**Figura 2.2 - Curvas das variáveis DBO<sub>5</sub> (a), NT (b) e PT (c) sub- índices de qualidade da água.**



(a)

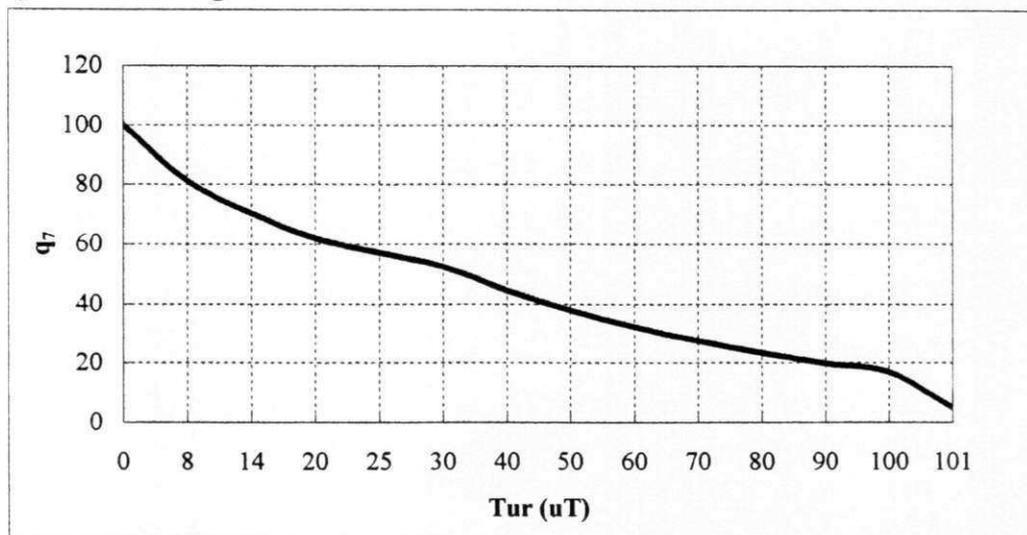


(b)

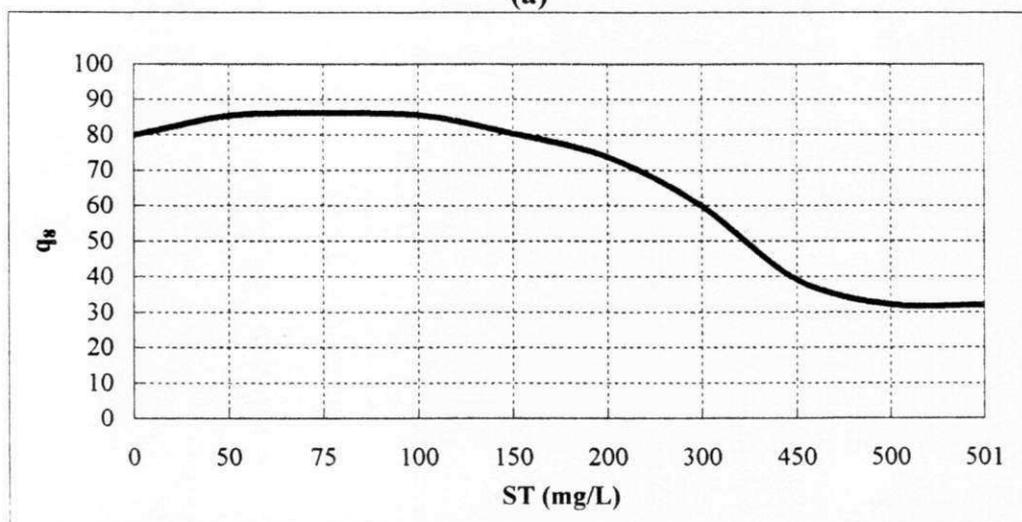


(c)

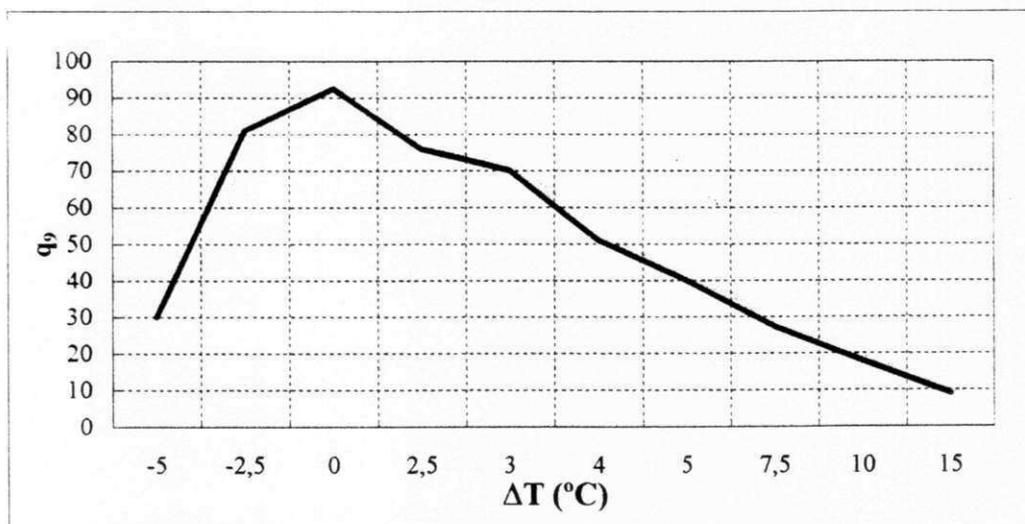
**Figura 2.3 - Curvas das variáveis Tur (a), ST (b) e  $\Delta T$  (c) sub- índices de qualidade da água.**



(a)



(b)



(c)

## 3.0 - MATERIAL E MÉTODOS

### 3.1 - A área estudada

A pesquisa foi realizada em três lagoas naturais localizadas na região Nordeste do Brasil, na zona do Litoral Oriental do Estado Rio Grande do Norte, nos municípios de Nísia Floresta (sub-Zona da Mata), Extremóz (sub-Zona do Vale do Ceará Mirim) e Parnamirim (sub-Zona de Natal) (Figura 3.1). A característica geológica mais marcante desta zona consiste na ocorrência de sedimentos areno-argilosos Terciários do grupo Barreiras, recobertos por depósitos de areia quartzosa que formam dunas, de idade Quaternária. Esta área constitui, devido suas características hidrogeológicas e as altas taxas de excedentes pluviométricos, um dos mais importantes potenciais hídricos renováveis do Estado (REBOUÇAS, 1997b).

A faixa sedimentar da Costa Oriental onde se realizou o estudo, faz parte de uma extensa bacia litorânea que se estende pelos Estados da Paraíba e Pernambuco e tem uma largura média da ordem de 30 km, sendo considerada como a mais chuvosa do estado, com valores médios anuais que variam entre 900 e 2.000 mm (UFRN, 1997).

As características de porosidade e permeabilidade do solo, são relativamente elevadas e fazem com que a maior parte dos excedentes hídricos pluviométricos se infiltrem no solo/subsolo. Como resultado, a rede hidrográfica superficial é incipiente, porém, ali se encontram as maiores potencialidades renováveis de água subterrânea do Estado (PEREIRA *et al.*, 1996).

A coluna estratigráfica regional abrange rochas sedimentares dos períodos Cretáceo, Terciário e Quaternário, que repousam sobre rochas pré-cambrianas do embasamento cristalino. Verifica-se a ocorrência de sedimentos do Grupo Barreiras, de idade terciário-quaternária e depósitos recentes de areias de dunas e aluviões, além de sedimentos praias e mangues (MELO, 1995).

O clima predominante na região é quente e úmido, com estação seca no verão (setembro a janeiro) e chuvas no outono-inverno (fevereiro a agosto). Segundo a classificação de Köppen, a região está situada numa zona de transição entre os tipos climáticos As<sup>3</sup> - quente e úmido e Bsh - semi-árido quente - com predominância do

primeiro, principalmente na região Sul. Com efeito, ocorre elevada precipitação que caracteriza o tipo As' e também forte evaporação, característica dominante do tipo Bsh. Na classificação de Gaussen, que se baseia na variação das temperaturas e precipitações durante o ano, tem-se na região um bioclima do tipo nordestino quente de seca média (UFRN, 1997; UFPB, 1987).

A temperatura média anual é de 26,8°C, com máximas de 29,2°C e mínimas de 23,3°C. Os meses mais quentes do ano são dezembro, janeiro e fevereiro, que correspondem ao final da estação seca e início das chuvas. Os meses mais frios correspondem à estação chuvosa, no período de junho, julho e agosto (UFRN, 1997).

A precipitação pluviométrica na área, no período de 1910-1979, variou de 3.511 a 530 mm, com média anual de 1.563 mm (SUDENE, 1990).

A evaporação medida no período de 1984-1997, atingiu um total médio anual de 2.133 mm, bem acima do valor registrado na região de Ceará Mirim, da ordem de 1.533,5 mm/ano. Este último valor é considerado como o mais representativo da região (UFRN, 1997; COSTA LTDA., 1997).

Devido a latitude da região, os ventos predominantes são de Sudeste representantes da massa equatorial atlântica, secundados por ventos de Nordeste em pequena escala. A velocidade dos ventos varia numa faixa de 4,2 a 4,8 km/h (UFRN, 1997).

Quanto à umidade relativa média do ar, que está associada à insolação, varia de 72,7% a 82,0% , com valores máximos nos meses de abril a julho e mínimos nos meses de outubro a janeiro. A insolação média anual está compreendida entre 2.600 e 3.200 horas, sendo os meses mais insolarados os últimos do ano, com máxima em outubro, de 288 horas e a insolação mínima, de 189 horas, ocorrendo em abril (UFRN, 1997).

### **3.2 - Os locais amostrados**

Foram pesquisadas as lagoas de Bonfim, Extremóz e Jiqui. Estes três corpos aquáticos possuem água acumulada de distintas origens (rios e aquíferos), além de estarem localizados em diferentes bacias hidrográficas, com geografia diversificada e desenvolvimento de distintas atividades antrópicas.

#### **3.2.1 - Seleção dos pontos de coleta**

Foram definidos três pontos de amostragem em cada lagoa, distribuídos segundo a morfologia desta e tendo como regra geral os locais a jusante da descarga do tributário, a montante de seu afluente e um ponto na parte central do corpo aquático.

Para a coleta foi usado um barco de madeira revestido em fibra de vidro e movido a motor de popa de 10 CV de potência. As amostras foram coletadas nos primeiros 30 cm de profundidade, no horário compreendido entre as 09:00 e 11:30 h. A metodologia de coleta e preservação das amostras seguiu as recomendações de APHA *et al.* (1995).

**Figura 3.1 - Localização geográfica das lagoas de Bonfim, Extremóz e Jiqui-RN**



Adaptado de SECTUR-RN (1996).

### LEGENDA

#### UNIDADES LITO-ESTATIGRÁFICAS

- Grupo Barreiras
- Cristalino

Escala: 1:500.000

Marco Antonio Calazans Duarte

Utilização dos Índices do Estado Trófico (IET) e de Qualidade da Água (IQA) na caracterização Limnológica e Sanitária das Lagoas de Bonfim, Extremóz e Jiqui - RN

### 3.2.2 - Lagoa de Bonfim

Localizada no município de Nísia Floresta (6°05'28" S, 35°12'31" W), 35 km ao sul de Natal, possui uma bacia hidrográfica de 46 km<sup>2</sup> e é a maior entre as cerca de 30 lagoas da região dos Vales Úmidos. A rede de drenagem superficial é pequena, devido às pequenas declividades do terreno e à sua cobertura arenosa. Segundo REBOUÇAS (1997b), o incipiente desenvolvimento da rede hidrográfica sugere que só uma parcela da água das lagoas é proporcionada pelo escoamento superficial, que é de curta duração, uma vez que só ocorre nos curtos períodos de chuvas mais intensas.

Está situada nas cabeceiras da bacia hidrográfica do Riacho Boa Cica, afluente pela margem esquerda do Rio Trairi e que deságua neste último, já nas proximidades do seu estuário. Conforme FEITOSA (1997), a lagoa constitui uma depressão fechada durante as épocas de águas baixas, porém apresenta um vertedouro natural que funciona como sangria na época de águas altas, vertendo na Lagoa Boa Água

A área do entorno da bacia hidrográfica ainda pode ser considerada como pouco impactada, porém as atuais condições de uso e ocupação do terreno já preocupam. Observa-se acumulação de resíduos sólidos de origem doméstica nas margens da lagoa; a ocupação humana permanente e a exploração turística e de lazer desordenadas, que resultam em processos de erosão acentuados e descarte de esgotos domésticos brutos. Ameaçam a integridade ambiental deste corpo aquático as culturas irrigadas de cana de açúcar com utilização de fertilizantes químicos. Destacam-se também plantações de frutas tropicais, que ocupam uma área marginal de aproximadamente 200 ha (SERHID, 1997).

Está em funcionamento um projeto financiado pelos Governos Federal e Estadual que utiliza a lagoa como manancial, denominado de adutora Monsenhor Expedito (ou adutora do Agreste-Trairi-Potengi). Atualmente o sistema abastece 17 sedes de municípios e 34 distritos (167 L/s), situados na região do cristalino oriental do Estado, o que representa um total de aproximadamente 127.000 habitantes. O referido sistema deverá suprir a demanda de cerca de 230.000 habitantes, no ano de 2.016, com uma vazão estimada de 452,32 L/s ou 14,3 milhões m<sup>3</sup>/ano.

Os dados morfométricos da lagoa do Bonfim são (COSTA LTDA., 1997):

- Área da bacia hidrográfica..... 46,10 km<sup>2</sup>
- Área do espelho d'água..... 8,9 km<sup>2</sup>
- Perímetro molhado (\*)..... 21,8 km
- Profundidade média (\*)..... 9,50 m

- Profundidade média nos pontos de coleta (\*) ..... 19,60 m
- Profundidade relativa (\*) ..... 0,92%
- Profundidade máxima..... 31,00 m
- Cota do Nível máximo (\*) ..... 42,95 m
- Cota do nível da água (nov/97\*)..... 36,00 m
- Volume armazenado máximo.....  $84,26 \times 10^6 \text{ m}^3$
- Tempo estimado de residência da água(\*) ..... 6,6 anos

(\*) Dados calculados durante a pesquisa.

A Figura 3.2 apresenta um mapa da lagoa de Bonfim e a localização dos três pontos de coleta, cujas características são as seguintes:

- **Ponto B1**, localizado entre as pontas das Nêgas e dos Patos, tem uma profundidade média de 19,00 m. Está próximo a um balneário público (Ponta das Nêgas), do Iate Clube e do Clube dos Caçadores, além de outras associações. É a área mais ocupada da lagoa por granjas e residências de veraneio. Sua característica mais marcante são os fortes ventos de sudeste que geram ondas de porte razoável, sendo por esta razão o local preferido pelos velejadores.

- **Ponto B2**, situado no extremo norte, representado pelas pontas Fina e do Forte, a 3 km de B1, apresenta pouca atividade antrópica, sendo a mais significativa uma plantação de frutas tropicais irrigada próxima à ponta Fina. Estima-se que a irrigação consome uma vazão de 120 L/s, captada da lagoa. É o ponto de menor profundidade, de 17,60 m. Não apresenta muitas ondas, por estar situado à jusante das correntes de vento.

- **Ponto B3**, situado ao sul do ponto B1, a 2,0 km de distância e entre as pontas denominadas do Bonfim e Funda. Recebe influência de canaviais próximos às margens da lagoa. A área é ocupada por residências habitadas de forma permanente e temporária. Apresenta a maior profundidade média dos 3 pontos amostrados, de 20,80 m.

### 3.2.3 - Lagoa de Extremóz

Esta Lagoa situa-se no município de Extremóz ( $5^{\circ} 42' 20'' \text{ S}$ ,  $35^{\circ} 18' 26'' \text{ W}$ ), a 15 km a noroeste de Natal. Desde o ano de 1979, é utilizada pela CAERN para o abastecimento da população da zona norte de Natal, além de parte do município de São Gonçalo do Amarante, servindo a um total de 150.000 habitantes. Explora uma vazão de 510 L/s (CAERN,1999). Possui formato semelhante a uma ferradura distorcida. Sua

extremidade norte tem uma extensão de aproximadamente 6 km e recebe as descargas do rio do Mudo, enquanto que seu braço Sul, possui uma extensão de 2 km, recebendo contribuição do rio Guagirú. Estes rios são de pequena extensão e de caráter temporário, com uma bacia hidrográfica de 345 km<sup>2</sup> de superfície, porém, devido às contribuições significativas do lençol freático regional (Sistema Dunas/Barreiras), cuja cota topográfica está pelo menos 30 m acima dos leitos dos mesmos, adquirem um regime de escoamento permanente (NÓBREGA Jr., 1986).

A lagoa é drenada pelo rio Doce, que desemboca no estuário do rio Potengi. As vazões mínimas explotáveis variam entre 30 e 55 milhões de m<sup>3</sup>/ano, com riscos variáveis entre 1% e 20%, respectivamente. Apresenta uma disponibilidade da ordem de 29 milhões de m<sup>3</sup>/ano (PLANAT, 1982). O volume médio anual retirado do manancial para abastecer a zona norte da capital do Estado é da ordem de 16,3 milhões de m<sup>3</sup>, havendo portanto, um saldo positivo de 12,7 x 10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>/ano, em relação à disponibilidade prevista (CAERN, 1997). Como existe um consumo ainda não estimado para o Distrito Industrial de Natal e para irrigação, parte deste excedente está comprometido.

Nos meses de águas altas ocorre uma elevação do nível da lagoa, da ordem de 1,20 m, acarretando a inundação de uma faixa de "solo agricultável" em torno da mesma, que mede em torno de 50 a 60 cm de largura (IDEC, 1985). Dados da SERHID (1997) indicam que existe uma área ocupada por agricultura irrigada de 60 ha.

A ocupação do solo ocorre principalmente nas margens do braço Norte, existindo um conjunto habitacional com cerca de 900 residências, além de um hotel. Verifica-se uma tendência de crescimento do núcleo urbano do município de Extremóz para esta área.

Na extremidade oposta, merecem destaque a fábrica de cerveja e refrigerantes Antarctica e a captação de água da CAERN. As margens próximas à descarga no rio Doce são ocupadas por bares e restaurantes e pela comunidade do distrito de Santo Antônio dos Barreiros (300 habitantes, aproximadamente).

Nas demais regiões, e principalmente na faixa de terra que entra na lagoa, as culturas agrícolas permanentes e temporárias constituem o uso prevalecente do solo marginal.

De um modo geral, pode-se considerar a lagoa como medianamente impactada, porém com tendência deste impacto crescer progressivamente, tendo em vista a área estar situada nos limites da região metropolitana de Natal.

As informações disponíveis sobre a morfologia desta lagoa, são as seguintes (PLANAT, 1982; FEITOSA, 1987):

- Área da bacia hidrográfica..... 345,0 km<sup>2</sup>
- Área do espelho d'água..... 4,0 km<sup>2</sup>
- Perímetro molhado (\*)..... 20,0 km
- Profundidade média (\*)..... 3,00 m
- Profundidade máxima..... 8,00 m
- Profundidade média nos pontos de coleta (\*)..... 4,20 m
- Profundidade Relativa (\*)..... 0,35%
- Cota do nível de água(\*dez/97) (\*)..... 21,00 m
- Volume armazenado máximo..... 12 x 10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>
- Tempo estimado de residência da água(\*)..... 28 dias
- Descarga média..... 155 x 10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>/ano

(\*) Dados calculados durante a pesquisa

As principais características observadas nos três pontos de coleta são descritas abaixo. A Figura 3.3 apresenta um mapa da lagoa de Extremóz e a localização dos pontos de amostragem.

• **Ponto E1**, com uma profundidade de 3,0 m, está situado a jusante da descarga do Rio Guagirú, na extremidade Sul e a 1.600 m a montante da captação da CAERN e da fábrica Antártica. A referência tomada para orientação é uma edificação que serve de abrigo das bombas de captação de água para a indústria têxtil COTEMINAS. Uma pequena faixa de vegetação nativa ainda permanece intocada enquanto o restante da área marginal foi desmatada para o plantio agrícola. Observa-se a existência de macrófitas aquáticas nas margens, sendo predominante o aguapé (*Eichhornia crassipes*).

• **Ponto E2**, localizado no braço Norte, 500 m a jusante da descarga do Rio do Mudo. Nesta área estão situadas algumas captações de água subterrânea que abastecem a cidade de Ceará-Mirim. A ocupação humana é bastante esparsa, predominando a atividade agrícola. Sua profundidade média é da ordem de 2,60 m.

• **Ponto E3**, demarcado 400 m a montante do pontilhão na saída da lagoa, que é feito através de bueiros com 7,60 m<sup>2</sup> de área de escoamento. É o local mais afetado pelas atividades antrópicas: o distrito de Santo Antônio dos Barreiros, os bares e restaurantes, os balneários, as granjas, o Hotel Laguna e o conjunto habitacional constituem as ocupações de maior impacto sobre o corpo aquático. Por ocasião de algumas coletas, observou-se o descarte de efluentes da Antártica, através de uma calha em alvenaria, 500 m a montante deste ponto. Possui uma profundidade média de 6,60 m.

### 3.2.4 - Lagoa do Jiqui

Localizada no município de Parnamirim ( 5° 54' 56" S, 35° 15'46", W ), 13 km ao Sul de Natal, está inserida na bacia hidrográfica do Rio Potengi, que possui uma extensão de 7 km e drena uma área de 607 km<sup>2</sup>. O Rio Pitimbú constitui seu único tributário, cuja sub-bacia a montante mede cerca de 98 km<sup>2</sup>, recebendo também exsudações do sistema aquífero Dunas/Barreiras. Este aquífero é responsável por uma parcela significativa (ainda não dimensionada) da vazão afluyente à lagoa. O rio Pitimbú é também o seu exutório natural, levando suas águas para o rio Pirangi e daí para o mar, na praia de Cotovelo. Este corpo lótico nasce no município de Macaíba, zona oeste de Natal, atravessando em seu curso zonas rurais e urbanas. Neste percurso, constatam-se lançamento de esgotos domésticos parcialmente tratados da ETE do complexo aéreo do Ministério da Aeronáutica (CATRE), infiltração de efluentes de tanques sépticos no solo do vale, utilização de fertilizantes químicos nas culturas desenvolvidas na planície de inundação, atividades de pecuária (bovinos) nas margens e leito do rio, além de despejos brutos de uma indústria de papel e celulose (SANTOS *et al.*, 1992).

A lagoa é habitada por várias espécies de aves, que utilizam como suporte a vegetação aquática e subaquática existente, com predominância do aguapé (*Eichhornia crassipes*), que ocupa uma área significativa da lagoa, chegando a dividi-la em duas partes. São visíveis alguns pontos já bastante assoreados, principalmente nas áreas cobertas por vegetação e próximas às margens.

As descargas mínimas previstas estão situadas entre 16x10<sup>6</sup> e 30x10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>/ano, com riscos de 1% e 20% respectivamente (PLANAT, 1982). Desde o ano de 1960, a lagoa é utilizada como manancial para abastecimento público e atualmente a CAERN explora uma vazão de 490 L/s (13,5 x 10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>/ano) para abastecer uma população estimada de 130.000 habitantes da zona sul de Natal. Este valor está bastante próximo do limite mínimo previsto para uma margem de 99% de garantia (LIMA, 1977). Esta vazão corresponde a 16% do volume total produzido para a cidade (CAERN, 1999).

Além deste consumo, a Empresa de Pesquisa Agropecuária do RN (EMPARN) explora a lagoa para irrigação de culturas experimentais, dentro do projeto de produção de sementes e mudas de coqueiro anão verde e híbrido, com uma área ocupada de 50 ha e consumo de água de 10 L/s ou 300.000 m<sup>3</sup>/ano (EMPARN, 1997).

Os principais dados morfométricos disponíveis da lagoa de Jiqui são listados abaixo (PLANAT, 1982):

- Área da bacia hidrográfica..... 98 km<sup>2</sup>
- Área do espelho d'água..... 0,30 km<sup>2</sup>
- Perímetro molhado (\*)..... 2,90 km
- Profundidade média (\*)..... 1,00 m
- Profundidade máxima..... 6,00 m
- Profundidade média nos pontos de coleta (\*)..... 3,40 m
- Profundidade relativa (\*)..... 0,97%
- Cota do nível de água (nov/97\*)..... 20,00m
- Volume armazenado máximo..... 0,32x10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>
- Tempo estimado de residência da água(\*)..... 2,6 dias

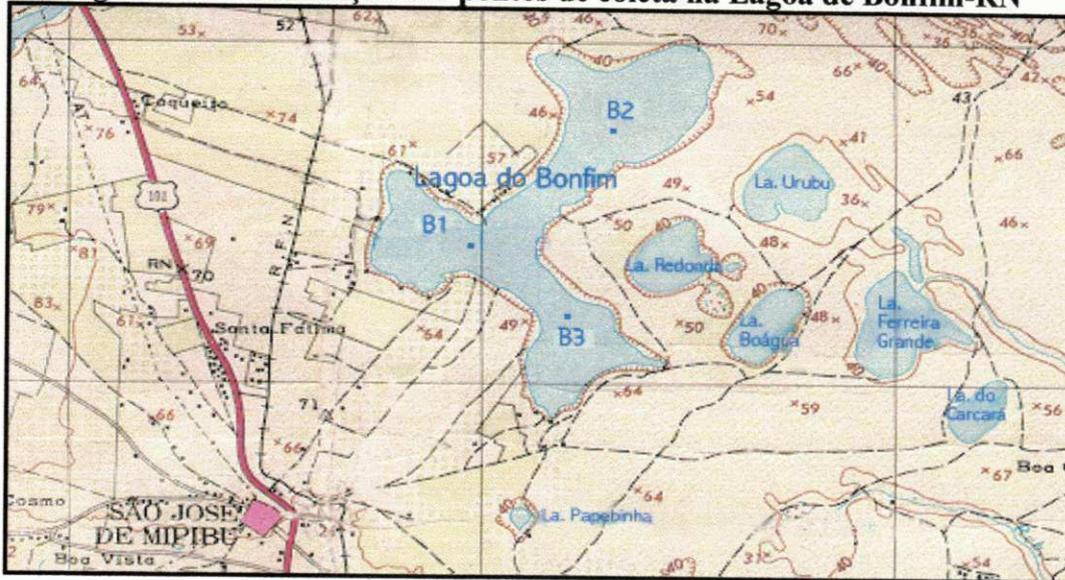
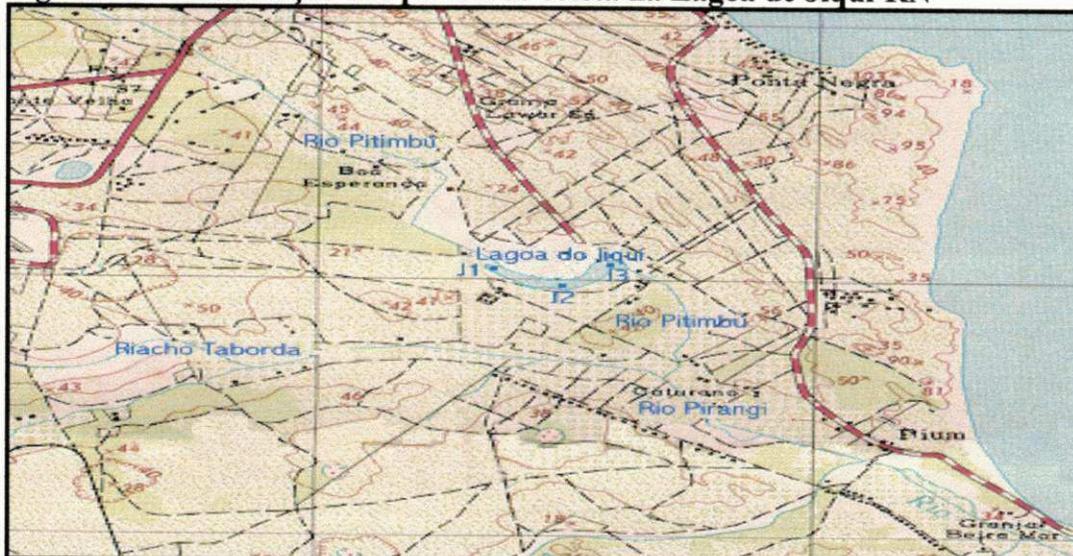
(\*) Dados calculados durante a pesquisa.

Os três pontos de coleta e o mapa de localização da lagoa de Jiqui estão mostrados na Figura 3.4. As observações registradas sobre estes pontos são as seguintes:

- **Ponto J1**, fixado 50 m a jusante da descarga do rio Pitimbú e a cerca de 300 m de um pontilhão, que serve de acesso às instalações da EMPARN. Esta instituição ocupa praticamente toda a margem sul, utilizando-a atualmente para o plantio de coqueiro anão. A poucos metros do local, a EMPARN construiu uma casa de bombas para captação de água. Próximo ao pontilhão, observa-se a presença sistemática de pessoas para lavagem de roupas, recreação, banhos de animais, entre outras atividades. É o local mais sujeito a turbulências provocadas pelo vento, devido a direção predominante de Sudeste. É o ponto onde se verifica a maior profundidade média de 4,70 m.

- **Ponto J2**, localizado a 400 m de J1, na parte central da lagoa, logo após a área encoberta por vegetação aquática (aguapé). Caracteriza-se pela pequena lâmina d'água (2,0 m) e a abundância de fauna e flora. A captação da CAERN situa-se a cerca de 50 m a jusante do ponto. Existe uma instalação de captação de água da EMPARN para irrigação bem próxima ao local.

- **Ponto J3**, localizado 50 m a montante da saída para o rio Pitimbú, possui uma altura líquida intermediária em relação aos outros pontos, de 3,30 m. A descarga de água de lavagem dos filtros da ETA se dá a poucos metros deste ponto. Chama a atenção a abundância de vegetação submersa, dificultando a leitura da transparência de Secchi.

**Figura 3.2 - Localização dos pontos de coleta na Lagoa de Bonfim-RN****Figura 3.3 - Localização dos pontos de coleta na Lagoa de Extremóz-RN****Figura 3.4 - Localização dos pontos de coleta na Lagoa de Jiqui-RN**

### **3.3 - Metodologia de coleta e preservação das amostras**

Os procedimentos de coleta, preservação e armazenamento das amostras foram realizados conforme orientação de APHA *et al.* (1995).

Para as amostras destinadas às análises bacteriológicas, utilizaram-se frascos de polietileno estéreis, de boca larga, com capacidade de 250 ml. Para a esterilização, os frascos eram frouxamente tampados, as bocas protegidas com papel alumínio e submetidos à autoclavagem por 15 minutos a 121°C. Na ocasião da coleta, os frascos eram mergulhados com a boca para baixo e preenchidos até 2/3 de sua capacidade. Imediatamente após a coleta, eram preservados em caixas térmicas com acumuladores, a uma temperatura abaixo de 10°C e transportados para o Laboratório Central da CAERN, local de realização das análises. O intervalo de tempo entre a coleta e o processamento foi sempre inferior a 4 horas.

Para as análises físico-químicas, a amostragem foi feita mediante enchimento de garrafas plásticas de 2 L de capacidade, lavadas com solução de ácido clorídrico à 10% e enxaguadas com água de torneira e posteriormente com água destilada. Para a determinação do oxigênio dissolvido, a coleta era realizada diretamente em frascos de DBO.

#### **3.3.1 - Período e Frequência de coletas**

O período total de amostragem compreendeu de novembro de 1996 a dezembro de 1997. A frequência de coleta foi mensal tendo em vista as distâncias entre as lagoas e a cidade do Natal e as operações necessárias ao transporte através de reboque do barco e do motor.

### **3.4 – Parâmetros analisados e métodos utilizados**

A escolha das variáveis a serem monitoradas foi feita tendo em vista sua importância para a caracterização limnológica e sanitária de corpos d'água lênticos; além deste critério, o suporte de estrutura laboratorial foi um fator levado em consideração.

Os parâmetros analisados foram de natureza microbiológica, biológica e físico-química.

#### **3.4.1 - Parâmetros microbiológicos**

##### **3.4.1.1 - Coliformes Totais (CT)**

Os CT foram quantificados pela técnica dos tubos múltiplos, constituída por uma fase presuntiva, uma outra confirmativa e uma terceira completa. O teste presuntivo consiste na semeadura de porções múltiplas ou submúltiplas decimais da amostra em uma série de 15 tubos de ensaio contendo Caldo Lactosado + Púrpura de bromocresol, 0,01 %. Foram inoculados volumes de amostras de 10, 1 e 0,1 mL. Estes tubos foram incubados a 35<sup>o</sup>C, durante 24-48 h. A produção de gás a partir da fermentação da lactose e a produção de turbidez, indicam prova presuntiva positiva para a presença de bactérias do grupo coliforme.

O teste confirmativo é feito pela transferência de uma a três alçadas à partir de cada tubo positivo para tubos contendo Caldo Verde Brilhante Bile 2%. A incubação deste meio é feita durante 48 h, a 35 ± 0,5<sup>o</sup>C. A produção de gás é resultado positivo para CT. Esta etapa reduz a possibilidade de resultados falsos-positivos, decorrentes da atividade de bactérias esporuladas e de bactérias Gram-positivas, fermentadoras de lactose. Este método quantifica os organismos como Número Mais Provável por 100 mL da amostra (NMP/100 mL), conforme tabela de APHA *et al.* (1995). Uma alçada do material contido nos tubos verde brilhante bile 2% era semeada em meio Eosina azul de metileno para observação das colônias típicas, coloração de Gram e verificação da fermentação da lactose (teste completo).

#### **3.4.1.2 - Coliformes Fecais (CF)**

Os coliformes fecais foram quantificados pela técnica dos Tubos Múltiplos segundo APHA *et al.* (1995), usando os mesmos tubos da etapa presuntiva dos coliformes totais.

Esta fase da metodologia consiste na transferência das culturas positivas de caldo lactosado, para tubos contendo Meio EC e também para tubos com verde brilhante bile 2%, que são incubados durante 24 ± 2 h a 44,5 ± 0,5<sup>o</sup>C, em banho-maria.

A produção de gás e turbidez, após o período de incubação indica reação positiva, confirmando a presença de coliformes fecais, também denominados termotolerantes.

A quantificação final é feita pelo cálculo do NMP por 100 ml da amostra, consultando-se tabelas apropriadas.

#### **3.4.1.3 - Bactérias Heterotróficas Mesófilas (BHM)**

A contagem de bactérias heterotróficas em placas, formalmente conhecida como contagem padrão em placas (CPP) permite estimar o número de bactérias herotróficas viáveis em águas. Sua quantificação sistemática permite observar mudanças ocorridas no manancial e/ou nas fases de tratamento e distribuição de água potável, em piscinas, etc. Também é usada para avaliação da qualidade de águas superficiais e subterrâneas, pois

tem-se observado uma associação direta entre o número destas bactérias e a concentração de matéria orgânica presente. Todas as formas de colônias desenvolvidas no teste são denominadas de unidades formadoras de colônias (UFC). O resultado final depende das interações que ocorrem entre as colônias em desenvolvimento, o meio de cultura e a temperatura de incubação.

A quantificação das BHM foi feita em duplicata, utilizando-se a técnica de vertido em placa para contagem padrão (APHA *et al.*, 1995). O meio utilizado foi o Plate Count Agar. As placas eram incubadas a  $35 \pm 0,3^{\circ}$  C, durante  $48 \text{ h} \pm 3 \text{ h}$ . As colônias eram contadas logo após a incubação, nas placas selecionadas com um mínimo de 30 e um máximo de 300 colônias. O resultado foi expresso em UFC/mL, para o qual multiplicou-se o número médio de colônias presentes nas duas placas de Petri pelo inverso da diluição utilizada.

### 3.4.2 Variáveis Biológicas

#### 3.4.2.1 - Clorofila "a" (Cl "a")

Utilizou-se a técnica de JONES (1979), de extração à quente com metanol, em amostras previamente filtradas em papel de filtro de fibra de vidro, de 47 mm de diâmetro, marca Whatmann, tipo GF/C. Empregou-se um conjunto de filtração em plástico polipropileno, marca Sartorius e bomba de vácuo FANEM, modelo CAL-DS 3600.

O material retido no filtro era extraído à quente com metanol 100% e centrifugado a 2.500 rpm. A concentração de clorofila do sobrenadante era lida em espectrofotômetro, nos comprimentos de onda 665 nm e 750 nm. Neste último comprimento de onda eram lidos os interferentes e subtraídos da leitura feita a 665 nm.

Nesta e em todas as análises colorimétricas/espectrofotométricas foi utilizado um espectrofotômetro HACH, modelo DR /2.000. Para as determinações colorimétricas, foram elaboradas curvas de calibração com padrões de concentrações adequadas às amostras. As curvas de calibração foram obtidas mediante o emprego de programa computacional Microsoft EXCEL versão 7.0, utilizando a técnica de regressão linear.

Para calcular a concentração de clorofila "a", aplicou-se a equação abaixo (JONES, 1979):

$$Cl \text{ "a"} (\mu\text{g/L}) = [(Absorb.665 - Absorb.750) * 13 * VE]/VF,$$

onde:

Absorb. 665= Absorbância lida a 665 nm

Absorb 750 = Absorbância lida a 750 nm

13 = Coeficiente de extração da clorofila "a", em metanol (inverso do coeficiente de absorção específica).

VE = Volume do solvente extrator utilizado (mL)

VF = volume da amostra, filtrado (L).

### 3.4.3 - Variáveis Físico-Químicas

#### 3.4.3.1 - pH

Foram efetuadas medições diretamente no corpo aquático, utilizando-se um medidor de campo de fabricação DIGIMED, modelo DMPH-PV, com precisão de  $\pm 0,01$ , calibrado previamente com soluções padronizadas de pH=4,0, 7,0 e 9,0.

#### 3.4.3.2 - Temperatura (T)

Foram feitas determinações das temperaturas do ar e da massa de água na profundidade de coleta, através de um termômetro digital, marca CORNING, modelo TMP-50, com faixa de leitura de  $-4^{\circ}$  a  $55^{\circ}$  C e precisão de  $1^{\circ}$  C.

#### 3.4.3.3 - Turbidez (Tur)

Utilizou-se o método da absorbância, empregando-se um espectrofotômetro digital, de fabricação HACH, modelo DR/2.000, calibrado com soluções-padrão de formazina de 1, 10 e 40 uT e a leitura feita em um comprimento de onda de 450 nm.

#### 3.4.3.4 - Oxigênio Dissolvido (OD)

As determinações de OD foram feitas segundo o método titulométrico de Winkler, modificação da Azida Sódica. As amostras eram coletadas em frascos de DBO e o oxigênio fixado com sulfato manganoso e iodeto alcalino de azida, sendo em seguida transportadas para o laboratório para executar a titulação com tiosulfato de sódio 0,012 N, na presença do indicador de amido.

Foram calculadas as concentrações de saturação do oxigênio dissolvido para cada amostra, em função da altitude e da temperatura, através da seguinte expressão (APHA *et al.*, 1995):

$$OD\ sat = \left\{ (14,62 - 0,3898 * T + 0,006969 * T^2 - 0,00005897 * T^3) * [1 - (0,0000228675 * A)^{5,167}] \right\}^{\frac{1}{2}}$$

onde:

T= Temperatura da água ( $^{\circ}$ C)

A= Pressão atmosférica ou altitude do ponto, em relação ao nível do mar (m).

A porcentagem de saturação do oxigênio dissolvido na amostra era calculada dividindo-se a concentração de OD medida pela concentração de saturação calculada.

#### 3.4.3.5 - Condutividade Elétrica (CE)

Este parâmetro foi determinado em laboratório mediante o emprego de um condutivímetro de bancada, de fabricação HACH, modelo 16.300, devidamente calibrado com solução padrão de cloreto de potássio.

#### 3.4.3.6 - Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO<sub>5</sub>)

Foi determinada utilizando-se o método dos frascos padrões, com incubação a 20°C, durante 5 dias na ausência de luz, com e sem inóculo. O método consiste na medição do oxigênio dissolvido antes e após o período de incubação, isto é, baseia-se no consumo de oxigênio pelos microorganismos aeróbios para a oxidação da matéria orgânica contida na amostra. A semeadura da amostra era feita mediante a diluição de um volume do sobrenadante de esgoto fresco decantado durante uma hora, em proporção tal que a depleção máxima da amostra de controle da semente fosse inferior a 1,0 mg O<sub>2</sub>/L. Empregaram-se inoculações que variaram de 3 a 7 mL de semente /L de água de diluição.

Utilizou-se uma incubadora de DBO<sub>5</sub> controlada por termostato, calibrada a 20°C, de fabricação FANEM, modelo 347 F. O cálculo da DBO<sub>5</sub> era feito mediante as equações; conforme a amostra era simples ou semeada (APHA *et al.*, 1995):

$$DBO_5 (mg/L) = (OD_1 - OD_5) * V_f/V_a, \text{ ou:}$$

$$DBO_5 (mg/L) = (OD_1 - OD_5) - (B_1 - B_5) * V_f/V_a$$

onde:

OD<sub>1</sub> = Oxigênio Dissolvido inicial da amostra, antes da incubação (mg/L)

OD<sub>5</sub> = Oxigênio Dissolvido final da amostra, após 5 dias de incubação (mg/L)

B<sub>1</sub> = OD inicial, da amostra-controle da semente, (mg/L)

B<sub>5</sub> = OD final, da amostra-controle da semente, (mg/L)

V<sub>f</sub> = Volume do frasco de DBO (mL)

V<sub>a</sub> = Volume da amostra (mL).

#### 3.4.3.7 - Nitrogênio Amoniacal (NH<sub>3</sub>)

Utilizou-se o método macro-Kjedhal, com destilação preliminar e titulometria com ácido sulfúrico 0,02N, utilizando-se um aparelho de marca QUIMIS.

#### 3.4.3.8 - Nitrogênio Orgânico ( $N_{org}$ )

Da mesma forma que para a amônia, o nitrogênio orgânico foi quantificado através do ensaio macro-Kjedhal, utilizando-se a amostra já destilada. Esta era submetida à digestão em meio ácido e em seguida era feita a destilação final, para recolhimento da amônia convertida, a qual era determinada por titulação com ácido sulfúrico 0,02 N.

#### 3.4.3.9 - Nitrato ( $NO_3$ )

O método empregado foi o colorimétrico do salicilato de sódio, segundo RODIER (1981). A concentração deste ion era medida em amostras previamente filtradas em membranas de porosidade de  $0,45\mu m$ , utilizando-se curva de calibração instalada no espectrofotômetro digital, a um comprimento de onda de 415 nm.

#### 3.4.3.10 - Nitrito ( $NO_2$ )

O teor de nitrito foi determinado utilizando-se o método colorimétrico da diazotação (HACH, 1986), com reagente fornecido pelo fabricante e leituras feitas no espectrofotômetro a 507 nm.

#### 3.4.3.11 - Ortofosfato Solúvel (OF)

A técnica empregada foi a do método colorimétrico do cloreto estanhoso, com amostras filtradas nas membranas de  $0,45\mu m$ , para separar as formas de fósforo dissolvido da suspensão. A concentração era lida no espectrofotômetro digital, DR/ 2.000, a 690 nm.

#### 3.4.3.12 - Fósforo Total (PT)

Foi empregado o mesmo método do ortofosfato, utilizando-se amostras brutas, pré-digeridas em meio ácido (ácidos sulfúrico e nítrico) em chapa aquecedora. Em seguida era feita a colorimetria empregando o cloreto estanhoso como agente complexante.

#### 3.4.3.13 - Sólidos Totais e Frações (ST)

Consideram-se sólidos totais os resíduos da evaporação e secagem de uma amostra líquida, à temperatura constante de  $103-105^{\circ}C$ , incluindo os sólidos suspensos e os dissolvidos. Podem ainda ser decompostos nas frações fixas e voláteis, obtidas pela calcinação a  $500 \pm 50^{\circ}C$ , durante 20 minutos.

O método adotado foi o gravimétrico, que consiste nas pesagens do recipiente vazio e com o resíduo da evaporação ( $103^{\circ}-105^{\circ}C$ , 1 hora) e no cálculo da diferença de peso, sendo expresso em mg/L. Os pesos foram determinados mediante o emprego de uma balança analítica analógica com precisão de 0,1 mg, de fabricação BOSCH, modelo S 2.000.

#### **3.4.3.14 - Transparência (Tra)**

A transparência ou profundidade de Secchi pode ser conceituada como a medida visual da profundidade de penetração dos raios solares na massa de água (VON SPERLING, 1997). Foi medida através da utilização de um disco em PVC pintado de preto e branco, com 30 cm de diâmetro (disco de Secchi), preso a uma corda, observando-se a profundidade de desaparecimento do disco na água.

#### **3.4.3.15 - Demanda Química de Oxigênio (DQO)**

A DQO é usada como uma medida do equivalente em oxigênio do conteúdo de matéria orgânica em uma amostra, passível de ser oxidada por um oxidante químico forte. O método aplicado na determinação deste parâmetro foi o da digestão em refluxo fechado a 150°C de amostras homogeneizadas em liquidificador durante 2 minutos, seguida de titulação com sulfato ferroso amoniacal, na presença do indicador ferroína.

O aparato de digestão consistia de um reator de DQO, de fabricação HACH.

#### **3.4.3.16 - Cor**

Foram feitas medidas de cor aparente, com o emprego de espectrofotômetro HACH, segundo o método da platina-cobalto, com comprimento de onda de 455 nm. O aparelho era calibrado com solução padrão de cloroplatinato de cobalto de 260 uH de cor.

#### **3.4.3.17 - Alcalinidade (Alc)**

O método escolhido foi o titulométrico com ácido sulfúrico 0,02 N, determinando-se os pontos de inflexão da fenolftaleína (pH=8.3, alcalinidade a hidróxidos) e laranja de metila (pH = 4.3, alcalinidade a carbonatos e bicarbonatos)

#### **3.4.3.18 - Cloretos (Cl<sup>-</sup>)**

Foi usado o método da titulação com nitrato de prata 0,0141 N o qual baseia-se no princípio de que numa solução neutra ou levemente alcalina, o cromato de potássio pode indicar o ponto final da titulação dos cloretos presentes, utilizando-se como titulante o nitrato de prata. O cloreto de prata formado é precipitado quantitativamente, depois que o cromato de prata (vermelho) é formado

#### **3.4.3.19 - Dureza (Dur)**

A dureza total é expressa como a concentração total de cálcio e magnésio, em termos de carbonato de cálcio. Foi determinada pelo método titulométrico com solução padronizada de EDTA 0,01 N, com o indicador Negro de Eriocromo T.

### 3.4.3.20 - Acidez (Aci)

Utilizou-se o método titulométrico com hidróxido de sódio 0,02 N, na presença do indicador fenolftaleína, até o aparecimento de uma cor rósea clara.

### 3.4.3.21 - Cálcio (Ca) e Magnésio (Mg)

Foi utilizado o método titulométrico do EDTA tendo como indicador a murexida (purpurato de amônia) que reage apenas com o cálcio, mudando a coloração de rosa para púrpura, no ponto final da titulação, quando todo o cálcio presente foi complexado pelo EDTA a um pH de 12-13. O magnésio pode ser estimado pelo cálculo da diferença entre a dureza e o teor de cálcio, expresso em termos de  $\text{CaCO}_3$ .

### 3.4.3.22 - Sódio (Na) e Potássio (K)

Os teores de sódio e potássio foram determinados pelo método da fotometria de emissão de chama, a comprimentos de onda de 589 nm e 766,5 nm, respectivamente. O fotômetro de chama utilizado era de marca MICRONAL, modelo B260, o qual era calibrado com padrões e construída uma curva de calibração, através de regressão linear com as leituras efetuadas no equipamento.

## 3.5 - Análise estatística de dados

Para cada ponto de coleta das três lagoas foram determinados os principais parâmetros da estatística descritiva, entre os quais as médias aritmética e geométrica como estimativa da tendência central, o intervalo máximo e mínimo para indicar a dispersão ocorrida, a mediana como o valor central do conjunto de dados e o número de dados amostrais obtidos durante os treze meses de pesquisa. Utilizou-se a média geométrica para as bactérias indicadoras de contaminação fecal devido o crescimento geométrico destes microrganismos, além de ser um número menos influenciado pelos valores extremos de uma série. Para evidenciar as relações existentes entre as 31 variáveis estudadas, foi utilizada a análise de regressão linear do utilitário SPSS for Windows versão 6.0 (NORUSIS, 1992), através do teste de correlação bilateral de Pearson, com níveis de significância de 1% e 5%.

## 4.0 – APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

### 4.1 - Dados pluviométricos e de temperatura do ar

Na Figura 4.1 (a, b e c), são apresentados os valores da precipitação pluviométrica mensal observados no período de dezembro/96 a dezembro/97 e os valores médios climáticos para um ciclo de 74 anos (1911 a 1985), nas áreas das lagoas de Bonfim, Extremóz e Jiqui. As medições foram feitas em postos pluviométricos situados em São José do Mipibú, Ceará-Mirim e Natal (médias climáticas) e em Nísia Floresta, Ceará-Mirim (Jacumã) e Parnamirim (valores mensais). Os postos pluviométricos que forneceram os dados são diferentes devido os primeiros (usados nas médias climáticas), administrados pela SUDENE, terem sido desativados e substituídos pelos últimos, operados pela Empresa de Pesquisa Agropecuária do Rio Grande do Norte- EMPARN. Observa-se que no posto de Nísia Floresta, em dezembro/97 a precipitação foi de 112 mm, superando o valor médio climático de 34 mm na área da lagoa de Bonfim. Entretanto, o período chuvoso ficou bem caracterizado entre março e julho/97, ocorrendo máximos em maio. Os gráficos mostram que, embora os níveis de precipitação tenham sido diferentes nos três ecossistemas, a distribuição temporal das épocas secas e de chuvas foi muito uniforme e compreendeu os meses de março a julho/97 (5 meses) para o inverno e de dezembro/96, janeiro, fevereiro, agosto, setembro, outubro, novembro e dezembro/97 (8 meses) para o verão.

As temperaturas médias do, ar medidas no horário das coletas (9:00- 11:00 h) foram homogêneas para as três lagoas, porém apresentaram um crescimento de Bonfim até Jiqui, pois enquanto a primeira teve uma média de 29 °C, Extremóz apresentou 29,3 °C e Jiqui, 29,6 °C. Esta última apresentou as maiores amplitudes (máxima de 34 °C em dezembro/96 e mínima de 26 °C em agosto/96). As menores temperaturas ambiente observadas ocorreram em Bonfim e Extremóz (25°C), em agosto/97.

## 4.2 - Lagoa de Bonfim

Na Tabela 4.1 são apresentados os valores médios, máximos, mínimos e medianos dos parâmetros físico-químicos, biológicos e bacteriológicos, medidos nos pontos de coleta B1, B2 e B3.

O pH apresentou-se bastante uniforme para os três locais de amostragem, variando de uma faixa levemente ácida (5,7) a levemente básica (7,3). Estes valores de pH são típicos de corpos aquáticos naturais nos quais não ocorre lançamentos de efluentes industriais (ESTEVES, 1988). CEBALLOS (1995), entretanto, encontrou valores em torno de 7,0 e superiores, em corpos aquáticos sem poluição orgânica pontual aparente (Açude Boqueirão- PB) e também em outros que recebiam escoamentos superficiais contaminados com esgotos (Açude de Bodocongó e Açude Velho- PB), enquanto que em Bonfim ocorre o contrário, ou seja, praticamente toda a alimentação da lagoa se dá através do aquífero subterrâneo, em área que ainda se mantém relativamente preservada. Por outro lado, os valores próximos do neutro ocorreram apenas em poucas ocasiões, sempre nas coletas entre as 9:00 e 11:00 h. A ausência de valores maiores expressa baixa intensidade fotossintética a qual se corresponde com os baixos valores de clorofila "a".

Os valores da temperatura da água apresentaram amplitude de 5°C, com mínimos de 26°C e máximos de 31°C. São valores típicos de ambientes aquáticos tropicais (TUNDISI, 1995; CALIJURI, 1988). Ambientes aquáticos submetidos a temperaturas relativamente elevadas estimulam o metabolismo dos microrganismos, favorecendo seu crescimento e reprodução (ESTEVES, 1988). POVINELLI *et al.* (1989) destacam que um aumento de 10 °C resulta na duplicação da velocidade das reações biológicas. Em altas temperaturas a taxa de reações pode exceder a capacidade do sistema em permanecer aeróbio. Baixas temperaturas, por outro lado, resultam em baixo metabolismo bacteriano, com conseqüente queda na remoção da matéria orgânica.

A condutividade elétrica expressa a capacidade de um meio de transmitir a corrente elétrica, em conseqüência, quando medida na água, é uma forma indireta de indicar a concentração de sais dissolvidos. Através deste parâmetro pode-se avaliar o teor de sólidos totais dissolvidos, pois de maneira geral a relação condutividade elétrica/ sólidos totais dissolvidos é de 1,5:1,0 (APHA *et al.*, 1995).

Na lagoa de Bonfim, a condutividade elétrica máxima ocorreu em B3 (230  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) e a mínima, em B1 (190  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ), porém, os valores mostraram-se bastante uniformes. Podem ser associados com os teores de cloretos ocorrendo o máximo em B3/ B2 (67/ 70  $\text{mg}/\text{L}$ ) e o mínimo, em B1 (37  $\text{mg}/\text{L}$ ). Aplicando-se a relação proposta por APHA *et al.* (1995), encontra-se um máximo de 47  $\text{mg}/\text{L}$  e mínimo de 25  $\text{mg}/\text{L}$  para os sólidos totais dissolvidos.

O oxigênio dissolvido esteve sempre em teores próximos à concentração de saturação, para a temperatura da água. Valores mínimos foram observados em B1 e B2 (6,5  $\text{mg}/\text{L}$ , correspondente a 83% da saturação) enquanto que o máximo ocorreu em B2 (8,3  $\text{mg}/\text{L}$ , equivalente a 106% da concentração de saturação). Estas concentrações evidenciam boa oxigenação assim como refletem escassa poluição orgânica, visto que esta consome oxigênio dissolvido no processo de biodegradação aeróbica. A ação dos ventos pode ser um dos fatores de oxigenação que determinou as maiores concentrações de oxigênio dissolvido, devido a maior área de lâmina d'água entre as três lagoas (9,0  $\text{km}^2$ ). Estas considerações se complementam com os resultados de  $\text{DBO}_5$  e DQO que foram bastante baixos, evidenciando a escassa matéria orgânica deste corpo aquático nas amostras de superfície.

As concentrações de  $\text{DBO}_5$  e de DQO foram espacialmente uniformes: ambas apresentaram valores mínimos em B2 e B3 (0,3 e 16  $\text{mgO}_2/\text{L}$ , respectivamente) e máximos em B1 (3,5 e 102  $\text{mgO}_2/\text{L}$ , respectivamente). A relação  $\text{DQO}/\text{DBO}_5$  para os valores mínimos e máximos foi de 53,3 e 29,1, respectivamente, indicando uma predominância de elementos recalcitrantes sobre a matéria biodegradável. OLIVEIRA (1994), encontrou uma expressiva variação entre os valores máximo e mínimo de DQO (104 a 2,7  $\text{mg}/\text{L}$ ) em pontos do rio Pitimbú - RN (afluente da lagoa de Jiqui). A DQO encontrada pode ser resultado da presença de fertilizantes ou agrotóxicos utilizados nas culturas próximas às margens da lagoa.

As medidas de cor, turbidez e transparência mostraram tendências inversamente proporcionais, pois em B2 ocorreram os valores mínimos de cor e turbidez (0 uH e 0 uT) e os máximos de transparência (8,7 m), enquanto que em B1 e B3 foram observados os máximos de cor e turbidez (12 uH e 3,0 uT) e os mínimos de transparência (5,3 m). De fato, esta relação era esperada visto que a turbidez expressa a concentração de sólidos suspensos, os quais diminuem a transparência da água. As mesmas considerações valem

para a cor. BRANCO (1991), ressalta que os parâmetros físicos que influenciam as condições ecológicas de um corpo aquático e relacionados com a luz, são a cor e a turbidez. As substâncias causadoras da cor normalmente encontram-se na forma coloidal ou em dissolução, ao passo que a turbidez é originada por partículas insolúveis que se mantêm em suspensão na massa líquida. Esta última tem uma estreita relação com o teor de oxigênio dissolvido pois os sólidos em suspensão dificultam a penetração da radiação solar que provoca uma diminuição da atividade fotossintética. Segundo BRAGA (1989), diversas substâncias presentes na água são capazes de causar alteração em suas propriedades óticas, dentre elas: o fitoplâncton vivo, os detritos biogênicos associados, as partículas terraginosas e sedimentos suspensos e a matéria orgânica dissolvida.

Von SPERLING (1997a) comenta que as águas tropicais brasileiras apresentam valores baixos de transparência, particularmente os ambientes aquáticos lênticos, onde esta atinge valores na faixa de 0,2 a 2,0 m e que geralmente são superiores aos ambientes lóticos. Ressalta também que transparências superiores a 2,0 m raramente são encontradas no Brasil e mesmo assim nos períodos de estiagem em bacias hidrográficas de solos pouco erosíveis. Conclui afirmando que a transparência não constitui um indicador adequado da produtividade de ambientes aquáticos tropicais, pois nesses sistemas o metabolismo dos organismos é muito mais acelerado, conduzindo a uma decomposição mais intensa de matéria orgânica como também pela complexa relação entre concentração de nutrientes e o crescimento de biomassa. Como consequência, ambientes aparentemente eutróficos (pela concentração de nutrientes) podem apresentar elevada transparência, enquanto corpos aquáticos oligotróficos podem exibir baixas transparências, resultantes de processos erosivos na bacia de drenagem.

Os teores de sólidos totais, totais fixos e totais voláteis foram máximos em B1 e B3 (240, 152 e 159 mg/L, respectivamente) e os mínimos, em B1 (ST=72 mg/L), B2 (STF=14 mg/L) e B3 (STV= 0,0 mg/L). É interessante observar que os valores máximos evidenciam concentrações semelhantes de material orgânico (STV) e de inorgânico (STF), enquanto nos valores mínimos, os sólidos voláteis estiveram ausentes ou em valores tão baixos que não foram detectados pela técnica utilizada.

O fósforo total e o ortofosfato solúvel mostraram variações entre os pontos de coleta: em B3 ocorreu a máxima concentração de fósforo total, de 287 µg/L e em B2, de ortofosfato, de 64 µg/L. Os valores mínimos, ocorreram em B3 (0,0 µg/L), para ambos

parâmetros. Embora estes valores sejam os mais baixos em relação aos outros dois corpos aquáticos estudados, mostram-se elevados ao compará-los com os valores limites típicos de corpos aquáticos oligotróficos. Segundo VOLLENWEIDER (1981) *apud* ESTEVES (1986) o limite para este nível trófico é de 10 µg/L de fósforo total. Esta concentração também é considerada como a máxima aceitável para ambientes oligotróficos, por DOBSON (1981) e a OECD (TUNDISI *et al.*, 1988).

Segundo SALAS & MARTINO (1990), o conceito de nutriente limitante baseia-se na hipótese de que, dada uma determinada taxa de metabolização de plantas aquáticas, o nutriente que controlará a quantidade máxima de biomassa vegetal é aquele que se esgota em primeiro lugar ou que atinge um valor mínimo antes dos outros elementos envolvidos no processo. A relação nitrogênio/ fósforo proposta por VOLLENWEIDER (1981) para o fitoplâncton é 9:1. Desta forma, os lagos ou bacias com relação de nitrogênio e fósforo superiores a 9 são considerados como potencialmente limitados por fósforo, enquanto aqueles cuja relação é inferior a 9, são limitados por nitrogênio. Em Bonfim a relação média entre estes macronutrientes foi de 6,5 e variou de um mínimo de 1,5 a um máximo de 8,4, caracterizando o nitrogênio como elemento limitante da atividade biológica nesta lagoa.

Apenas CARLSON (1977) e KRATZER & BREZONIC (1981) *apud* VOLLENWEIDER (1981) consideram valores de até 40 µg/L como limitantes para fósforo total para a condição de lago oligotrófico. Estes valores maiores são interessantes visto que vários autores, entre eles SALAS & MARTINO (1990) concluíram que ambientes tropicais suportam maiores cargas de fósforo devido à rápida reciclagem de nutrientes, motivada principalmente pelas altas temperaturas. Com efeito, nestes ecossistemas ocorre uma maior produção primária e uma maior concentração de clorofila "a", comparativamente às regiões temperadas, sem que isso signifique necessariamente um estado de eutrofização. Deve-se, portanto avaliar outros fatores, condições e medidas indicadoras envolvidos no processo. Para todos os autores consultados, os valores de fósforo total na lagoa de Bonfim, classificam-na como eutrófica.

Nas águas superficiais e subterrâneas as concentrações de nitratos naturais chegam a valores mínimos. Entretanto, em águas subterrâneas, por diversas vezes tem-se observado um aumento de sua concentração, atingindo a ordem de 100 mg/L, devido a intensificação

de práticas agrícolas. Em alguns países, até 10% de sua população pode estar exposta a concentrações de nitrato superiores a 50 mg/L, na água distribuída (OMS, 1995).

A amônia constitui o último produto da decomposição dos compostos orgânicos de nitrogênio. É um gás solúvel em água e encontrado na maioria das águas naturais. Em países de clima temperado, verifica-se a elevação de sua concentração, causada pela diminuição da produção primária e o acúmulo de compostos da decomposição biológica.

A espécie não ionizada ( $\text{NH}_3$ ) é denominada de amônia, enquanto que na forma iônica ( $\text{NH}_4^+$ ) conhece-se por amônio. A amônia existente no meio ambiente é proveniente de processos metabólicos e das atividades agrícolas industriais. As concentrações naturalmente existentes em águas subterrâneas e superficiais se situam geralmente abaixo de 200  $\mu\text{g/L}$ , porém, atividades de pecuária podem elevar este teor para acima de 3 mg/L (OMS, 1995; SAWYER *et al.*, 1994).

Em relação à série nitrogenada, o ponto B3 apresentou os valores máximos de nitrogênio total ( 1.452  $\mu\text{g/L}$ ) e de nitrato (1.100  $\mu\text{g/L}$ ) enquanto o nitrogênio amoniacal foi praticamente uniforme nos três pontos de coleta e igual a 136  $\mu\text{g/L}$ . Ao comparar os valores médios da série nitrogenada com os valores pesquisados pelos autores supra mencionados, destaca-se que estes foram relativamente baixos, enquadrando o corpo aquático como oligotrófico (até 300  $\mu\text{g/L}$  de nitrogênio amoniacal e até 1.000  $\mu\text{g/L}$  de nitrato). Estes valores refletem as escassas descargas antropogênicas da bacia de drenagem. O valor observado de 1,0 mg/L de nitrato para águas superficiais poderia ser considerado atípico se a lagoa de Bonfim apenas recebesse contribuições do escoamento superficial o que não é o caso, dado que uma parcela significativa de sua alimentação provém do aquífero subterrâneo. Os baixos teores de nitritos (2 a 4  $\mu\text{g/L}$ ) poderiam ser consequência da oxigenação elevada da água, que provoca sua oxidação.

A alcalinidade e a dureza foram baixas, expressando baixas concentrações de bicarbonatos e carbonatos, assim como dos principais cátions responsáveis pela formação dos sais de cálcio e magnésio. Efetivamente, as análises quantitativas de cálcio, magnésio, sódio, potássio e cloretos, confirmaram os baixos teores destes íons, que já eram previsíveis pela baixa condutividade elétrica (Tabela 4.1).

As condições sanitárias da lagoa de Bonfim podem ser consideradas como excelentes, visto que todas as amostras apresentaram coliformes totais inferiores a 1.000 NMP/100mL, coliformes fecais menores que 100 NMP/100 mL e BHM menor ou igual a

150 UFC/mL. A OMS (1989) recomenda para irrigação irrestrita menos de 1.000 coliformes fecais/100 mL. Segundo a Portaria n° 20/86 (CONAMA, 1986), os valores de colimetria encontrados classificam esta lagoa como pertencente à classe 1, ou seja, águas destinadas ao abastecimento doméstico após simples desinfecção, à proteção das comunidades aquáticas, à recreação de contato primário (natação, esqui, mergulho), à irrigação de hortaliças e frutas que se desenvolvem rentes ao solo e que serão consumidas cruas e à aquicultura para alimentação humana. Os valores de BHM são inferiores aos recomendados para a água potável (< 500 UFC/mL) pela Portaria n.º 36/90 (MS, 1990).

CERQUEIRA (1997) destaca que os coliformes fecais têm sido parâmetros de avaliação do comprometimento da água à poluição por fezes humanas e animais, sendo utilizados como critério de risco da água à saúde humana. Ressalta ainda que o termo termotolerante é mais adequado para esse subgrupo que reúne, principalmente, espécies dos gêneros *Escherichia* e *Klebsiella*. Conclui que um resultado de análise de coliformes fecais/termotolerantes tanto pode estar indicando comprometimento fecal da água como apenas a ocorrência de microrganismos ambientais. A OMS (1993) ressalta que “as fontes de água de áreas rurais dos países tropicais apresentam ocorrências e condições de proliferação de várias espécies de coliformes”. Entretanto, não se justifica um maior rigor para a seleção dos meios e métodos que definem o grupo de coliformes, uma vez que um tratamento adequado da água deve remover qualquer bactéria que possa se desenvolver nos meios de cultura básicos dirigidos a esse grupo. Portanto, o indicador utilizado não precisa ser, necessariamente, um bom indicador de poluição fecal, mas deve apresentar resistência similar ou superior a quaisquer microrganismos patogênicos de veiculação hídrica.

As Figuras 4.2 a 4.5, mostram a distribuição temporal dos valores médios para os três pontos na lagoa de Bonfim para os parâmetros físico-químicos e microbiológicos.

A Figura 4.2 (a) evidencia escassas modificações da transparência, exceto um decréscimo em outubro e novembro/97, com leve aumento em dezembro/97. Pode-se associar essa diminuição com o período seco e as condições de baixa turbulência da lagoa, que favorece uma maior sedimentação dos sólidos suspensos e com isso uma maior transparência da água.

As medidas de turbidez apresentaram fortes flutuações. Destaca-se um valor médio muito baixo no mês de março/97, coincidindo com o menor valor de cor, indicando uma

relação direta desses parâmetros, entretanto, nos meses subsequentes, esta relação não foi observada.

Observa-se na Figura 4.2 (b) grande estabilidade da temperatura da água, resultado do comportamento homogêneo da temperatura ambiente ao longo do ano na região e do horário de realização das coletas (9:00-11:00 h). De forma semelhante, a condutividade elétrica foi quase constante e esse comportamento se relaciona com os escassos impactos da bacia, e à natureza geológica dos terrenos, que não favorecem a salinização. Valores altos de condutividade elétrica foram observados por SOUZA & MOTA (1994), CEBALLOS *et al.* (1977) e WRIGHT (1981) em vários açudes nordestinos, localizados em áreas onde predominam terrenos cristalinos pré-cambrianos. A evaporação excessiva concentra os sais dissolvidos na água e a combinação dos dois fenômenos intensifica o processo de salinização. Na lagoa de Bonfim, a água é de origem predominantemente subterrânea, oriunda do aquífero do grupo Barreiras e não se verifica a ocorrência de erosão exagerada das camadas rochosas como no semi-árido do Nordeste.

A Figura 4.2 (c) apresenta o comportamento temporal médio de oxigênio dissolvido,  $DBO_5$  e DQO. As concentrações de oxigênio dissolvido mantiveram-se próximas da saturação, com máximo em B2 (8,3 mg/L ou 106 %  $OD_{sat}$ ) e mínimo de 6,5 mg/L (83%  $OD_{sat}$ ), em B1. MARSHALL & FALCONER (1973) sugerem como indicador de eutrofização em lagos tropicais a supersaturação de oxigênio dissolvido. Entretanto, estes valores de supersaturação associados à elevada transparência e aos baixos teores de clorofila "a", sugerem uma distribuição de algas ao longo da coluna de água da lagoa de Bonfim.

Exceto DQO, não houve fortes flutuações dos parâmetros, caracterizando-se pelas baixas concentrações de  $DBO_5$ . Esta apresentou um valor relativamente mais alto em março/97 ( $\approx 3,0$  mg/L), associado com o início das chuvas e o escoamento de materiais biodegradáveis da bacia de drenagem. Os picos de DQO ocorreram em fevereiro e julho/97 e não foi possível associá-los nem com  $DBO_5$  nem com sólidos totais fixos e voláteis.

A série nitrogenada (Figura 4.3 a) apresenta flutuações mais ou menos acentuadas, chamando a atenção para um pico em julho/97 (800  $\mu$ g/L de nitrato) e um outro em agosto/96 (1.200  $\mu$ g/L de nitrogênio total). Estes se relacionam graficamente apenas com aumentos de DQO e de cor, podendo estarem relacionados com o fato da baixa velocidade de escoamento da água no subsolo, fazendo com que haja um retardamento das alterações

provocadas pela ocorrência das fortes chuvas de abril e maio/97. A clorofila “a” teve flutuações significativas (Figura 4.3 b), com os maiores valores na época de chuva, provavelmente pela maior concentração de algas perto da superfície associada com uma pequena diminuição da intensidade da radiação luminosa nesta época.

Os sólidos totais se manifestaram ao longo dos 13 meses de estudo na faixa de 100 a 150 mg/l, com uma forte diminuição em novembro/97, que corresponde à fração volátil e que foi refletido na DBO<sub>5</sub>, na cor, turbidez e na transparência, pois todos estes parâmetros decresceram no mesmo mês. APHA *et al.* (1995) recomendam uma concentração máxima de sólidos dissolvidos de 500 mg/L para águas destinadas ao consumo humano. Ressaltam, entretanto, que as determinações das frações fixas e voláteis não distinguem precisamente a matéria inorgânica da orgânica, pois durante o ensaio ocorrem perdas devido a decomposição ou volatilização de sais minerais. Recomendam ainda que melhores avaliações são obtidas com as análises de carbono orgânico total, de DBO<sub>5</sub> e de DQO.

A Figura 4.4 (a) mostra aumento de sódio com o início das chuvas e forte decréscimo com a ausência destas. Entretanto potássio não teve o mesmo comportamento, e provavelmente não tem a mesma origem. Dos cátions Ca<sup>++</sup> e Mg<sup>++</sup>, o primeiro apresentou as maiores flutuações, com pico máximo em abril/97, embora as concentrações fossem muito baixas, não influenciando na dureza e alcalinidade como se observa na figura 4.4 (b) e (c). O magnésio teve comportamento mais homogêneo. Os cloretos também foram baixos, não conferindo sabor à água.

A acidez da água foi baixa, indicando baixa concentração de H<sup>+</sup>. Segundo APHA *et al.* (1995), a acidez pode estar associada com a presença, dentre outros compostos, de ácidos minerais fortes, ácidos fracos como ácido acético e carbônico e de sais hidrolizáveis como sulfatos de ferro e alumínio. O dióxido de carbono dissolvido é o componente de maior significado da acidez de águas naturais não poluídas.

A Figura 4.5 mostra bastante regularidade na concentração de coliformes totais e coliformes fecais, exceto no mês de dezembro/96. Essa maior contaminação pode ter sido causada pelos animais que se aproximam das margens da lagoa para beber água nessa época e um maior uso do corpo aquático para a balneabilidade. Os leves aumentos durante o período de chuvas se relacionam ao impacto do escoamento superficial. Ao longo de todo o período estudado chama a atenção os baixos valores destes indicadores, os quais confirmam os escassos usos/poluição desta bacia. São comuns os registros de aumento de

coliformes após as chuvas. CEBALLOS (1995) estudando o manancial de Boqueirão-PB, pouco impactado, observou valores mais elevados nesta época, assim como GELDREICH (1977) no lago Michigan-EUA e HENRY & LOPES (1978) na represa do rio Pardo-SP. Todavia, alguns trabalhos mostram que o efeito das chuvas nas águas lânticas da bacia de drenagem se manifestam até nos três dias posteriores à ocorrência da chuva (TAVARES *et al.*, 1998).

A classificação do estado trófico de um lago ou reservatório, envolve o estabelecimento de níveis ou limites, baseados no grau ou intensidade do processo da eutrofização e das suas conseqüências. Por outro lado, a produtividade de um corpo aquático pode ser definida como sua capacidade de propiciar e sustentar o desenvolvimento das diversas espécies de seres vivos. Para aplicação prática, esta característica do estado trófico precisar ser quantificada através de um conjunto de variáveis que exercem influências no processo de eutrofização.

A Tabela 4.2 e a Figura 4.6 apresentam os índices do estado trófico nesta lagoa, nos pontos B1, B2 e B3. Observa-se que a transparência classificou esta lagoa como oligotrófica ao longo de todo o período de amostragem, nos três pontos estudados. Já os valores de clorofila "a" a qualificaram como oligomesotrófica nos meses de dezembro/96, janeiro, fevereiro e março de 1997, enquanto que em abril, maio, junho e julho/97 as características foram predominantemente mesotróficas. Nos meses restantes, incluindo dezembro/97 e exceto novembro, retornaram as características oligotróficas. Considerando o parâmetro fósforo total, o IET apresentou as maiores variações: mesotrófica, eutrófica e hipereutrófica, segundo o ponto de amostragem e o mês de coleta, com prevalência de condições eutróficas. Variações do nível de trofia segundo o parâmetro analisado são típicas de corpos aquáticos tropicais onde há rápida assimilação de nutrientes pelos organismos vivos (fósforo, por exemplo). Dentre outros fatores que influenciam nesta variação, as mudanças de concentração de alguns parâmetros entre a época de estiagem (com elevada evaporação) e a de chuvas (quando as águas de escoamento superficial transportam para o corpo aquático materiais acumulados na bacia de drenagem).

A Tabela 4.3 e Figura 4.7 permitem uma comparação entre os índices de CARLSON e o modificado, durante o período da pesquisa. A análise mostra que, de um modo geral, o índice calculado pela metodologia modificada por TOLEDO JR. *et al.*,(1985) situam a lagoa em patamares de trofia inferiores ao índice tradicional,

principalmente no que se refere ao fósforo total e ortofosfato solúvel. Segundo o IET a lagoa é considerada como mesotrófica (dez meses) apesar de em três observações ter sido considerada como oligotrófica. O IET<sub>M</sub> definiu-a como oligomesotrófica, sendo a clorofila “a” e o ortofosfato as variáveis que mais influenciaram no resultado final.

MARTINS *et al.* (1999), pesquisaram as características físico-químicas, biológicas e o nível trófico de três açudes da bacia do rio Taperoá-PB (sertão paraibano) e definiram os açudes de Taperoá II e S. José dos Cordeiros entre eutróficos e hipereutróficos, considerando os teores de fósforo total (> 48 µg/L) e de clorofila “a” (6-20 µg/L) segundo o IET tradicional. O açude de Cachoeiras foi considerado como eutrófico pelas concentrações de fósforo (24-48 µg/L) e clorofila “a” (6,4-20 µg/L). O autores concluíram que existe uma forte tendência à eutrofização dos açudes estudados, sendo as cargas de fósforo as principais responsáveis.

A Tabela 4.4 mostra a variação temporal do IQA (aditivo e multiplicativo). Observa-se pouca variação entre os valores obtidos por ambos os métodos aditivo e multiplicativo (86 a 91), evidenciando a excelente qualidade da água deste manancial ao longo de todo ano, apesar das variações da qualidade ocorrida durante as chuvas em alguns pontos específicos, como se mostra nos valores dos sub-índices que compõem o IQA para cada parâmetro e por ponto de coleta (Figuras 4.8, 4.9 e 4.10). Observa-se que todos eles apresentaram um comportamento semelhante, com valores praticamente constantes, contudo, os coliformes fecais apresentaram variações acentuadas afetando o sub-índice, que teve um mínimo de 48 no ponto B1 (fevereiro/97) e um máximo de 90, em B2 em quase todo o período. De forma semelhante, porém com homogeneidade entre os três locais, verifica-se que o pH, a DBO<sub>5</sub> e os sólidos totais, geraram sub-índices variáveis nos meses de maio, março e abril. No entanto, os valores calculados para os índices finais indicam que tais variações foram absorvidas pelos outros parâmetros, que praticamente se mantiveram inalterados.

### 4.3 - Lagoa de Extremóz

A Tabela 4.5 mostra os resultados da estatística descritiva para os três pontos da lagoa de Extremóz. Observa-se que os valores médios de pH estiveram na faixa de 6,8- 7,8 com mínimos de 6,3 e máximos de 8,4. Estes valores são freqüentes em lagos da região

que recebem contribuições de águas superficiais, devido à geologia da bacia hidrográfica, que compreende solos calcáreos e areno-argilosos. Em Bonfim os valores de pH estiveram sempre inferiores a 7,3, típicos de águas subterrâneas. PEREIRA (1993), que investigou o índice de qualidade da água de Extremóz no período entre fev/92 a jan/93, mediu valores médios desta variável entre 7,4 a 8,3. ARAÚJO (1997), estudando a variação anual da comunidade fitoplanctônica neste corpo aquático encontrou valores de pH que variaram de 6,9 a 8,8, no período de jan/96 a jan/97.

A temperatura foi bastante elevada, com valores médios de 28 °C, para os três pontos, a exemplo da lagoa de Bonfim.

A condutividade elétrica, variando entre 303  $\mu\text{S}/\text{cm}$  e 446  $\mu\text{S}/\text{cm}$  apresentou valores duas vezes mais elevados que na lagoa de Bonfim, indicando maior concentração de íons nesta lagoa. Os dois rios afluentes da lagoa (Mudo e Guajirú) atravessam no seu trajeto, terrenos da região do cristalino, ricos em sais e cloretos. Efetivamente, as concentrações de Ca, Mg, Na, K e cloretos foram mais altas que em Bonfim, fato observado também para a alcalinidade e a dureza. ARAÚJO (1997), verificou uma variação entre 300 e 382  $\mu\text{S}/\text{cm}$  para a condutividade elétrica.

Analisando águas subterrâneas do Nordeste, CRUZ & MELO (1969) *apud* SOUZA & MOTA (1994) concluíram que os fatores determinantes da salinização são os seguintes: o clima, o modo de ocorrência do aquífero (livre ou confinado), as condições de circulação da água e a natureza do terreno. Segundo os autores o principal processo que controla a salinização pode ser considerado de origem climática, uma vez que as águas parecem adquirir a sua composição química a partir da concentração progressiva por evaporação.

Os estudos desenvolvidos por SANTIAGO (1984) nos reservatórios Pereira de Miranda e Caxitoré-CE, exploram o mecanismo da salinização e concluem que as águas subterrâneas da região semi-árida do Nordeste apresentam elevadas concentrações salinas, principalmente nas áreas de rochas cristalinas. As águas superficiais também apresentam uma tendência à salinização, especialmente no armazenamento em açudes. A autora concluiu ainda que, com a chegada das primeiras chuvas os corpos aquáticos recebem massas significativas de sais provenientes da erosão/lixiviação do solo. Se as primeiras precipitações são muito intensas, o aumento da massa de sais é rápida e a lixiviação pode ser completa, trazendo para a massa de água até 2,8 toneladas de cloretos por  $\text{km}^2$  de bacia.

Os valores médios (< 2 mg/L) encontrados para a DBO<sub>5</sub>, da mesma forma que PEREIRA (1993) e ARAÚJO (1997) determinaram para este corpo aquático, respectivamente 0,2-2,9 mg/L- e 0,5-2,8 mg/L, foram muito baixos, demonstrando pouca matéria orgânica biodegradável. A DQO também apresentou valores baixos, variando entre um máximo de 120 mg/L (E2) e um mínimo de 16 mg/L para os três locais amostrados. A Figura 4.11 (c) mostra um valor mais alto deste parâmetro em fevereiro, período em que ocorreram elevações significativas de nitrogênio e fósforo total.

As variações observadas para os parâmetros cor, turbidez e transparência, mostram homogeneidade espacial, porém evidenciam a influência da contribuição dos rios afluentes ao manancial, refletida na elevação dos valores médios, comparando-se com os da lagoa de Bonfim. Trata-se de uma água onde a cor tem predominância sobre a turbidez, devido, principalmente ao fitoplâncton e a matéria orgânica dissolvida. A transparência também é influenciada pelos sólidos dissolvidos, o que resultou na baixa capacidade de penetração da luz solar na massa líquida. A pequena variação temporal observada da transparência reflete a capacidade de absorção de choques hidráulicos da lagoa. Entre os meses de maio a julho/97, verifica-se uma acentuada diminuição da cor e uma correspondente elevação da transparência, fato que reforça a hipótese da origem biológica e orgânica do primeiro parâmetro.

Segundo HAKANSON (1981), a profundidade relativa ( $Z_R$ ) constitui um dos mais relevantes parâmetros secundários da morfologia de um lago ou represa. É conceituada como sendo a relação entre a profundidade máxima da lâmina líquida ( $Z_{MÁX.}$ ) e o diâmetro médio (que equivale ao diâmetro de um círculo com área  $A$  igual à do espelho d'água do lago), sendo expressa em unidades percentuais:

$$Z_R (\%) = \frac{88,6 * Z_{máx.}}{\sqrt{A}} * 100 .$$

Von SPERLING (1997b) comenta sobre a influência da morfologia de lagos e represas na qualidade de suas águas, afirmando que lagos rasos são mais suscetíveis a sofrerem processos de eutrofização, enquanto que os profundos podem apresentar dificuldades para a circulação vertical da massa líquida. As represas de formato dendrítico (irregular), normalmente apresentam uma região litorânea extensa, capaz de absorver uma parcela considerável de cargas poluentes. O autor constata que os 198 lagos e represas brasileiros por ele pesquisados no período de 1994 a 1996 apresentam uma média

aritmética de profundidade relativa igual a 0,65%, o mesmo acontecendo com as lagoas costeiras nordestinas (profundidades relativas inferiores a 0,3%) valores considerados baixos e indicativos de um elevado potencial para misturas completas da coluna de água (ambientes polimíticos). Este processo, se por um lado resulta em efeitos positivos para a oxigenação da massa líquida, por outro provoca uma ressuspensão de compostos reduzidos presentes no fundo e causar alterações na composição química e biológica do ambiente, principalmente naqueles que recebem lançamentos de águas residuárias. Lagos pequenos e profundos apresentam elevada profundidade relativa, ao passo que naqueles grandes e rasos, o valor do parâmetro é baixo. A lagoa de Extremóz apresentou um resultado de  $Z_R = 0,35\%$ , exatamente na faixa determinada por VON SPERLING (1997b), caracterizando-a como um lago polimítico.

Os sólidos totais variaram entre 464 e 132 mg/L. O balanço entre os sólidos totais fixos e voláteis mostra que houve concentrações levemente superiores de materiais voláteis sobre os fixos, o que indica uma possível relação entre estes parâmetros e o teor de matéria orgânica da água analisada. As maiores concentrações médias ocorreram no ponto E2, que recebe influência das contribuições do rio do Mudo. A Figura 4.12 mostra os valores médios para os três pontos, onde se confirma que ao longo do tempo houve diminuição de sólidos totais fixos e aumento de sólidos totais voláteis. Em particular a maior concentração de sólidos totais voláteis ocorreu nos meses mais secos (dezembro/96 e janeiro e de setembro a dezembro/97). Pode-se atribuir à precipitação pluviométrica e ao escoamento superficial a ela associado, os maiores valores de sólidos totais fixos nos meses de abril, maio e junho/97. Entretanto, os aumentos de sólidos totais voláteis não podem ser claramente associados com as flutuações de clorofila "a". Este parâmetro teve um comportamento anual marcante, aumentando nos períodos pós-chuva e nos meses mais quentes e permanecendo mais baixo nos meses chuvosos e de menor insolação. As concentrações médias oscilaram entre 17,6  $\mu\text{g/L}$  e 46,1  $\mu\text{g/L}$ , com os menores valores no ponto E1 e os maiores em E3, ponto que também apresentou as maiores concentrações médias de formas de fósforo (total e ortofosfato) e de nitrogênio (nitrato, amônia e nitrogênio orgânico).

Estes resultados destacam maior enriquecimento com nutrientes neste ponto, o qual pode significar maior impacto antropogênico, manifestado pelo uso e ocupação das faixas marginais que delimitam este trecho da lagoa, descrito na caracterização dos pontos de

amostragem, embora não tenha apresentado os valores máximos de DQO, que ocorreram em E2.

Os valores médios de fósforo total apresentaram uma pequena variação, de um mínimo de 87  $\mu\text{g/L}$  (E1), até 104  $\mu\text{g/L}$  (E3). Estas concentrações são bastante elevadas para o ambiente aquático, estando na faixa de eutrofia e hipereutrofia. Os valores de ortofosfato solúvel tiveram distribuição semelhante, entre um mínimo de 22  $\mu\text{g/L}$  (E2) e um máximo de 25  $\mu\text{g/L}$  (E3). DINIZ (1994), estudou 21 corpos aquáticos (barreiros, cacimbas, tanques e açudes) localizados em áreas rurais de municípios vizinhos à cidade de Campina Grande-PB e encontrou valores médios de ortofosfato solúvel nos períodos de seca e chuva que variaram entre 0,0 a 1.020  $\mu\text{g/L}$ , sugerindo que o aumento de fósforo pode estar associado ao aporte exógeno deste nutriente através do arraste da atmosfera pelas chuvas. Segundo ESTEVES (1988) a concentração média de fosfato na água de chuva pode variar de 10 a 680  $\text{mg/L}$ . Os valores médios de nitrogênio total, entre 229  $\mu\text{g/L}$  (E2) e 339  $\mu\text{g/L}$  (E3) podem ser considerados baixos em relação a outros mananciais da região Nordeste: FERNANDES (1997) investigando os aspectos sanitários e físico-químicos do açude São Salvador-PB, encontrou teores de nitrato numa faixa de 130 a 220  $\mu\text{g/L}$  na época de chuvas e 30 a 120  $\mu\text{g/L}$  para a estiagem. CEBALLOS *et al.* (1993) obtiveram valores no riacho Bodocongó-PB que variaram entre 410 e 1.333  $\mu\text{gNO}_3^-/\text{L}$ . ARAÚJO (1997) observou concentrações de nitrato e de amônia que foram crescentes ao longo do ano na lagoa de Extremóz: 9 e 69  $\mu\text{gNO}_3^-/\text{L}$  (maio e junho/97) e 8 e 31  $\mu\text{gNH}_3/\text{L}$  (maio e janeiro/97).

A Figura 4.12 (a) mostra que os pontos de máxima concentração dos compostos de nitrogênio concentram-se no mês de fevereiro/97, coincidindo com o pico da DQO, assim como com altos valores de fósforo total, embora o máximo tenha sido detectado em janeiro. É interessante observar (Figura 4.12 b) que as maiores concentrações de clorofila "a" ocorreram nos meses de março e abril/97 (40  $\mu\text{g/L}$ ), quando se iniciou a diminuição da concentração de nutrientes. Estes comportamentos sugerem que seu aumento nos primeiros meses do ano podem (e devem) ter estimulado o crescimento de algas, que ao metabolizá-las provocaram uma diminuição de suas concentrações na massa líquida e um aumento da biomassa fitoplanctônica. CLARK *et al.* (1977) consideram a floração de algas como um bom indicador de eutrofização e para lagos temperados calcularam que o fenômeno ocorre

com concentrações de NT > 0,8 mg/L e PT > 0,1 mg/L. Para lagos de clima temperado, CHAPRA & TARAPCHAK (1976) sugerem as seguintes faixas de clorofila "a" para a classificação trófica dos lagos:

- eutróficos..... > 5 - 10  $\mu\text{g Cl "a"}/\text{L}$
- mesotróficos..... 1 - 15  $\mu\text{g Cl "a"}/\text{L}$
- oligotróficos ..... < 1 - 4  $\mu\text{g Cl "a"}/\text{L}$ .

Verifica-se aqui a mesma sobreposição de valores da classificação baseada na DQO o que reforça a dificuldade de uma tipificação de um ecossistema aquático tendo por base apenas uma variável. De acordo com estes autores o lago seria classificado como eutrófico.

Por outro lado, esta explicação não se aplica para o fósforo total, que representa todo o fósforo disponível no ecossistema, inclusive a parcela representada pelo material celular dos organismos existentes. Poder-se-ia considerar que parte do fósforo foi diluída com a ocorrência de chuvas no período, assim como pode ter saído do sistema pelo aumento da velocidade de fluxo da água e a conseqüente diminuição do tempo de detenção hidráulica.

Outros critérios sugeridos como indicadores da eutrofização são, segundo a EPA (1972):

- avaliação da concentração de oxigênio dissolvido no hipolimnio ao longo dos anos (deveria diminuir gradativamente);
- elevação do teor de sólidos dissolvidos (N e P);
- elevação da concentração de sólidos suspensos (matéria orgânica);
- diminuição lenta e gradual da transparência;
- aumento da matéria orgânica e nutrientes na região bentônica.

O primeiro critério é apropriado para lagos temperados pois lagos tropicais apresentam acentuada estratificação térmica que ocorre durante todo o ano. Também devido às altas temperaturas as taxas de decomposição são maiores nos últimos e por isso as condições anaeróbias predominam na maioria dos lagos tropicais.

Segundo a elevação verificada para a condutividade elétrica, sólidos totais e sólidos totais fixos desta lagoa em relação à de Bonfim, os teores de sódio, potássio, cálcio e magnésio, também mostram valores situados na faixa de 149 a 79 mg Na/L, de 6,6 a 1,7

mg K/L, de 22,7 a 4,4 mg Ca/L e de 15,5 a 4,2 mg Mg/L, conforme dados da Tabela 4.5. A variação temporal destes elementos (Figuras 4.13 a e b) apresentou-se com poucas flutuações, à exceção dos meses de novembro e dezembro/97 para sódio e potássio, que experimentaram, respectivamente elevação e queda. Os íons Ca e Mg tiveram suaves modificações, interrompidas pela brusca diminuição verificada no mês de janeiro/97. Observa-se na Figura 4.13 (b e c) que esta diminuição corresponde aos menores valores de dureza (26 mg CaCO<sub>3</sub>/L). De acordo com SAWYER *et al.* (1994) este parâmetro classifica a água do manancial como branda com tendência a moderadamente dura (dureza entre 75 a 150 mg CaCO<sub>3</sub>/L). A alcalinidade e acidez comportaram-se de modo homogêneo no decorrer do estudo.

Os coliformes totais e fecais experimentaram variações significativas nos três pontos, embora com valores baixos (CT: mínimo de 108 NMP/100 mL em E2 e máximo de 194 NMP/100 mL em E3; CF: mínimo de 44 NMP/100 mL em E2 e máximo de 99 NMP/100 mL em E3) e inferiores a 1.000 NMP/100 mL de coliformes fecais, valor recomendado pela OMS (1989) para uso irrestrito de águas em geral. Segundo a resolução nº 20/86 (CONAMA), este corpo aquático se enquadraria na classe 1, que caracteriza aqueles de águas doces e destinadas ao abastecimento doméstico sem prévia ou com simples desinfecção e à preservação do equilíbrio natural das comunidades aquáticas.

A flutuação temporal de coliformes totais e fecais (Figura 4.17), mostrou as maiores concentrações em abril e as menores em outubro/97, não havendo uma clara associação com os períodos secos ou chuvosos. FERNANDES (1997) obteve em pontos centrais da represa São Salvador-PB valores mínimos de 1.300 UFC/100 mL no período de chuvas e máximos de 3.000 UFC/100 mL na época de estiagem. Observou que as maiores concentrações ocorreram durante o período chuvoso. O aporte de material fecal devido ao escoamento superficial e às atividades antrópicas desenvolvidas na bacia de drenagem é uma provável explicação para a diferença detectada.

A Tabela 4.6 apresenta os índices do estado trófico na lagoa de Extremóz por cada mês de estudo e por cada ponto de coleta, considerando as três variáveis usadas por CARLSON (1977): transparência, clorofila "a" e fósforo total. Independente da variável, ao longo de todos os meses predominaram as condições de eutrofia nos pontos E1 e E2 e de hipereutrofia no ponto E3. A condição de oligotrofia só foi observada no mês de fevereiro/97 em E2, para a clorofila "a". As características mesotróficas foram verificadas

em 8 ocasiões, nos meses de estiagem em fevereiro/97 e a partir de agosto até dezembro/97, para os três parâmetros. Os pontos E1 e E2 foram os que apresentaram maior frequência de condições mesotróficas, enquanto E3 apresentou esta classificação apenas uma vez. Nos meses de março, abril, maio e junho/97, prevaleceram condições eutróficas em todos os pontos. Visto que nestes meses ocorreram chuvas contínuas, essa queda de qualidade se associa com as maiores descargas de fósforo (da bacia de drenagem), e conseqüentemente, o aumento de fósforo e clorofila "a" na lagoa, devido ao crescimento da biomassa algal, estimulada pelo aporte exógeno de nutrientes. A transparência foi o parâmetro do IET que menos variações provocou neste índice. Estas flutuações são observadas nas Figuras 4.15 (a, b, c e d).

A comparação dos valores obtidos para os índices tróficos tradicional e modificado pode ser feita a partir da Tabela 4.7 e da Figura 4.16. Através desta, conclui-se que o IET classifica o corpo aquático como eutrófico com tendência para a hipereutrofia, enquanto o IET<sub>M</sub> define a lagoa como mesotrófica em oito ocasiões e como eutrófica em apenas três meses. Ambos os índices foram mais altos nos meses iniciais da pesquisa e decresceram e se mantiveram relativamente estáveis a partir de março.

Os índices de qualidade da água (aditivo e multiplicativo) apresentaram variações relativamente pequenas entre os pontos. O menor valor do IQA aditivo foi determinado em E1 (68), em maio/97 e o maior em E2 (85), em julho do mesmo ano (Tabela 4.8). O IQA multiplicativo teve comportamento semelhante, com o menor valor em E1 (63), em abril/97 e o máximo, de 85, em E2, no mês de setembro/97. Ambos classificam a água do manancial como de qualidade entre boa e ótima. Os estudos desenvolvidos por PEREIRA (1993) em dois pontos do manancial indicaram que o IQA aditivo classificou-a como ótima enquanto o multiplicativo considerou-a boa o que indica que sua qualidade sanitária manteve-se inalterada durante os quatro anos entre o presente estudo e o outro. SILVA (1998), avaliou a qualidade da lagoa de Jacuném-ES e verificou uma boa qualidade para a água do manancial com uma tendência de recuperação da qualidade desde o ponto de afluição dos córregos Jacuném e Veneer até a sua saída.

A Figura 4.17 evidencia as escassas flutuações destes dois índices assim como a semelhança de qualidade entre os locais pesquisados. As variações isoladas de um parâmetro não foram suficientes para refletirem-se no índice final. O IQA, que envolve mais parâmetros que o IET (nove para o primeiro e três para o segundo), apresenta

aparentemente menor sensibilidade que este último, quando a qualidade da água encontra-se em níveis mais altos, embora os dois indicadores tenham objetivos diferentes e os limites numéricos do IET sejam mais estreitos que os do IQA. Com efeito, o IQA tem como finalidade principal a classificação de um determinado corpo aquático no que diz respeito à qualidade sanitária e físico-química de uma água para consumo humano, enquanto o IET define a qualidade da água sob o ponto de vista ambiental, fornecendo um valor de referência para a preservação do ecossistema lêntico ou lótico.

A Figura 4.18, que apresenta as variações espaço-temporais dos sub-índices de qualidade ( $q_i$ ) por cada ponto, mostra que E1 teve as maiores flutuações em relação a oxigênio dissolvido, enquanto coliformes fecais foi bastante variável nos três locais amostrados; pH gerou índices muito homogêneos e  $DBO_5$  gerou valores de sub-índices com variações temporais suaves e semelhantes para os três pontos.

Na Figura 4.19, observa-se pouca variação para os sub-índices resultantes de nitrogênio total e de fósforo total, com os menores valores em janeiro/97 para ambos enquanto que para turbidez os menores índices foram em abril. Já os números gerados a partir dos teores de sólidos totais indicam que o ponto E2 sempre esteve com qualidade inferior aos outros locais, enquanto E1 apresentou uma melhor condição. Nos três pontos, verifica-se uma sensível queda de qualidade no mês de maio (aceitável), elevando-se em seguida para a condição predominante (boa) ao longo de todo o período.

#### 4.4 - Lagoa de Jiqui

Na Tabela 4.9 são apresentados os dados das 31 variáveis de qualidade examinadas durante a pesquisa. Os valores de pH foram sempre inferiores a 7, com mínimo de 5,1 (J1) e máximo de 6,4 (J3); a média entre os três pontos foi de 6,2, que corresponde ao menor resultado obtido nas três lagoas.

A temperatura da água se manteve na faixa de 27-31°C, muito próxima à dos outros mananciais, evidenciando-se a predominância de valores elevados, típicos das regiões tropicais e de grande significado para o corpo aquático, visto que determinam a velocidade de decomposição e metabolização da matéria orgânica, os quais, por sua vez, influenciam nos teores de oxigênio dissolvido, nitrogênio e fósforo e com isso, no nível de trofia do ecossistema. Os teores de oxigênio dissolvido variaram entre 3,3 mg/L (42% da saturação,

em J2, abril/97) e 7,4 mg/L (100% da concentração de saturação em J3, dezembro/96). Os valores médios (5,7 mg/L) ficaram próximos da concentração de saturação (73%) para a temperatura média da água, embora tenham sido os mais baixos das três lagoas estudadas. Estudos realizados em Zimbabwe (MARSCHAL & FALCONER, 1973), levaram a sugerir que valores de supersaturação de oxigênio dissolvido indicariam eutrofia, entretanto, a lagoa de menor nível trófico (Bonfim) foi a que apresentou os maiores teores de oxigênio dissolvido, indicando que não é correto a simples aplicação de um ou outro parâmetro isoladamente para a definição do estado trófico.

PEREIRA (1993) na pesquisa realizada neste manancial encontrou teores mínimos de 1,5 mg O<sub>2</sub>/L e máximos de 3,9 mg O<sub>2</sub>/L (50% da saturação), constatando que o teor mínimo de oxigênio dissolvido estava abaixo do limite estabelecido para corpos aquáticos de classe 2, segundo a resolução nº 20/86 do CONAMA.

De forma semelhante a das outras lagoas, a DBO<sub>5</sub> foi baixa (mínimo inferior a 2 e máximo de 3,0 mg/L), não indicando quantidades importantes de matéria orgânica biodegradável. Também em Jiqui a relação DQO/ DBO<sub>5</sub> foi superior a 1, evidenciando maiores quantidades de material inorgânico. A relação encontrada pode estar associada ao uso intensivo das margens da lagoa para a agricultura com utilização de defensivos agroquímicos. Outro fator a se considerar são as indústrias instaladas a montante, próximas ao rio Pitimbú, como também a presença na água de detergentes e sabões resultante das atividades de lavagens de roupas e banhos no rio, em trechos próximos às áreas urbanas.

OLIVEIRA (1994), estudando o rio Pitimbú e PEREIRA (1993) a lagoa de Jiqui, também encontraram baixas concentrações de matéria orgânica biodegradável aerobiamente: entre 0,4 a 5,9mg/L e 0,2 a 0,8 mg/L, respectivamente, números que estão abaixo do limite de confiança do método utilizado.

Apesar de não existirem limites ambientais a serem obedecidos quanto a DQO, alguns estudos sugerem um enquadramento qualitativo de corpos aquáticos baseados em valores desse parâmetro, dentre eles ARAÚJO *et al.* (1989), conforme se verifica abaixo:

- rio pouco ou não contaminado.....5 – 14 mg O<sub>2</sub>/L
- rio moderadamente contaminado.....3 – 70 mg O<sub>2</sub>/L
- rio poluído.....8 – 10 mg O<sub>2</sub>/L
- rio fortemente poluído.....27 – 59 mg O<sub>2</sub>/L
- rio extremamente poluído.....43 – 1.200 mg O<sub>2</sub>/L.

Comparando os valores de DQO medidos com a classificação proposta por ARAÚJO *et al.* (1989), verifica-se que o manancial apresenta valores que o enquadrariam desde não contaminado até extremamente poluído. A superposição de valores verificada nas diversas faixas de classificação sugere a incerteza que os valores de DQO isolados oferecem para uma classificação ambiental de ecossistemas aquáticos

A cor teve fortes variações entre os valores medidos, apresentando o máximo em J1 (151 uH) e mínimo em J3 (27 uH), mostrando a influência do tributário (Rio Pitimbú) para a modificação das características físicas da água. Neste manancial, a cor aparente tem origem principalmente nos sólidos suspensos, que podem estar relacionados com a concentração de matéria orgânica e inorgânica. Jiqui apresentou valores de cor e turbidez levemente inferiores a Extremóz e transparência um pouco maior, embora estas diferenças não sejam significativas. A maior transparência pode estar relacionada com os baixos teores de clorofila "a" que indicam uma pequena biomassa algal.

Os sólidos totais (56 a 132 mg/L) foram os de menor concentração entre os mananciais pesquisados, sendo predominante a fração fixa sobre a volátil, na proporção média de 2:1. Esta relação evidencia maiores concentrações de material não biodegradável e/ou recalcitrante, o que também foi expresso pela DQO.

A clorofila "a" esteve compreendida entre 1,0 e 14,1 µg/L e sempre inferior aos valores encontrados em Extremóz, embora superior aos de Bonfim. Estes resultados são interessantes visto que Jiqui está submetida a maiores impactos antrópicos do que esta última.

Os valores obtidos para fósforo total e ortofosfato solúvel (entre 6-314 µg/L e 3-160 µg/L, respectivamente) são considerados altos para os limites indicados como causadores de eutrofização. Entretanto, as concentrações de fósforo foram inferiores aos observados em Extremóz. Valores superiores a 10 µg/L (limite para o nível oligotrófico), são considerados perigosos por vários pesquisadores (HAKANSON, 1980; MAYBECK, 1989) ao indicar a passagem do corpo aquático para a condição de mesotrófico. Os valores máximos definem esta lagoa como hipereutrófica.

A série nitrogenada (nitrogênio total, nitrato, nitrito, nitrogênio amoniacal e nitrogênio orgânico) apresentou fortes variações entre os pontos e num mesmo ponto ao longo do tempo. No ponto J2, entretanto foi onde se observou o máximo para nitrogênio total (2.120 µg/L) e também para nitratos (689 µg/L), amônia (714 µg/L) e nitrogênio

orgânico (714  $\mu\text{g/L}$ ). Embora do ponto de vista de saúde pública todos os valores tenham sido inferiores a 10 mg/L e portanto, sem constituir perigo para o consumo humano, as concentrações indicam a ocorrência do processo de eutrofização do corpo aquático. Estes nutrientes apresentaram nesta lagoa concentrações inferiores às de Extremóz e superiores às de Bonfim.

Os maiores valores na época de chuvas podem ser atribuídos às águas de escoamento superficial das áreas agrícolas fertilizadas com adubos orgânicos de origem animal e às contribuições do rio Pitimbú, assim como a uma menor assimilação pelo fitoplâncton e macrófitas devido à menor atividade fotossintética, associado ao menor tempo de residência da água no interior do lago. Também pode-se associá-los a assimilação seletiva e preferencial de amônia, pois esta é rapidamente incorporada no citoplasma celular, sem necessidade de redução preliminar (BROCK *et al.*, 1997)

As variáveis alcalinidade, acidez e dureza mantiveram-se estáveis ao longo do tempo e homogêneos em relação aos pontos de coleta, com valores médios de 14, 8 e 17 mg  $\text{CaCO}_3/\text{L}$ , respectivamente. Os maiores valores foram no período de estiagem se comparados aos da época de chuvas, indicando que a elevada evaporação aumenta a concentração de carbonatos e outros sais. Com efeito, VIEIRA (1994) observa que na região do Polígono das secas definida pela SUDENE (1.663.200  $\text{km}^2$ , incluindo a região norte de Minas Gerais) a precipitação pluviométrica média anual de 1.140 mm significa um volume de água de  $1.730 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$ . Entretanto, 88% desse volume ( $1.522 \times 10^6 \text{ m}^3$ ) se evapora, 8,6% origina o escoamento superficial ( $149 \times 10^6 \text{ m}^3$ ) e os restantes 3,4% ( $59 \times 10^6 \text{ m}^3$ ) se infiltram no subsolo para se transformarem em escoamento subterrâneo.

Dos três mananciais, Jiqui foi o que apresentou os mais baixos teores de dureza (17 mg  $\text{CaCO}_3/\text{L}$ ) e sua água pode ser considerada como mole, segundo APHA *et al* (1995); foi também o de menor concentração média de cloretos (19 mg/L). É importante observar a grande influência do aquífero Dunas-Barreiras na contribuição hidráulica do sistema Rio Pitimbú/ Lagoa de Jiqui, o que confere à qualidade da água características de mananciais subterrâneos.

Acompanhando estas variáveis, os cátions  $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{Mg}^{++}$ ,  $\text{K}^+$  e  $\text{Na}^+$ , foram encontrados em valores que variaram de 4,4 a 0,9 mg Ca/L; de 6,4 a 1,1 mg Mg/L; de 2,4 a 0,9 mg K/L e de 29 a 13 mg Na/L.

Chama a atenção a baixa contaminação bacteriana, expressa pelos valores médios de coliformes totais (114 a 1.100 NMP/100mL), coliformes fecais (39 a 505 NMP/100 mL) e bactérias heterótrofas mesófilas (558 a 772 UFC/mL). Observa-se que a atual legislação brasileira para água potável (Portaria n.º 36/90 do MS), permite na rede de distribuição de água uma concentração de bactérias heterótrofas mesófilas de até 500 UFC/mL. Esta comparação confirma a boa qualidade sanitária do manancial, porém a lagoa foi a que apresentou os maiores índices de contaminação fecal. Os resultados se refletem nos teores de coliformes totais e coliformes fecais, em particular os dados destes últimos, que são melhores indicadores para águas brutas (GELDREICH, 1977) pois predominaram valores mensais inferiores a 1.000 NMP/100 mL. Estes classificam este corpo aquático na classe 2, segundo a Resolução nº 20/86 do CONAMA, ou seja, é um manancial que pode ser utilizado para abastecimento doméstico após tratamento simplificado, para a proteção das comunidades aquáticas, para a recreação de contato primário, para a 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 para a criação natural e/ou intensiva (aquicultura) de espécies destinadas à alimentação humana.

A Figura 4.20a, b, c apresenta as flutuações mensais dos diversos parâmetros pesquisados. Observa-se que turbidez teve poucas variações enquanto cor e transparência oscilaram segundo a época do ano e de maneira inversa, ou seja, no meses de ocorrência do valor máximo para a cor, a transparência teve seu valor mínimo (abril, julho e novembro/97).

De acordo ainda com a Figura 4.20b, nota-se uma grande estabilidade do pH e da temperatura da água e flutuações maiores para condutividade elétrica. Entretanto, estas ocorreram dentro da faixa de 77 a 89  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , indicando uma baixa concentração de íons dissolvidos. A Figura 4.20c evidencia um decréscimo constante de DQO acompanhado pela DBO<sub>5</sub>. O maior valor verificado em fevereiro/97 também é observado pela DBO<sub>5</sub> e provavelmente deve-se a um arraste de materiais para o interior do corpo aquático em virtude da ocorrência de chuvas, que chegaram aos 110 mm neste mês. O baixo tempo de detenção hidráulica da lagoa ( $\approx 3$  dias) é um fator a ser considerado na dinâmica dos parâmetros químicos e biológicos. Por possuir um pequeno volume acumulado, qualquer carga de poluição causa uma variação significativa da qualidade. Soma-se a este a baixa cobertura vegetal das margens da lagoa que favorece o aumento da erosão do solo. Dessa

forma, nota-se um comportamento irregular e imprevisível dos parâmetros de qualidade da água ao longo do período estudado.

A Figura 4.21a, b, c, apresenta a distribuição temporal dos valores médios mensais dos macronutrientes e dos sólidos totais e frações. Na Figura 4.21a é interessante destacar o comportamento idêntico de toda a série nitrogenada. O pico máximo em fevereiro/97 pode estar associado ao mesmo fator que ocasionou a elevação das demandas de oxigênio: carregamento de matéria orgânica pelo escoamento superficial provocado pelas chuvas.

Os compostos de fósforo (Figura 4.21b) apresentaram flutuações entre leves (ortofosfato) e extremas (fósforo total), com valores máximos entre janeiro e fevereiro/97 (160  $\mu\text{g/L}$  para ortofosfato e 314  $\mu\text{g/L}$  para fósforo total) e um decaimento acentuado a partir de março/97, para manterem-se mais ou menos constantes nos meses seguintes. Os valores medidos de clorofila "a" foram baixos de janeiro a março/97 elevando-se a partir de abril e ocorrendo picos de máximo em dezembro/96 (26,8  $\mu\text{g/L}$ ) e maio/97 (14,1  $\mu\text{g/L}$ ). O aporte de nutrientes (fósforo, principalmente), pode ser a causa do aumento da produtividade primária manifestada através desta variável.

CEBALLOS (1995), no açude Boqueirão-PB detectou que as diferenças observadas entre as duas épocas de secas e de chuvas foram em relação a nitratos (60 a 560  $\mu\text{g/L}$ ) e bactérias indicadoras de poluição fecal (611 a 5 UFC/100mL), estando ambas as variáveis relacionadas com a intensidade de atividades agrícolas (fertilização orgânica). Afirma que séries temporais de dados integrando um maior número de corpos aquáticos são importantes para a utilização sustentada dos recursos da região do semi-árido nordestino.

Na Figura 4.24 se observa a variação temporal do IET nos três pontos de coleta. Verifica-se uma semelhança de comportamento entre J1 e J2, à exceção do mês de agosto/97, quando PT foi zero e determinou o valor mínimo para o índice parcial. O ponto J3 foi o que apresentou os menores valores, correspondendo à diminuição verificada nos demais parâmetros indicadores de trofia.

As Tabelas 4.10 e 4.11 apresentam os resultados do IET para cada um dos três parâmetros usados por CARLSON (1977) e também para o ortofosfato solúvel, utilizado no cálculo do  $\text{IET}_M$ . Clorofila "a" foi o fator menos exigente, classificando a lagoa como mesotrófica e mesmo assim apresentou características oligotróficas por vários meses, em particular no ponto J3, situado próximo ao efluente da mesma. Fósforo foi o parâmetro mais limitante de trofia, pois embora a lagoa tenha sido caracterizada com predominância

de propriedades eutróficas, em 4 meses houve condições hipereutróficas em pelo menos um dos pontos de coleta. Seguindo a influência de fósforo, o IET<sub>M</sub> calculado a partir do ortofosfato gerou o maior valor observado em todo o período (janeiro), conforme se observa na Figura 4.25. A classificação nos maiores níveis tróficos nos meses de estiagem ou de menor precipitação se relaciona com a maior concentração de sais nesta época, devido aos efeitos combinados de uma maior taxa de evaporação e diminuição da vazão de descarga do afluente (rio Pitimbú).

MARSIGLIA(1998) pesquisou no período de fev. a dez./96 a Represa de São Salvador, no município de Sapé-PB, tendo como objetivo, dentre outros a classificação do nível trófico e a busca de indicadores regionais de eutrofização e concluiu que de maneira geral, a represa foi classificada como eutrófica para a clorofila "a" e hipereutrófica para fósforo, na época de chuvas. Na estiagem, houve redução da concentração de fósforo, mostrando sua influência sobre o índice, que a classificou como eutrófica.

CEBALLOS (1995) também utilizou vários critérios de classificação trófica desenvolvidos para países temperados em açudes situados em área rural (Açude Boqueirão) e área urbana (Açudes de Bodocongó e Velho) no estado da Paraíba. O açude boqueirão foi enquadrado segundo o IET como oligotrófico na seca (clorofila "a"), mesotrófico na época de chuvas (clorofila "a") e oligomesotrófico, considerando todas as épocas em conjunto. Segundo esse índice, o nitrato o classificou como oligotrófico nos quatro períodos estudados. O fósforo total enquadrou-o como oligotrófico. Os açudes urbanos de Bodocongó e Velho foram considerados como hipereutróficos em consequência dos altos teores de ortofosfato e de acordo com todos os autores referenciados. Finaliza afirmando de acordo com os critérios utilizados e adotando bases comparativas, o açude de Boqueirão pode ser classificado como oligomesotrófico, o de Bodocongó como eutrófico e o açude Velho como eutrófico-hipereutrófico.

É importante destacar que cada corpo aquático apresenta comportamento diferente segundo a época seca ou chuvosa. Enquanto um aumenta seu nível trófico durante as chuvas devido ao enriquecimento com nutrientes transportados pelo escoamento, outro o diminui devido à diluição/arraste para fora do mesmo. Este último caso geralmente se observa em lagoas que estão situadas em bacias hidrográficas sem ou com escassa atividade antrópica. Vários fatores intervêm na preservação do equilíbrio do ecossistema na zona pelágica (central): a diminuição da força do impacto pela distância entre o ponto

de descarga e o centro, a diluição natural, a sedimentação, a ação de predadores que atuam ao longo da cadeia alimentar. Em relação às bactérias patogênicas e indicadores de contaminação, sua inativação pode ser atribuída ao efeito sinérgico da luz solar (bactericida) com as altas concentrações de oxigênio dissolvido e elevados valores de pH (KAPUCINSKY & MITCHEL, 1981).

A Figura 4.26 e a Tabela 4.12 mostram os valores e o comportamento obtidos para o IQA calculados segundo os critérios aditivo e multiplicativo. Diferentemente do que ocorreu em Extremóz ambas as metodologias classificam o manancial como de qualidade boa, não se verificando diferenças significativas ao longo do período pesquisado a não ser por uma leve diminuição da qualidade nos meses de fevereiro, março e abril/97. O ponto J3 esteve sempre em melhores condições, particularmente a partir de julho/97, onde se manteve na qualidade ótima. Nota-se entretanto, a tendência observada para os outros dois mananciais, do IQA<sub>M</sub> em restringir o conceito de qualidade da água em função de parâmetros que se comportaram muito abaixo dos limites estabelecidos como de qualidade satisfatória.

As flutuações dos oito sub-índices que originam o IQA são mostradas nas Figuras 4.27 e 4.28. Notam-se leves variações de DBO<sub>5</sub>, nitrogênio, fósforo e sólidos totais e uma classificação da água entre boa e ótima. Coliformes totais, oxigênio dissolvido, , pH e turbidez resultaram em baixas qualidades parciais, principalmente os primeiros, que definiu sua qualidade como imprópria para consumo (valores inferiores a 19). Através destes resultados explicam-se os menores índices de qualidade obtidos para a lagoa de Jiqui, comparativamente às outras duas. PEREIRA (1993), classificou as águas desse manancial, segundo o IQA aditivo como de boa qualidade e conforme a versão multiplicativa, como entre aceitável e boa, com predominância de boa. RAMEH (1981), através do IQA médio anual verificou que os rios pertencentes a diversas bacias hidrográficas de São Paulo tiveram classificações bastante diferenciadas: os rios da bacia do Jundiá (IQA= 32), do Tietê médio superior (IQA= 34) e do Capivari (IQA= 35) foram os que estiveram na condição de pior qualidade, enquanto que os situados nas bacias do Rio Grande (IQA= 87), do baixo Tietê (IQA= 81) e do Paraná (IQA= 80) foram considerados como os de melhor qualidade. GUAZELLI & OTTA (1979), estudando um trecho do rio Capivari no município de Monte Mor-SP calculou um IQA entre 22 e 51, considerando a água imprópria para tratamento convencional. COSTA *et al.* (1983)

pesquisaram diversos mananciais que abastecem Brasília-DF e cidades vizinhas, utilizando uma versão modificada do IQA aritmético considerando as variáveis coliformes totais, turbidez, cor, amônia, ferro, cloretos, pH e DQO. Concluíram que a Barragem do Rio Descoberto obteve um IQA entre 60 a 90, a de Santa Maria entre 80 e 100, a de Currais entre 40 e 70, a das Pedras e Paranoazinho iguais a 80 e a de Contagem, igual a 90.

#### 4.5 – Correlação entre variáveis

Buscando verificar a existência de relações múltiplas lineares entre algumas características de qualidade de maior interesse, foi utilizada a análise de correlação múltipla de Pearson com níveis de significância de 5% e 1%. A análise de correlação constitui uma importante ferramenta uma vez que mostra a interrelação entre os parâmetros, expressando o metabolismo do ecossistema aquático e sua associação com os fatores físico-químicos que ali ocorrem.

A análise feita, permitiu constatar que a temperatura influenciou acentuadamente no metabolismo das três lagoas. Na lagoa de Bonfim, doze variáveis apresentaram correlações significativas com a temperatura nos níveis de confiança estabelecidos (Tabela 4.13). Dentre elas se destaca a condutividade elétrica ( $r=+0,47$ ;  $\alpha=0,01$ ) e se explica pela maior solubilidade dos sais a maior temperatura, associada a uma maior taxa de evaporação que proporciona uma maior concentração destes na massa líquida. Em consequência, vários parâmetros associados com a condutividade elétrica apresentaram correlação positiva com a temperatura: alcalinidade ( $r=+0,53$ ,  $\alpha=0,01$ ), pH ( $r=+0,46$ ,  $\alpha=0,01$ ) e acidez ( $r=+0,75$ ,  $\alpha=0,05$ ).

Sabe-se que o pH e a acidez influenciam na condutividade da água pois representam uma medida das concentrações dos ions hidrogênio.

A elevação da temperatura teve correlação negativa com a transparência ( $r=-0,34$ ,  $\alpha=0,05$ ). O efeito inverso sobre a transparência da água sugere que a elevação da temperatura corresponde a uma elevação da turbidez e portanto, maior concentração de partículas suspensas. Estas partículas suspensas podem ser associadas com o aumento de microrganismos visto que houve correlação positiva entre temperatura e coliformes fecais ( $r=+0,32$ ,  $\alpha=0,05$ ). Também, a maior solubilidade de várias substâncias provoca uma diminuição da zona fótica na coluna líquida.

A correlação significativa e positiva ( $r=+0,50$ ,  $\alpha=0,01$ ) entre temperatura e fósforo total estaria refletindo o aumento da biomassa e portanto, uma maior assimilação do fósforo pelos organismos.

O aumento de ortofosfato solúvel se correlacionou inversamente com sólidos totais voláteis ( $r=-0,42$ ,  $\alpha=0,05$ ) e provavelmente, associando a incorporação do nutriente solubilizado na água na biomassa dos organismos vivos.

O nitrogênio orgânico e o oxigênio dissolvido ( $r=+0,45$ ,  $\alpha=0,01$ ) se associaram à maior biomassa de fitoplâncton.

A ausência de correlações significativas com a clorofila "a" está provavelmente associada com as baixas concentrações desse parâmetro que aparentemente pouco influenciaram nos resultados de cor, de turbidez e de transparência. A única correlação deste parâmetro ocorreu com DBO<sub>5</sub> sendo negativa ( $r=-0,43$ ,  $\alpha=0,01$ ), indicando pouca influência da DBO sobre a clorofila "a", provavelmente porque a DBO tem outras origens ou contribuem outros tipos de matéria orgânica que se expressaram mais acentuadamente que a clorofila "a". Por outro lado, devido a elevada transparência, as algas estão distribuídas em toda a extensão da coluna de água; assim, embora forneçam oxigênio ao ambiente, sua concentração nas amostras superficiais de água era bastante baixa.

A correlação entre sólidos totais voláteis e fixos foi significativa e negativa ( $r=-0,57$ ,  $\alpha=0,01$ ), evidenciando que no balanço de sólidos dentro da massa líquida, sob as condições do estudo, uma elevação da fração inorgânica seguia-se de uma diminuição da fração volátil. Por outro lado, consistentemente ocorreram maiores valores dos sólidos voláteis em relação aos sólidos fixos.

Em relação aos microrganismos indicadores de contaminação fecal, a correlação positiva ( $r=+0,91$ ,  $\alpha=0,01$ ) entre coliformes totais e fecais era de se esperar visto que os últimos constituem um subgrupo dos primeiros. A correlação positiva entre coliformes fecais e temperatura ( $r=+0,32$ ,  $\alpha=0,01$ ) é interessante pois geralmente aumentos de temperatura correspondem a maiores taxas de decaimento bacteriano. Por outro lado, uma elevação de temperatura provoca um aumento do metabolismo microbiológico e conseqüentemente uma maior taxa de reprodução. Assim, poder-se-ia concluir que sob as condições de temperatura medidas na lagoa de Bonfim (máxima de 31 °C e mínima de 26 °C), a taxa de reprodução das bactérias coliformes fecais superaria a taxa de morte. Os baixos números do indicador (máximo de 80 NMP/ 100mL e mínimo de 2 NMP/100 mL)

observados nesta lagoa são consequência da baixa contaminação e da ação sinérgica de vários fatores de efeito bactericida, como altos teores de oxigênio dissolvido, intensa radiação solar e pH, embora os mesmos não tenham sido expressos a nível de correlações significativas.

Observou-se correlação positiva entre coliformes fecais e DQO ( $r=+0,37$ ,  $\alpha=0,01$ ) sugerindo que um aumento de matéria orgânica provoca elevação destes microrganismos. Estes resultados mostram que parte do material amostrado estava contaminado com fezes e/ou esgotos que chegam ao manancial através do escoamento superficial difuso e, provavelmente, seja de origem animal, embora não tenha sido feita esta diferenciação.

Conforme se verifica na Tabela 4.17 a lagoa de Extremóz, de forma semelhante a Bonfim, foi bastante influenciada pela temperatura que apresentou correlações significativas com cor ( $r=+0,47$ ,  $\alpha=0,01$ ), com ortofosfato solúvel ( $r=+0,44$ ,  $\alpha=0,01$ ), com nitrogênio orgânico ( $r=+0,61$ ,  $\alpha=0,01$ ), com coliformes totais e bactérias heterótrofas mesófilas ( $r=+0,43$ ,  $\alpha=0,01$  e  $r=+0,44$ ,  $\alpha=0,01$ , respectivamente).

Chamam atenção as correlações entre temperatura e as bactérias indicadoras de contaminação fecal que se diferenciaram de Bonfim por não apresentar nenhuma relação entre estas variáveis, provavelmente pelos baixos valores encontrados neste último ecossistema.

A cor foi outro parâmetro que mostrou numerosas associações, pois se correlacionou positivamente com a turbidez ( $r=+0,64$ ,  $\alpha=0,01$ ), com nitratos ( $r=+0,45$ ,  $\alpha=0,01$ ), com potássio ( $r=+0,51$ ,  $\alpha=0,01$ ) e com coliformes fecais ( $r=+0,50$ ,  $\alpha=0,01$ ) e negativamente com a transparência ( $r=-0,47$ ,  $\alpha=0,01$ ).

A Tabela 4.18 apresenta as correlações obtidas para a lagoa de Jiqui. O maior número de correlações observado ocorreu com cor (doze), oxigênio dissolvido (seis) e fósforo total (cinco).

A relação positiva entre cor e nitrato ( $r=+0,58$ ,  $\alpha=0,01$ ) sugere um aumento da biomassa autotrófica com o aumento do nutriente, embora não se observe nenhuma correlação de clorofila "a" com parâmetros relacionados à atividade biológica, particularmente com fósforo e com turbidez, provavelmente devido às baixas concentrações de clorofila "a" (máximo de 25,8  $\mu\text{g/L}$  e mínimo de 1,0  $\mu\text{g/L}$ ).

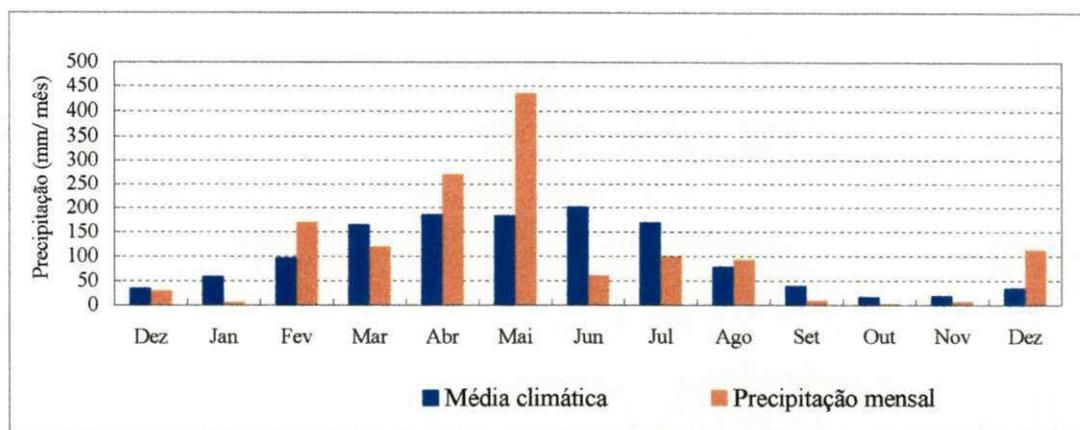
Cor e turbidez relacionaram-se positivamente ( $r=+0,78$ ,  $\alpha=0,01$ ), como era de se esperar e ambos influenciaram negativamente no teor de oxigênio dissolvido e a transparência. Como já discutido anteriormente, a transparência da coluna líquida está diretamente associada à concentração de sólidos suspensos e dissolvidos na água, que interfere negativamente na produção de oxigênio através da atividade fotossintética, pela interferência na penetração da luz.

É interessante observar a correlação negativa entre temperatura e sólidos suspensos voláteis ( $r=-0,55$ ,  $\alpha=0,01$ ), indicando que uma elevação de temperatura provoca um aumento da taxa de decaimento bacteriano, o qual não foi observado nas outras lagoas.

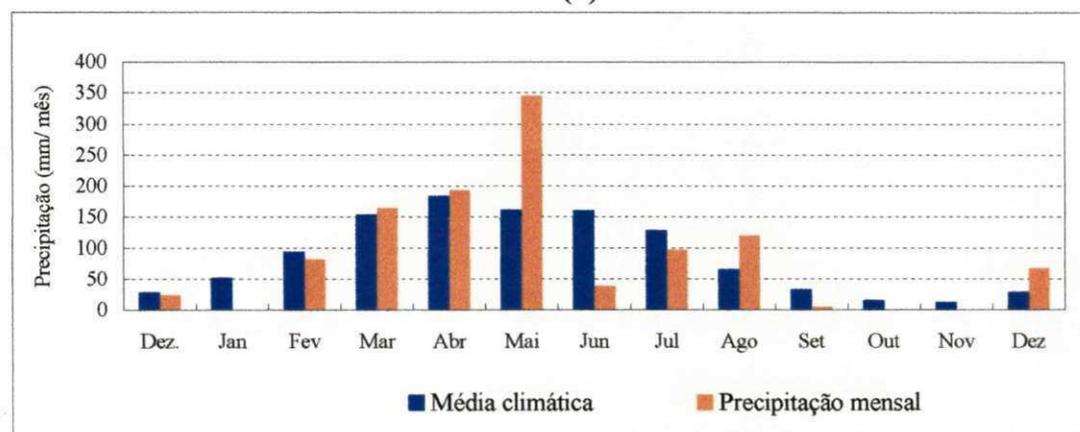
A turbidez apresentou apenas quatro correlações sendo positiva para cor, potássio e nitrogênio total. Estas correlações indicam que estas variáveis contribuíram para a elevação da turbidez e portanto para uma menor transparência o que se explica facilmente devido à relação inversa destes parâmetros, conforme discutido anteriormente. Também apresentou correlação significativa e negativa com oxigênio dissolvido ( $r=-0,59$ ,  $\alpha=0,01$ ) evidenciando que uma maior turbidez diminui a zona iluminada e com isso decresce a taxa fotossintética.

O fósforo total apresentou correlações positivas com ortofosfato solúvel ( $r=-0,54$ ,  $\alpha=0,01$ ), e com nitrogênio total ( $r=-0,60$ ,  $\alpha=0,01$ ), nitrogênio amoniacal ( $r=-0,51$ ,  $\alpha=0,01$ ) e nitrato ( $r=-0,64$ ,  $\alpha=0,01$ ), dando indicação que o aporte de nutrientes na área da lagoa acontece de uma forma uniforme quanto à sua distribuição espacial e temporal.

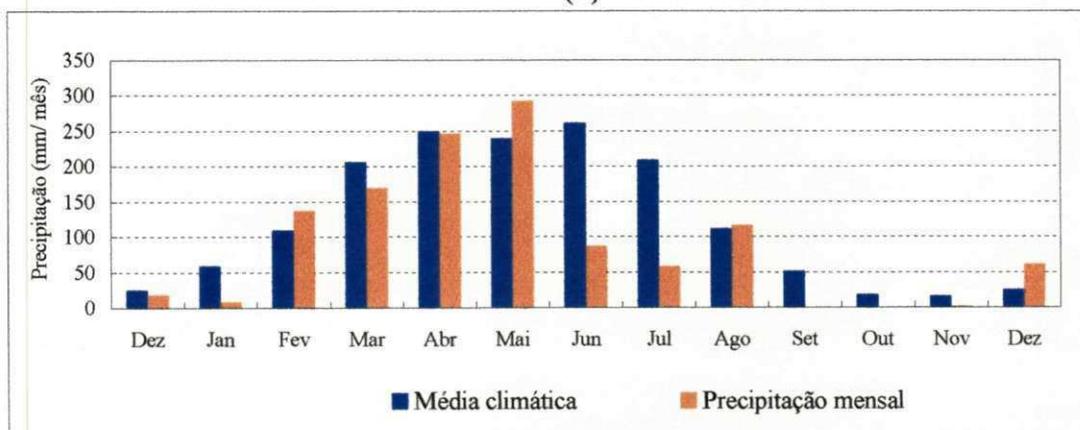
**Figura 4.1 - Ciclo de precipitação pluviométrica (valores mensais e médias mensais climáticas) nas áreas das lagoas de Bonfim (a), Extremóz (b) e Jiqui (c) RN (períodos de dez/96 a dez/97 e de 1911 a 1985).**



(a)



(b)



(c)

Fontes: SUDENE, 1990 (médias mensais climáticas, período de 1911 a 1985). Postos pluviométricos de S. José de Mipibú, Ceará-Mirim e Natal. EMPARN, 1998 (precipitações mensais, anos de 1996 e 1997). Postos pluviométricos de Nísia Floresta, Ceará-Mirim (Jacumã) e Parnamirim.

Tabela 4.1 - Valores médios, máximos, mínimos e medianos de parâmetros físicos, químicos e biológicos da Lagoa de Bonfim-RN (período de dez./96 a dez./97).

Ponto	PARÂMETROS																														
	pH	T	CE	OD	DBO	DQO	Cor	Tur	Tra	ST	STF	STV	Cla	PT	OF	NT	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	N <sub>am</sub>	N <sub>org</sub>	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	Alc	Aci	Dur	Ca	Mg	Na	K	Cl	CT	CF	BHM
	°C	µS.cm <sup>-1</sup>	mg/L	mg/L	mg/L	uH	u/l	m	mg/L	mg/L	mg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	mg/L	NMP/100mL	UFC/mL								
B1	6,7	28	186	7,2	1,4	62	5	1,4	7,0	153	100	74	2,5	37	14	271	118	50	132	4	8,9	7	23	2,6	4,0	56	2,6	54	16	7	29
	7,2	30	200	8,0	3,5	107	12	3,0	8,2	240	152	159	4,7	80	79	1344	992	175	420	13	12,0	9	31	3,6	5,9	89	1,7	64	170	80	150
	6,2	26	143	6,5	0,6	5	0	0,0	5,3	72	19	2	0,5	12	0	20	0	0	0	2	5,7	4	21	1,7	3,1	37	3,2	37	2	2	10
	6,7	28	190	7,2	1,4	64	5	1,0	7,0	150	117	52	2,7	30	12	212	37	27	117	3	8,8	7	23	3,0	4,0	53	3,0	55	17	8	35
	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	9	9	13	13	13	13	12	13	11	12	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13
B2	6,8	28	193	7,1	1,3	37	4	1,3	7,3	140	74	77	2,5	41	16	234	83	63	114	2	8,6	6	24	2,9	4,1	56	2,7	54	3	2	22
	7,3	30	201	8,3	3,5	102	9	3,0	8,7	192	156	152	4,6	149	64	973	562	117	292	3	13,6	10	31	5,9	5,8	95	3,2	70	23	3	60
	5,8	26	188	6,5	0,3	16	0	0,0	5,3	76	14	1	0,5	10	0	44	0	0	0	2	6,3	4	18	1,7	3,3	44	1,7	39	2	2	10
	6,7	28	193	7,0	1,1	25	4	1,0	7,3	142	70	63	2,5	27	13	211	34	58	117	2	7,7	6	23	3,0	4,0	51	3,0	55	2	2	20
	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	9	9	13	13	13	13	13	11	12	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13
B3	6,6	28	190	7,0	1,2	31	6	1,5	6,9	159	84	70	2,1	39	7	257	120	46	116	3	9,1	7	25	3,0	4,3	56	2,7	54	8	4	33
	7,2	31	230	7,9	2,6	68	12	3,0	8,0	240	199	117	3,7	287	18	1452	1100	175	480	3	21,0	11	35	5,9	6,9	95	1,7	67	50	22	170
	5,7	26	122	6,0	0,3	16	0	0,0	5,8	94	35	0	0,6	0	0	13	0	0	0	2	5,3	4	21	1,7	3,3	44	3,2	38	2	2	10
	6,7	28	191	7,0	1,2	26	6	1,3	7,0	146	64	62	2,3	23	3	170	25	18	58	3	8,0	7	24	3,0	4,0	51	3,0	54	8	2	35
	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	9	9	13	13	13	13	13	13	11	12	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13
Lagoa	6,7	28	190	8,3	1,3	43	5	1,4	7,0	151	86	63	2,4	39	12	256	107	53	121	3	8,9	7	24	2,9	4,1	56	2,6	54	7	4	28
	7,3	31	230	8,1	3,2	107	12	3,0	8,7	240	199	159	4,7	287	79	1452	1100	175	480	13	21,0	11	35	5,9	6,9	95	3,2	70	170	80	170
	5,7	26	122	6,0	0,5	5	0	0,0	5,3	72	14	0	0,5	0	0	13	0	0	0	2	5,3	4	18	1,7	3,1	37	1,7	37	2	2	10
	6,7	28	190	7,0	1,2	32	4	1,0	7,0	146	76	62	2,4	26	4	205	42	41	117	2	8,4	6	22	2,6	4,1	51	3,0	55	4	2	30
	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39	27	27	39	39	39	39	39	39	33	36	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39

pH: Potencial Hidrogeniônico

T: Temperatura

CE: Condutividade Elétrica

OD: Oxigênio Dissolvido

DBO: Demanda Bioquímica de Oxigênio

Média  
Máximo  
Mínimo  
Mediana  
Nº de Dados

DQO: Demanda Química de Oxigênio

Tur: Turbidez

Tra: Transparência

ST: Sólidos Totais

STF: Sólidos Totais fixos

STV: Sólidos Totais Voláteis

Cla: Clorofila "a"

PT: Fósforo Total

OF: Ortofosfato Solúvel

NT: Nitrogênio Total

NO<sub>3</sub><sup>-</sup>: NitratoN<sub>am</sub>: Nitrogênio AmoniacalN<sub>org</sub>: Nitrogênio OrgânicoNO<sub>2</sub><sup>-</sup>: Nitrito

Alc: Alcalinidade

Aci: Acidez

Dur: Dureza

Ca: Cálcio

Mg: Magnésio

Na: Sódio

K: Potássio

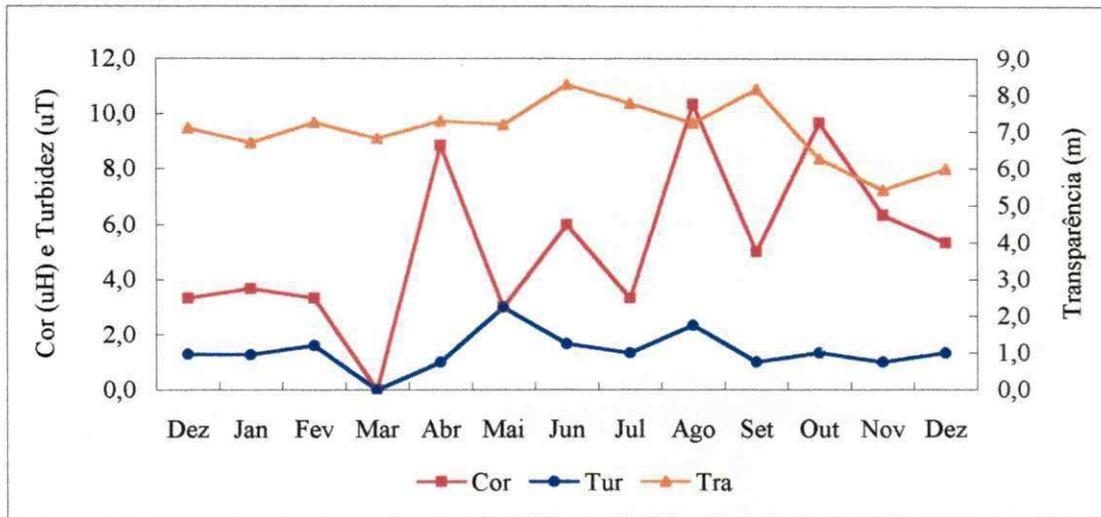
Cl: Cloretos

CT: Coliformes Totais

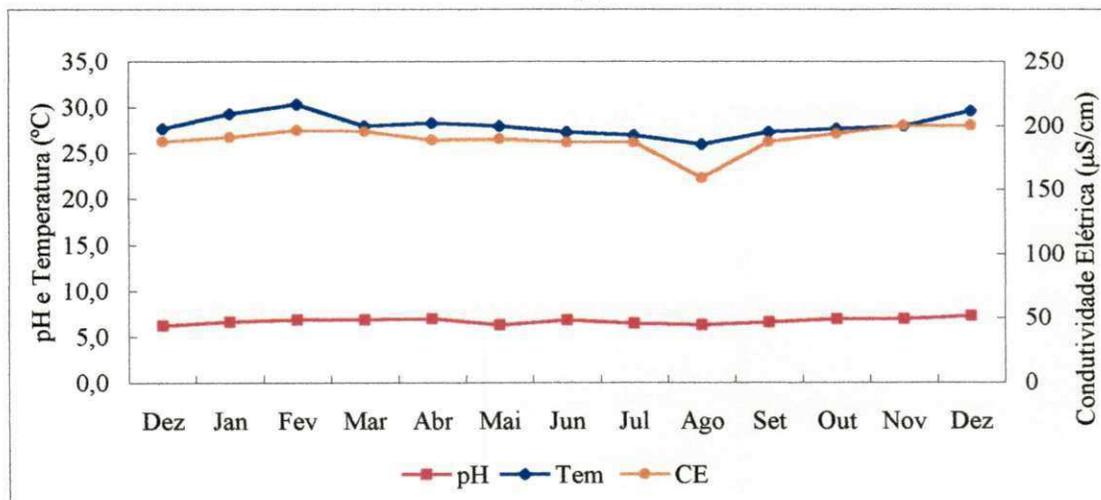
CF: Coliformes Fecais

BHM: Bactérias Heterotróficas Mesófilas

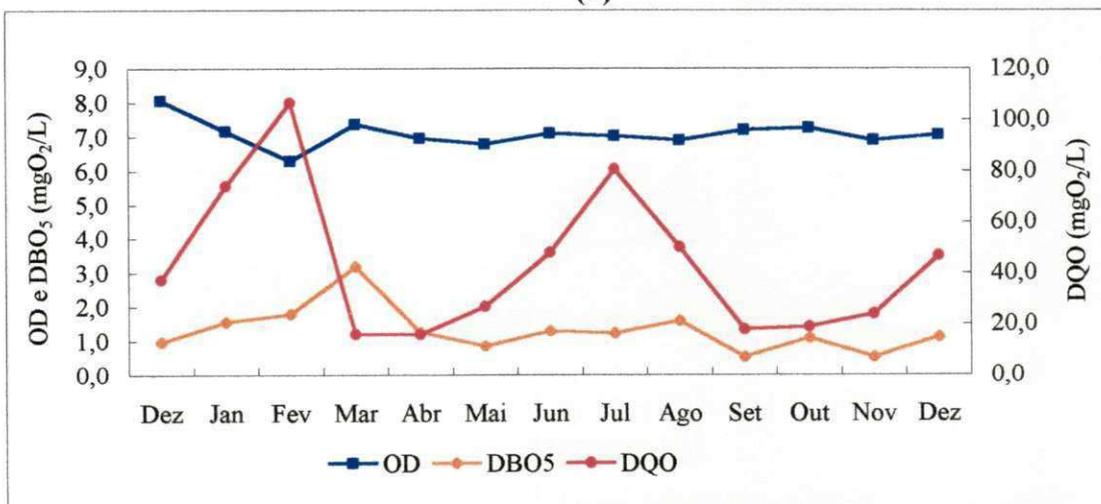
**Figura 4.2 - Distribuição temporal dos valores médios de cor, turbidez e transparência (a), temperatura, pH e condutividade elétrica (b) e OD, DBO<sub>5</sub> e DQO (c), nos pontos B1, B2 e B3 da lagoa de Bonfim- RN (período de dez/96 a dez/ 97).**



(a)

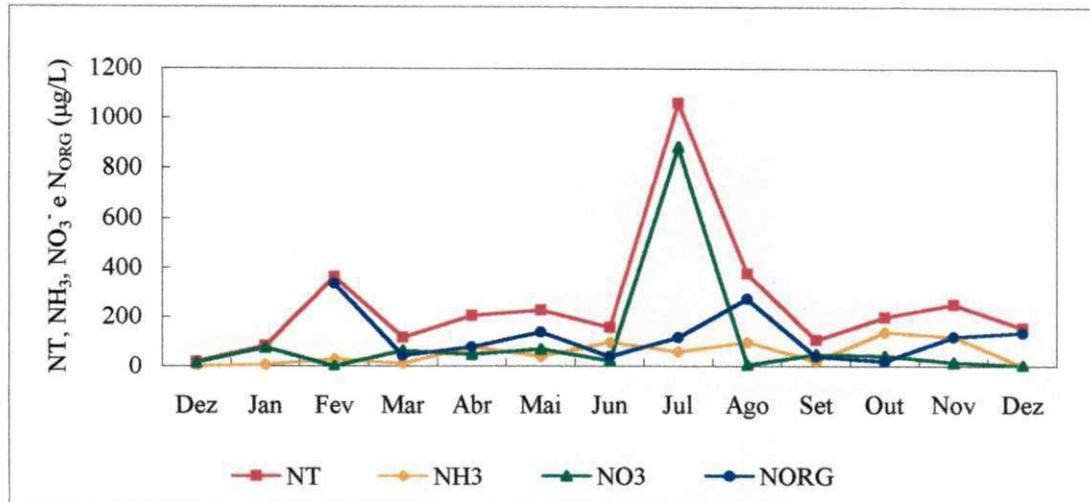


(b)

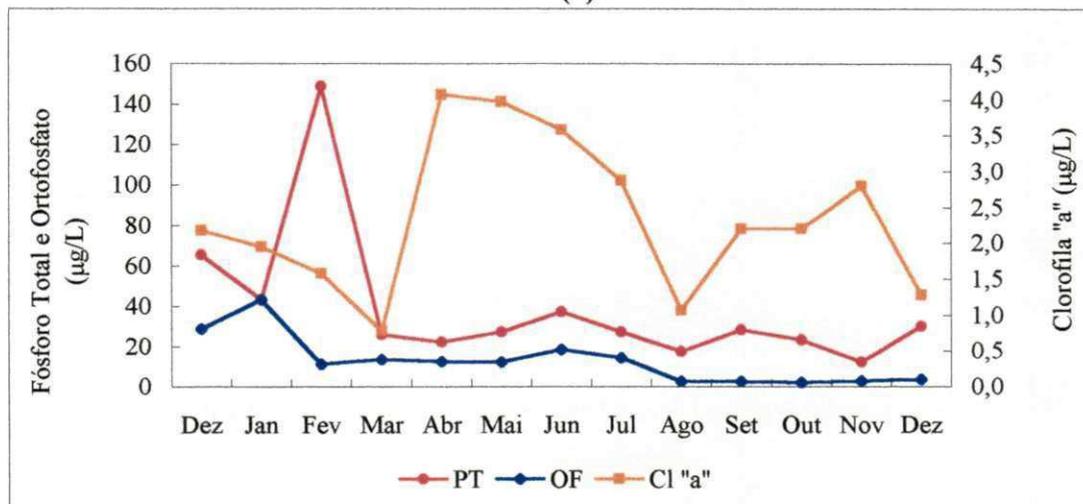


(c)

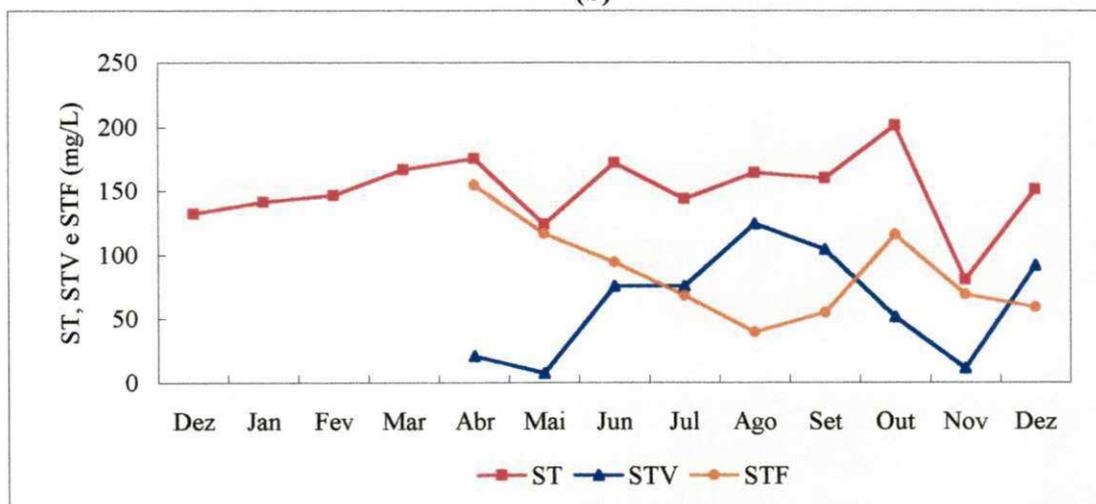
**Figura 4.3 - Distribuição temporal dos valores médios de nitrogênio total, amoniacal, orgânico e nitrato (a), fósforo total, ortofosfato solúvel e clorofila "a" (b) e sólidos totais, sólidos totais voláteis e fixos (c), nos pontos B1, B2 e B3 da lagoa de Bonfim- RN (período de dez/96 a dez/ 97).**



(a)

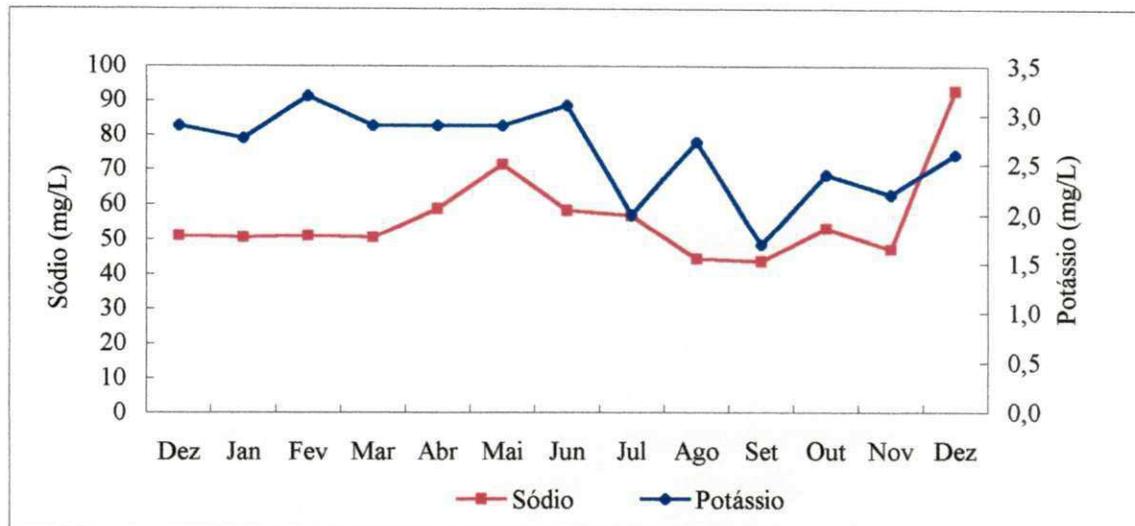


(b)

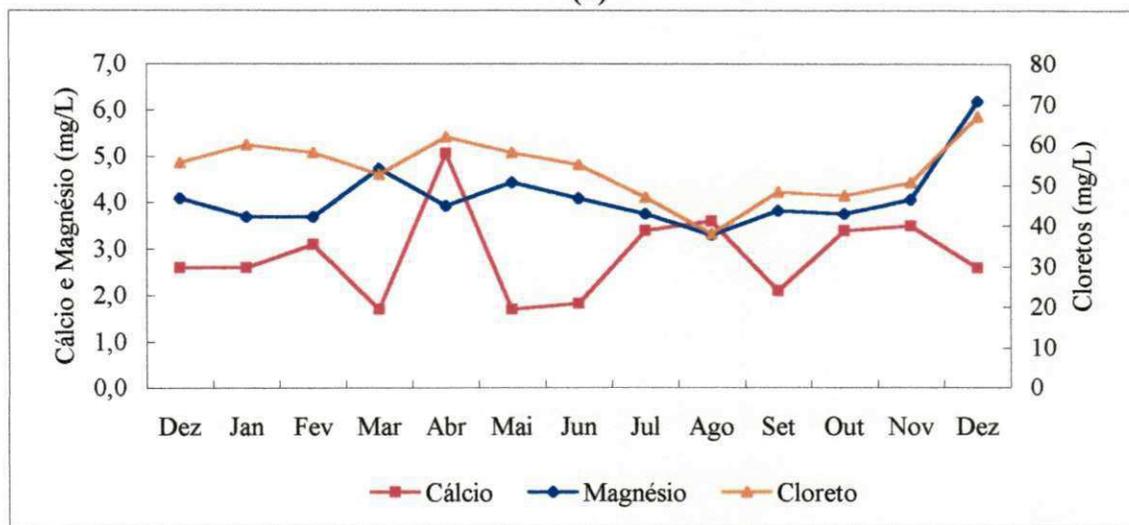


(c)

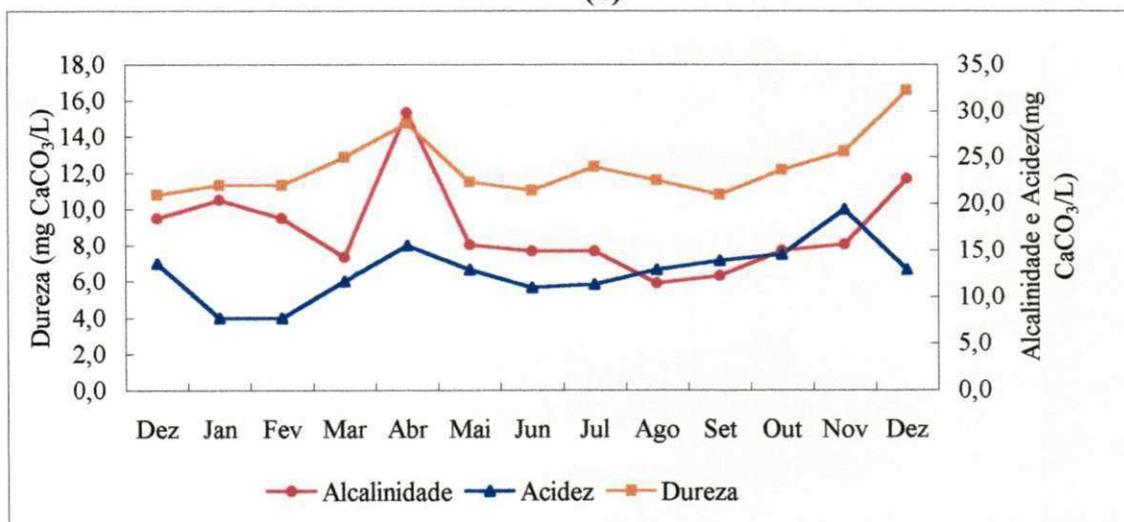
**Figura 4.4 - Distribuição temporal dos valores médios de sódio e potássio (a), cálcio, magnésio e cloretos (b) e dureza, alcalinidade e acidez (c), nos pontos B1, B2 e B3 da lagoa de Bonfim-RN (período de dez/96 a dez/ 97).**



(a)



(b)



(c)

**Figura 4.5 - Distribuição temporal dos valores médios de coliformes totais, coliformes fecais e bactérias heterotróficas mesófilas, nos pontos B1, B2 e B3 da lagoa de Bonfim-RN (período de dez/96 a dez/ 97).**

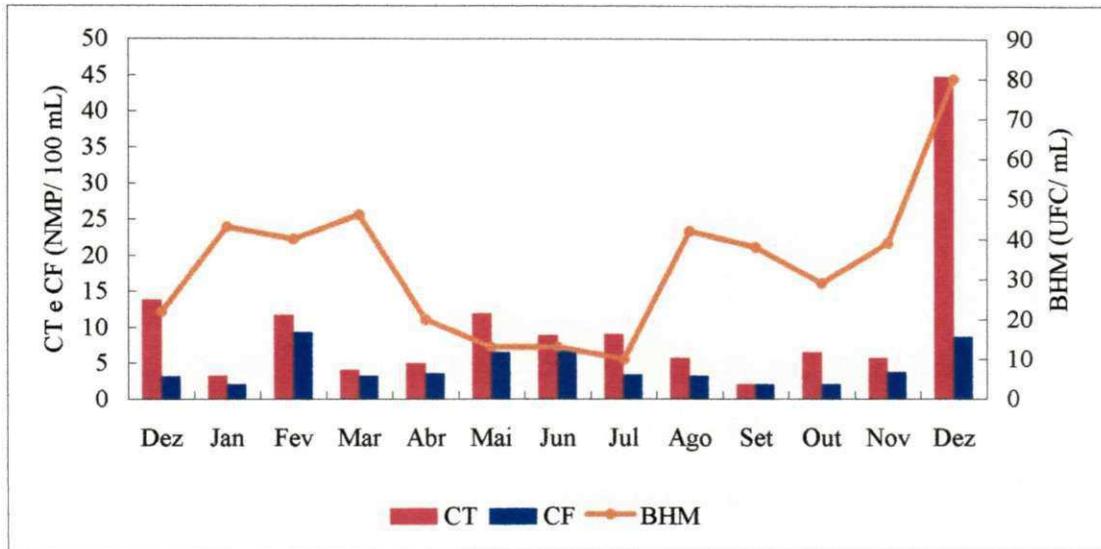
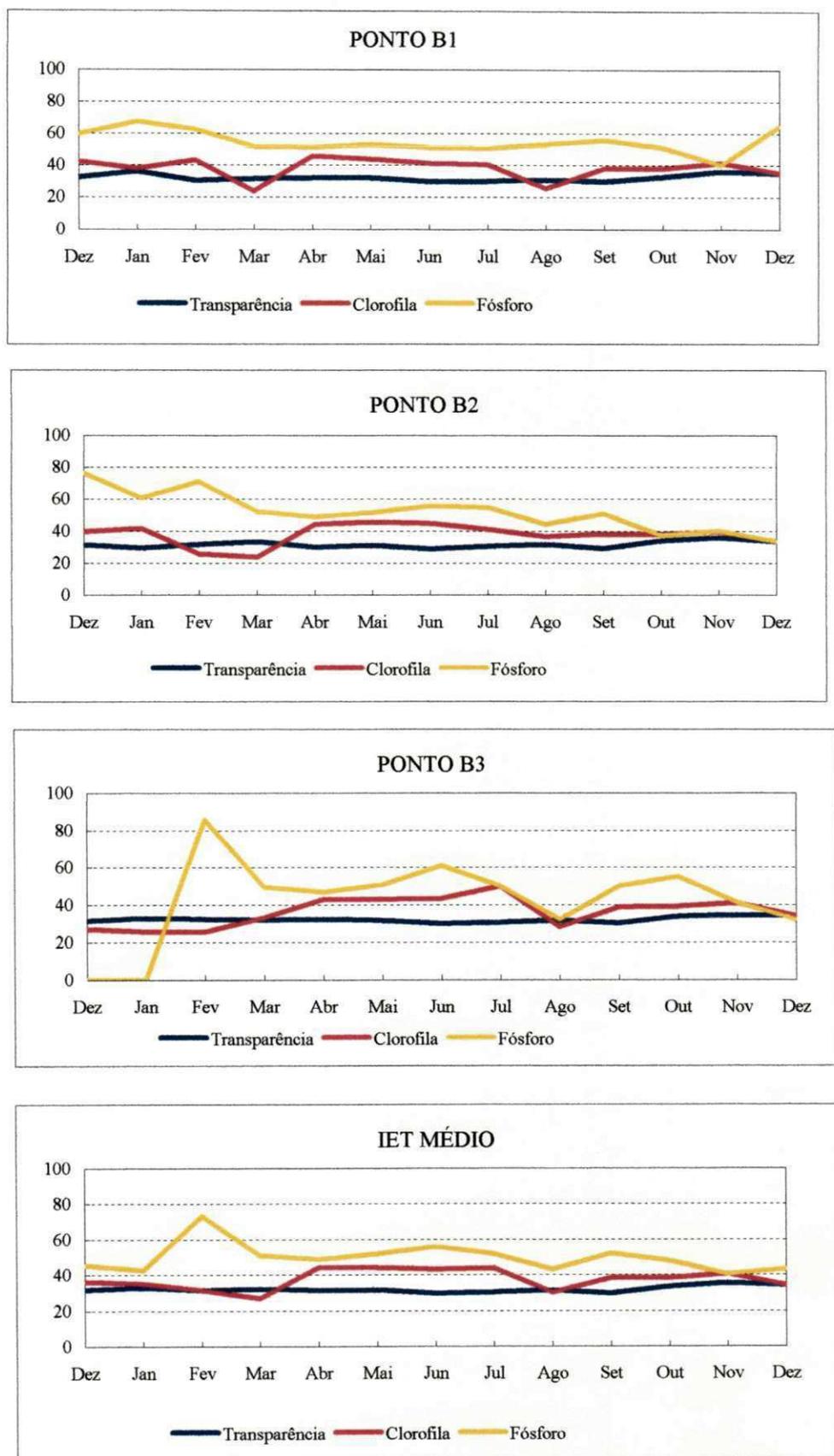


Tabela 4.2 - Índices do Estado Trófico nos pontos B1, B2 e B3 na lagoa de Bonfim-RN (período de dez/96 a dez/97).

Mês	Ponto de coleta	Transparência (m)			Clorofila "a" ( $\mu\text{g/L}$ )			Fósforo Total ( $\mu\text{g/L}$ )		
		Valor	IET	Class.	Valor	IET	Class.	Valor	IET	Class.
Dez	B1	6,80	32	Oligo	3,30	42	Meso	47	60	Eutr.
	B2	7,30	31	Oligo	2,50	40	Oligo	149	76	Hiper
	B3	7,20	32	Oligo	0,70	27	Oligo	0	0	Ultra
	Média	7,10	32	Oligo	2,17	38	Oligo	65	64	Hiper
Jan	B1	5,30	36	Oligo	2,10	38	Oligo	80	67	Hiper
	B2	8,30	29	Oligo	3,10	42	Meso	50	61	Hiper
	B3	6,50	33	Oligo	0,60	26	Oligo	0	0	Ultra
	Média	6,70	33	Oligo	1,93	37	Oligo	43	59	Eutr.
Fev	B1	7,90	30	Oligo	3,60	43	Meso	57	62	Hiper
	B2	7,10	32	Oligo	0,60	26	Oligo	103	71	Hiper
	B3	6,80	32	Oligo	0,60	26	Oligo	287	86	Hiper
	Média	7,27	31	Oligo	1,60	35	Oligo	149	76	Hiper
Mar	B1	7,20	32	Oligo	0,50	24	Oligo	27	52	Eutr.
	B2	6,40	33	Oligo	0,50	24	Oligo	28	52	Eutr.
	B3	7,00	32	Oligo	1,30	33	Oligo	23	49	Meso
	Média	6,87	32	Oligo	0,77	28	Oligo	26	51	Eutr.
Abr	B1	7,00	32	Oligo	4,70	46	Meso	26	51	Eutr.
	B2	8,10	30	Oligo	4,00	44	Meso	22	49	Meso
	B3	6,80	32	Oligo	3,50	43	Meso	19	47	Meso
	Média	7,30	31	Oligo	4,07	44	Meso	22	49	Meso
Mai	B1	7,00	32	Oligo	3,80	44	Meso	30	53	Eutr.
	B2	7,50	31	Oligo	4,60	46	Meso	27	52	Eutr.
	B3	7,10	32	Oligo	3,50	43	Meso	25	51	Eutr.
	Média	7,20	32	Oligo	3,97	44	Meso	27	52	Eutr.
Jun	B1	8,20	30	Oligo	2,90	41	Meso	26	51	Eutr.
	B2	8,70	29	Oligo	4,20	45	Meso	35	55	Eutr.
	B3	8,00	30	Oligo	3,70	43	Meso	51	61	Hiper
	Média	8,30	29	Oligo	3,60	43	Meso	37	56	Eutr.
Jul	B1	8,00	30	Oligo	2,70	40	Meso	25	51	Eutr.
	B2	7,80	30	Oligo	2,90	41	Meso	33	55	Eutr.
	B3	7,60	31	Oligo	3,00	41	Meso	24	50	Eutr.
	Média	7,80	30	Oligo	2,87	41	Meso	27	52	Eutr.
Ago	B1	7,60	31	Oligo	0,60	26	Oligo	30	53	Eutr.
	B2	7,10	32	Oligo	1,80	36	Oligo	16	44	Meso
	B3	7,10	32	Oligo	0,80	28	Oligo	7	32	Oligo
	Média	7,27	31	Oligo	1,07	31	Oligo	18	46	Meso
Set	B1	8,10	30	Oligo	2,10	38	Oligo	36	56	Eutr.
	B2	8,50	29	Oligo	2,20	38	Oligo	25	51	Eutr.
	B3	7,90	30	Oligo	2,30	39	Oligo	24	50	Eutr.
	Média	8,17	30	Oligo	2,20	38	Oligo	28	52	Eutr.
Out	B1	6,70	33	Oligo	2,10	38	Oligo	26	51	Eutr.
	B2	6,10	34	Oligo	2,10	38	Oligo	10	37	Oligo
	B3	6,10	34	Oligo	2,40	39	Oligo	34	55	Eutr.
	Média	6,30	33	Oligo	2,20	38	Oligo	23	50	Meso
Nov	B1	5,30	36	Oligo	3,00	41	Meso	12	40	Meso
	B2	5,30	36	Oligo	2,50	40	Oligo	12	40	Meso
	B3	5,80	35	Oligo	2,90	41	Meso	13	41	Meso
	Média	5,47	35	Oligo	2,80	41	Meso	12	40	Meso
Dez	B1	5,70	35	Oligo	1,50	35	Oligo	66	65	Hiper
	B2	6,30	33	Oligo	1,10	32	Oligo	18	46	Meso
	B3	6,00	34	Oligo	1,30	33	Oligo	7	32	Oligo
	Média	6,00	34	Oligo	1,30	33	Oligo	30	53	Eutr.
Média lagoa		7,08	32	Oligo	2,37	37	Oligo	39	51	Eutr.

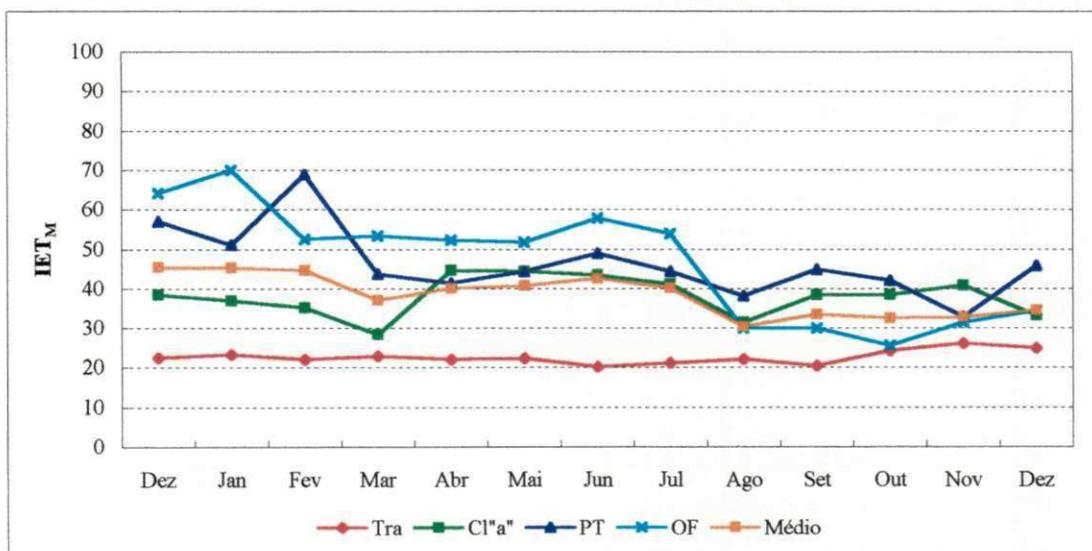
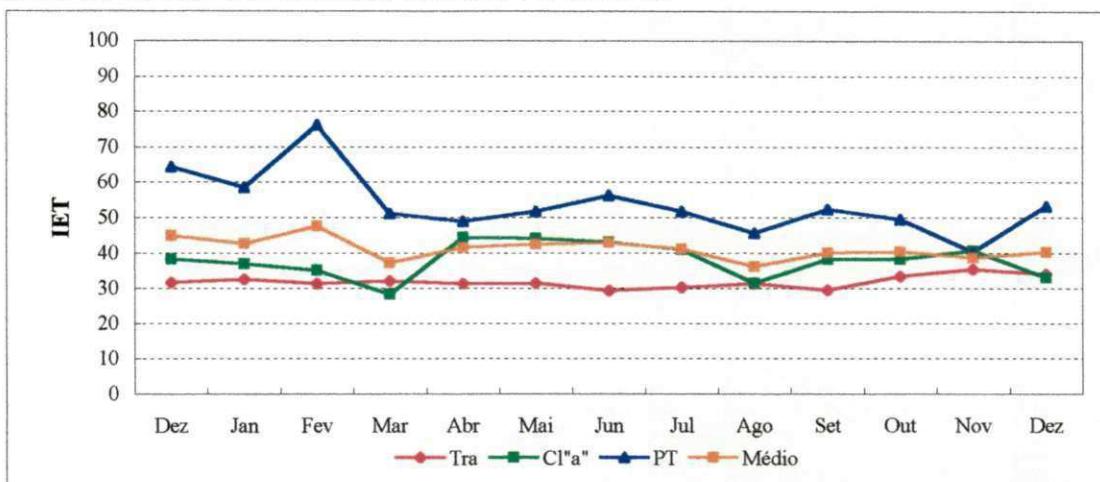
**Figura 4.6 - Variação espaço-temporal do IET nos pontos B1, B2 e B3 e média da lagoa de Bonfim- RN (período de Dez/96 a Dez/97).**



**Tabela 4.3- Valores médios mensais de parâmetros limnológicos e índices do estado trófico tradicional e modificado da lagoa de Bonfim-RN (período de dez/96 a dez/97).**

Mês	Parâmetros				Índice do Estado Trófico					Índice do Estado Trófico Modificado					
	Tra	Cl"a"	PT	OF	Tra	Cl"a"	PT	Médio	Class.	Tra	Cl"a"	PT	OF	Médio	Class.
	(m)	( $\mu\text{g/L}$ )	( $\mu\text{g/L}$ )	( $\mu\text{g/L}$ )											
Dez	7,1	2,2	65,3	29,0	32	38	64	45	Mes.	22	38	57	64	46	Mes.
Jan	6,7	1,9	43,3	43,3	33	37	59	43	Mes.	23	37	51	70	45	Mes.
Fev	7,3	1,6	149,0	13,0	31	35	76	48	Mes.	22	35	69	53	45	Mes.
Mar	6,9	0,8	26,0	13,7	32	28	51	37	Oli.	23	28	44	53	37	Oli.
Abr	7,3	4,1	22,3	12,7	31	44	49	42	Mes.	22	45	42	52	40	Mes.
Mai	7,2	4,0	27,3	12,3	32	44	52	43	Mes.	22	44	44	52	41	Mes.
Jun	8,3	3,6	37,3	18,7	29	43	56	43	Mes.	20	43	49	58	43	Mes.
Jul	7,8	2,9	27,3	14,3	30	41	52	41	Mes.	21	41	44	54	40	Mes.
Ago	7,3	1,1	17,7	2,7	31	32	46	36	Oli.	22	32	38	30	30	Oli.
Set	8,2	2,2	28,3	2,7	30	38	52	40	Mes.	20	38	45	30	33	Oli.
Out	6,3	2,2	23,3	2,0	33	38	50	40	Mes.	24	38	42	26	33	Oli.
Nov	5,5	2,8	12,3	3,0	35	41	40	39	Oli.	26	41	33	31	33	Oli.
Dez	6,0	1,3	30,3	3,7	34	33	53	40	Mes.	25	33	46	34	35	Oli.

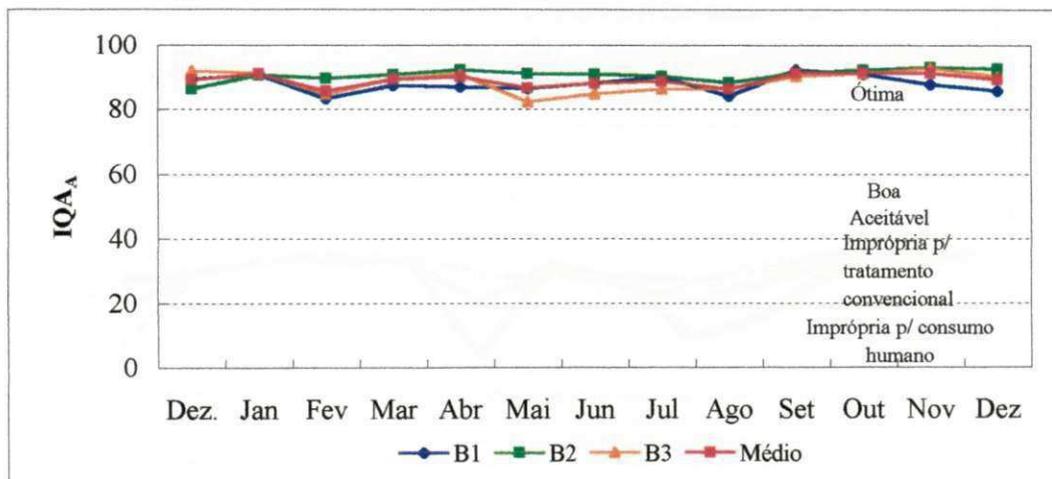
**Figura 4.7 - Variação temporal da média do IET tradicional e modificado na lagoa de Bonfim-RN (período de dez/96 a dez/97).**



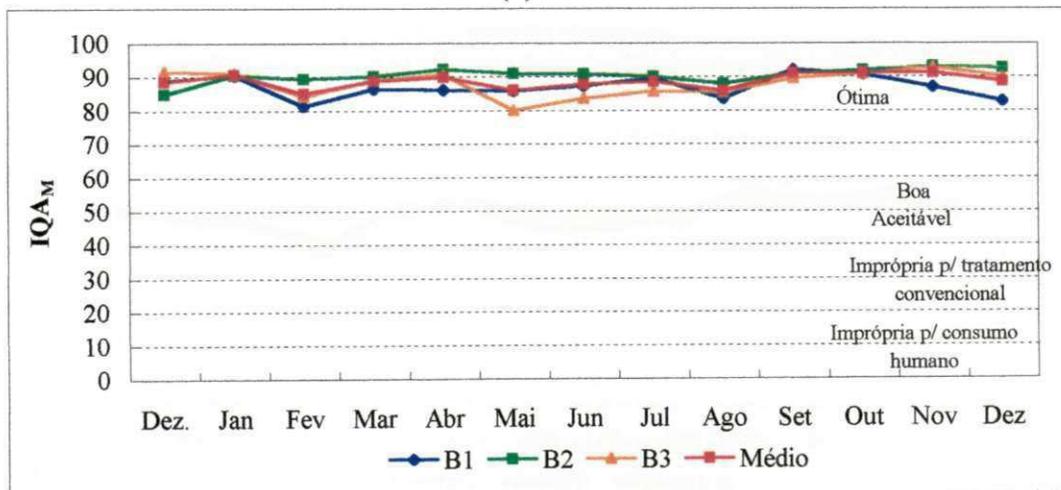
**Tabela 4.4- Distribuição espaço-temporal do índice de qualidade da água (aditivo e multiplicativo) da lagoa de Bonfim-RN (período de dez/96 a dez/97).**

Mês	IQA <sub>aditivo</sub>					IQA <sub>multiplicativo</sub>				
	B1	B2	B3	Médio	Class.	B1	B2	B3	Médio	Class.
Dez	89	86	92	89	Ótima	89	85	92	89	Ótima
Jan	91	91	91	91	Ótima	91	91	91	91	Ótima
Fev	83	90	85	86	Ótima	81	90	84	85	Ótima
Mar	88	91	90	89	Ótima	87	90	89	89	Ótima
Abr	87	92	91	90	Ótima	86	92	91	90	Ótima
Mai	86	91	82	87	Ótima	86	91	80	86	Ótima
Jun	88	91	85	88	Ótima	87	91	84	88	Ótima
Jul	90	90	86	89	Ótima	90	90	86	89	Ótima
Ago	84	88	87	86	Ótima	84	88	85	86	Ótima
Set	92	91	90	91	Ótima	92	91	90	91	Ótima
Out	91	92	91	92	Ótima	91	92	91	91	Ótima
Nov	88	93	93	91	Ótima	87	93	93	91	Ótima
Dez	86	93	90	89	Ótima	83	93	90	89	Ótima

**Figura 4.8 - Variação espaço-temporal do IQA<sub>A</sub> (a) e IQA<sub>M</sub> (b), na lagoa de Bonfim-RN (período de dez/96 a dez/97).**



(a)



(b)

**Figura 4.10 - Variação espaço-temporal dos sub-índices de qualidade nos pontos B1, B2 e B3 da lagoa de Bonfim-RN (período de dez/96 a dez/97).**

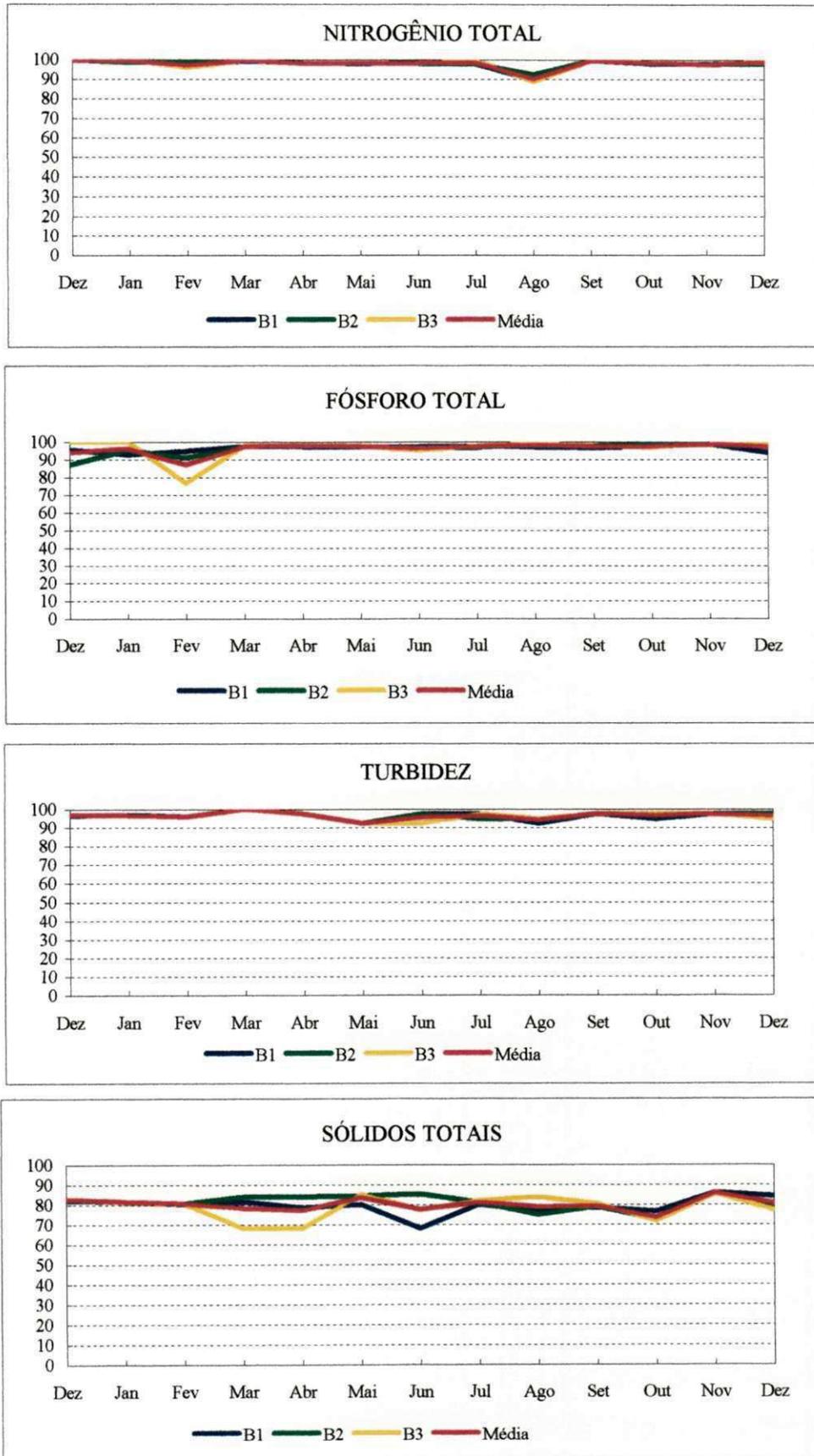


Tabela 4.5 - Valores médios, máximos, mínimos e medianos de parâmetros físicos, químicos e biológicos da Lagoa de Extremóz-RN (período de dez./96 a dez./97).

Ponto	PARÂMETROS																														
	pH	T °C	CE µS.cm <sup>-1</sup>	OD mg/L	DBO mg/L	DQO mg/L	Cor uH	Tur uT	Tra m	ST mg/L	STF mg/L	STV mg/L	Cl µg/L	PT µg/L	OF µg/L	NT µg/L	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> µg/L	N <sub>am</sub> µg/L	N <sub>org</sub> µg/L	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> µg/L	Alc mg/L	Acid mg/L	Dur mg/L	Ca mg/L	Mg mg/L	Na mg/L	K mg/L	Cl mg/L	CT NMP/100mL	CF UFC/mL	BHM UFC/mL
E1	6,8	28	303	5,4	1,5	46	72	12,8	1,5	260	124	141	17,6	87	21	236	85	41	125	4,7	41	13	56	9,5	7,7	107	4,7	75	149	45	287
	7,6	30	460	7,5	3,0	103	141	29,0	2,1	414	266	278	39,2	395	125	970	486	160	320	12,0	60	17	88	11,4	14,0	130	6,6	109	1100	900	600
	6,3	27	250	3,4	0,5	16	35	7,0	1,0	132	2	56	6,2	18	0	16	10	0	0	3,0	33	8	44	6,8	5,4	79	1,7	51	30	4	55
	6,7	28	295	5,3	1,5	36	62	11,0	1,5	222	105	125	14,8	55	4	158	37	0	117	4,0	41	13	53	9,0	8,0	109	5,0	73	170	34	330
	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	9	9	13	13	13	13	13	13	11	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13
E2	7,8	28	446	6,6	2,0	39	59	10,4	1,3	316	150	181	19,3	70	22	229	73	51	119	4,2	59	12	88	15,5	12,5	118	4,1	105	108	44	273
	8,2	30	500	7,9	4,8	120	81	18,0	1,6	464	248	286	32,2	203	146	817	465	250	350	17,0	73	15	108	18,5	18,0	149	5,2	144	500	170	1800
	6,9	27	280	4,8	0,8	16	31	5,0	1,1	196	59	44	1,5	4	0	18	0	0	0	2,0	42	6	26	4,4	4,2	99	1,9	65	17	4	100
	7,8	28	450	6,7	1,8	36	60	10,0	1,3	336	150	183	21,4	31	5	165	36	29	87	3,0	59	12	93	16,0	13,0	117	5,0	105	130	70	220
	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	9	9	13	13	13	13	13	13	11	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13
E3	7,8	28	377	6,8	2,3	43	70	11,5	1,0	297	133	162	46,1	104	25	367	94	159	131	3,8	47	11	69	13,0	9,8	115	4,3	92	194	99	251
	8,4	30	400	8,0	3,9	86	94	17,0	1,2	348	330	242	69,7	470	133	2602	611	1626	361	6,0	54	14	84	22,7	15,4	145	5,2	114	1800	900	800
	7,3	27	350	4,9	1,0	16	47	1,0	0,8	248	35	18	10,4	16	0	11	0	0	0	2,0	40	8	36	6,2	5,0	97	1,9	79	30	23	110
	7,7	28	380	7,0	2,1	36	69	12,0	1,0	296	118	186	53,2	35	4	229	51	29	117	3,0	49	11	72	12,0	9,0	113	5,0	89	220	110	210
	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	9	9	13	13	13	13	13	13	11	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13
Lagoa	7,4	28	375	6,3	1,9	43	67	11,6	1,3	291	135	161	27,7	87	23	277	84	84	125	4,3	49	12	71	12,6	10,0	114	4,4	91	146	58	270
	8,4	30	500	8,0	4,8	120	141	29,0	2,1	464	330	286	69,7	470	146	2602	611	1626	361	17,0	73	17	108	22,7	18,0	149	6,6	144	1800	900	1800
	6,3	26	250	3,4	0,5	16	31	1,0	0,8	132	2	18	6,0	4	0	11	0	0	0	2,0	33	6	26	4,4	4,2	79	1,7	51	17	4	55
	7,6	28	380	6,5	1,7	36	64	11,0	1,1	296	118	173	23,3	35	4	181	37	29	117	4,0	49	11	72	12,3	9,3	113	5,0	89	170	33	245
	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39	27	27	39	39	39	39	39	39	33	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39

pH: Potencial Hidrogeniônico

T: Temperatura

CE: Condutividade Elétrica

OD: Oxigênio Dissolvido

DBO: Demanda Bioquímica de Oxigênio

Média  
Máximo  
Mínimo  
Mediana  
Nº de Dados

DQO: Demanda Química de Oxigênio

Tur: Turbidez

Tra: Transparência

ST: Sólidos Totais

STF: Sólidos Totais fixos

STV: Sólidos Totais Voláteis

Cl: Clorofila "a"

PT: Fósforo Total

OF: Ortofosfato Solúvel

NT: Nitrogênio Total

NO<sub>3</sub><sup>-</sup>: NitratoN<sub>am</sub>: Nitrogênio AmoniacoalN<sub>org</sub>: Nitrogênio OrgânicoNO<sub>2</sub><sup>-</sup>: Nitrito

Alc: Alcalinidade

Acid: Acidez

Dur: Dureza

Ca: Cálcio

Mg: Magnésio

Na: Sódio

K: Potássio

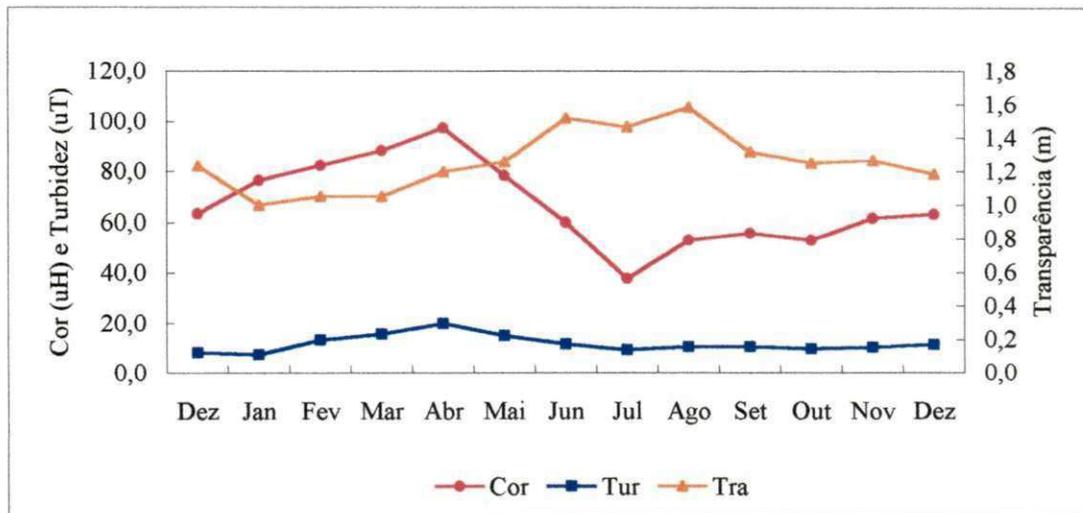
Cl: Cloretos

CT: Coliformes Totais

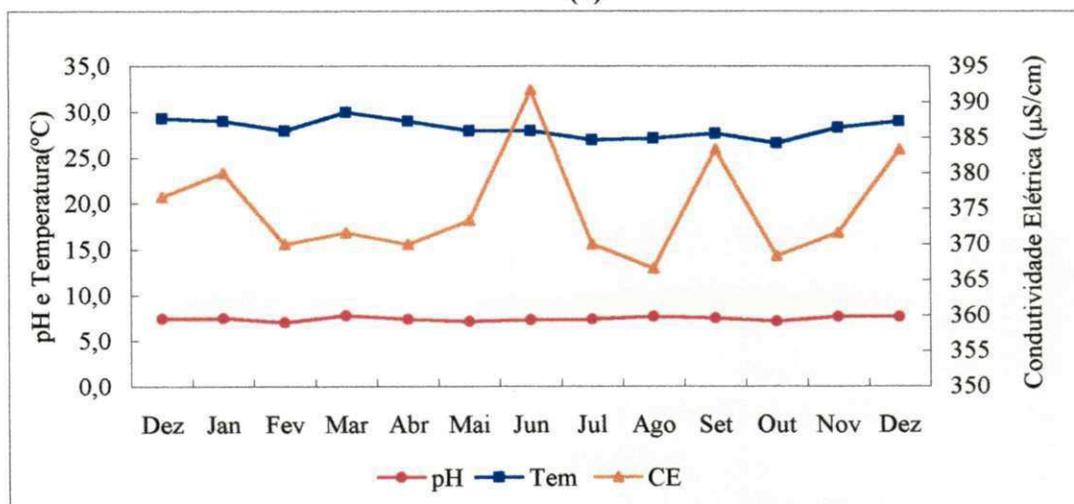
CF: Coliformes Fecais

BHM: Bactérias Heterotróficas Mesófilas

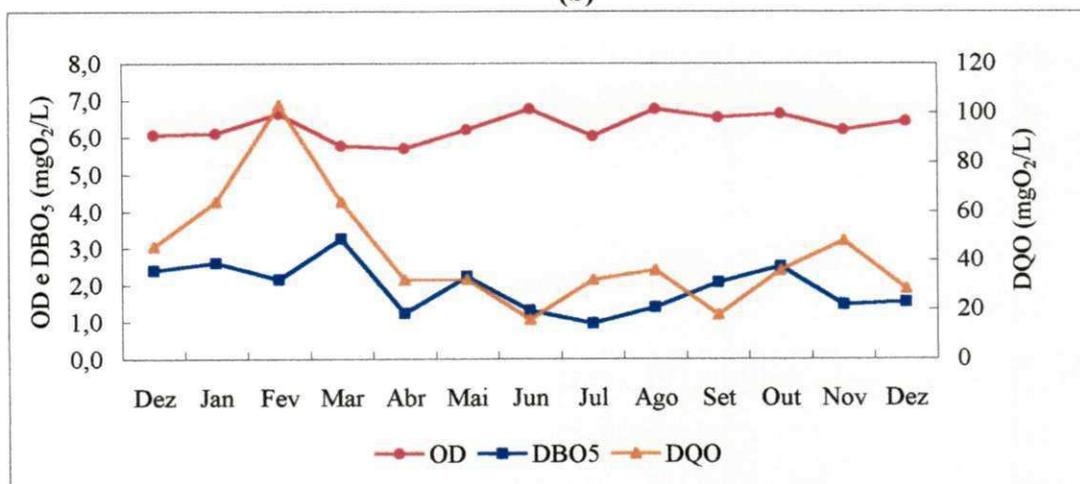
**Figura 4.11 - Distribuição temporal dos valores médios de cor, turbidez e transparência (a), temperatura, pH e condutividade elétrica (b) e OD, DBO<sub>5</sub> e DQO nos pontos E1, E2 e E3 da lagoa de Extremóz-RN (período de dez/96 a dez/97).**



(a)

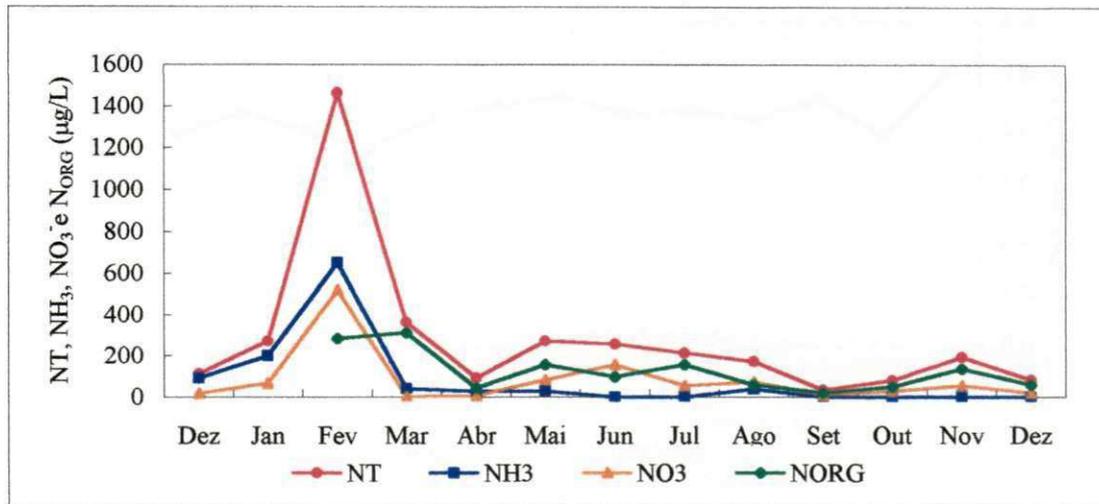


(b)

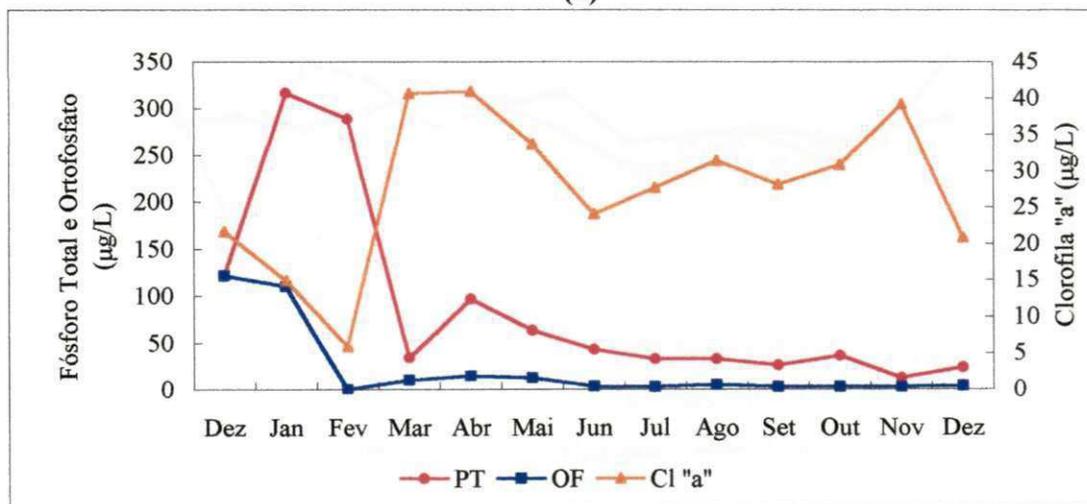


(c)

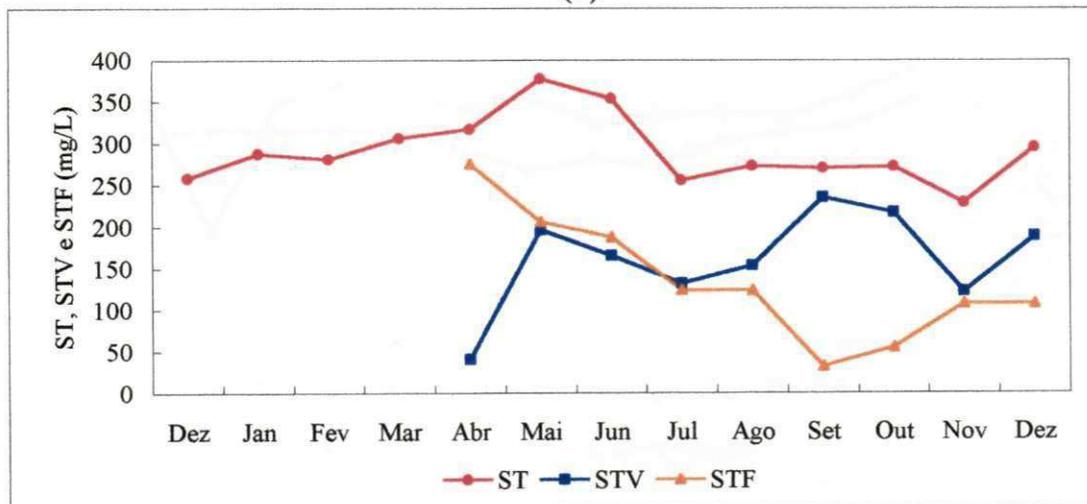
**Figura 4.12 - Distribuição temporal dos valores médios de nitrogênio total, amoniacal, orgânico e nitrato (a), fósforo total, ortofosfato solúvel e clorofila "a" (b) e sólidos totais, sólidos totais voláteis e fixos (c), nos pontos E1, E2 e E3 da lagoa de Extremóz-RN (período de dez/96 a dez/97).**



(a)

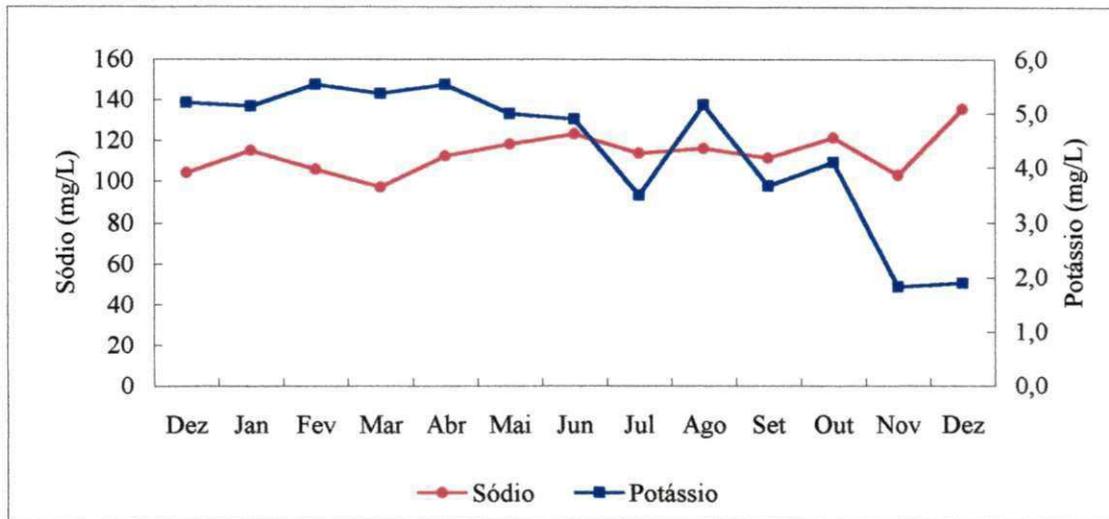


(b)

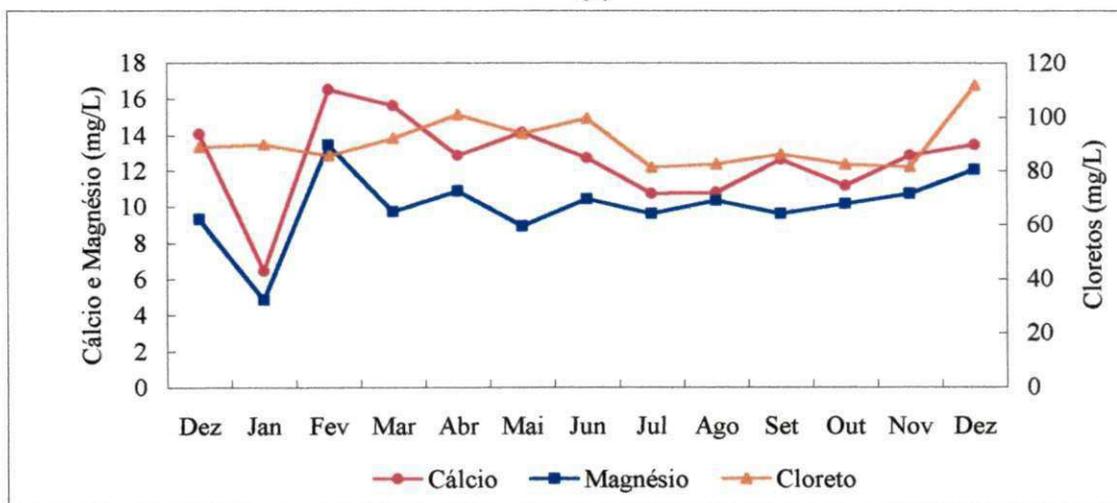


(c)

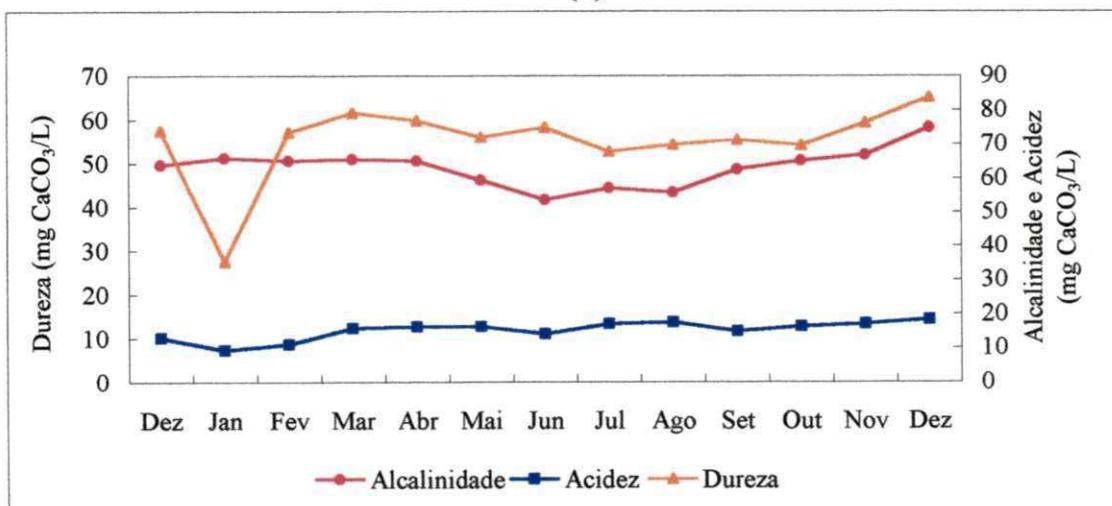
**Figura 4.13 - Distribuição temporal dos valores médios de sódio e potássio (a), cálcio, magnésio e cloretos (b) e dureza, alcalinidade e acidez (c), nos pontos E1, E2 e E3 da lagoa de Extremóz-RN (período de dez/96 a dez/97).**



(a)



(b)



(c)

**Figura 4.14 - Distribuição temporal dos valores médios de coliformes totais, coliformes fecais e bactérias heterotróficas mesófilas, nos pontos E1, E2 e E3 da lagoa de Extremóz-RN (período de dez/96 a dez/97).**

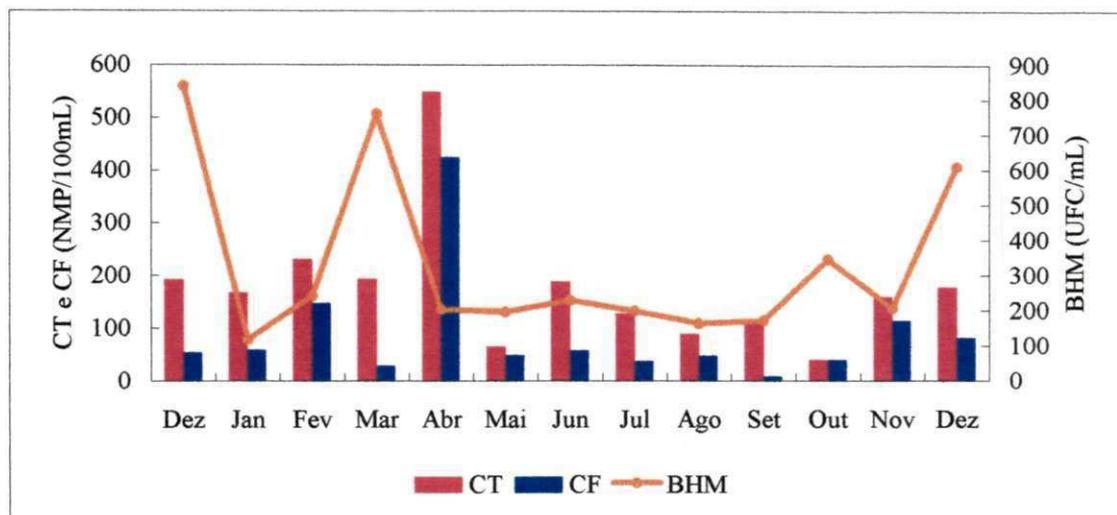
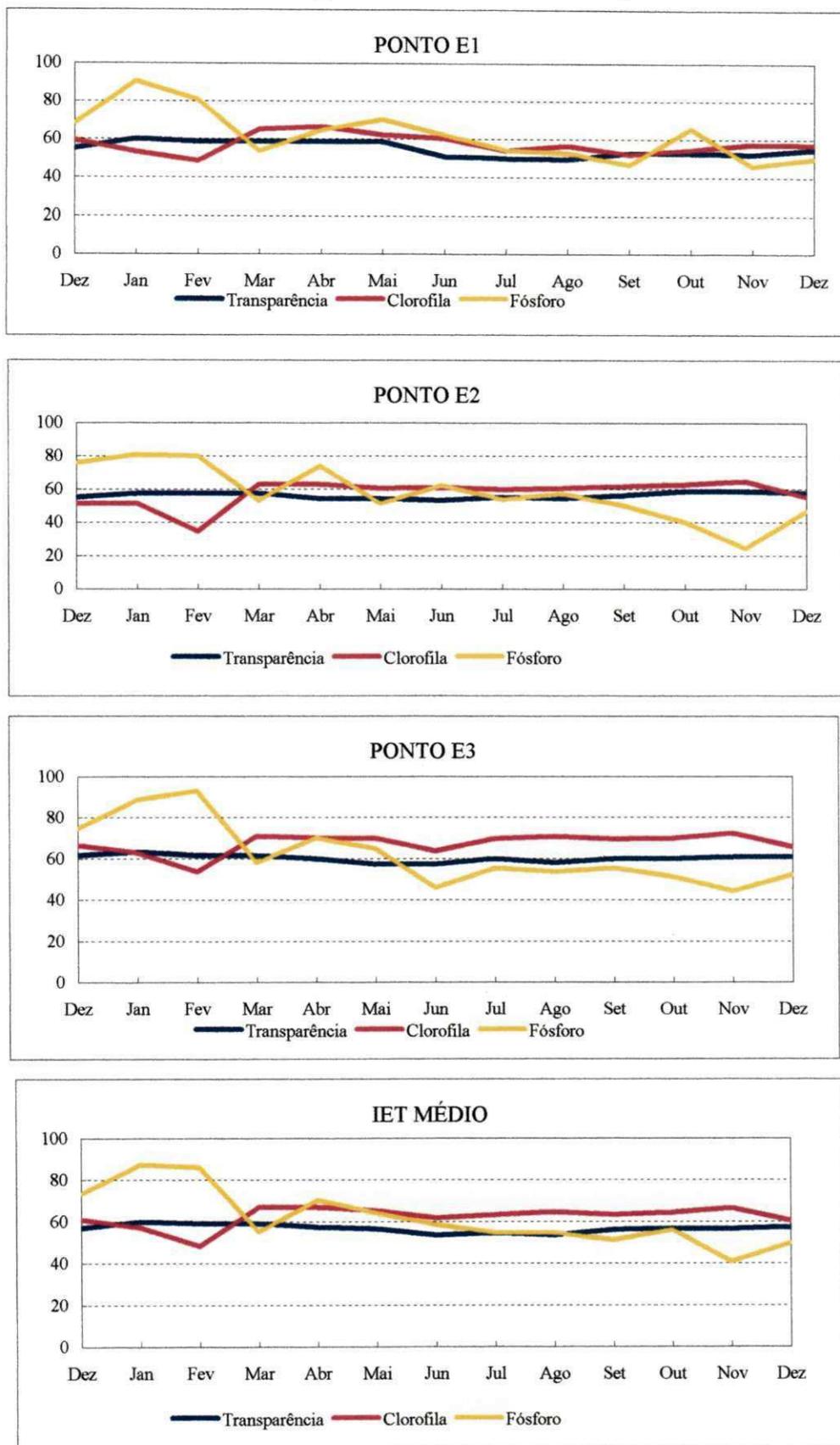


Tabela 4.6 - Índices do Estado Trófico nos pontos E1, E2 e E3 na lagoa de Extremóz-RN (período de dez/96 a dez/97).

Mês	Ponto de coleta	Transparência (m)			Clorofila "a" ( $\mu\text{g/L}$ )			Fósforo Total ( $\mu\text{g/L}$ )		
		Valor	IET	Class.	Valor	IET	Class.	Valor	IET	Class.
Dez	E1	1,40	55	Eutr.	18,80	59	Eutr.	86	68	Hiper
	E2	1,40	55	Eutr.	8,10	51	Eutr.	146	76	Hiper
	E3	0,90	62	Hiper	38,10	66	Hiper	133	75	Hiper
	Média	1,23	57	Eutr.	21,67	61	Hiper	122	73	Hiper
Jan	E1	1,00	60	Hiper	10,00	53	Eutr.	395	90	Hiper
	E2	1,20	57	Eutr.	8,20	51	Eutr.	203	81	Hiper
	E3	0,80	63	Hiper	26,60	63	Hiper	351	89	Hiper
	Média	1,00	60	Hiper	14,93	57	Eutr.	316	87	Hiper
Fev	E1	1,10	59	Eutr.	6,20	48	Meso	202	81	Hiper
	E2	1,20	57	Eutr.	1,50	35	Oligo	195	80	Hiper
	E3	0,90	62	Hiper	10,40	54	Eutr.	470	93	Hiper
	Média	1,07	59	Eutr.	6,03	48	Meso	289	86	Hiper
Mar	E1	1,10	59	Eutr.	33,80	65	Hiper	31	54	Eutr.
	E2	1,20	57	Eutr.	27,30	63	Hiper	30	53	Eutr.
	E3	0,90	62	Hiper	60,70	71	Hiper	42	58	Eutr.
	Média	1,07	59	Eutr.	40,60	67	Hiper	34	55	Eutr.
Abr	E1	1,10	59	Eutr.	39,20	67	Hiper	66	65	Hiper
	E2	1,50	54	Eutr.	27,40	63	Hiper	127	74	Hiper
	E3	1,00	60	Hiper	56,20	70	Hiper	96	70	Hiper
	Média	1,20	57	Eutr.	40,93	67	Hiper	96	70	Hiper
Mai	E1	1,10	59	Eutr.	25,20	62	Hiper	98	70	Hiper
	E2	1,50	54	Eutr.	21,30	61	Hiper	26	51	Eutr.
	E3	1,20	57	Eutr.	54,40	70	Hiper	67	65	Hiper
	Média	1,27	57	Eutr.	33,63	65	Hiper	64	64	Hiper
Jun	E1	1,90	51	Eutr.	20,90	60	Hiper	55	62	Hiper
	E2	1,60	53	Eutr.	22,30	61	Hiper	56	62	Hiper
	E3	1,20	57	Eutr.	29,10	64	Hiper	18	46	Meso
	Média	1,57	54	Eutr.	24,10	62	Hiper	43	58	Eutr.
Jul	E1	2,00	50	Meso	10,70	54	Eutr.	32	54	Eutr.
	E2	1,40	55	Eutr.	19,30	60	Eutr.	31	54	Eutr.
	E3	1,00	60	Hiper	53,20	70	Hiper	35	55	Eutr.
	Média	1,47	54	Eutr.	27,73	63	Hiper	33	54	Eutr.
Ago	E1	2,10	49	Meso	14,00	56	Eutr.	29	53	Eutr.
	E2	1,50	54	Eutr.	21,40	61	Hiper	39	57	Eutr.
	E3	1,15	58	Eutr.	59,00	71	Hiper	31	54	Eutr.
	Média	1,58	53	Eutr.	31,47	64	Hiper	33	55	Eutr.
Set	E1	1,65	53	Eutr.	8,80	52	Eutr.	19	47	Meso
	E2	1,30	56	Eutr.	23,30	61	Hiper	24	50	Eutr.
	E3	1,00	60	Hiper	52,30	69	Hiper	35	55	Eutr.
	Média	1,32	56	Eutr.	28,13	63	Hiper	26	51	Eutr.
Out	E1	1,65	53	Eutr.	11,40	54	Eutr.	71	66	Hiper
	E2	1,10	59	Eutr.	26,30	63	Hiper	12	40	Meso
	E3	1,00	60	Hiper	54,80	70	Hiper	26	51	Eutr.
	Média	1,25	57	Eutr.	30,83	64	Hiper	36	56	Eutr.
Nov	E1	1,75	52	Eutr.	15,60	58	Eutr.	18	46	Meso
	E2	1,10	59	Eutr.	32,20	65	Hiper	4	24	Oligo
	E3	0,95	61	Hiper	69,70	72	Hiper	16	44	Meso
	Média	1,27	57	Eutr.	39,17	67	Hiper	13	41	Meso
Dez	E1	1,45	55	Eutr.	14,80	57	Eutr.	24	50	Eutr.
	E2	1,20	57	Eutr.	12,20	55	Eutr.	19	47	Meso
	E3	0,95	61	Hiper	35,50	66	Hiper	28	52	Eutr.
	Média	1,20	57	Eutr.	20,83	60	Hiper	24	50	Meso
Média lagoa		1,27	57	Eutr.	27,83	61	Hiper	88	61	Hiper

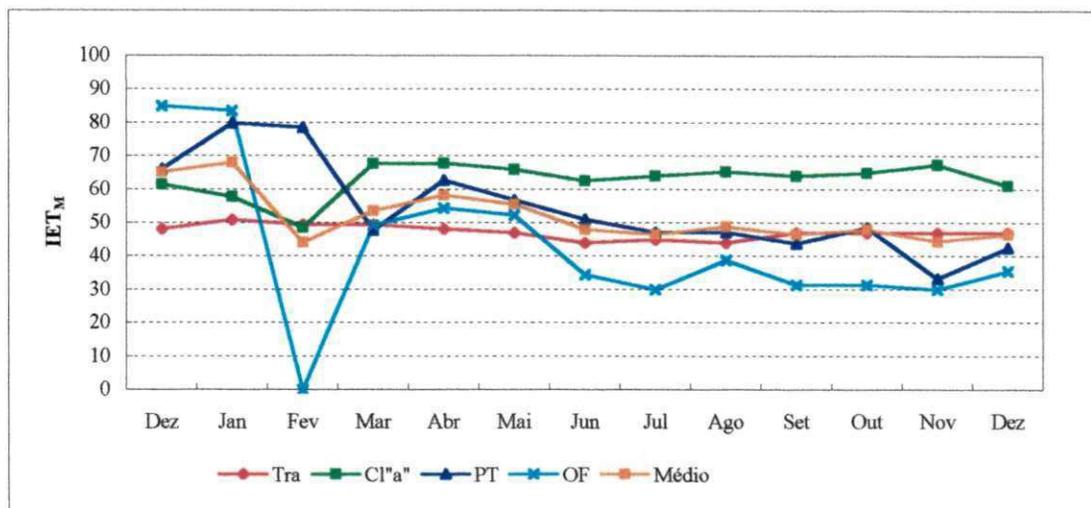
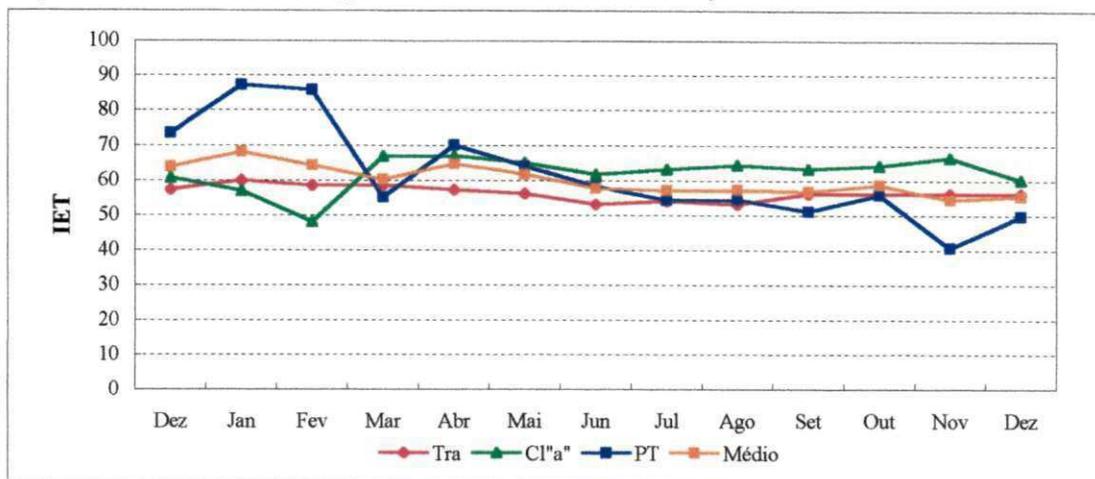
**Figura 4.15 - Variação espaço-temporal do IET nos pontos E1, E2 e E3 e média da lagoa de Extremóz- RN (período de dez/96 a dez/97).**



**Tabela 4.7- Valores médios mensais de parâmetros limnológicos e índices do estado trófico tradicional e modificado da lagoa de Extremóz-RN (período de dez/96 a dez/97).**

Mês	Parâmetros				Índice do Estado Trófico					Índice do Estado Trófico Modificado					
	Tra (m)	Cl"a" (µg/L)	PT (µg/L)	OF (µg/L)	Tra	Cl"a"	PT	Médio	Class.	Tra	Cl"a"	PT	OF	Médio	Class.
Dez	1,2	21,7	121,7	121,7	57	61	73	64	Hip.	48	61	66	85	65	Hip.
Jan	1,0	14,9	316,3	110,0	60	57	87	68	Hip.	51	58	80	83	68	Hip.
Fev	1,1	6,0	289,0	0,0	59	48	86	64	Hip.	49	49	78	0	44	Mes.
Mar	1,1	40,6	34,3	10,3	59	67	55	60	Hip.	49	68	48	49	54	Eut.
Abr	1,2	40,9	96,3	14,7	57	67	70	65	Hip.	48	68	63	54	58	Eut.
Mai	1,3	33,6	63,7	12,7	56	65	64	62	Hip.	47	66	57	52	55	Eut.
Jun	1,6	24,1	43,0	3,7	53	62	58	58	Eut.	44	62	51	34	48	Mes.
Jul	1,5	27,7	32,7	2,7	54	63	54	57	Eut.	45	64	47	30	46	Mes.
Ago	1,6	31,5	33,0	5,0	53	64	55	57	Eut.	44	65	47	39	49	Mes.
Set	1,3	28,1	26,0	3,0	56	63	51	57	Eut.	47	64	44	31	47	Mes.
Out	1,3	30,8	36,3	3,0	56	64	56	59	Eut.	47	65	49	31	48	Mes.
Nov	1,3	39,2	12,7	2,7	56	67	41	55	Eut.	47	67	33	30	44	Mes.
Dez	1,3	20,8	23,7	4,0	56	60	50	55	Eut.	47	61	42	36	46	Mes.

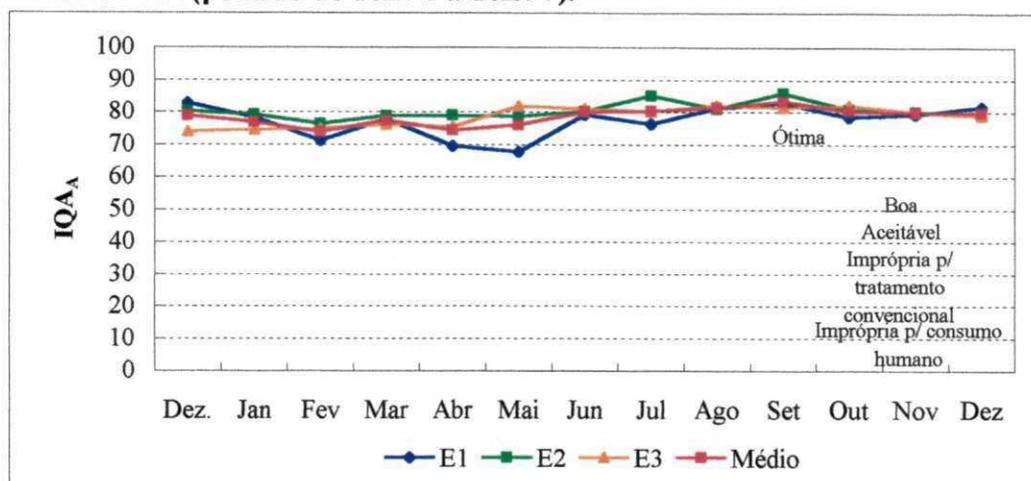
**Figura 4.16 - Variação temporal da média do IET tradicional e modificado na lagoa de Extremóz- RN (período de Dez/96 a Dez/97).**



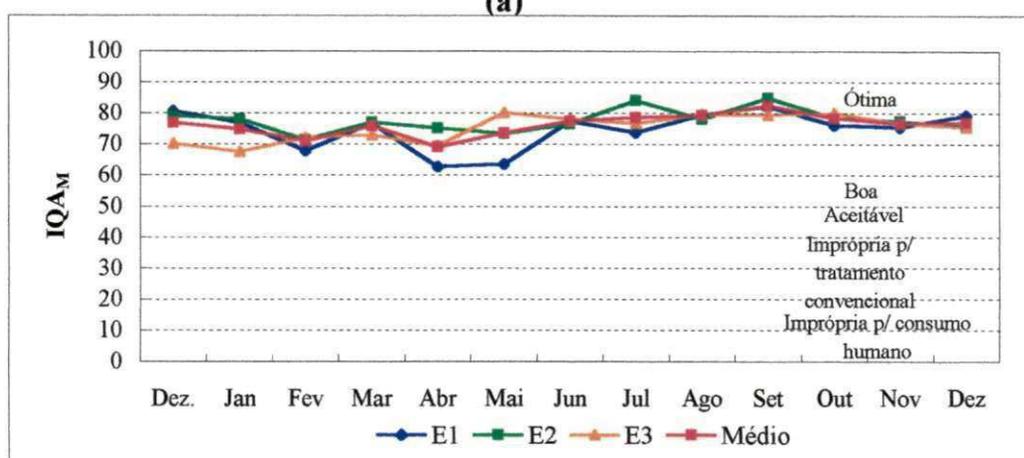
**Tabela 4.8- Distribuição espaço-temporal do índice de qualidade da água (aditivo e multiplicativo) da lagoa de Extremóz-RN (período de dez/96 a dez/97).**

Mês	IQA <sub>aditivo</sub>					IQA <sub>multiplicativo</sub>				
	E1	E2	E3	Médio	Class.	E1	E2	E3	Médio	Class.
Dez	83	80	74	79	Boa	81	79	70	77	Boa
Jan	78	79	74	77	Boa	77	78	68	75	Boa
Fev	71	76	75	74	Boa	68	71	72	71	Boa
Mar	78	79	76	77	Boa	77	77	73	76	Boa
Abr	70	79	75	74	Boa	63	75	70	69	Boa
Mai	68	79	82	76	Boa	64	73	80	74	Boa
Jun	79	80	81	80	Ótima	77	77	78	77	Boa
Jul	76	85	80	80	Ótima	74	84	77	79	Boa
Ago	81	81	82	81	Ótima	80	78	80	79	Ótima
Set	83	86	81	83	Ótima	82	85	80	82	Ótima
Out	78	81	82	80	Ótima	76	78	80	78	Boa
Nov	79	80	80	80	Ótima	76	77	77	77	Boa
Dez	82	79	79	80	Ótima	79	76	75	77	Boa

**Figura 4.8 - Variação espaço-temporal do IQA<sub>A</sub> (a) e IQA<sub>M</sub> (b), na lagoa de Extremóz-RN (período de dez/96 a dez/97).**

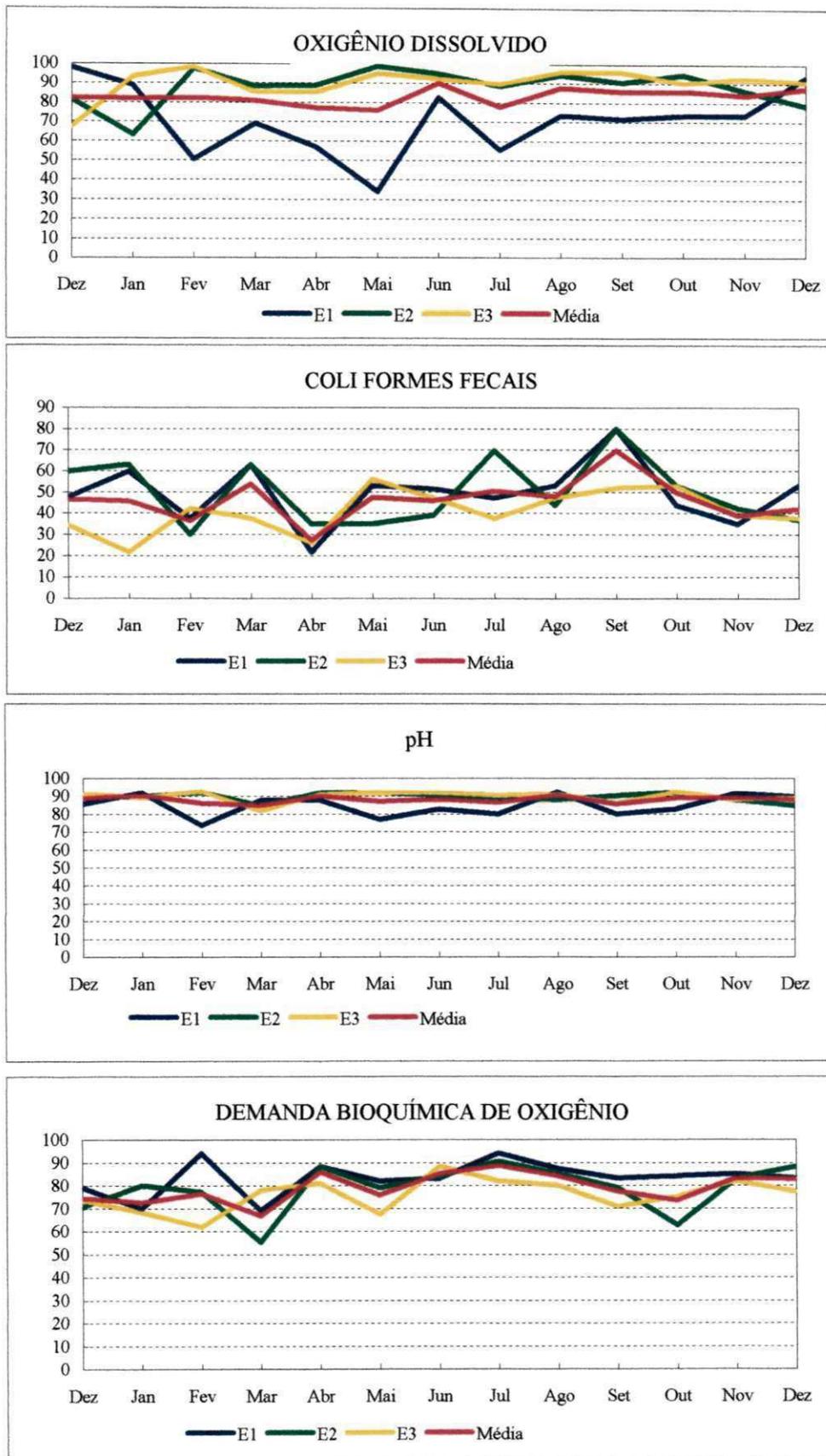


(a)



(b)

**Figura 4.18 - Variação espaço-temporal dos sub-índices de qualidade nos pontos E1, E2 e E3 da lagoa de Extremóz-RN (período de dez/96 a dez/97).**



**Figura 4.19 - Variação espaço-temporal dos sub-índices de qualidade nos pontos E1, E2 e E3 da lagoa de Extremóz-RN (período de dez/96 a dez/97).**

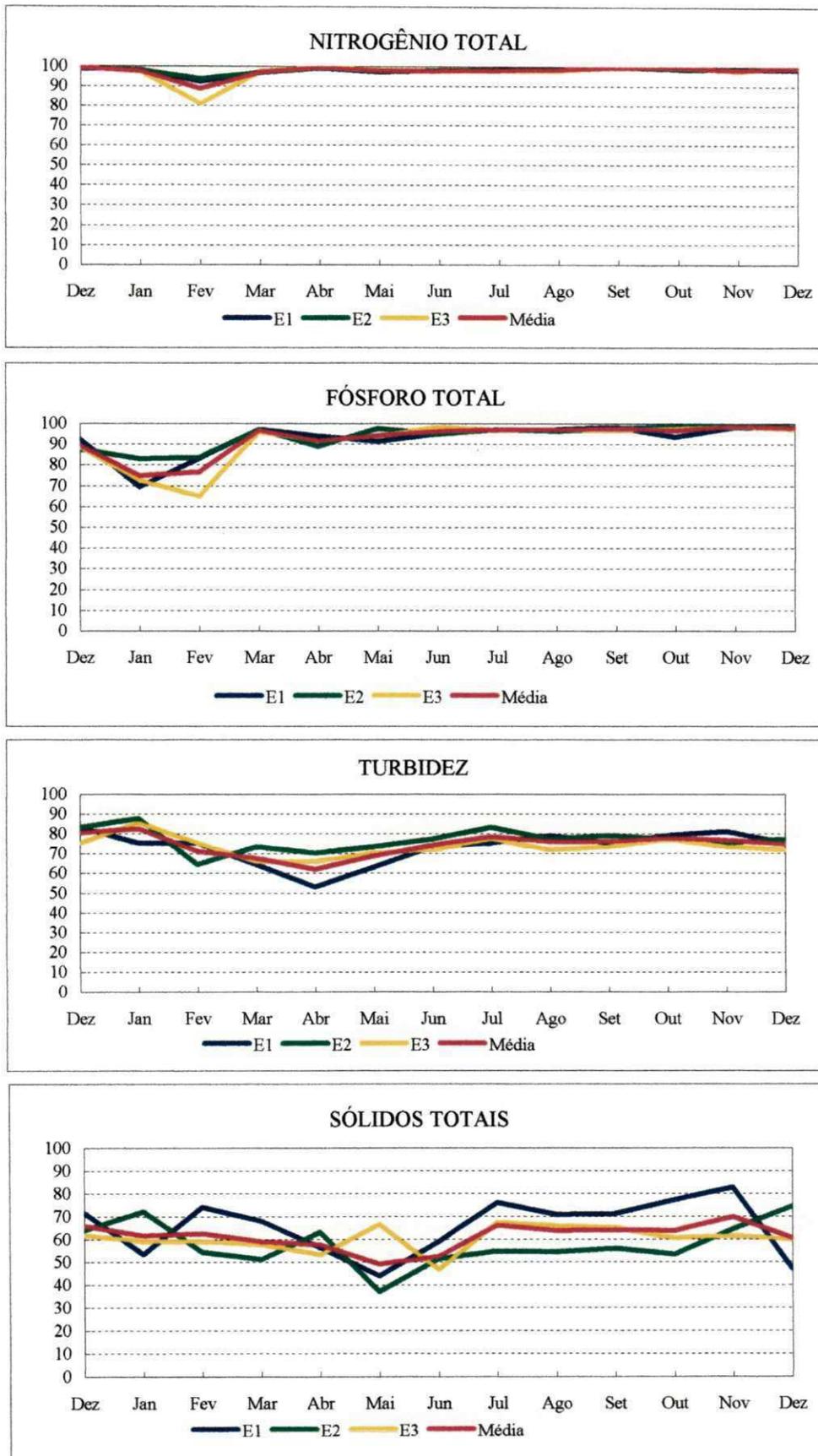


Tabela 4.9 - Valores médios, máximos, mínimos e medianos de parâmetros físicos, químicos e biológicos da Lagoa de Jiquí-RN (período de dez./96 a dez./97).

Ponto	PARÂMETROS																														
	pH	T °C	CE µS.cm <sup>-1</sup>	OD mg/L	DBO mg/L	DQO mg/L	Cor uI	Tur uT	Tra m	ST mg/L	STF mg/L	STV mg/L	Cla µg/L	PT µg/L	OF µg/L	NT µg/L	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> µg/L	N <sub>am</sub> µg/L	N <sub>org</sub> µg/L	NO <sub>2</sub> µg/L	Alc mg/L	Aci mg/L	Dur mg/L	Ca mg/L	Mg mg/L	Na mg/L	K mg/L	Cl mg/L	CT NMP/100mL	CF UFC/mL	BHM UFC/mL
J1	6,0	29	82	5,6	1,3	32	64	14,3	1,7	77	52	31	8,7	59	24	577	352	98	132	5	15	9	16	2,9	2,1	19	1,4	19	869	382	656
	6,4	30	89	7,2	3,0	86	151	40,0	2,9	98	81	48	26,8	258	160	1435	952	480	757	8	21	13	24	4,4	3,2	29	2,4	27	3000	1700	2200
	5,1	27	77	4,4	0,5	15	33	5,0	0,7	57	34	13	1,0	0	3	320	200	0	0	3	10	3	9	9,0	1,4	13	0,9	13	140	11	40
	6,2	29	80	5,5	1,3	21	47	9,0	1,8	78	53	28	5,2	29	6	422	285	117	79	5	14	9	16	3,0	2,0	18	1,0	19	900	330	820
	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	9	9	13	13	13	13	13	13	12	13	13	13	13	13	13	12	13	13	13	13
J2	6,2	29	81	5,3	1,3	35	60	11,3	1,5	73	52	32	8,0	47	23	520	253	134	140	4	15	9	16	2,9	2,2	19	1,3	19	1100	505	772
	6,4	31	88	7,4	2,1	64	125	25,0	2,1	130	107	68	14,1	198	147	2120	689	714	714	8	19	16	26	4,4	3,7	28	2,2	29	5000	2200	2950
	5,5	27	76	3,3	0,6	16	32	6,0	0,9	40	10	10	2,3	10	3	184	63	0	0	3	10	3	9	0,9	1,1	13	0,9	12	220	4	50
	6,3	29	79	5,3	1,2	30	46	9,0	1,4	66	47	28	6,2	25	4	409	229	58	117	4	15	9	15	3,0	2,0	18	1,0	19	1600	1400	1020
	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	9	9	13	13	13	13	13	13	12	13	13	13	13	13	13	12	13	13	13	13
J3	6,3	29	82	6,2	1,4	40	51	9,4	1,9	80	55	30	5,1	75	21	386	223	59	109	4	13	8	18	2,8	2,7	19	1,4	20	114	39	558
	6,5	30	90	7,6	1,9	80	114	24,0	2,6	132	117	48	11,4	314	120	1108	467	311	466	6	18	15	37	4,4	6,4	29	2,2	29	1600	900	4500
	5,7	27	77	5,0	0,3	17	27	5,0	1,2	56	35	13	1,3	6	3	158	74	0	0	2	8	4	9	0,9	1,6	13	0,9	13	4	2	40
	6,4	29	81	6,0	1,4	33	38	7,0	1,8	80	50	30	3,2	31	8	307	211	29	88	4	13	8	18	3,0	2,0	18	1,0	20	240	30	695
	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	9	9	13	13	13	13	13	13	12	13	13	13	13	13	13	12	13	13	13	13
Lagoa	6,2	29	81	5,7	1,3	36	58	11,7	1,7	77	53	31	7,2	61	22	494	276	97	127	4	14	8	17	2,9	2,3	19	1,4	19	477	195	656
	6,5	31	90	7,6	3,0	86	151	26,3	2,9	132	117	68	26,8	314	160	2120	952	714	757	8	21	16	37	4,4	6,4	29	2,4	29	5000	2200	4500
	5,1	27	76	3,3	0,3	15	27	5,0	0,7	40	10	10	1,0	0	3	158	63	0	0	2	8	4	9	0,9	1,1	13	0,9	12	4	2	40
	6,3	29	80	5,6	1,4	32	46	8,0	1,6	79	50	28	6,0	29	6	408	247	58	117	4	14	9	17	2,7	2,1	18	1,4	20	500	300	850
	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39	27	27	39	39	39	39	39	39	36	39	39	39	39	39	39	36	39	39	39	39

pH: Potencial Hidrogeniônico

T: Temperatura

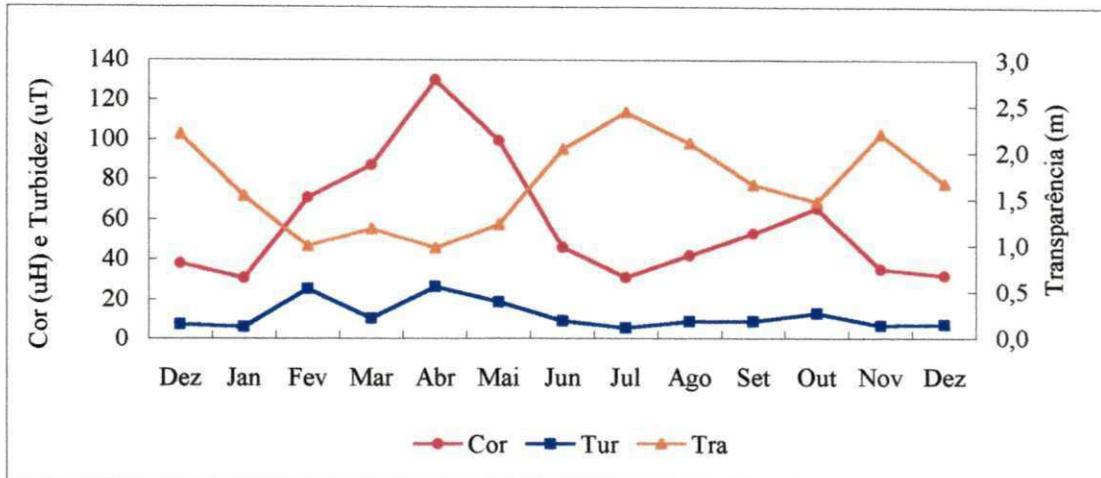
CE: Condutividade Elétrica

OD: Oxigênio Dissolvido

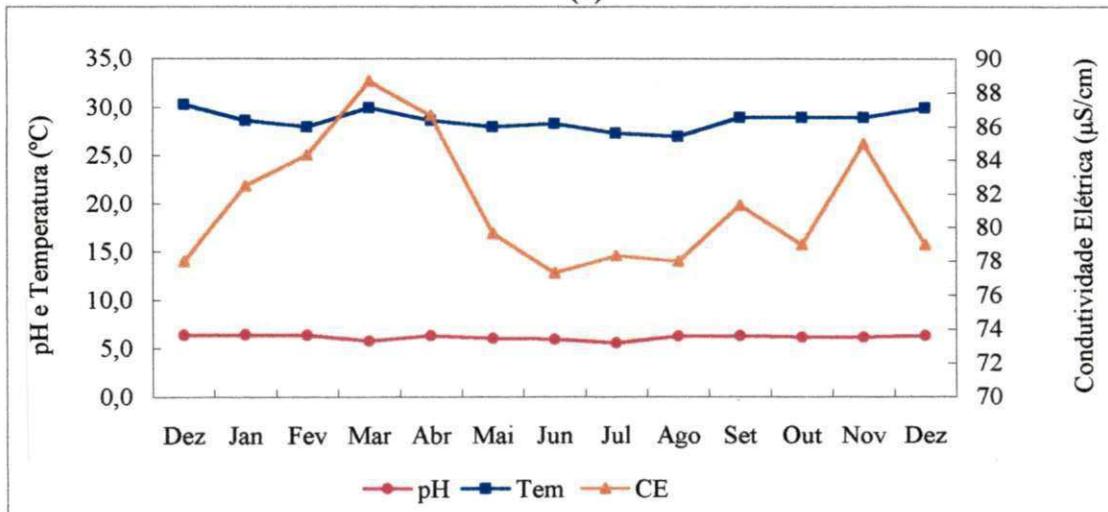
DBO: Demanda Bioquímica de Oxigênio

Média	DQO: Demanda Química de Oxigênio	Tur: Turbidez	Tra: Transparência	ST: Sólidos Totais	STF: Sólidos Totais fixos	STV: Sólidos Totais Voláteis				
Máximo	Cla: Clorofila "a"	PT: Fósforo Total	OF: Ortofosfato Solúvel	NT: Nitrogênio Total	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> : Nitrato	N <sub>am</sub> : Nitrogênio Amoniacal	N <sub>org</sub> : Nitrogênio Orgânico			
Mínimo	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> : Nitrito	Alc: Alcalinidade	Aci: Acidez	Dur: Dureza	Ca: Cálcio	Mg: Magnésio	Na: Sódio	K: Potássio	Cl: Cloretos	CT: Coliformes Totais
Mediana	CF: Coliformes Fecais	BHM: Bactérias Heterotróficas Mesófilas								
Nº de Dados										

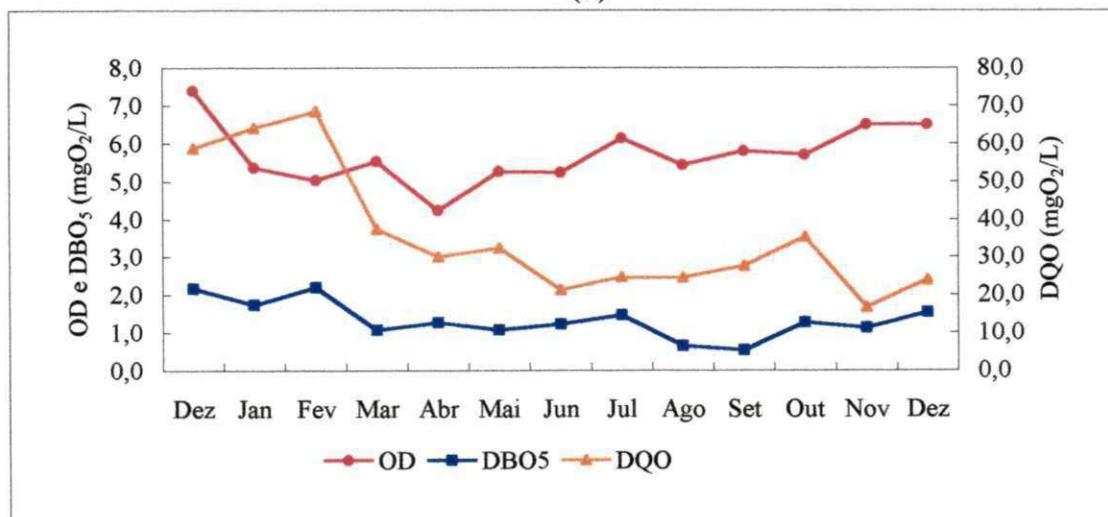
**Figura 4.20 - Distribuição temporal dos valores médios de cor, turbidez e transparência (a), temperatura, pH e condutividade elétrica (b) e OD, DBO<sub>5</sub> e DQO (c), nos pontos J1, J2 e J3 da lagoa de Jiqui-RN (período de Dez/96 a Dez/97).**



(a)

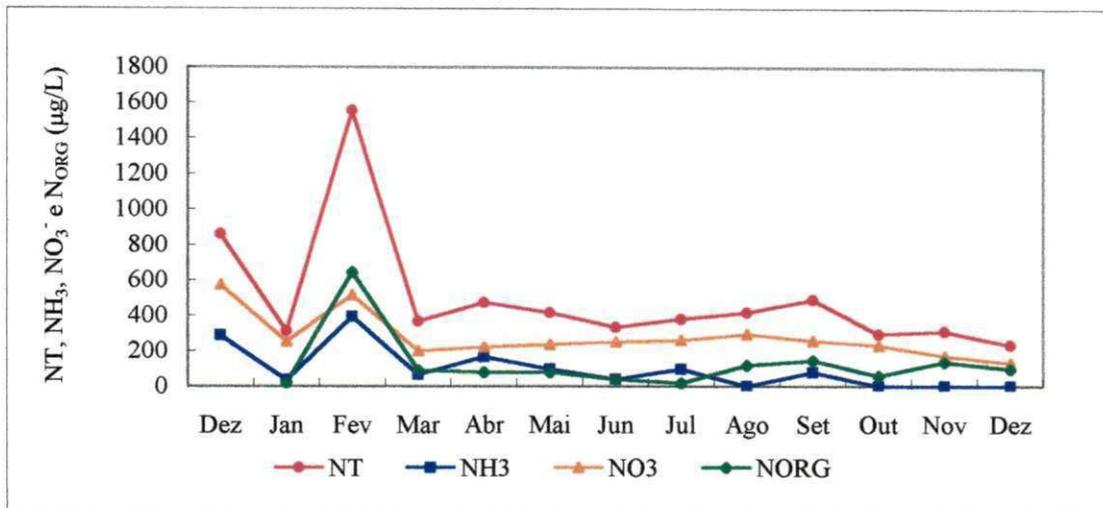


(b)

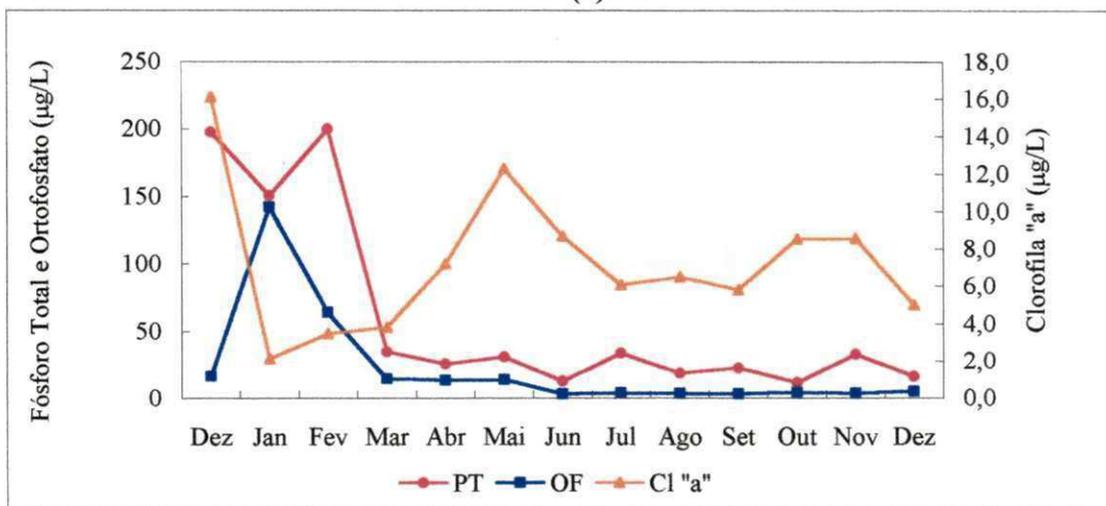


(c)

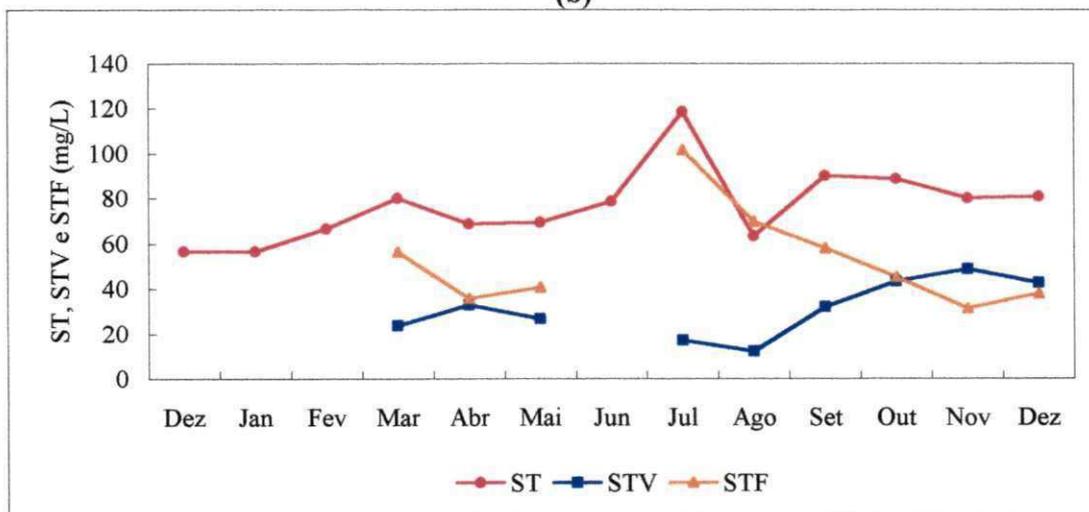
**Figura 4.21 - Distribuição temporal dos valores médios de nitrogênio total, amoniacal, orgânico e nitrato (a), fósforo total, ortofosfato solúvel e clorofila "a" (b) e sólidos totais, sólidos totais voláteis e fixos (c), nos pontos J1, J2 e J3 da lagoa de Jiqui-RN (período de Dez/96 a Dez/97).**



(a)

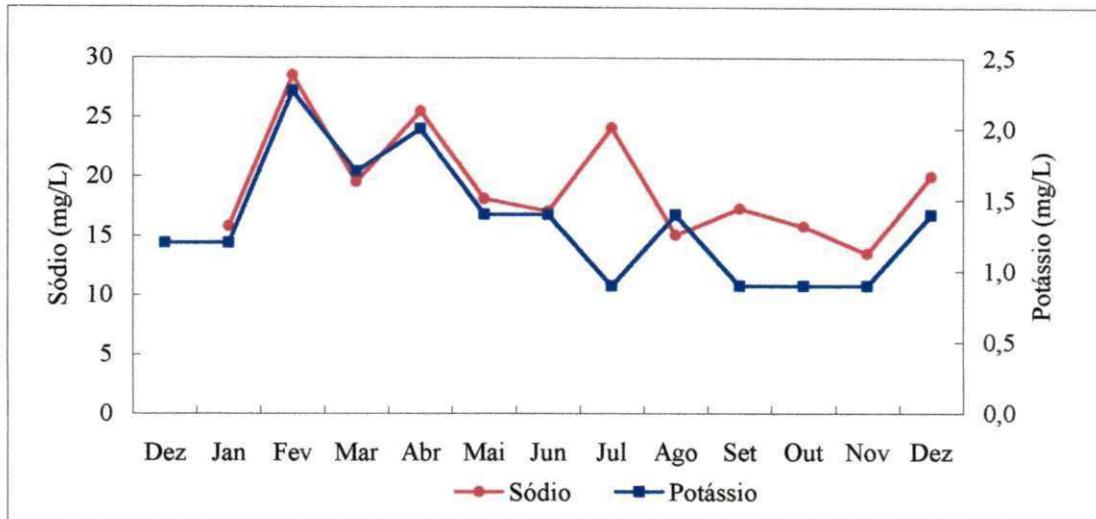


(b)

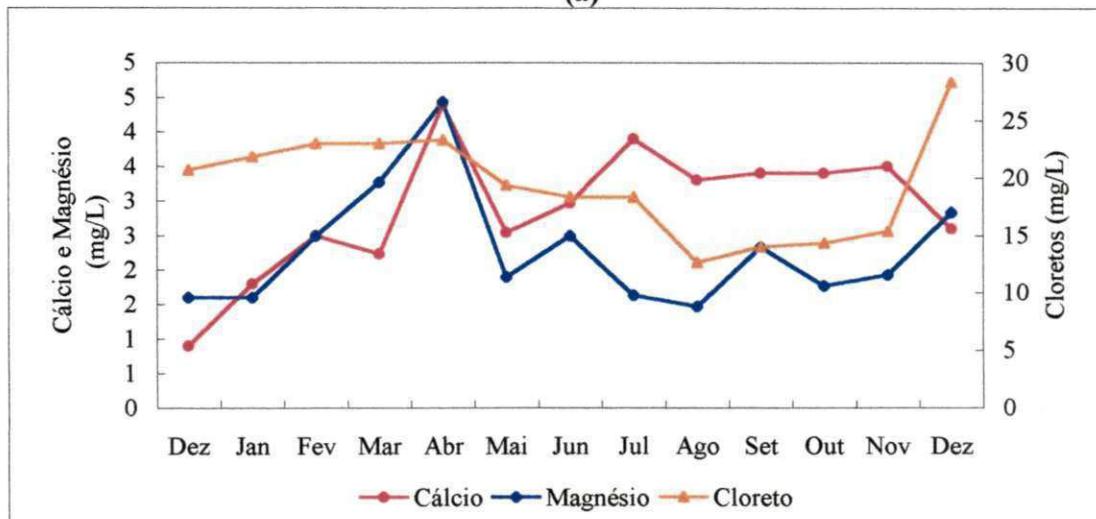


(c)

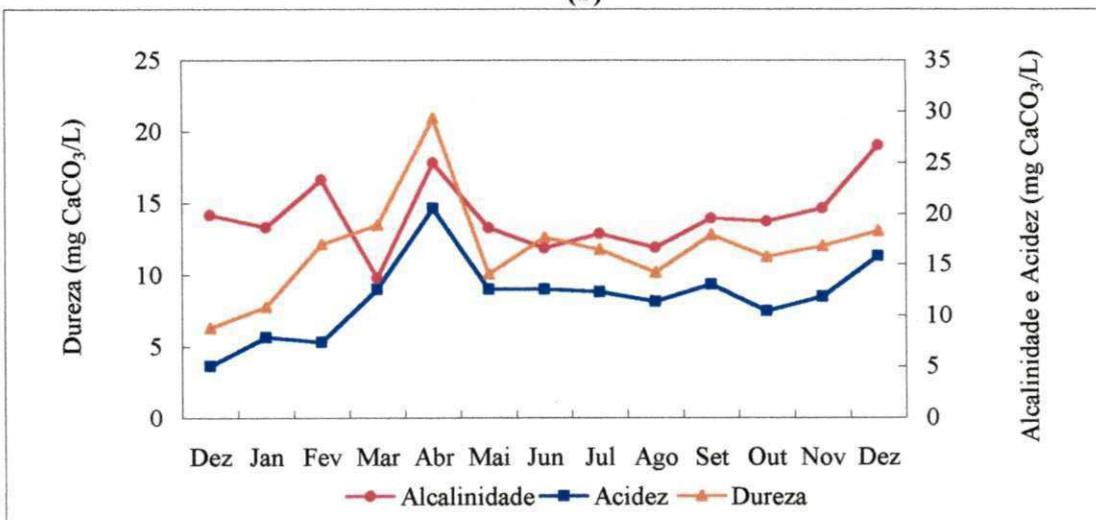
**Figura 4.22 - Distribuição temporal dos valores médios de sódio e potássio (a), cálcio, magnésio e cloretos (b) e dureza, alcalinidade e acidez (c), nos pontos J1, J2 e J3 da lagoa de Jiqui-RN (período de Dez/96 a Dez/97).**



(a)



(b)



(c)

**Figura 4.23 - Distribuição temporal dos valores médios de coliformes totais, coliformes fecais e bactérias heterotróficas mesófilas, nos pontos J1, J2 e J3 da lagoa de Jiqui-RN (período de Dez/96 a Dez/97).**

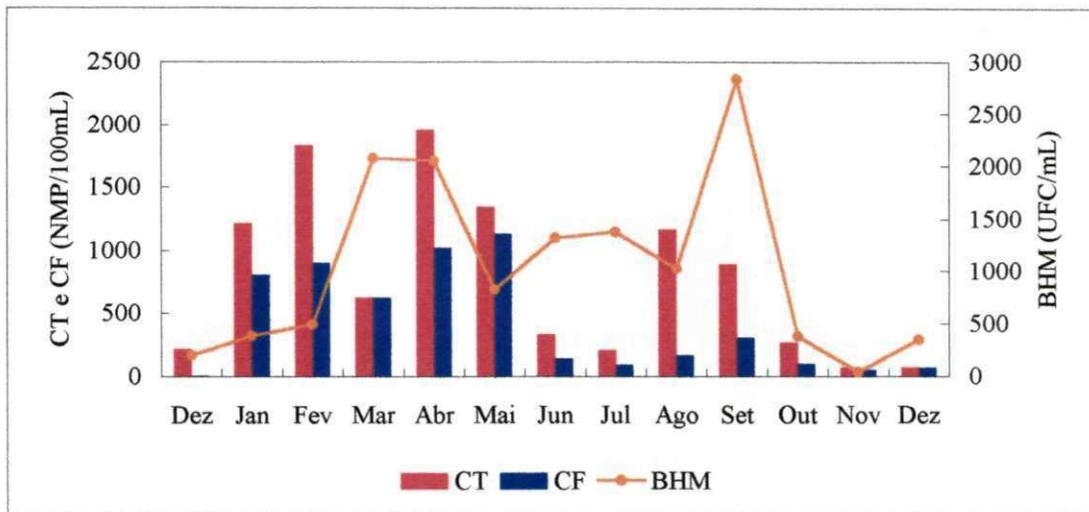
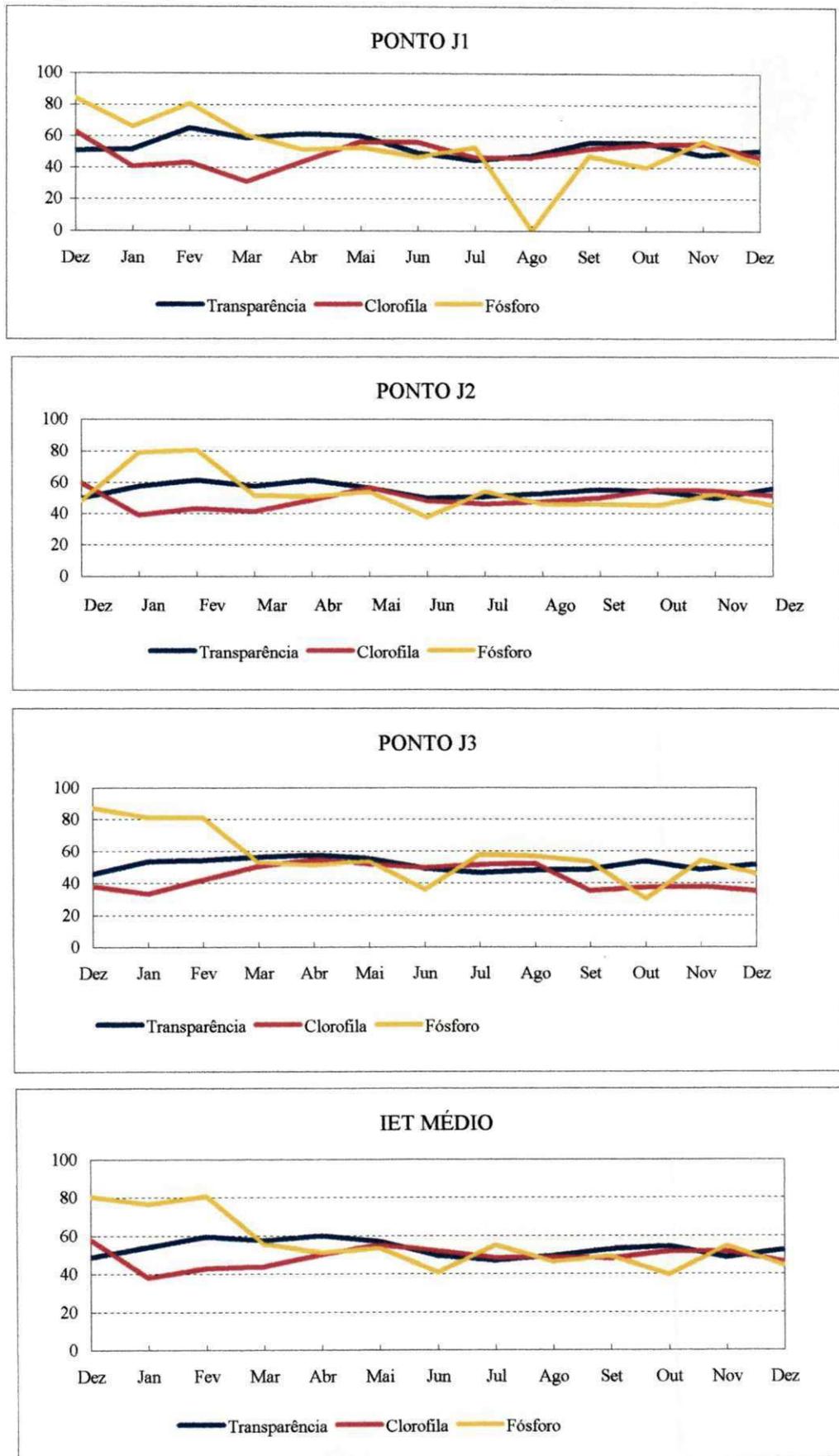


Tabela 4.10 - Índices do Estado Trófico nos pontos J1, J2 e J3 na lagoa de Jiqui-RN (período de dez/96 a dez/97).

Mês	Ponto de coleta	Transparência (m)			Clorofila "a" ( $\mu\text{g/L}$ )			Fósforo Total ( $\mu\text{g/L}$ )		
		Valor	IET	Class.	Valor	IET	Class.	Valor	IET	Class.
Dez	J1	1,90	51	Eutr.	26,80	63	Hiper	258	84	Hiper
	J2	2,00	50	Meso	19,40	60	Eutr.	21	48	Meso
	J3	2,70	46	Meso	2,10	38	Oligo	314	87	Hiper
	Média	2,20	49	Meso	16,10	58	Eutr.	198	80	Hiper
Jan	J1	1,80	52	Eutr.	2,80	41	Meso	73	66	Hiper
	J2	1,20	57	Eutr.	2,30	39	Oligo	176	79	Hiper
	J3	1,60	53	Eutr.	1,30	33	Oligo	203	81	Hiper
	Média	1,53	54	Eutr.	2,13	38	Oligo	151	77	Hiper
Fev	J1	0,70	65	Hiper	3,60	43	Meso	199	81	Hiper
	J2	0,90	62	Hiper	3,60	43	Meso	198	80	Hiper
	J3	1,50	54	Eutr.	3,20	42	Meso	204	81	Hiper
	Média	1,03	60	Eutr.	3,47	43	Meso	200	81	Hiper
Mar	J1	1,10	59	Eutr.	1,00	31	Oligo	49	60	Hiper
	J2	1,20	57	Eutr.	2,90	41	Meso	27	52	Eutr.
	J3	1,30	56	Eutr.	7,50	50	Eutr.	29	53	Eutr.
	Média	1,20	57	Eutr.	3,80	44	Meso	35	55	Eutr.
Abr	J1	0,90	62	Hiper	3,90	44	Meso	26	51	Eutr.
	J2	0,90	62	Hiper	6,20	48	Meso	25	51	Eutr.
	J3	1,20	57	Eutr.	11,40	54	Eutr.	26	51	Eutr.
	Média	1,00	60	Hiper	7,17	50	Meso	26	51	Eutr.
Mai	J1	1,00	60	Hiper	13,80	56	Eutr.	29	53	Eutr.
	J2	1,30	56	Eutr.	14,10	57	Eutr.	32	54	Eutr.
	J3	1,40	55	Eutr.	8,90	52	Eutr.	31	54	Eutr.
	Média	1,23	57	Eutr.	12,27	55	Eutr.	31	54	Eutr.
Jun	J1	2,10	49	Meso	13,30	56	Eutr.	19	47	Meso
	J2	2,00	50	Meso	6,00	48	Meso	10	37	Oligo
	J3	2,10	49	Meso	6,80	49	Meso	9	36	Oligo
	Média	2,07	50	Meso	8,70	52	Eutr.	13	41	Meso
Jul	J1	2,90	45	Meso	4,90	46	Meso	29	53	Eutr.
	J2	1,90	51	Eutr.	4,80	46	Meso	31	54	Eutr.
	J3	2,55	46	Meso	8,40	51	Eutr.	41	58	Eutr.
	Média	2,45	47	Meso	6,03	48	Meso	34	55	Eutr.
Ago	J1	2,35	48	Meso	5,00	46	Meso	0	0	Ultra
	J2	1,65	53	Eutr.	5,50	47	Meso	18	46	Meso
	J3	2,30	48	Meso	9,00	52	Eutr.	38	57	Eutr.
	Média	2,10	49	Meso	6,50	49	Meso	19	46	Meso
Set	J1	1,35	56	Eutr.	8,70	52	Eutr.	20	47	Meso
	J2	1,40	55	Eutr.	7,10	50	Meso	18	46	Meso
	J3	2,20	49	Meso	1,60	35	Oligo	30	53	Eutr.
	Média	1,65	53	Eutr.	5,80	48	Meso	23	49	Meso
Out	J1	1,35	56	Eutr.	11,60	55	Eutr.	12	40	Meso
	J2	1,50	54	Eutr.	12,00	55	Eutr.	17	45	Meso
	J3	1,55	54	Eutr.	2,00	37	Oligo	6	30	Oligo
	Média	1,47	54	Eutr.	8,53	52	Eutr.	12	40	Oligo
Nov	J1	2,30	48	Meso	12,20	55	Eutr.	38	57	Eutr.
	J2	2,05	50	Meso	11,40	54	Eutr.	28	52	Eutr.
	J3	2,25	48	Meso	2,10	38	Oligo	32	54	Eutr.
	Média	2,20	49	Meso	8,57	52	Eutr.	33	54	Eutr.
Dez	J1	1,85	51	Eutr.	5,20	47	Meso	14	42	Meso
	J2	1,35	56	Eutr.	8,20	51	Eutr.	17	45	Meso
	J3	1,80	52	Eutr.	1,60	35	Oligo	18	46	Meso
	Média	1,67	53	Eutr.	5,00	46	Meso	16	44	Meso
Média lagoa		1,68	53	Eutr.	7,28	48	Meso	62	55	Eutr.

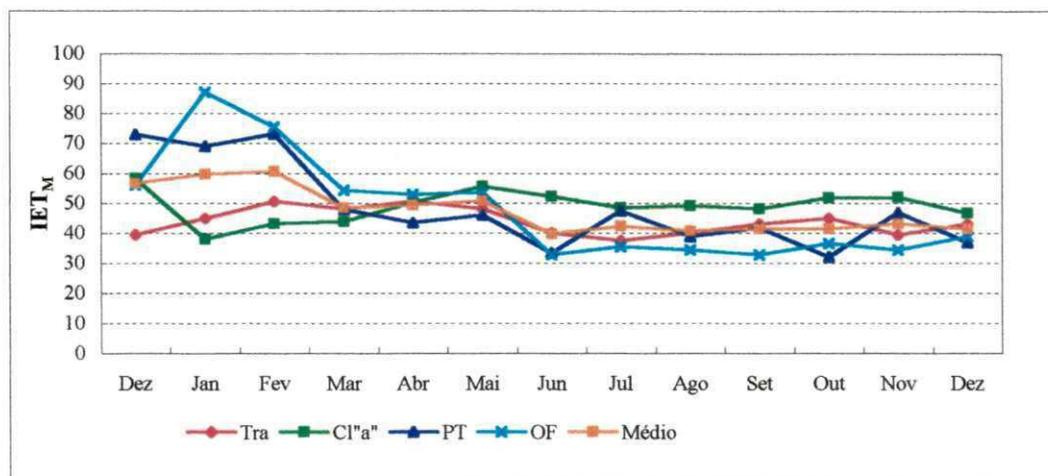
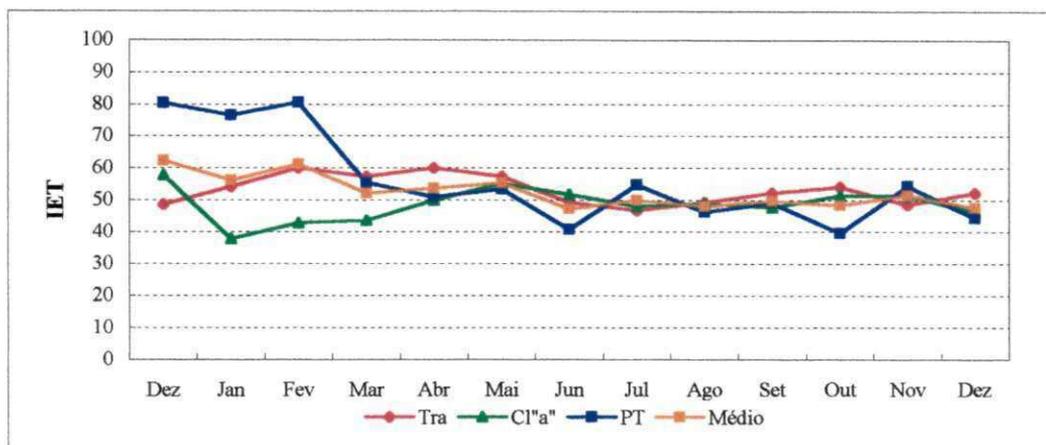
**Figura 4.24 - Variação espaço-temporal do IET nos pontos J1, J2 e J3 e média da lagoa de Jiqui-RN (período de dez/96 a dez/97).**



**Tabela 4.11- Valores médios mensais de parâmetros limnológicos e índices do estado trófico tradicional e modificado da lagoa de Jiqui-RN (período de dez/96 a dez/97).**

Mês	Parâmetros				Índice do Estado Trófico					Índice do Estado Trófico Modificado					
	Tra (m)	Cl"a" (µg/L)	PT (µg/L)	OF (µg/L)	Tra	Cl"a"	PT	Médio	Class.	Tra	Cl"a"	PT	OF	Médio	Class.
Dez	2,2	16,1	197,7	16,7	49	58	80	62	Hip.	39	58	73	56	57	Eut.
Jan	1,5	2,1	150,7	142,3	54	38	77	56	Eut.	45	38	69	87	60	Eut.
Fev	1,0	3,5	200,3	64,0	60	43	81	61	Hip.	51	43	73	76	61	Hip.
Mar	1,2	3,8	35,0	14,7	57	44	55	52	Eut.	48	44	48	54	49	Mes.
Abr	1,0	7,2	25,7	13,3	60	50	51	54	Eut.	51	50	44	53	49	Mes.
Mai	1,2	12,3	30,7	14,0	57	55	54	55	Eut.	48	56	46	54	51	Eut.
Jun	2,1	8,7	12,7	3,3	49	52	41	47	Mes.	40	52	33	33	40	Oli.
Jul	2,5	6,0	33,7	4,0	47	48	55	50	Mes.	38	49	47	36	42	Mes.
Ago	2,1	6,5	18,7	3,7	49	49	46	48	Mes.	40	49	39	34	41	Mes.
Set	1,7	5,8	22,7	3,3	52	48	49	50	Mes.	43	48	42	33	41	Mes.
Out	1,5	8,5	11,7	4,3	54	52	40	48	Mes.	45	52	32	37	41	Mes.
Nov	2,2	8,6	32,7	3,7	49	52	54	52	Eut.	39	52	47	34	43	Mes.
Dez	1,7	5,0	16,3	5,0	52	46	44	48	Mes.	43	47	37	39	41	Mes.

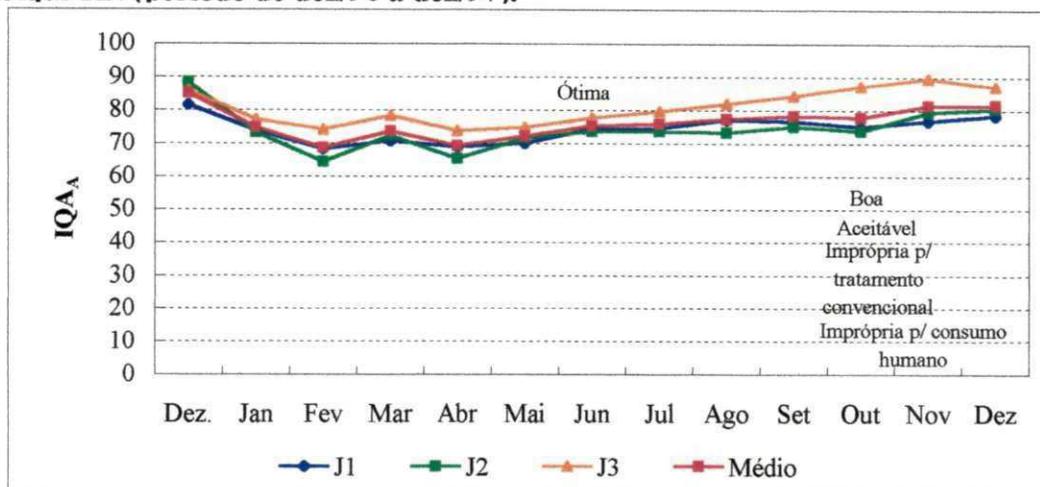
**Figura 4.25 - Variação temporal da média do IET tradicional e modificado na lagoa de Jiqui- RN (período de Dez/96 a Dez/97).**



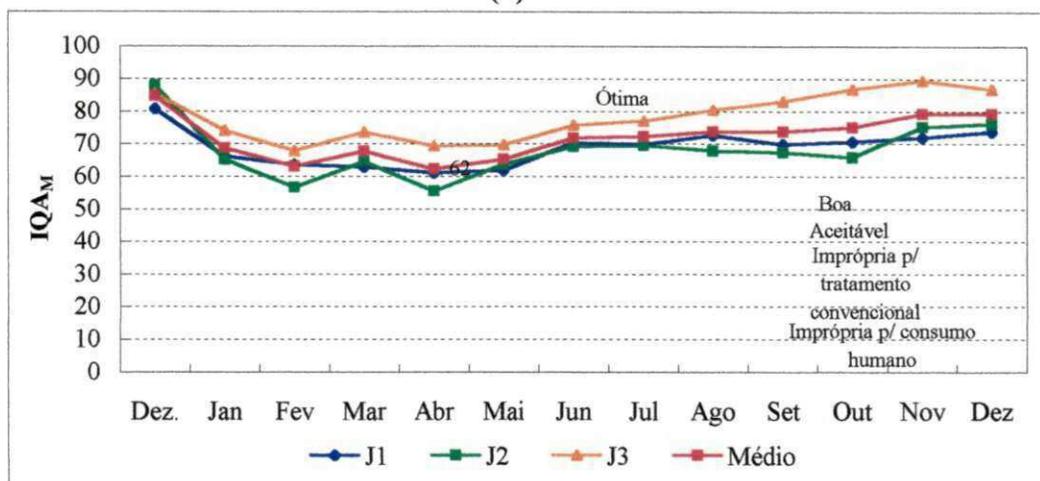
**Tabela 4.12- Distribuição espaço-temporal do índice de qualidade da água (aditivo e multiplicativo) da lagoa de Jiqui-RN (período de dez/96 a dez/97).**

Mês	IQA <sub>aditivo</sub>					IQA <sub>multiplicativo</sub>				
	J1	J2	J3	Médio	Class.	J1	J2	J3	Médio	Class.
Dez	82	88	86	85	Ótima	81	88	85	85	Ótima
Jan	74	73	77	75	Boa	66	65	74	69	Boa
Fev	68	64	74	69	Boa	63	57	68	63	Boa
Mar	71	72	78	74	Boa	63	65	74	68	Boa
Abr	69	66	74	69	Boa	61	56	69	62	Boa
Mai	70	72	75	72	Boa	62	64	70	65	Boa
Jun	74	74	78	75	Boa	70	69	76	72	Boa
Jul	75	74	80	76	Boa	70	69	77	72	Boa
Ago	77	73	82	77	Boa	73	68	80	74	Boa
Set	77	75	84	78	Boa	70	67	83	74	Boa
Out	75	74	87	78	Boa	71	66	87	75	Boa
Nov	77	80	90	81	Ótima	72	75	89	79	Ótima
Dez	78	80	87	82	Ótima	74	76	87	79	Ótima

**Figura 4.26 - Variação espaço-temporal do IQA<sub>A</sub> (a) e IQA<sub>M</sub> (b), na lagoa de Jiqui-RN (período de dez/96 a dez/97).**

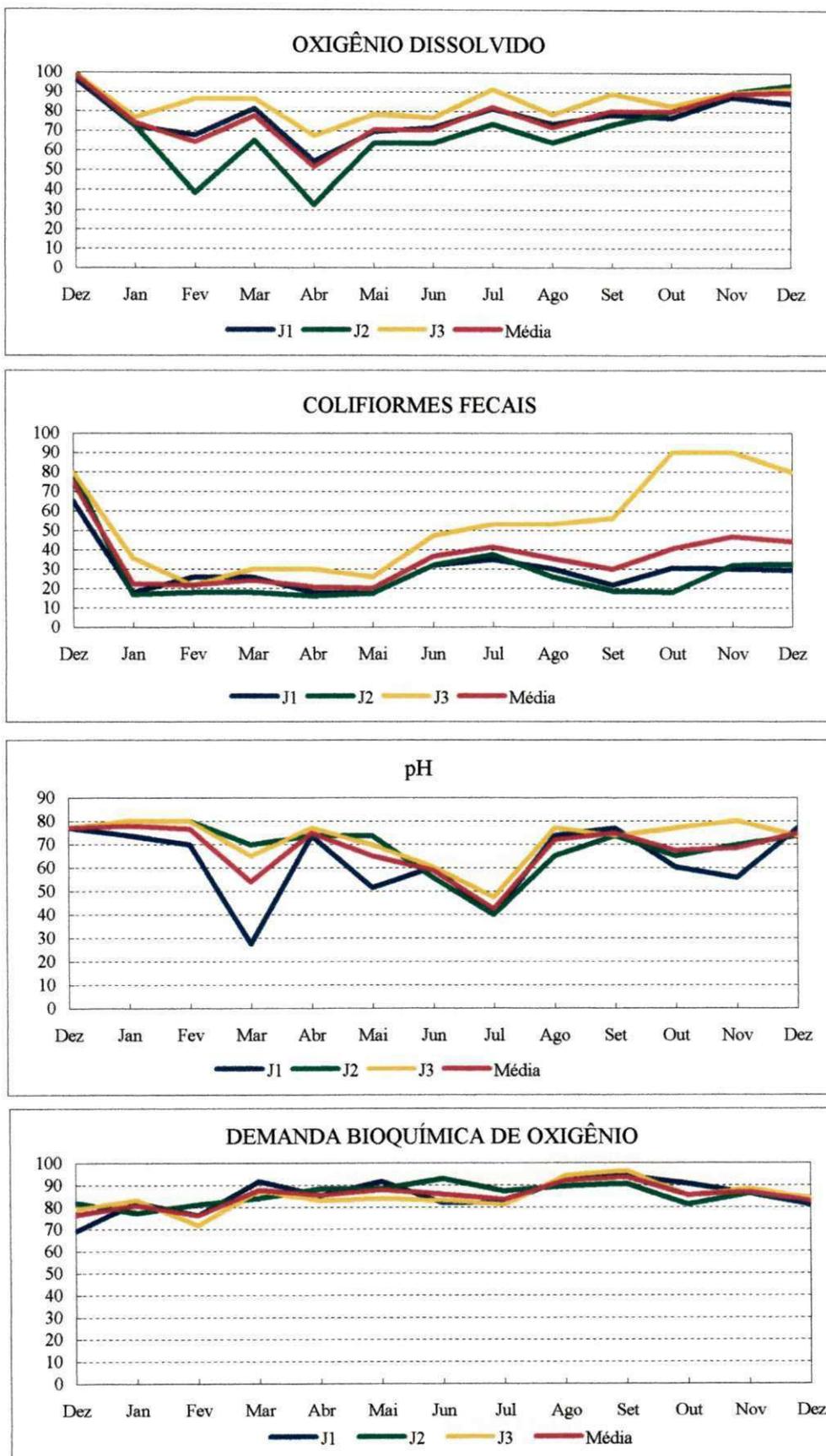


(a)

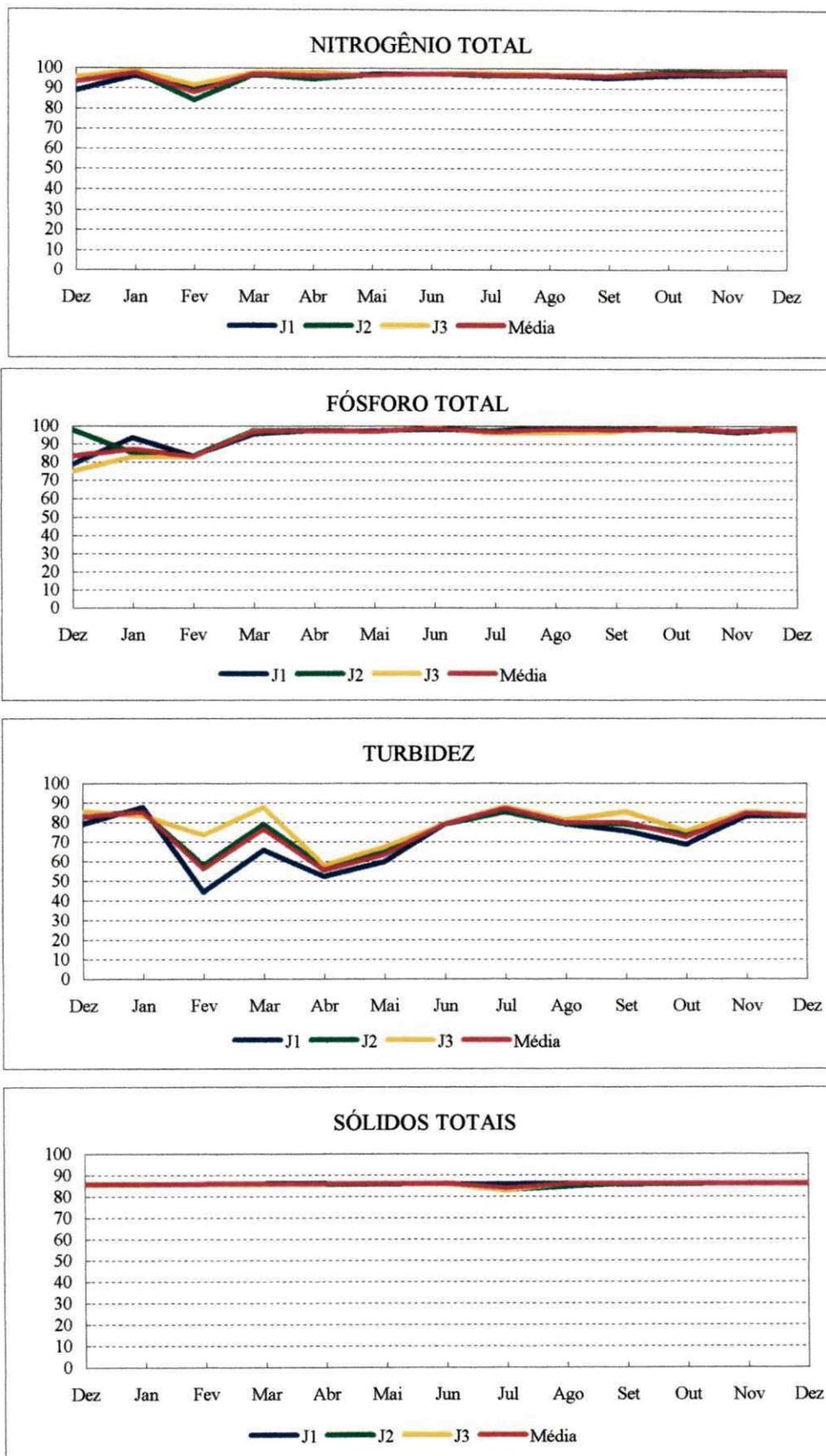


(b)

**Figura 4.27 - Variação espaço-temporal dos sub-índices de qualidade nos pontos J1, J2 e J3 da lagoa de Jiqui-RN (período de dez/96 a dez/97).**



**Figura 4.28 - Variação espaço-temporal dos sub-índices de qualidade nos pontos J1, J2 e J3 da lagoa de Jiqui-RN (período de dez/96 a dez/97).**



**Tabela 4.13 - Estatística descritiva dos parâmetros físico-químicos, biológicos e microbiológicos nos três pontos de amostragem da lagoa de Bonfim-RN (período de dez/96 a dez/97)**

	Alc. (mg/L)	Cor (uH)	Tur (uT)	pH	Tra (m)	T (°C)	CE (µS/cm)	OD (mg/L)	ST (mg/L)	STV (mg/L)	STF (mg/L)	DBO <sub>5</sub> (mg/L)	DQO (mg/L)	PT (µg/L)	OF (µg/L)	Cl "a" (µg/L)
Média	9	5	1,40	6,68	7,04	28,05	190	7,09	151	63	86	1,32	43	39	12	2,4
Erro padrão	0,44	0,51	0,13	0,06	0,15	0,19	2,62	0,07	6,53	8,99	8,96	0,12	5,57	7,92	2,72	0,20
Mediana	8	4	1	6,7	7,05	28	191	7	146	62	76	1,2	32	26	4	2,4
Modo	10	4	1	6,6	6,8	28	188	7	240	74	70	0,9	16	26	3	2,1
Desvio padrão	2,78	3,20	0,79	0,38	0,92	1,19	16,39	0,45	40,75	46,74	46,55	0,74	35	49,46	16,99	1,23
Variância da amostra	8	10	1	0	1	1	269	0	1661	2184	2167	1	1210	2446	289	2
Curtose	8,71	-0,46	0,44	0,64	-0,65	0,00	9,18	0,97	0,33	-0,36	-0,22	2,30	2,03	17,07	8,01	-0,98
Assimetria	2,32	0,49	0,71	-0,85	-0,28	0,46	-2,26	0,39	0,51	0,48	0,59	1,31	1,48	3,79	2,74	0,01
Intervalo	16	12	3	1,6	3,4	5	108	2,3	168	159	185	3,2	155	287	80	4,2
Mínimo	5	0	0	5,7	5,25	26	122	6	72	0	14	0,3	5	0	0	0,5
Máximo	21	12	3	7,3	8,65	31	230	8,3	240	159	199	3,5	160	287	80	4,7
Contagem	39	39	39	39	39	39	39	39	39	27	27	39	39	39	39	39

**Tabela 4.13 - Estatística descritiva dos parâmetros físico-químicos, biológicos e microbiológicos nos três pontos de amostragem da lagoa de Bonfim-RN (período de dez/96 a dez/97)**

	N <sub>org</sub> (µg/L)	N <sub>am</sub> (µg/L)	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (µg/L)	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> (µg/L)	NT (µg/L)	Ca <sup>++</sup> (mg/L)	Mg <sup>++</sup> (mg/L)	Na <sup>+</sup> (mg/L)	K <sup>+</sup> (mg/L)	Cl <sup>-</sup> (mg/L)	Aci (mg/L)	Dur (mg/L)	CT (NMP/100mL)	CF	BHM UFC/mL
Média	121	53	107	3	257	3	4	56	3	54	7	24	7	4	28
Erro padrão	20,13	8,87	41,58	0,31	50,96	0,16	0,13	2,10	0,07	1,20	0,26	0,61	4,56	2,35	5,68
Mediana	117	41	34	2	210	3	4	51	3	55	6	23	4	2	30
Modo	117	0	0	2	44	3	4	51	3	58	6	21	2	2	10
Desvio padrão	115,63	55,42	249,48	1,85	318,26	1,02	0,78	13,11	0,44	7,50	1,62	3,82	28,45	14,66	34,08
Variância da amostra	13371	3071	62241	3	101293	1	1	172	0	56	3	15	810	215	1161
Curtose	2,60	-0,85	11,00	28,11	7,97	2,25	3,51	3,12	-0,34	0,04	0,58	1,90	23,22	17,09	8,95
Assimetria	1,60	0,64	3,41	5,04	2,80	1,16	1,71	1,77	-0,80	-0,27	0,38	1,52	4,43	3,97	2,80
Intervalo	480	175	1100	11	1439	4	4	58	2	33	7	17	168	78	160
Mínimo	0	0	0	2	13	1,7	3,1	37,5	1,7	37	4	18	2	2	10
Máximo	480	175	1100	13	1452	5,9	6,9	95	3,2	70	11	35,2	170	80	170
Contagem	33	39	36	36	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39	36

**Tabela 4.14 - Estatística descritiva dos parâmetros físico-químicos, biológicos e microbiológicos nos três pontos de amostragem da lagoa de Extremóz-RN (período de dez/96 a dez/97)**

	<b>Alc.</b> (mg/L)	<b>Cor</b> (uH)	<b>Tur</b> (uT)	<b>pH</b>	<b>Tra</b> (m)	<b>T</b> (°C)	<b>CE</b> (µS/cm)	<b>OD</b> (mg/L)	<b>ST</b> (mg/L)	<b>STV</b> (mg/L)	<b>STF</b> (mg/L)	<b>DBO<sub>5</sub></b> (mg/L)	<b>DQO</b> (mg/L)	<b>PT</b> (µg/L)	<b>OF</b> (µg/L)	<b>Cl "a"</b> (µg/L)
Média	49	67	11,6	7,4	1,26	28,2	375	6,3	291	161	135	1,9	43	87	23	27,7
Erro padrão	1,6	3,4	0,7	0,1	0,1	0,2	11,9	0,2	11,4	14,3	15,1	0,2	4,2	17,3	6,7	2,9
Mediana	<b>49</b>	<b>64</b>	<b>11</b>	7,60	1,15	28,0	380	6,50	296	173	118	1,70	36	35	4	23,30
Modo	41	60	11	7,90	1,15	28,0	450	7,50	346	118	94	1,00	16	31	3	
Desvio padrão	9,97	21,19	4,63	0,58	0,32	1,00	74,40	1,12	71,39	74,11	78,67	0,95	26,28	108,10	41,92	17,93
Variância da amostra	99	449	21	0	0	1	5535	1	5096	5492	6189	1	691	11685	1757	322
Curtose	-0,59	3,15	4,62	-0,97	0,30	-0,57	-1,13	-0,33	-0,08	-0,76	0,08	1,05	1,17	4,94	3,39	-0,45
Assimetria	0,18	1,40	1,27	-0,45	0,95	-0,01	-0,10	-0,61	0,04	-0,08	0,63	1,03	1,22	2,27	2,20	0,75
Intervalo	40	110	28	2,10	1,30	4,0	250	4,60	332	268	328	4,30	104	466	146	68,24
Mínimo	33	31	1	6,30	0,80	26,0	250	3,40	132	18	2	0,50	16	4	0	1,46
Máximo	73	141	29	8,40	2,10	30,0	500	8,00	464	286	330	4,80	120	470	146	69,70
Contagem	39	39	39	39	39	39	39	39	39	27	27	39	39	39	39	39

**Tabela 4.14 - Estatística descritiva dos parâmetros físico-químicos, biológicos e microbiológicos nos três pontos de amostragem da lagoa de Extremóz-RN (período de dez/96 a dez/97)**

	<b>N<sub>ox</sub></b> (µg/L)	<b>N<sub>am</sub></b> (µg/L)	<b>NO<sub>3</sub><sup>-</sup></b> (µg/L)	<b>NO<sub>2</sub><sup>-</sup></b> (µg/L)	<b>NT</b> (µg/L)	<b>Ca<sup>++</sup></b> (mg/L)	<b>Mg<sup>++</sup></b> (mg/L)	<b>Na<sup>+</sup></b> (mg/L)	<b>K<sup>+</sup></b> (mg/L)	<b>Cl<sup>-</sup></b> (mg/L)	<b>Aci</b> (mg/L)	<b>Dur</b> (mg/L)	<b>CT</b> (NMP/100mL)	<b>CF</b> (UFC/mL)	<b>BHM</b> (UFC/mL)
Média	125	84	84	4	278	12,6	10,0	113,7	4,4	90,6	11,8	71,1	146	58	270
Erro padrão	17,9	41,9	21,8	0,4	68,3	0,6	0,5	2,2	0,2	3,3	0,4	3,2	54,5	32,8	54,8
Mediana	<b>117</b>	<b>29</b>	<b>37</b>	<b>4</b>	181	12,3	9,3	113,0	5,0	89,0	11,0	72,1	170	50	245
Modo	117	0	0	3	92	17,6	9,3	117,0	5,0	105,0	11,0	53,0	300	30	550
Desvio padrão	103,06	261,43	136,41	2,70	426,68	4,0	3,3	13,6	1,3	20,4	2,6	20,0	340,42	204,66	342,31
Variância da amostra	10621	68344	18608	7	182056	16	11	185	2	415	7	398	115884	41885	117176
Curtose	0,20	34,11	7,86	14,17	24,22	-0,33	-0,68	1,28	-0,15	0,03	-0,52	-0,80	11,09	9,61	8,02
Assimetria	0,93	5,69	2,85	3,50	4,61	0,17	0,36	0,34	-0,75	0,20	0,08	-0,16	3	3	3
Intervalo	361	1626	611	15	2591	18,30	14	70,3	4,9	93,0	11,0	81,6	1783	896	1745
Mínimo	0	0	0	2	11	4,40	4	78,7	1,7	51,0	6,0	26,4	17	4	55
Máximo	361	1626	611	17	2602	22,70	18	149,0	6,6	144,0	17,0	108,0	1800	900	1800
Contagem	33	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39

**Tabela 4.15 - Estatística descritiva dos parâmetros físico-químicos, biológicos e microbiológicos nos três pontos de amostragem da lagoa de Jiqui-RN (período de dez/96 a dez/97)**

	Alc. (mg/L)	Cor (uH)	Tur (uT)	pH	Tra (m)	T (°C)	CE (µS/cm)	OD (mg/L)	ST (mg/L)	STV (mg/L)	STF (mg/L)	DBO <sub>5</sub> (mg/L)	DQO (mg/L)	PT (µg/L)	OF (µg/L)	Cl "a" (µg/L)
Média	14	58	11,7	6,2	1,7	28,7	81	5,7	77	31	53	1,3	36	61	22	7,2
Erro padrão	0,42	4,99	1,27	0,05	0,09	0,17	0,61	0,15	3,00	2,75	4,61	0,09	3,21	12,75	6,24	0,87
Mediana	14	46	9,0	6,3	1,6	29,0	80	5,6	78	28	50	1,4	32	29	6	6,0
Modo	14	38	9,0	6,3	1,4	29,0	78	5,5	80	13	36	1,6	32	29	4	3,6
Desvio padrão	2,64	31,18	7,94	0,31	0,54	1,04	3,80	0,92	18,76	14,31	23,96	0,58	20,05	79,61	38,97	5,45
Variância da amostra	7	972	63	0	0	1	14	1	352	205	574	0	402	6338	1518	30
Curtose	0,12	0,89	3,45	2,86	-0,60	-0,22	-0,52	0,60	2,02	0,23	1,42	0,97	0,22	2,47	6,17	3,19
Assimetria	0,46	1,23	1,86	-1,63	0,28	0,19	0,76	-0,19	1,00	0,60	1,08	0,66	1,03	1,90	2,62	1,51
Intervalo	13	124	35,0	1,4	2,2	4,0	14	4,3	92	58	107	2,7	71	314	157	25,8
Mínimo	8	27	5,0	5,1	0,7	27,0	76	3,3	40	10	10	0,3	15	0	3	1,0
Máximo	21	151	40,0	6,5	2,9	31,0	90	7,6	132	68	117	3,0	86	314	160	26,8
Contagem	39	39	39,0	39,0	39,0	39,0	39	39	39	27	27	39	39	39	39	39

**Tabela 4.15 - Estatística descritiva dos parâmetros físico-químicos, biológicos e microbiológicos nos três pontos de amostragem da lagoa de Jiqui-RN (período de dez/96 a dez/97)**

	N <sub>org</sub> (µg/L)	N <sub>am</sub> (µg/L)	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (µg/L)	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> (µg/L)	NT (µg/L)	Ca <sup>++</sup> (mg/L)	Mg <sup>++</sup> (mg/L)	Na <sup>+</sup> (mg/L)	K <sup>+</sup> (mg/L)	Cl <sup>-</sup> (mg/L)	Aci (mg/L)	Dur (mg/L)	CT (NMP/100mL)	CF (UFC/mL)	BHM (UFC/mL)
Média	127	97	276	4	494	2,9	2,3	19,2	1,4	19,4	8,5	16,6	477	195	656
Erro padrão	28,41	23,53	25,39	0,20	62,40	0,15	0,15	0,76	0,07	0,73	0,44	0,82	220	110	153
Mediana	117	58	247	4	408	2,7	2,1	17,7	1,4	20,0	9,0	16,8	500	300	850
Modo	117	0	200	4	1435	3,4	1,6	15,8	1,4	13,0	9,0	17,0	1600	500	1450
Desvio padrão	170,49	146,97	158,58	1,25	389,72	0,93	0,96	4,54	0,42	4,56	2,77	5,15	1375	685	954
Variância da amostra	29065	21600	25147	2	151880	1	1	21	0	21	8	27	1889630	469229	910383
Curtose	8,42	8,22	8,86	2,25	8,43	-0,06	7,75	-0,29	0,07	-0,55	1,00	6,15	1	-1	3
Assimetria	2,89	2,66	2,60	1,16	2,80	-0,39	2,26	0,89	0,84	0,18	0,55	1,71	1	1	1
Intervalo	757	714	889	6	1962	3,6	5,3	15,3	1,5	17,0	12,5	28,6	4996	2198	4460
Mínimo	0	0	63	2	158	0,9	1,1	13,5	0,9	12,0	3,5	8,8	4	2	40
Máximo	757	714	952	8	2120	4,5	6,4	28,8	2,4	29,0	16,0	37,4	5000	2200	4500
Contagem	36	39	39	39	39	39	39	36	39	39	39	39	39	39	39

**Tabela 4.16 - Resultados da matriz de correlação de Pearson dos valores de parâmetros físico-químicos, biológicos e microbiológicos nos três pontos de coleta da lagoa de Bonfim (período de Dez/96 a Dez/97).**

	Alc	Cor	Tur	pH	Tra	T <sup>o</sup>	CE	OD	ST	STV	STF	DBO <sub>5</sub>	DQO	PT	OF
Alc	1,00														
Cor	0,15	1,00													
Tur	-0,16	0,32*	1,00												
pH	0,30	0,04	-0,33*	1,00											
Tra	-0,20	-0,13	0,15	-0,34*	1,00										
T <sup>o</sup>	0,53**	-0,32*	-0,16	0,46**	-0,34*	1,00									
CE	0,43**	-0,20	-0,22	0,43**	-0,23	0,46*	1,00								
OD	-0,02	-0,09	-0,32*	-0,28	-0,03	-0,26	-0,06	1,00							
ST	0,12	0,32*	-0,07	0,19	0,18	-0,12	0,10	0,01	1,00						
STV	0,19	0,25	0,15	0,21	0,09	-0,06	-0,25	-0,36	-0,01	1,00					
STF	0,01	-0,24	-0,19	-0,11	-0,05	0,21	0,12	0,34	-0,13	-0,57**	1,00				
DBO <sub>5</sub>	-0,05	-0,29	-0,22	0,19	-0,01	0,15	-0,08	0,00	0,13	0,10	-0,18	1,00			
DQO	0,01	-0,14	0,18	-0,05	0,11	0,28	-0,03	-0,22	-0,02	-0,40*	0,32	0,09	1,00		
PT	0,07	-0,22	0,05	-0,04	0,01	0,50**	0,09	-0,18	-0,06	-0,13	0,12	0,14	0,25	1,00	
OF	0,15	-0,23	-0,07	-0,30	0,03	0,13	-0,01	0,38*	-0,07	-0,42	0,27	0,10	0,12	0,28	1,00
Cl "a"	0,17	0,15	0,25	-0,13	0,29	-0,15	0,02	-0,05	-0,10	0,25	-0,12	-0,43**	-0,06	-0,16	0,22
N <sub>org</sub>	-0,07	-0,18	-0,06	0,07	0,11	-0,09	0,19	0,45**	-0,03	-0,19	0,60**	-0,08	-0,10	-0,18	-0,05
N <sub>am</sub>	0,01	0,55**	0,15	0,13	-0,04	-0,34*	0,16	-0,22	0,18	0,13	-0,22	-0,26	-0,11	-0,23	-0,25
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	-0,10	-0,16	0,12	-0,48*	0,21	-0,10	-0,04	0,03	-0,21	-0,01	-0,11	-0,18	0,42	-0,05	0,06
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	0,02	-0,22	-0,29	0,15	-0,16	0,04	0,12	0,18	-0,06	0,00	-0,02	0,47**	-0,11	-0,08	0,02
NT	-0,25	0,52**	0,43**	-0,25	0,06	-0,37*	-0,55**	-0,32*	0,02	0,30	-0,23	0,03	0,17	-0,01	-0,25
Ca	0,51**	0,55**	-0,04	0,15	-0,19	0,00	0,09	-0,18	0,07	0,15	-0,30	-0,19	-0,04	0,04	-0,14
Mg	0,33*	-0,19	-0,11	0,35*	-0,32*	0,38*	0,43**	0,13	-0,07	0,02	0,01	0,08	-0,20	-0,10	-0,08
Na	0,39*	-0,09	0,17	0,29	-0,21	0,39*	0,21	-0,09	0,00	0,27	-0,18	-0,12	-0,04	-0,08	-0,04
K	0,30	-0,13	0,16	0,03	0,03	0,34*	-0,03	-0,10	0,04	0,40*	0,17	0,44**	0,11	0,33*	0,21
Cl-	0,69**	-0,31	-0,11	0,38*	-0,18	0,75**	0,40*	-0,04	-0,07	0,07	0,16	-0,01	0,07	0,18	0,22
Aci	0,01	0,44**	-0,03	0,12	-0,33	-0,36*	0,06	0,13	-0,01	0,37	-0,30	-0,41*	-0,54**	-0,41**	-0,29
Dur	0,57**	0,21	-0,17	0,44**	-0,40	0,30	0,45*	-0,06	0,10	0,22	-0,39*	-0,03	-0,19	-0,19	-0,19
CT	0,20	0,03	0,08	0,12	-0,22	0,28	0,04	0,08	-0,18	0,16	0,06	0,04	0,24	0,04	-0,14
CF	0,16	0,03	0,08	0,14	0,11	0,32*	0,07	-0,02	-0,14	0,20	0,11	0,10	0,37*	0,14	-0,12
BHM	-0,22	0,11	-0,01	-0,33*	-0,10	-0,13	-0,02	0,10	-0,35*	0,43	0,35	-0,37*	0,02	-0,12	-0,06

$\alpha = 5\%$  (\*)       $\alpha = 1\%$  (\*\*)

**Tabela 4.16 - Resultados da matriz de correlação de Pearson dos valores de parâmetros físico-químicos, biológicos e microbiológicos nos três pontos de coleta da lagoa de Bonfim (período de Dez/96 a Dez/97).**

	Cl "a"	N <sub>org</sub>	N <sub>am</sub>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	NT	Ca	Mg	Na	K	Cl-	Aci	Dur	CT	CF	BHM
Alc																
Cor																
Tur																
pH																
Tra																
T°																
CE																
OD																
ST																
STV																
STF																
DBO <sub>5</sub>																
DQO																
PT																
OF																
Cl "a"	1,00															
N <sub>org</sub>	0,07	1,00														
N <sub>am</sub>	0,21	-0,09	1,00													
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0,22	-0,07	0,05	1,00												
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	-0,30	0,05	-0,06	-0,10	1,00											
NT	-0,19	-0,37*	0,34*	-0,05	-0,09	1,00										
Ca	0,06	-0,37*	0,43**	-0,16	-0,15	0,30	1,00									
Mg	-0,18	0,28	-0,27	0,12	0,26	-0,34*	-0,21	1,00								
Na	0,11	0,10	-0,23	0,25	-0,07	-0,22	-0,13	0,75**	1,00							
K	0,05	0,22	-0,14	-0,04	0,03	0,11	-0,07	0,07	0,19	1,00						
Cl-	0,17	0,15	-0,42**	-0,02	0,00	-0,55**	-0,08	0,55**	0,66**	0,41**	1,00					
Aci	0,21	0,12	0,39*	-0,04	0,00	0,03	0,32*	0,11	-0,04	-0,44**	-0,21	1,00				
Dur	-0,08	-0,26	0,08	-0,02	0,14	-0,08	0,44**	0,73**	0,57**	0,31	0,39*	0,31	1,00			
CT	0,00	0,16	-0,23	0,07	-0,03	-0,04	-0,12	0,41**	0,51**	0,11	0,28	-0,04	0,27	1,00		
CF	0,08	0,04	-0,18	-0,02	0,02	0,01	-0,15	0,28	0,35*	0,20	0,25	-0,15	0,18	0,91**	1,00	
BHM	0,01	-0,07	0,03	0,05	0,03	0,00	0,01	-0,13	-0,21	-0,51**	-0,19	0,24	-0,07	-0,04	-0,01	1,00

$\alpha = 5\%$  (\*)     $\alpha = 1\%$  (\*\*)

**Tabela 4.17 - Resultados da matriz de correlação de Pearson dos valores de parâmetros físico-químicos, biológicos e microbiológicos nos três pontos de coleta da lagoa de Extremóz (período de Dez/96 a Dez/97).**

	Alc	Cor	Tur	pH	Tra	T°	CE	OD	ST	STV	STF	DBO <sub>5</sub>	DQO	PT	OF
Alc	1,00														
Cor	-0,15	1,00													
Tur	-0,07	0,64**	1,00												
pH	0,63**	-0,23	-0,11	1,00											
Tra	-0,33*	-0,47**	-0,18	-0,43**	1,00										
T°	0,16	0,47**	0,27	0,12	-0,27	1,00									
CE	0,83**	-0,25	-0,07	0,77**	-0,28	-0,03	1,00								
OD	0,40*	-0,40*	-0,25	0,53**	-0,17	-0,28	0,50**	1,00							
ST	0,27	0,11	0,29	0,29	-0,26	0,05	0,44**	0,36*	1,00						
STV	-0,09	-0,05	-0,03	0,04	0,12	-0,31	0,07	0,23	0,30	1,00					
STF	0,32	0,05	-0,37	0,12	-0,30	0,43*	0,10	0,00	-0,33	-0,38*	1,00				
DBO <sub>5</sub>	0,35*	0,07	-0,07	0,31	-0,46**	0,21	0,29	0,35*	0,23	-0,01	0,26	1,00			
DQO	0,08	0,41**	0,22	-0,09	-0,44**	0,24	-0,06	-0,14	-0,05	-0,09	0,45*	0,26	1,00		
PT	0,10	0,23	-0,07	-0,07	-0,34*	0,21	0,07	0,06	0,04	0,01	0,49*	0,35*	0,55**	1,00	
OF	0,12	0,10	-0,03	0,10	-0,24	0,44**	0,11	-0,09	-0,02	-0,39*	0,66**	0,30	0,18	0,53**	1,00
Cl "a"	-0,10	0,21	0,23	0,44**	-0,50**	-0,01	0,06	0,22	0,13	-0,02	-0,31	0,14	-0,13	-0,34*	-0,16
N <sub>org</sub>	0,14	0,21	-0,09	0,08	-0,36*	0,61**	-0,04	-0,11	-0,03	-0,15	0,58**	0,34	0,17	0,32	0,77**
N <sub>am</sub>	0,05	0,10	-0,05	-0,06	-0,26	0,04	0,04	0,22	0,02	0,09	0,28	0,37*	0,40*	0,73**	0,64
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	-0,05	0,16	0,08	-0,21	-0,12	-0,17	0,01	0,15	0,06	0,16	0,07	0,05	0,56**	0,58**	-0,16
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	-0,02	0,45**	0,42**	-0,10	0,04	0,28	-0,06	-0,21	0,06	0,08	-0,13	-0,22	-0,07	0,03	-0,10
NT	0,01	0,18	0,07	-0,11	-0,24	0,00	0,11	0,18	0,07	0,12	0,14	0,30	0,53**	0,65**	-0,12
Ca	0,66**	-0,08	0,18	0,55**	-0,24	0,11	0,70**	0,47**	0,37*	-0,04	0,03	0,35*	0,08	0,01	-0,17
Mg	0,61**	-0,27	0,03	0,43**	-0,08	-0,14	0,60**	0,59**	0,24	0,10	-0,02	0,09	-0,04	-0,13	-0,40*
Na	0,42**	-0,14	-0,02	0,35*	-0,17	-0,29	0,59**	0,26	0,36*	0,39*	-0,38	-0,03	-0,26	-0,09	-0,07
K	-0,26	0,52**	0,35*	-0,27	-0,08	0,13	-0,12	-0,19	0,17	-0,11	0,12	0,19	0,33*	0,40*	0,30
Cl <sup>-</sup>	0,72**	-0,10	0,08	0,62**	-0,31	0,18	0,81**	0,47**	0,49**	0,14	0,04	0,19	-0,16	0,01	0,01
Aci	0,03	-0,09	0,26	-0,04	0,35*	-0,16	0,06	-0,32*	0,07	-0,09	-0,47*	-0,30	-0,38*	-0,57**	-0,43**
Dur	0,69**	-0,24	0,06	0,58**	-0,10	-0,02	0,72**	0,52**	0,32*	-0,01	-0,09	0,11	-0,20	-0,32*	-0,32*
CT	-0,01	0,27	0,28	0,02	-0,25	0,43**	0,05	-0,28	-0,04	-0,42*	0,34	-0,03	0,05	0,17	0,40*
CF	0,04	0,50**	0,41*	0,05	-0,29	0,26	0,02	-0,08	0,12	-0,16	-0,02	-0,05	0,06	0,27	0,22
BHM	0,24	0,13	-0,03	0,19	-0,05	0,44**	0,16	-0,22	-0,12	-0,52**	0,27	0,24	0,02	-0,08	0,34*

$\alpha = 5\%$  (\*)       $\alpha = 1\%$  (\*\*)

**Tabela 4.17 - Resultados da matriz de correlação de Pearson dos valores de parâmetros físico-químicos, biológicos e microbiológicos nos três pontos de coleta da lagoa de Extremóz (período de Dez/96 a Dez/97).**

	Cl "a"	N <sub>org</sub>	N <sub>am</sub>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	NT	Ca	Mg	Na	K	Cl-	Aci	Dur	CT	CF	BHM
Alc																
Cor																
Tur																
pH																
Tra																
T°																
CE																
OD																
ST																
STV																
STF																
DBO <sub>5</sub>																
DQO																
PT																
OF																
Cl "a"	1,00															
N <sub>org</sub>	0,05	1,00														
N <sub>am</sub>	-0,23	-0,04	1,00													
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	-0,34*	-0,32	0,69**	1,00												
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	0,11	-0,13	-0,04	-0,13	1,00											
NT	-0,23	-0,21	0,93**	0,86**	-0,05	1,00										
Ca	0,07	-0,21	0,34*	0,25	0,01	0,38*	1,00									
Mg	-0,01	-0,38*	0,20	0,27	-0,02	0,25	0,75**	1,00								
Na	0,08	-0,28	-0,17	0,06	-0,04	-0,20	0,18	0,30	1,00							
K	-0,08	0,24	0,19	0,28	0,25	0,25	-0,08	-0,24	-0,21	1,00						
Cl-	0,11	0,10	-0,01	-0,05	0,06	-0,04	0,59**	0,67**	0,62**	-0,13	1,00					
Aci	-0,14	-0,41*	-0,33*	-0,34*	0,12	-0,31	0,04	0,09	0,19	-0,31	0,03	1,00				
Dur	0,13	-0,29	-0,04	-0,01	0,03	0,01	0,84**	0,90**	0,34*	-0,26	0,74**	0,21	1,00			
CT	0,10	0,38*	0,03	-0,06	0,12	-0,05	-0,07	-0,20	-0,06	0,21	0,14	-0,04	-0,18	1,00		
CF	0,14	0,13	0,03	0,06	0,28	0,00	-0,14	-0,10	0,03	0,23	0,14	0,02	-0,16	0,62**	1,00	
BHM	-0,13	0,18	-0,07	-0,19	-0,06	-0,10	0,30	0,04	0,03	0,00	0,09	0,19	0,22	0,09	-0,05	1,00

$\alpha = 5\%$  (\*)       $\alpha = 1\%$  (\*\*)

**Tabela 4.18 - Resultados da matriz de correlação de Pearson dos valores de parâmetros físico-químicos, biológicos e microbiológicos nos três pontos de coleta da lagoa de Jiqui (período de Dez/96 a Dez/97).**

	Alc	Cor	Tur	pH	Tra	T°	CE	OD	ST	STV	STF	DBO <sub>5</sub>	DQO	PT	OF
Alc	1,00														
Cor	0,21	1,00													
Tur	0,43**	0,78**	1,00												
pH	0,36*	-0,04	0,04	1,00											
Tra	-0,33*	-0,73**	-0,72**	-0,15	1,00										
T°	0,10	0,01	-0,18	0,28	-0,11	1,00									
CE	0,03	0,50	0,37*	0,02	-0,49**	0,26	1,00								
OD	-0,15	-0,63**	-0,59**	0,01	0,62**	0,43**	-0,30	1,00							
ST	-0,09	-0,14	-0,21	-0,50**	0,23	-0,09	-0,10	0,16	1,00						
STV	-0,30	-0,57**	-0,42*	-0,30	0,50**	-0,55**	-0,66**	0,11	0,20	1,00					
STF	-0,21	0,53**	0,10	-0,01	-0,31	0,55**	0,60**	-0,08	0,00	-0,67**	1,00				
DBO <sub>5</sub>	0,32	-0,17	0,07	0,26	-0,03	0,22	0,00	0,25	-0,24	-0,04	-0,21	1,00			
DQO	0,02	-0,01	0,25	0,29	-0,22	0,18	0,18	0,01	-0,37*	-0,27	-0,06	0,44**	1,00		
PT	0,14	-0,17	0,12	0,33*	-0,04	0,11	0,69	0,19	-0,40*	-0,13	-0,13	0,67**	0,66**	1,00	
OF	0,05	-0,13	0,02	0,31	-0,25	-0,04	0,22	-0,20	-0,40*	-0,05	-0,26	0,40*	0,59**	0,54**	1,00
Cl "a"	0,08	0,04	-0,01	0,02	0,07	0,22	-0,28	0,27	-0,08	-0,05	-0,02	0,20	-0,20	-0,07	-0,30
N <sub>ox</sub>	-0,03	-0,30	-0,22	0,23	-0,08	-0,11	0,07	-0,15	-0,25	0,12	-0,28	0,16	0,32	0,22	0,86**
N <sub>am</sub>	0,28	0,25	0,36*	0,17	-0,29	0,00	0,13	-0,20	-0,19	-0,34	-0,01	0,42**	0,32*	0,51**	0,22
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0,13	0,03	0,22	0,18	-0,02	-0,01	-0,11	0,02	-0,25	-0,01	-0,18	0,51**	0,34*	0,64**	0,21
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	0,15	0,58**	0,36*	-0,13	-0,33*	0,02	0,25	-0,44**	-0,04	-0,24	0,43*	-0,29	-0,35*	-0,47**	-0,34*
NT	0,29	0,15	0,47**	0,23	-0,29	-0,10	0,14	-0,20	-0,23	-0,19	-0,13	0,45**	0,40*	0,60**	0,25
Ca	0,18	0,27	0,22	-0,24	0,00	-0,46**	0,12	-0,37*	0,45**	0,18	-0,13	-0,40*	-0,51**	-0,59**	-0,43**
Mg	0,19	0,57**	0,42**	0,07	-0,40*	0,25	0,58**	-0,35*	-0,04	-0,54**	0,46*	0,00	0,00	-0,15	-0,12
Na	0,09	0,04	0,09	0,18	-0,22	0,30	0,25	0,03	-0,42*	-0,29	-0,08	0,17	0,44**	0,16	0,43**
K	0,27	0,58**	0,70**	0,17	-0,59**	-0,05	0,46**	-0,49**	-0,40*	-0,53**	0,30	0,28	0,34*	0,28	0,20
Cl-	0,35*	0,23	0,25	0,14	-0,37*	0,42**	0,32*	-0,03	-0,15	-0,64**	0,42*	0,48**	0,33*	0,31	0,33*
Aci	0,30	0,50**	0,27	-0,17	-0,25	-0,12	0,24	-0,47**	0,21	-0,14	0,29	-0,41*	-0,53**	-0,62**	-0,41*
Dur	0,24	0,56**	0,43**	-0,06	-0,31	-0,03	0,50**	-0,44**	0,17	-0,33	0,28	-0,17	-0,23	-0,38*	-0,29
CT	0,32*	0,46**	0,39*	0,21	-0,56**	-0,18	0,19	-0,63**	-0,18	-0,21	0,12	-0,13	0,07	-0,01	0,31
CF	0,28	0,57**	0,41*	0,16	-0,64**	-0,12	0,33*	-0,67**	-0,26	-0,25	0,24	-0,02	0,17	0,02	0,40*
BHM	0,1744	0,31	0,06	-0,11	-0,16	-0,01	0,24	-0,32*	0,21	-0,21	0,56**	-0,44**	-0,24	-0,32	-0,23

**Tabela 4.18 - Resultados da matriz de correlação de Pearson dos valores de parâmetros físico-químicos, biológicos e microbiológicos nos três pontos de coleta da lagoa de Jiqui (período de Dez/96 a Dez/97).**

	Cl "a"	N <sub>org</sub>	N <sub>am</sub>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	NT	Ca	Mg	Na	K	Cl-	Aci	Dur	CT	CF	BHM
Alc																
Cor																
Tur																
pH																
Tra																
T°																
CE																
OD																
ST																
STV																
STF																
DBO <sub>5</sub>																
DQO																
PT																
OF																
Cl "a"	1,00															
N <sub>org</sub>	-0,32	1,00														
N <sub>am</sub>	0,19	-0,15	1,00													
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0,32*	-0,05	0,73**	1,00												
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	0,16	-0,31	-0,12	-0,24	1,00											
NT	0,09	-0,12	0,88**	0,83**	-0,16	1,00										
Ca	-0,17	-0,21	-0,27	-0,41*	0,42**	-0,26	1,00									
Mg	-0,09	-0,22	0,05	-0,18	0,47**	-0,01	0,30	1,00								
Na	-0,04	0,34*	0,09	-0,07	-0,06	0,04	-0,32	0,1564	1,00							
K	-0,16	-0,12	0,43**	0,23	0,27	0,51**	-0,07	0,59**	0,25	1,00						
Cl-	-0,13	0,14	0,28	0,03	0,03	0,18	-0,33*	0,46**	0,48**	0,59**	1,00					
Aci	-0,11	-0,22	-0,27	-0,48**	0,68**	-0,37*	0,69**	0,59**	-0,17	0,17	0,11	1,00				
Dur	-0,15	-0,27	-0,07	-0,32	0,55**	-0,11	0,69*	0,90**	-0,03	0,43**	0,20	0,76**	1,00			
CT	-0,09	0,27	0,22	0,08	0,34*	0,20	0,16	0,09	-0,13	0,18	-0,09	0,19	0,14	1,00		
CF	-0,10	0,30	0,27	0,02	0,28	0,18	0,06	0,14	0,09	0,30	0,12	0,20	0,13	0,83**	1,00	
BHM	-0,22	-0,19	-0,06	-0,23	0,47**	-0,15	0,34*	0,37*	-0,23	0,08	-0,03	0,49**	0,43**	0,25	0,19	1,00

$\alpha = 5\%$  (\*)  $\alpha = 1\%$  (\*\*)

## 5.0 – CONCLUSÕES

O IQA, calculado segundo os métodos aditivo e multiplicativo mostrou que a água da lagoa de Bonfim pode ser considerada de qualidade ótima e a de Extremóz e Jiqui entre boa e ótima. O método multiplicativo mostrou-se mais restritivo e em consequência, mais sensível para refletir valores de qualidade mais baixa em relação aos diferentes parâmetros. No caso em estudo, estas variáveis foram coliformes fecais, DBO<sub>5</sub>, nitrogênio, sólidos totais e turbidez, que aumentaram à partir do mês de março/97 sob a influência das chuvas. Segundo estes índices, os três mananciais apresentaram águas apropriadas para o tratamento convencional, sendo que Bonfim possui águas apropriadas para consumo humano apenas com tratamento simplificado (simples desinfecção).

Considerando os valores médios de transparência, clorofila “a” e fósforo total para os três pontos monitorados em cada um dos corpos aquáticos, o IET mostrou um gradiente decrescente de eutrofização, desde as lagoas de Extremóz e Jiqui, avaliadas como eutróficas, até a de Bonfim (com predominância de condições oligotróficas). O IET<sub>M</sub> classificou Bonfim como oligotrófica, Extremóz como mesotrófica e Jiqui como oligomesotrófica. Dependendo do ponto de amostragem e do parâmetro considerado, as lagoas tiveram fortes variações nas suas características limnológicas: Extremóz variou de hipereutrófica, em relação a clorofila “a”, até eutrófica segundo a transparência e fósforo total; Jiqui teve flutuações entre oligomesotrófica (clorofila “a”), eutrófica (fósforo total), e eutrófica com tendência a hipereutrófica em relação a transparência; Bonfim foi avaliada como oligotrófica (transparência e clorofila “a”) e eutrófica (fósforo total). Pode-se observar que apesar das diferentes caracterizações, as três lagoas podem ser facilmente avaliadas comparativamente através do IET.

Em relação ao IET tradicional e modificado, pelos resultados apresentados pode-se concluir que:

1) os dois índices apresentam variações em relação à avaliação do estado trófico de um mesmo corpo aquático;

2) o IET pode ser considerado como mais restritivo e conservador, resultando em números mais elevados, enquanto o  $IET_M$  absorve valores mais elevados dos parâmetros, em particular do fósforo total;

3) em relação às lagoas de Bonfim e Extremóz, o conhecimento das condições de ocupação de suas bacias de drenagem e da qualidade da água indica que dificilmente as mesmas poderiam ser consideradas como lagos eutróficos;

4) a versão modificada do índice mostra-se mais adequada para a determinação do estado trófico destes lagos de clima tropical;

5) pelo fato de ter resultado da extrapolação de dados de um único corpo aquático (Barra Bonita- SP), o IETM deve ser objeto de estudos complementares;

6) a utilização de um índice, ao invés de um parâmetro isoladamente, permite a obtenção de resultados mais confiáveis e de mais fácil interpretação uma vez que é englobada num único conjunto a variabilidade dos diversos fatores e parâmetros determinantes da qualidade da água.

Conclui-se, portanto, que os dois índices utilizados, IET e IQA:

- 1) fornecem informações que se completam;
- 2) constituem metodologias de avaliação da qualidade de corpos de água bastante práticas, facilitando a interpretação e divulgação dos resultados obtidos;
- 3) quando aplicados a corpos aquáticos de uma mesma região, permitem a rápida avaliação comparativa do estado limnológico e sanitário dos mesmos.

Segundo a resolução 20/86 do CONAMA, a lagoa de Bonfim (2-80 NMP coliformes fecais /100 mL) se enquadra na classe 1 (< 200 coliformes fecais/100 mL), sendo que todas as amostras apresentaram índices inferiores a 100 NMP/100 mL.

As lagoas de Extremóz (4-900 NMP coliformes fecais/100 mL) e de Jiqui (2- 2.200 NMP coliformes fecais/100 mL) estão enquadradas nas classes 2 ( $\leq 1.000$  coliformes fecais/100 mL) e 3 ( $\leq 4.000$  coliformes fecais/100 mL ), respectivamente. Entretanto, na lagoa de Extremóz, apenas 21% das amostras excederam o limite da classe 1, enquanto que em Jiqui , 60% das amostras corresponderam à classe 2 e 40%, à classe 3. Em relação à balneabilidade, as lagoas de Bonfim e Extremóz apresentaram sempre qualidade apropriada para a recreação de contato primário.

## RECOMENDAÇÕES

Os futuros estudos e atividades poderão envolver as seguintes linhas:

- 1.continuação das atividades de monitoramento, através de medidas mensais das diversas variáveis envolvidas;
- 2.avaliação econômica dos processos antrópicos desenvolvidos nas bacias hidrográficas das lagoas, correlacionando-os com os impactos ecológicos verificados;
- 3.desenvolvimento de atividades de educação ambiental para as comunidades situadas no entorno das bacias hidrográficas;
- 4.implementação de um programa de gestão das bacias hidrográficas: proteção de cabeceiras, restauração e manutenção das matas ciliares, criação de áreas destinadas à recreação, ao cultivo de peixes, dentre outras.

## 6.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (APHA), AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION (AWWA), WATER ENVIRONMENT FEDERATION (WEF). **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. 19 ed., APHA Washington, 1.155 p. 1995.
2. ARAÚJO, M. F. F. **Variação anual da comunidade fitoplanctônica, da clorofila e da produtividade primária na Lagoa de Extremóz – RN**. 139p. 1997 [Dissertação de Mestrado. Centro de Biociências, Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal- RN].
3. ARAÚJO, P. R. de; SOUZA, C. A. A.; FRIDRICH, G. (1989) In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL. 15, 1989, Belém-PA, ABES, Anais.
4. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EDUCAÇÃO AGRÍCOLA SUPERIOR/ UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA. **Legislação para uso dos recursos hídricos. Módulo 2**. In: Curso de gestão de recursos hídricos para o desenvolvimento sustentado de projetos hidroagrícolas. 66 p. 1996.
5. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, Saneamento ambiental: O Brasil mostra a sua cara. **Revista Bio**. ABES, Ano IX, N. 3, p. 22 a 31, Jul./Ago. 1997.
6. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, Destino Comum: Lixo. **Revista Bio**. ABES, Ano X, N. 6, p. 20 a 26, Abr./Jun. 1998.
7. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, **Catálogo brasileiro de engenharia sanitária e ambiental**. Guia do saneamento. ABES, Rio de Janeiro. 1998.
8. BRANCO, S. M. **A hidrobiologia aplicada à engenharia sanitária e ambiental** 3 ed. CETESB/ACETESB. São Paulo. 620 p. 1986.
9. BRANCO, S. M. **A água e o homem**. In: Hidrologia Ambiental. Rubem La Paina Porto (org.). EDUSP. São Paulo. 410 p. 1991.
10. BROCK, T. D., SMITH, D. W., MADIGAN, M. T., **Biology of microorganisms**. 4 ed. Englewood Cliffs, Nova Jersey. Prentice Hall Inc. 1984.

11. BROWN, R. M., McCLELLAND, N. I., DENINGER, R. A., TAZER, R. G. A water quality index: do we dare ?. NATIONAL SYMPOSIUM ON DATA AND INSTRUMENTATION FOR WATER QUALITY MANAGEMENT. MADISON. CONFERENCE OF STATE SANITARY ENGINEERS. 1970.
12. CALIJURI, M. C. **Respostas fisioecológicas da comunidade fitoplanctônica e fatores ecológicos em ecossistemas com diferentes estágios de eutrofização.** 292 p, 1988 [Tese de doutorado. Dep. de Hidráulica e Saneamento .Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos- SP].
13. CAREY, D. I. Development based on carrying capacity: A strategy for environmental protection. In: GLOBAL ENVIRONMENTAL CHANGE. Butterworth-Heineman Ltd.,1993.
14. CARLSON, R. E. A trophic state index for lakes. **Limnol. Oceanogr.**, 22: 361-80, 1977.
15. CAVALCANTE, M. A. M. P. **Impacto dos sistemas de saneamento “ in situ” nas águas subterrâneas no bairro de Piratininga – Município de Niterói (RJ).** 144 p. 1996 [Dissertação de Mestrado. Instituto de Geologia. Universidade de São Paulo São Paulo -SP].
16. CEBALLOS, B. S. O. **Utilização de indicadores microbiológicos na tipologia de ecossistemas aquáticos do trópico semi-árido.** 192 p., 1995 [Tese de Doutorado. Instituto de Ciências Biomédicas, Universidade de São Paulo. São Paulo- SP].
17. CEBALLOS, B. S. O., LIMA, E. O., KÖNIG, A., MARTINS, M. T. Spatial and temporal distribution of fecal coliforms, coliphages, moulds and yeast in freshwater at the semi-arid tropic Northeast region in Brazil (Paraíba State). **Rev. Microbial.** São Paulo, 6 (2): 90 - 100, 1995.
18. CEBALLOS, B. S. O., KÖNIG, A., DINIZ, C. R., WATANABE, T., MISHINA, S. V. Variabilidade da qualidade das águas de açudes nordestinos. CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL. 19, 1998. Foz do Iguaçu- PR. Anais: ABES. p. 2080- 2091.
19. CERQUEIRA, D . A, Coliformes como critério da qualidade da água de consumo. **Rev. Engenharia Sanitária e Ambiental.** ABES. Vol.2, N.1, p.174 , Jan/Mar.1997a.
20. CHAPRA, S. C. & TARAPCHAK, S. J. A chlorophyll-a model and its relationship to phosphorous loading plots for lakes. **Water resources research**, V. 12, N. 6 p. 1260-1264. 1976.

21. CAERN. COMPANHIA DE ÁGUAS E ESGOTOS DO RIO GRANDE DO NORTE. **I Relatório de avaliação das condições limnológicas do Rio Pitimbú e Lagoa do Jiqui**. CAERN. 45p. 1983.
22. CAERN. COMPANHIA DE ÁGUAS E ESGOTOS DO RIO GRANDE DO NORTE. **Relatório Mensal de Dados Operacionais. Mês Faturamento abril/ 97**. Natal.1997.
23. CETESB. COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. **Relatório de qualidade das águas interiores do Estado de São Paulo**, CETESB, São Paulo. 15 p. 1992,
24. CETESB. COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. **Modelo matemático para cálculo do índice de qualidade da água (IQA). Relatório R. 176. Contrato DAEE/CETESB, termo 49/79**. CETESB, São Paulo. 96 p.1979.
25. CETESB. COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. **Avaliação das condições Limnológicas nas Lagoas de Extremóz e Jiqui (Natal-RN)**. CETESB. São Paulo.1982.
26. CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Resolução nº 20 de 18.06.86. **Legislação de conservação da natureza**, 4 ed., São Paulo, FBCN/CESP, 720 p. 1986.
27. COSTA, E. B. , NICOLAIDIS Jr., H. CHAGAS, J. M. O Índice de qualidade de águas aplicado às captações mais significativas do Distrito Federal. CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL. 12,1983. Balneário Camboriú- SC. Anais: ABES. 20 a 25/11/83.
28. COSTA. CONSULTORIA E SERVIÇOS TÉCNICOS E AMBIENTAIS LTDA. **Estudo da disponibilidade hídrica da Lagoa do Bonfim.(contrato 006/97)** SERHID.NATAL, 87p.1997.
29. DOBSON, H. Trophic conditions and trends in the Laurentian Grat Lakes. **Water Qual. Bull.**, 6: p 79-83, 1981.
30. EMPARN. EMPRESA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA DO RIO GRANDE DO NORTE. **Comunicação pessoal**. Natal.1997.
31. EMPARN. EMPRESA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA DO RIO GRANDE DO NORTE. DEPARTAMENTO DE METEOROLOGIA E RECURSOS HÍDRICOS. **Climatologia de Postos Pluviométricos. Precipitação pluviométrica mensal (anos de 1996 e 1997)**. Natal. 1998.
32. ENVIROMENTAL PROTECTION AGENCY (EPA). **Water quality criteria**. Relatório do National Advisory Commitee. Washington.1972.

33. ESTEVES, F. A., BARBOSA, F. A. R. Artigo técnico. **Revista Ciência Hoje**, V.5, N.27, Nov./Dez. 1986. p57-61.
34. ESTEVES, F. A. **Fundamentos de limnologia**. Interciência/FINEP. Rio de Janeiro, 575 p. 1988.
35. FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION (FAO). **Irrigation- Practice and water management, irrigation and drainage**. Paper I.1988.
36. FEITOSA, E. C. **Plano Estadual de recursos hídricos do Rio Grande do Norte. Os recursos hídricos subterrâneos. Relatório diagnóstico**. V.1. FADE/ UFPE. Recife, 96p. 1997.
37. FERNANDES, R. M. L. **Açude São Salvador- Aspectos sanitários e físico químicos da água represada e de seu tributário principal. Proposta de manejo para retardo da eutrofização**. 158p. 1997 [Dissertação de Mestrado Centro de Ciências e Tecnologia. Universidade Federal da Paraíba. Campina Grande- PB].
38. FREITAS, C. O. de A., REQUIÃO, L. C .M. **Índice de Qualidade das Águas - IQA. Manual do IQA- Versão 4.0**. PUC- PR. Curitiba. 1994. 18p.
39. FUNDAÇÃO INSTITUTO DE DESENVOLVIMENTO DO RIO GRANDE DO NORTE (IDEC). **Bacias Hidrográficas: vazões estimadas pelo índice pluviométrico**. Natal. 20p. 1985..
40. FUNDAÇÃO INSTITUTO DE DESENVOLVIMENTO DO RIO GRANDE DO NORTE (IDEC). **Anuário Estatístico do RN**. Natal, v. 22, 472 p. 1995.
41. FUNDAÇÃO INSTITUTO DE DESENVOLVIMENTO DO RIO GRANDE DO NORTE (IDEC). **Informativo municipal do município de Extremóz**. Natal, 36 p. 1991.
42. GASTALDINI, M. C. C. Estudo Comparativo de Índices de Qualidade da Água: Aplicação ao Reservatório do Arroio Vacacaí-Mirim. SIMPÓSIO LUSO-BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL.XX, 1998. João Pessoa: ABES/ APRH. p. 209-222.
43. GELDREICH, E. E. Microbial indicator of pollution. Literature Review. **J. Water Pollution Control Fed.**, June: 1222-42, 1977.
44. GUAZELLI, M. R. OTTA, N. Rede de amostragem e indicadores de qualidade de água: critérios e conceituações. CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL. 10,1979. Anais ABES. Manaus- AM. 21 a 26/01/79.
45. HAKANSON, L. **A manual of lake morphometry**. Springer Verlag, 78 p. 1981.

46. HAYDDÉE, T. O. Aplicação de índices de estado trófico e de qualidade da água na avaliação da qualidade ambiental de um reservatório artificial (reservatório de Barra Bonita, estado de São Paulo, Brasil). CONGRESSO INTERAMERICANO DE INGENIERÍA SANITARIA Y AMBIENTAL. 25, 1996. México, AIDIS. Memórias técnicas.
47. HENRY, R. & LOPES, C. A. M. Estudos ecológicos na represa do Rio Pardo (Botucatu, SP, Brasil). III. "Standing stock", variação anual e distribuição vertical de bactérias, coliformes e *Escherichia coli*. **Biológico** 44: 183-8, 1978.
48. IBAM. INSTITUTO BRASILEIRO DE ADMINISTRAÇÃO MUNICIPAL. **Evolução demográfica dos municípios das regiões metropolitanas brasileiras, segundo a base territorial de 1993, 1960/ 1991**. Estudos Demográficos, 18. Rio de Janeiro. 1993.
49. JONES, J. G. **A guide to methods for estimating microbial numbers and biomass in freshwaters**. London, Freshwater Biological Association, N.39, 112 p. 1979.
50. KAPUCINSKY, R. B. & MITCHEL, R. **Solar radiation induces sublethal injury in *Escherichia coli* in seawater**. *Appl. Environ. Microbiol.*, 41: 670-674, 1981.
51. KAWAI, H. Acompanhamento da qualidade da água da represa de Sumaré. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL. 15, 1989, Belém- PA, ABES, Anais.
52. LANDWEHR, J. M., DEININGER, R. A. A comparison of several water quality indexes. **Journal of Water Pollution Control Federation**, 48, 954, 1976.
53. LIMA, A. F. **Sistema de abastecimento de água dos distritos de Igapó e Redinha - Natal-RN. Memória Descritiva**. CAERN. Recife. 1977.
54. LOPRETTO, E. C., TELL, G. **Ecosistemas de aguas continentales: metodologias para su estudio**. Tomo I, Ediciones Sur. Argentina. 377p. 1995.
55. MARSCHALL, B. E. & FALCONER, A. C. Eutrophication of a tropical african impoundment. **Hydrobiologia**, V 45, p. 109- 123. 1973.
56. MARSIGLIA, W. I. M. L. **Variação espaço temporal da comunidade fitoplanctônica e de fatores ecológicos em um sistema lântico de recente formação**. 149p. 1998 [Dissertação de Mestrado Centro de Ciências e Tecnologia. Universidade Federal da Paraíba. Campina Grande- PB].
57. MARGALEF, R. Características de las aguas de represa como indicadores del estado de los ecosistemas terrestres de las respectivas cuencas. In: **Reunião sobre**

- ecologia e proteção de águas continentais.** São Carlos, São Paulo, OEA/UNESCO/MAB/ USP, 1981, **Anais**, p. 39 - 109.
58. MARTINS, P. A., CEBALLOS, B. S. O., WATANABE, T., KÖNIG, A., TAVARES, J. L. Classificação trófica de represas no Nordeste brasileiro. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE LIMNOLOGIA. 7 1999. Florianópolis. Caderno de Resumos: 18 a 22/07/99.
59. MATHEUS, C. E., GIANOTTI, E. P., MORAES, A. J., LIMA, J. B. Estimativa da densidade fitoplanctônica em lagoas de estabilização através de leituras com o disco de Secchi. **Revista DAE-SABESP.** SABESP. N.61, Jul./ Ago. 1991.
60. MATHEUS, C. E., GIANOTTI, E. P., MORAES, A. J. Correlação entre clorofila, STV e DQO. **Revista DAE-SABESP.** SABESP. V.49, N 154, p. 20- 23. Jan./ Mar. 1989.
61. MELO, J. G. **Impacto do desenvolvimento urbano nas águas subterrâneas de Natal/ RN.** 196 p. 1995. [Tese de doutoramento. Instituto de Geociências. USP. São Paulo].
62. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, DOS RECURSOS HÍDRICOS E DA AMAZÔNIA LEGAL (MMA). **Política Nacional de Recursos Hídricos. Lei n.º 9.433, de 08/01/1997.** Brasília, 35 p., 1997.
63. MINISTÉRIO DA SAÚDE. **Portaria nº 36/ GM, de 19. 01. 90. Normas e padrão de potabilidade de água destinada ao consumo humano.** Brasília, 1990.
64. MUÑOZ, I. A., TRUJILLO, M. A. V., PEÑA, G. M., RAYMUNDO, D. M. Evaluación limnológica del lago Nabor Carrillo Flores, um embalse de água residual tratada, Gerencia del Proyecto Lago de Texcoco. Mexico. CONGRESO INTERAMERICANO DE INGENIERIA SANITARIA Y AMBIENTAL. 25, 1996. México- México. Anais: AIDIS, 1996.
65. NASCIMENTO, L. V., VON SPERLING, M. Os Padrões brasileiros de qualidade das águas e os critérios para proteção da vida aquática, saúde humana e animal. In: CONGRESO INTERAMERICANO DE INGENIERÍA SANITARIA Y AMBIENTAL. 26, 1998. Lima- Peru. Anais: AIDIS, 1998.
66. NÓBREGA Jr., O. B. **Diagnóstico ambiental do município de Extremóz (RN).** 172p. 1986 [Dissertação do Curso de Geologia. Centro de Tecnologia. UFRN. Natal].
67. NORUSIS, M. J. **Statistical package for social sciences for MS Windows Versão 6.0.** SPSS Inc. Chicago, 204 p. 1992.

68. OLVEIRA, H. T. **Avaliação das condições limnológicas de um compartimento (Braço do Rio Capivara) e sua interação com o reservatório de Barra Bonita- SP, com ênfase na comunidade fitoplanctônica.** 323p. 1993 [Tese de Doutorado. Escola de Engenharia de São Carlos. USP. São Carlos –SP]
69. OMS. ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DE SAÚDE. **Guias para la calidad del agua potable: Recomendaciones.** 2 Ed. 1 V. Espanha, 195 p. 1995.
70. OLIVEIRA, F. G. **Autodepuração e monitoramento do Rio Pitimbú - RN.** 163p. 1994 [Dissertação de Mestrado. Departamento de Engenharia Química. UFRN. Natal – RN].
71. ORTIZ, J. J. S. Nota indicadora de qualidade. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL. 12, 1983. Balneário Camboriú- SC. Anais 20 a 25/11/83.
72. PENNA, Y. M. de A. D. **Resumo dos principais tipos de índices de qualidade de água.** CETESB. São Paulo. 40p. 1977.
73. PEREIRA, M. G. **Qualidade das águas dos mananciais de superfície utilizados no abastecimento da cidade de Natal: aplicação do IQA nos pontos de captação.** 178 p, 1993 [Dissertação de mestrado. Departamento de Engenharia Química. Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal].
74. PEREIRA, R., CHIAVENATO, M. C., FREITAS, J., REIS, L. M. M., AZEVEDO, D. B., LIMA. Carta geotécnica do município de Nísia Floresta - RN. SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CARTOGRAFIA GEOTÉCNICA. 2, 1996. São Carlos. Anais: 24-27/11/96.
75. PLANAT- CONSULTORIA EM RECURSOS NATURAIS. **Disponibilidade de recursos hídricos na região de Natal- Água de superfície.** CAERN. Natal. 1982.
76. POVINELLI, J., MATHEUS, C. E., FRAGIACOMO, P. Aclimação de um resíduo industrial. **Revista DAE-SABESP.** SABESP. V.49, N 154, p. 24- 27. Jan./ Mar. 1989.
77. RAMEH, C. A. S. O Índice de qualidade das águas no Estado de São Paulo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL. 11,1981.Fortaleza Anais: ABES, 20 a 25/09/81.
78. RAVERA, O. **Assessment of the trophic state of water body.** Anns. Limnol. 19 (3): p 229-234. 1983.
79. REBOUÇAS, A. C. **Água na região Nordeste: desperdício e escassez.** Instituto de Estudos Avançados, 11 (29), p 127- 154 .1997a.

80. REBOUÇAS, A. C. **Parecer técnico consubstanciado sobre o “Estudo da disponibilidade hídrica da Lagoa do Bonfim”** (Contrato 006/97-SERHID). SERHID. Natal. 44p. 1997b.
81. REIS, J. A. T., Mendonça, A. S. F. Teores limites para compostos amoniacais em efluentes e mananciais de água doce- Uma avaliação crítica. SIMPÓSIO LUSO-BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL.1998. João Pessoa. ABES/ APRH. p.236- 248.
82. ROBERTO, S., ABREU, R. M. Utilidade dos indicadores de qualidade das águas. **Revista Ambiente**, V.5, N.1, 1991.
83. ROCHA, A. A. **Ciências do Ambiente, Saneamento, Saúde Pública**. USP. São Paulo. 1986.
84. RODIER, J. **Analises de las aguas. Aguas naturales, aguas residuales y aguas del mar**. Barcelona, Omega S.A., 1981.
85. SALAS, H. J. **Desarrollo de metodologias simplificadas para la evaluación de eutroficação em lagos calidos (antes lagos tropicales)**. CEPIS. Lima. 1993..
86. SALAS, H. J., MARTINO, P. A. Simplified phosphorus trophic state model for warm-water tropical lakes. **Water Resourse**. V.25. N.3. p.341-350.1991.
87. SANTIAGO, M. M. F. **Mecanismos de salinização em regiões semi-áridas. Estudo dos açudes Pereira de Miranda e Caxitoré no Ceará**. 1984. [Tese de Doutorado. USP. São Paulo].
88. SANTOS, M. C. N., FILGUEIRA, M. F., COSTA, M. J. **Análise das condições ambientais das Dunas ao sul de Natal/ RN, em função do uso e ocupação do solo**. 93 p. 1992 [ Monografia do curso de Geografia. Departamento de Geografia. UFRN. Natal- RN.].
89. SAWYER, C. N., McCARTY, P. L., PARKIN, G. F. **Chemistry for enviromental engineering**. Singapura, McGraw – Hill, Inc. 4 Ed.,1994, 628 p.
90. SCOTTISH DEVELOPMENT DEPARTMENT. **Development of a water quality index**. Report N. 3. Edinburgh. 62p. 1976.
91. SECRETARIA ESTADUAL DE RECURSOS HÍDRICOS (SERHID). **Cadastro de usuários de água**. Natal. 1997.
92. SECRETARIA ESTADUAL DE RECURSOS HÍDRICOS (SERHID). **A Água é um bem de todos. Legislação sobre os recursos hídricos do Estado do Rio Grande do Norte. Lei n.º6908/96**. SERHID, Natal. 18 p. 1996.

93. SILVA, L. H. P. **Avaliação qualitativa da lagoa Jacuném, com ênfase em eutrofização.** 138 p. 1998. [Dissertação de mestrado. Centro Tecnológico. UFES. Vitória- ES].
94. SOUZA, R. O., MOTA, F. S. **Qualidade e conservação da água com vistas ao desenvolvimento sustentável do semi- árido nordestino. Versão preliminar.** Projeto ARIDAS. SUDENE. Brasília, 58 p. 1994.
95. SUDENE. SUPERINTENDÊNCIA DE DESENVOLVIMENTO DO NORDESTE **Dados pluviométricos mensais do Nordeste. Rio Grande do Norte. Série pluviométrica-4.** SUDENE. Recife, 240p. 1990.
96. TAVARES, J. L., CEBALLOS, B. S. O., KONIG, Ä., ALBUQUERQUE, F., GÓIS, R. S. S. Interferência de fatores hidrológicos na qualidade da água de uma represa do trópico semi-árido (Sapé- PB- Brasil). In: CONGRESO INTERAMERICANO DE INGENIERÍA SANITARIA Y AMBIENTAL. 26, 1998. Lima -Peru. Anais: AIDIS (CD).
97. TOLEDO Jr., A. P., AGUDO, E. G., TALARICO, M., CHINEZ, S. J. A aplicação de modelos simplificados para a avaliação do processo de eutrofização em lagos e reservatórios tropicais. In: CONGRESO INTERNACIONAL DE INGENIERÍA SANITARIA Y AMBIENTAL. 19, 1984. Santiago- Chile. Anais: AIDIS. 57p. 11-16/11.
98. TUNDISI, J. G., MATSUMURA-TUNDISI, T. **The Lobo-Broa Ecosystem Research** Limnology in Brazil. Brazilian Academy of Sciences. Brazilian Limnological Socyety, São Paulo. 376 p. 1995
99. TUNDISI J. G., ROCHA, O., HENRY, R., TUNDISI, T. M. , BRANSKI, J., HINO, K., RIGHETTO, A. M. **Limnologia e manejo de represas.** Série Monografias em Limnologia. V.1.USP.ESC.São Carlos.1988.
100. UFPB. UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAIBA. NÚCLEO DE METEOROLOGIA APLICADA. **Atlas climatológico do Estado da Paraíba.** 2 Ed. 1987. Campina Grande
101. UFRN. UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE. ESTAÇÃO CLIMATOLÓGICA PRINCIPAL. **Dados climatológicos do período de 1984- 1994.**UFRN. Natal. 1997.
102. VIEIRA, V. P. P. B. **Recursos hídricos e o desenvolvimento sustentável do semi-árido nordestino.** Relatório consolidado. Versão preliminar. Brasília. Projeto ARIDAS. SUDENE. 1994.

103. VOLLENWEIDER, R. A. Eutrophication- A global problem. **Water Quality Bulletin** 6: 59- 62, 1981.
104. VON SPERLING, E. Avaliação do estado trófico de lagos e reservatórios tropicais. **Revista Bio**: Ano 2, nº 3, p. 68 - 76. ABES. Rio de Janeiro, 1994.
105. VON SPERLING, E. O real significado da transparência na avaliação da qualidade da água de lagos e represas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL. 19, 1997a, Foz do Iguaçu- PR. ABES. Anais.
106. VON SPERLING, E. Influência do parâmetro profundidade relativa na qualidade da água de lagos e represas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL. 19, 1997b, Foz do Iguaçu- PR. ABES. Anais.
107. WETZEL, R. G. **Limnología**. Ediciones Omega S. A., Barcelona. 677 p. 1981.
108. WRIGHT, S. **Alguns dados da física e da química das águas dos açudes nordestinos**. Boletim Técnico. Departamento Nacional de Obras Contra as Secas. 36: 21- 31; 33- 34; 47- 60. 1981.