



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE PESCA**

**CORRELAÇÃO ENTRE A CONTAGEM DE *Escherichia coli* E VARIÁVEIS
FÍSICO-QUÍMICAS SELECIONADAS EM AMOSTRAS DE ÁGUA DO LAGO
JACAREÍ (FORTALEZA, CEARÁ).**

WICTOR EDNEY DAJTENKO LEMOS

**Monografia apresentada ao Departamento
de Engenharia de Pesca do Centro de
Ciências Agrárias da Universidade Federal
do Ceará, como parte das exigências para a
obtenção do título de Engenheiro de Pesca.**

**FORTALEZA - CEARÁ - BRASIL
DEZEMBRO/2008**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca Universitária

Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

Lemos, Wictor Edney Dajtenko.

Correlação entre a contagem de *Escherichia coli* e variáveis físico-químicas selecionadas em amostras de água do Lago Jacareí (Fortaleza, Ceará) / Wictor Edney Dajtenko Lemos. – 2008.

31 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Curso de Engenharia de Pesca, Fortaleza, 2008.

Orientação: Prof. Dr. Marcelo Vinícius do Carmo e Sá.

1. Água. 2. Lagoas. 3. Liminologia. 4. Engenharia de Pesca. I. Título.

CDD 639.2

COMISSÃO EXAMINADORA:

Prof. Marcelo Vinícius do Carmo e Sá, D.Sc.
Orientador/Presidente

Prof^a. Regine Helena Silva dos Fernandes Vieira, D.Sc.
Membro

Prof. Raimundo Nonato de Lima Conceição, D.Sc.
Membro

VISTO:

Prof. Moisés Almeida de Oliveira, D.Sc.
Chefe do Departamento de Engenharia de Pesca

Prof. Raimundo Nonato de Lima Conceição, D.Sc.
Coordenador do Curso de Engenharia de Pesca

Dedico,

Aos meus Pais, pelo investimento e incentivo nos meus estudos e a paciência que tiveram durante minha jornada como estudante; e minha avó Jefhenia Dajtenko (in memorian), pelos belos ensinamentos que me acompanharão para sempre.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por guiar meus caminhos.

A toda minha família, principalmente à minha mãe Valentina Dajtenko Lemos, meu pai Francisco Franciney Lemos e minha irmã Ana Paula Dajtenko Lemos, por tudo o que significam na minha vida e o apoio que sempre me deram, o que foi imprescindível para que eu pudesse chegar onde estou.

Ao meu orientador Marcelo Vinícius do Carmo e Sá, por ter me acolhido como seu orientando e ter se dedicado e contribuído para a conclusão deste meu projeto.

A professora Rosemeiry Melo Carvalho, tutora do grupo PET – Engenharia de Pesca, que me orientou durante os anos em que eu passei no programa.

A minha namorada Greice Lopes Bernardo, pelo carinho e incentivo durante essa etapa final do curso, sem os quais teria sido tudo mais difícil.

Aos meus amigos do curso de Engenharia de Pesca, em especial Átila Elias, Euclides da Cunha, Felipe Lima, Felipe Rocha, Felipe Ximenes, Filipe Nepomuceno, Francisco Santiago, Rafahel Fontenele, Tércio Alexandre e Vitor Mateus, pela sincera amizade e todos os momentos em que passamos juntos.

Às amigas Anne Kelly, Daniele Menezes, Patrícia Raquel, Leiliana Noronha e Leilamara Andrade, pelo companheirismo durante todos esses anos.

À minha banda Trâmmit, por tudo o que vivemos até aqui.

E a todos aqueles que de alguma forma contribuíram para essa realização.

SUMÁRIO	Página
Resumo	ii
Lista de figuras	iii
Lista de tabelas	iv
1.0 Introdução	01
2.0 Material e Métodos	03
3.0 Resultados	06
3.1 Características físico-químicas da água	06
3.2 Coeficientes de correlação linear	08
3.3 Nitrito e concentração de <i>Escherichia coli</i>	09
3.4 pH e concentração de <i>Escherichia coli</i>	12
4.0 Discussão	15
4.1 Características físico-químicas da água	15
4.2 Nitrito e concentração de <i>Escherichia coli</i>	16
4.3 pH e concentração de <i>Escherichia coli</i>	18
5.0 Conclusão	20
6.0 Referências Bibliográficas	21

RESUMO

O estudo limnológico de um ecossistema aquático continental viabiliza seu manejo e maximiza sua produtividade. Dentre os corpos hídricos de Fortaleza, o Lago Jacareí (LJ) se caracteriza por apresentar profundidade bastante reduzida e elevada concentração de matéria orgânica fecal, inviabilizando-o em projetos de piscicultura intensiva e repovoamento de peixes. Visto isso, o presente trabalho objetivou estudar a correlação entre a contagem de *Escherichia coli* e alguns parâmetros físico-químicos selecionados. As amostras coletadas eram analisadas no Laboratório de Limnologia (Engenharia de Pesca/UFC) e no Laboratório Integrado de Águas de Mananciais e Residuárias (LIAMAR/CEFET). Os resultados de pH e nitrito, por apresentarem maior coeficiente de correlação linear em módulo, foram correlacionados com as contagens de *E. coli*, onde observou-se uma relação inversa. Das alternativas existentes, o melhor ajuste foi obtido através de regressão não-linear, pela equação polinomial de 2º grau $y = 2,33 - 3,94 * 10^{-5}x + 4,67 * 10^{-10}x^2$, ($R^2 = 0,669$), para o parâmetro nitrito, e $y = 8,67 - 1,77 * 10^{-4}x + 5,94 * 10^{-9}x^2$ ($R^2 = 0,888$), para o parâmetro pH, significando que 66,9% e 88,8% do relacionamento entre as variáveis podem ser explicados ou previstos pelas equações acima, respectivamente. A bactéria *E.coli* está presente no trato intestinal de animais de sangue quente e é o indicador biológico de poluição fecal mais utilizado pelo homem. O relacionamento inverso entre a contagem de *E. coli* com o pH e a concentração de nitrito da água pode ser explicada pelas descargas de matéria orgânica no LJ, que aumenta a demanda bioquímica de oxigênio e introduzem a bactéria no meio. Assim, as descargas de esgotos domésticos no LJ, além de contaminarem sua água com bactérias patogênicas, promovem a acidificação indireta da água e podem levar sua fauna aquática a situações de hipóxia e cianose.

LISTA DE FIGURAS

	Página
Fig. 1 Visão aérea do Lago Jacareí e suas vizinhanças.	03
Fig. 2 Concentrações médias de <i>Escherichia coli</i> (NMP/100 mL) e de nitrito (mg/L) em amostras de água coletadas na entrada, meio e sangradouro do Lago Jacareí (Fortaleza-CE), no período de 20/4 a 27/7/2008.	13
Fig. 3 Equação preditiva da concentração média de nitrito (mg/L) em função da concentração <i>Escherichia coli</i> (NMP/100 mL) nas águas do Lago Jacareí (Fortaleza-CE).	14
Fig. 4 Concentrações médias de <i>Escherichia coli</i> (NMP/100 mL) e pH de amostras de água coletadas na entrada, meio e sangradouro do Lago Jacareí (Fortaleza-CE), no período de 20/4 a 27/7/2008.	15
Fig. 5 Equação preditiva do valor médio do pH da água em função da concentração de <i>Escherichia coli</i> (NMP/100 mL) nas águas do Lago Jacareí (Fortaleza-CE).	16

LISTA DE TABELAS

	Página
Tabela 1 Coordenadas geográficas dos pontos amostrados no Lago Jacareí (Fortaleza, Ceará).	05
Tabela 2 Características físico-químicas da água da entrada, meio e sangradouro do Lago Jacareí (Fortaleza-CE), em amostras coletadas no período de 20/4 a 27/7/2008 (média \pm d.p.).	08
Tabela 3 Coeficientes de correlação linear de Pearson (r) das relações entre as concentrações de <i>Escherichia coli</i> (NMP/100 mL) e variáveis limnológicas selecionadas de amostras de água do Lago Jacareí (Fortaleza, Ceará).	11

CORRELAÇÃO ENTRE A CONTAGEM DE *Escherichia coli* E VARIÁVEIS FÍSICO-QUÍMICAS SELECIONADAS EM AMOSTRAS DE ÁGUA DO LAGO JACAREÍ (FORTALEZA, CEARÁ).

Wictor Edney Dajtenko Lemos

1. INTRODUÇÃO

Um dos campos mais antigos da Limnologia, e um dos mais importantes nos tempos atuais, refere-se às pesquisas sobre o metabolismo dos ecossistemas aquáticos continentais. Estas pesquisas possibilitam o conhecimento da estrutura e do funcionamento destes ecossistemas, viabilizando o seu manejo e a maximização da sua produtividade. Os resultados obtidos nesses estudos constituem a ferramenta mais importante para várias técnicas de manejo, destacando-se a aqüicultura de água doce (ESTEVES, 1998).

O Lago Jacareí (LJ), localizado na cidade de Fortaleza, capital do Estado do Ceará, às coordenadas 3^o48'209"S e 38^o27'800"W, pertence à Bacia Hidrográfica do Cocó. Nesta Bacia também estão presentes o Açude do Jangurussu, a Lagoa do Passaré, a Lagoa da Sapiranga, a Lagoa de Messejana e a Lagoa de Porangabussu, dentre outros corpos hídricos da Região Metropolitana de Fortaleza. O LJ possui espelho d'água de 1,51 ha, volume de 18.131 m³ e perímetro de 544 m. Sua profundidade média é de apenas 1,20 m (FORTALEZA, 2007).

A profundidade reduzida do LJ inviabiliza seu uso em projetos de piscicultura intensiva. Contudo, tendo em vista que o LJ está localizado em área densamente urbanizada, há grande potencial para a prática da pesca recreativa (pesque-e-pague ou pesque-e-solte). Acredita-se que, caso houvesse significativa população de peixes de médio ou grande porte no LJ, seria possível a instalação de um pesqueiro recreativo naquele local. Dessa forma, a população de Fortaleza, e em particular a comunidade do bairro

Cidade dos Funcionários, teria uma nova e atrativa forma de lazer e entretenimento.

Atualmente, o LJ dispõe de praça, onde se realizam feirinhas de produtos artesanais e comidas típicas, amplo espaço para recreação com bicicleta e pedálinhos para passeios pelo lago (O POVO, 2006). Até o presente momento, entretanto, não há atividade de pesca esportiva sendo realizada no LJ, observando-se, apenas, a atuação de esporádicos pescadores de subsistência.

Segundo a Secretaria Municipal de Meio Ambiente e Controle Urbano – SEMAN, da Prefeitura Municipal de Fortaleza (FORTALEZA, 2008), as águas do LJ são impróprias para banho, apresentando elevado grau de contaminação fecal (SEMAN, 2008). De acordo com o boletim da SEMAN datado de 10/9/2008, a concentração média de coliformes termotolerantes no LJ foi igual a 3251 NMP/100 mL, tendo como limite máximo para balneabilidade 500 NMP/100 mL. A concentração média de *Escherichia coli* foi de 2280 NMP/100 mL, contra o padrão de aceitação de 400 NMP/100 mL. Portanto, quase 6 vezes mais o padrão de aceitação.

Tendo como referência a resolução nº 357/05 do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA e o relatório de balneabilidade expedido pela SEMAN, citado acima, as águas do LJ se enquadram na Classe 4, sendo destinadas apenas à harmonia paisagística.

Para que se possa recuperar o LJ e torná-lo apto a receber projetos de repovoamento de peixes e de piscicultura recreativa, faz-se imperativo a realização de estudos sistemáticos sobre sua Limnologia. Inicialmente, é necessário que o lago seja submetido a intenso programa de pesquisas limnológicas básicas, visando um diagnóstico preciso do seu metabolismo, antes que se possa iniciar a sua recuperação (WETZEL, 2001).

Dentre os pontos de importância que carecem esforço de pesquisa, destaca-se a possível correlação entre as contagens de *Escherichia coli* presente na água e sua físico-química. Assim, o presente trabalho teve como objetivo estudar a possível correlação existente entre as contagens de *E. coli* e as concentrações de CO₂ livre, oxigênio dissolvido, fósforo reativo, amônia total e nitrito, em amostras de água do LJ. Além desses, considerou-se ainda o pH da água.

FIGURA 1 – Visão aérea do Lago Jacareí e suas vizinhanças.



2. MATERIAL E MÉTODOS

As campanhas foram realizadas no Lago Jacareí (LJ) e as amostras de água foram analisadas no Laboratório de Limnologia – Lablim, do Departamento de Engenharia de Pesca, da Universidade Federal do Ceará, e no Laboratório Integrado de Águas de Mananciais e Residuárias – Liamar, do Centro Federal de Educação Tecnológica do Ceará. Foram realizadas oito campanhas, com periodicidade quinzenal, nas quais foram coletadas amostras da água sub-superficial (20 - 30 cm de profundidade), em três pontos de amostragem (Tabela 1). As estações foram definidas como entrada d'água (tributário principal), centro e sangradouro. As estações “entrada” e “sangradouro” eram pontos de margem enquanto que a estação “centro” era ponto de meio.

As campanhas de coleta foram realizadas juntamente com o pessoal do Liamar/Cefet, por ocasião do trabalho de avaliação da balneabilidade do LJ, executado pelo Liamar, a pedido da SEMAN, dentro do Programa “Lagoas de Fortaleza”. Portanto, nos momentos e pontos exatos em que ocorriam as coletas de amostras de água para análise microbiológica (*E.coli*), no Liamar/Cefet, ocorriam as coletas de amostras de água para análise físico-química, no Lablim/UFC.

TABELA 1 - Coordenadas geográficas dos pontos amostrados no Lago Jacareí (Fortaleza, Ceará).

Estação	Latitude	Longitude
Entrada	3°48'058"S	38°27'387"W
Centro	3°48'209"S	38°27'800"W
Sangradouro	3°47'089"S	38°27'576"W

As coletas de amostras de água do LJ foram realizadas sempre aos domingos, entre 10 e 12h. Com exceção do dia 20 de abril, que foi um dia bastante chuvoso e com muito vento, os demais dias nos quais se realizou coleta de amostras de água apresentaram tempo ensolarado, com pouco vento e temperaturas elevadas, variando entre 29 e 31°C. Os procedimentos adotados durante as campanhas de coleta de amostras de água no LJ estão descritos a seguir.

Quando a equipe do Liamar/Cefet chegava ao LJ, procedia-se a retirada da lancha do reboque com a ajuda dos seguranças do Cefet para, em seguida, levá-la até a beira d'água. Geralmente, três pessoas embarcavam. Havia uma pessoa responsável por guiar a lancha e outras duas para coletar as amostras de água, medir a temperatura da mesma e sua transparência através do disco de Secchi. As amostras de água foram coletadas em frascos PET limpos de 2L, acondicionadas em caixas isotérmicas com gelo e encaminhadas ao Lablim/UFC com a maior brevidade possível para análise.

As análises físico-químicas das amostras de água das três primeiras campanhas foram realizadas no mesmo dia das coletas, no domingo. As amostras de água da terceira campanha foram analisadas no domingo e também na segunda-feira seguinte, para comparação dos resultados. Para isso, uma sub-amostra foi congelada logo após a coleta no LJ, sendo descongelada poucas horas antes da realização de sua análise, na segunda-feira. Nesse teste, determinou-se as concentrações de CO₂ livre, O₂D e amônia total das amostras. Além desses, procedeu-se a leitura do pH. Como os

resultados das análises das amostras processadas no domingo e na segunda-feira foram muito próximos, decidiu-se realizar as análises seguintes sempre na segunda-feira (um dia após a coleta). Isso foi necessário devido à dificuldade de adentrar no Campus do Pici no domingo e à falta de pessoal nos laboratórios.

As seguintes variáveis físico-químicas foram observadas nas amostras de água, em duplicata: oxigênio dissolvido, salinidade, alcalinidade total, dureza cálcica, pH, CO₂ livre, fósforo reativo, amônia total, nitrito e ferro. As análises físico-químicas foram realizadas de acordo com as metodologias utilizadas no Lablim/UFC, as quais estão baseadas em APHA (1992). As concentrações de *Escherichia coli* nas amostras de água foram determinadas de acordo com o método 9223-B da APHA (1999), com a utilização de substrato cromogênico – ONPG-MUG. Tendo em vista as sugestões apontadas pela literatura especializada (CARMOUZE, 1994), apenas os resultados de oxigênio dissolvido, pH, CO₂ livre, fósforo reativo, amônia total e nitrito foram correlacionados com as concentrações de *Escherichia coli*, cujos valores são disponibilizados semanalmente pelo Liamar/Cefet na página da SEMAN na internet (<http://www.seman.fortaleza.ce.gov.br>).

Para as duas variáveis que apresentaram os maiores coeficientes de correlação linear em módulo, realizou-se a análise de regressão dos dados para determinação da curva que melhor se ajustava aos pontos observados. Em seguida, a partir dos gráficos obtidos e dos resultados da análise de variância das regressões, discutiu-se as possíveis explicações ambientais e biológicas para os fenômenos observados, bem como as principais implicações dessas relações na manutenção do equilíbrio (ou desequilíbrio) ecológico do LJ. Todas as análises estatísticas e matemáticas foram realizadas com o auxílio do software Microsoft Office Excel 2007.

3. RESULTADOS

3.1 Características físico-químicas da água

A Tabela 2 apresenta as características físico-químicas da água da entrada, meio e sangradouro do LJ, em amostras coletadas no período de 20/4 a 27/7/2008.

No período do presente trabalho, a concentração de oxigênio dissolvido na água sub-superficial do LJ variou de 3,55 a 7,50 mg/L, com valor médio de $6,43 \pm 0,08$ mg/L. A variação entre os pontos de coleta foi mínima (CV = 1,29%). A salinidade da água variou de 0,10 a 0,25 g/L, com valor médio igual a $0,18 \pm 0,009$ g/L. Também não se observou variação importante entre os pontos de coleta (CV = 4,69%).

O pH da água sub-superficial do LJ, no período amostrado, variou de 7,50 a 8,50, com média de $7,98 \pm 0,08$. O ponto de entrada do lago se apresentou ligeiramente mais alcalino que os demais pontos amostrados (meio e sangradouro). A alcalinidade total da água variou de 50 a 110 mg/L CaCO₃ equivalente, com valor médio igual a $70,9 \pm 5,01$ mg/L. O ponto de meio apresentou alcalinidade total um pouco inferior aos demais pontos observados.

A dureza cálcica da água sub-superficial do LJ variou no período amostrado de 54,1 a 79,1 mg/L CaCO₃ equivalente, com média de $67,1 \pm 0,09$ mg/L. Praticamente não houve variação entre os pontos de coleta.

TABELA 2 – Características físico-químicas da água da entrada, meio e sangradouro do Lago Jacareí (Fortaleza-CE), em amostras coletadas no período de 20/4 a 27/7/2008 (média ± d.p.)

Ponto de coleta	O₂D (mg/L)	Salinidade (g/L)	pH	Alcalinidade total (mg/L CaCO₃)	Dureza cálcica (mg/L CaCO₃)	CO₂ livre (mg/L)
Entrada	6,5 ± 1,43	0,18 ± 0,06	8,06 ± 0,38	75,0 ± 17,6	67,0 ± 8,1	26,0 ± 27,7
Meio	6,4 ± 1,42	0,18 ± 0,06	7,98 ± 0,43	65,3 ± 8,1	67,2 ± 7,8	12,7 ± 15,8
Sangradouro	6,3 ± 1,44	0,19 ± 0,05	7,89 ± 0,37	72,5 ± 9,9	67,0 ± 7,2	14,9 ± 13,8
Média	6,43	0,18	7,98	70,9	67,1	17,8
Desvio-padrão	0,08	0,009	0,08	5,01	0,09	7,10
CV (%)	1,29	4,69	1,10	7,07	0,14	39,73
Mínimo	3,55	0,10	7,50	50	54,1	0
Máximo	7,50	0,25	8,50	110	79,1	76

TABELA 2 (Cont.)

Ponto de coleta	Fósforo reativo (mg/L)	Amônia total (mg/L)	Nitrito (mg/L)	Ferro total (mg/L)
Entrada	0,068 ± 0,099	0,66 ± 0,48	2,05 ± 0,33	0,43 ± 0,16
Meio	0,069 ± 0,094	0,47 ± 0,23	2,04 ± 0,24	0,46 ± 0,178
Sangradouro	0,070 ± 0,094	0,54 ± 0,34	2,09 ± 0,26	0,45 ± 0,15
Média	0,069	0,56	2,06	0,45
Desvio-padrão	0,001	0,093	0,03	0,01
CV (%)	1,84	16,57	1,3	2,22
Mínimo	0,01	0,21	1,60	0,10
Máximo	0,27	1,28	2,55	0,70

A concentração de CO₂ livre da água do LJ variou de 0 a 76 mg/L, com média igual a $17,8 \pm 7,10$ mg/L. Houve grande diferença na concentração de CO₂ livre entre os diferentes pontos de coleta (CV = 39,7%), sendo que o ponto de entrada do lago foi aquele que apresentou a maior concentração média desse gás (26,0 mg/L).

A concentração de fósforo reativo (\cong ortofosfato) da água sub-superficial do LJ variou no período amostrado de 0,01 a 0,27 mg/L, com valor médio igual a $0,069 \pm 0,001$ mg/L. Não se observou diferença expressiva entre os pontos de coleta para essa variável. Já a concentração de amônia total (NH₃-NH₄⁺) da água variou de 0,21 a 1,28 mg/L, com média de $0,56 \pm 0,093$ mg/L. Houve diferença considerável entre os pontos de coleta (CV = 16,5%), sendo o ponto de entrada aquele com maior concentração média desse composto (0,66 mg/L).

A concentração de nitrito da água sub-superficial do LJ variou de 1,60 a 2,55 mg/L no período de realização do presente trabalho, alcançando a média de $2,06 \pm 0,03$ mg/L. As diferenças entre os pontos de coleta quanto a concentração de nitrito na água foram mínimas. Já a concentração de ferro total (Fe⁺²-Fe⁺³) variou de 0,1 a 0,7 mg/L, com valor médio igual a $0,45 \pm 0,01$ mg/L. Não houve diferença importante entre os pontos de coleta para essa variável.

3.2 – Coeficientes de correlação linear

Das dez variáveis limnológicas monitoradas no presente trabalho (Tabela 2), selecionou-se seis para serem correlacionadas com as respectivas concentrações de *E. coli*. O critério de seleção adotado foi a provável aderência das variáveis limnológicas em questão com as alterações na carga de matéria fecal presente no LJ, de acordo com a literatura especializada (CARMOUZE, 1994).

A Tabela 3 apresenta os coeficientes de correlação linear de Pearson (r) das relações entre as concentrações de *E. coli* e as seis variáveis limnológicas selecionadas. Em cada data, realizou-se o agrupamento dos dados dos

diferentes pontos de amostragem (entrada, meio e sangradouro). Foram correlacionados os resultados de oxigênio dissolvido, pH, CO₂ livre, amônia total, nitrito e fósforo reativo com as concentrações de *E. coli*, em NMP/100 mL, divulgadas semanalmente pelo Liamar/Cefet. Em seguida, classificou-se as variáveis de acordo com o seu respectivo coeficiente de correlação, em ordem decrescente de importância. Dessa forma, as duas variáveis limnológicas que apresentaram os maiores coeficientes de correlação, em módulo, foram nitrito ($r = -0,8151$) e pH ($-0,7717$). Essas duas variáveis foram posteriormente ajustadas matematicamente aos resultados de concentração de *E. coli* através de análise de regressão não-linear.

TABELA 3 – Coeficientes de correlação linear de Pearson (r) das relações entre as concentrações de *Escherichia coli* (NMP/100 mL) e variáveis limnológicas selecionadas de amostras de água do Lago Jacaré (Fortaleza, Ceará).

Variável	r	Classificação
Nitrito	-0.8151	1º
pH	-0.7717	2º
Amônia total	-0.6711	3º
CO ₂ livre	0.2552	4º
O ₂ D	-0.1273	5º
P reativo	-0.0597	6º

3.3 – Nitrito e concentração de *Escherichia coli*

Das oito campanhas realizadas no LJ, os resultados de apenas seis delas puderam ser aproveitados no presente trabalho. Por dificuldades na coleta, no acondicionamento e/ou no transporte das garrafas, as coletas realizadas nos dias 6/4 (1ª campanha) e 1º/6 (4ª campanha) foram desconsideradas por apresentarem resultados inverossímeis.

As concentrações de *E. coli* na água do LJ apresentaram padrão crescente de resposta nas primeiras quatro quinzenas do período experimental (20/4 – 15/6), passando a cair a partir de então (Figura 1). Na última campanha realizada (27/7), houve um discreto aumento nessa variável. O pico de concentração de *E. coli* ocorreu na amostragem de 15/6, quando se observou 20.000 NMP/100 mL. O menor valor observado ocorreu em 13/7, com 1423 NMP/100 mL.

Exceto pelas amostras dos dias 4/5 e 15/6/08, as concentrações de nitrito nas amostras de água do LJ sempre estiveram acima de 2,0 mg/L, atingindo o pico em 13/7, com valor de 2,33 mg/L (Figura 1). Nas coletas de 4/5 e 15/6 foram observados os menores valores para concentração de nitrito, sendo iguais a 1,78 e 1,75 mg/L, respectivamente.

Observa-se na Figura 1 que o pico de *E. coli*, ocorrido em 15/6, com concentração de 20.000 NMP/100 mL, coincidiu com o menor valor de nitrito (1,75 mg/L). Além disso, a menor concentração de *E. coli* (1423 NMP/100 mL; 13/7/08) correspondeu ao pico de nitrito (2,33 mg/L).

Portanto, como já evidenciado pelo valor negativo do coeficiente de correlação linear (-0,8151; Tabela 3), há relacionamento inverso entre a concentração de *E. coli*, em NMP/100 mL, e a concentração de nitrito na água do LJ, em mg/L. Buscando investigar melhor a relação entre essas duas variáveis, procedeu-se à análise de regressão dos resultados observados, como exposto a seguir.

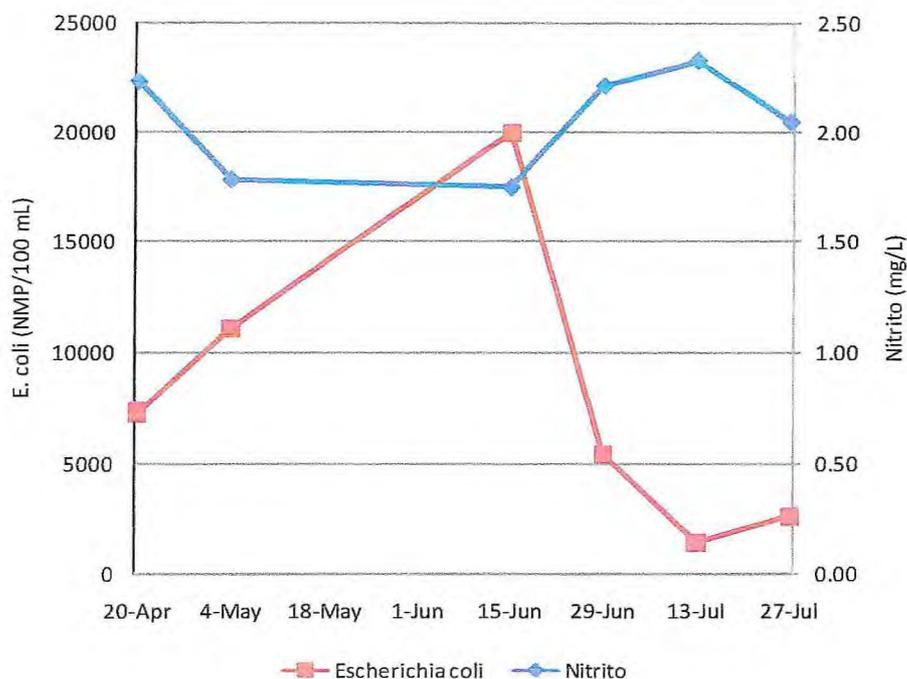


FIGURA 2 – Concentrações médias de *Escherichia coli* (NMP/100 mL) e de nitrito (mg/L) em amostras de água coletadas na entrada, meio e sangradouro do Lago Jacareí (Fortaleza-CE), no período de 20/4 a 27/7/2008.

Dentre as possibilidades existentes, o melhor ajuste aos pontos observados foi obtido através de regressão não-linear (Figura 2). A equação polinomial de 2ª grau $y = 2,33 - 3,94 * 10^{-5}x + 4,67 * 10^{-10} x^2$, onde y é a concentração de nitrito (mg/L) e x a concentração média de *E. coli* (NMP/100 mL), aderiu aos pontos observados com coeficiente de determinação (R^2) de 0,669. Isso significa que 66,9% do relacionamento entre essas duas variáveis podem ser explicados ou previstos pela equação acima. Contudo, a análise de variância da referida regressão apresentou-se como não significativa, com valor de $P = 0,19$.

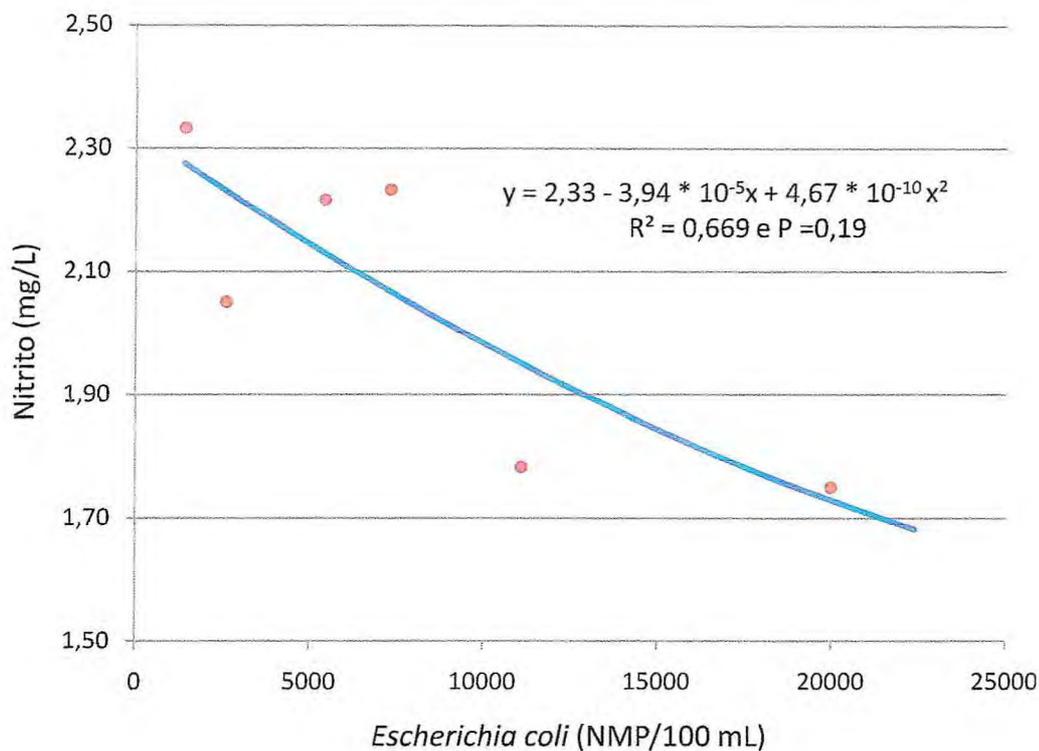


FIGURA 3 – Equação preditiva da concentração média de nitrito (mg/L) em função da concentração *Escherichia coli* (NMP/100 mL) nas águas do Lago Jacareí (Fortaleza-CE). Os pontos em vermelho correspondem aos valores observados.

3.4 – pH e concentração de *Escherichia coli*

No presente trabalho, o pH da água do LJ esteve sempre na faixa alcalina, variando de 7,50 (15/6) a 8,50 (13/7). Além disso, observou-se que houve uma elevação no pH da água nas últimas coletas realizadas (Figura 3). Logo, pode-se considerar dois períodos distintos em relação ao pH da água do LJ: (1ª) água fracamente alcalina (20/4 a 29/6/08) e (2ª) água moderadamente alcalina (13/7 a 27/7/08).

Observa-se na Figura 3 que o pico na concentração de *E.coli* (20.000 NMP/100 mL; 15/6) coincidiu com o menor valor de pH registrado no período

do estudo (7,5). Além disso, a menor concentração de *E.coli* (1423 NMP/100 mL; 13/7) correspondeu ao maior valor de pH (8,50). Portanto, assim como evidenciado pelo valor do coeficiente de correlação linear para essas duas variáveis (-0,7717; Tabela 3), há relação inversa entre a concentração de *E.coli*, em NMP/100 mL e o pH da água do LJ.

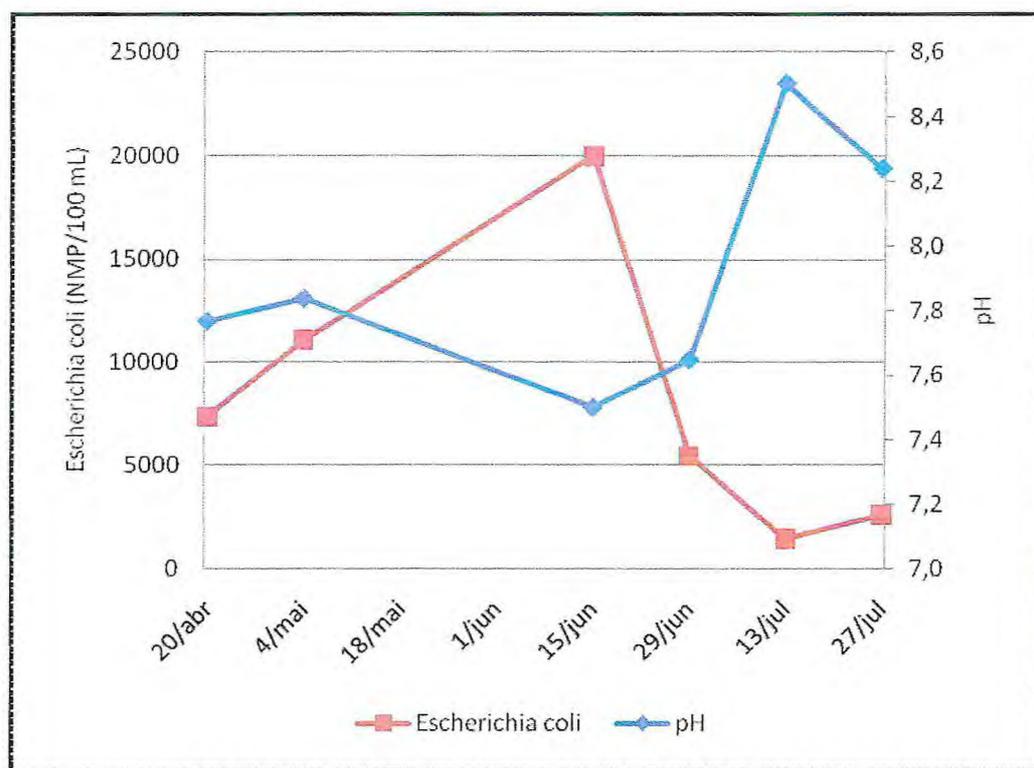


FIGURA 4 – Concentrações médias de *Escherichia coli* (NMP/100 mL) e pH de amostras de água coletadas na entrada, meio e sangradouro do Lago Jacareí (Fortaleza-CE), no período de 20/4 a 27/7/2008.

Analisando-se matematicamente a relação entre a concentração de *E. coli* (NMP/100 mL), como variável independente, e o pH da água do LJ, como variável dependente, chegou-se a equação polinomial de 2º grau $y = 8,67 - 1,77 * 10^{-4}x + 5,94 * 10^{-9}x^2$ como aquela que propiciou o melhor ajuste aos pontos observados ($R^2 = 0,888$; Figura 4). Assim, a citada equação é capaz de explicar ou prever 88,8% das ocorrências de *E. coli*, em função do pH da água do LJ. Essa regressão é significativa ao nível de 5% ($P = 0,037$).

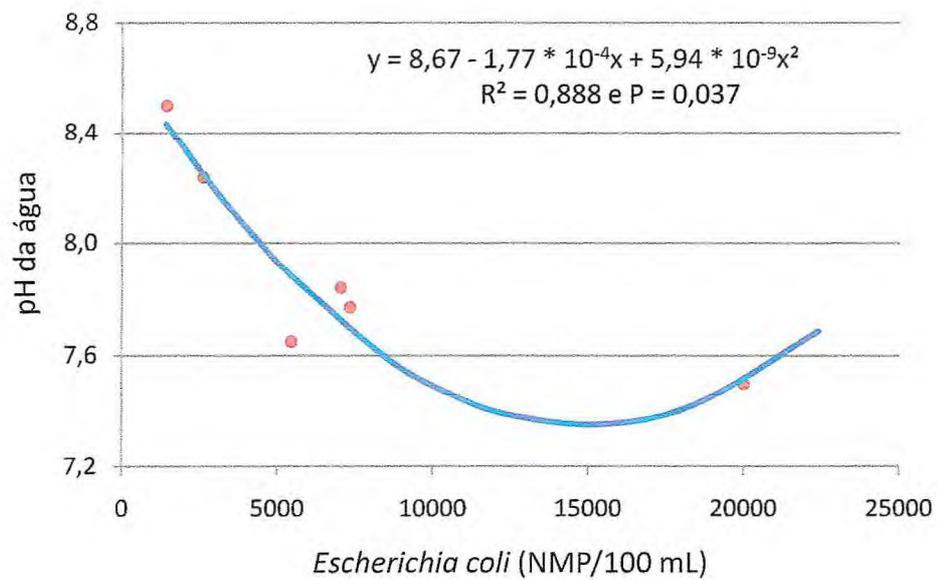


FIGURA 5 – Equação preditiva do valor médio do pH da água em função da concentração *Escherichia coli* (NMP/100 mL) nas águas do Lago Jacareí (Fortaleza-CE). Os pontos em vermelho correspondem aos valores observados.

4. DISCUSSÃO

4.1 Características físico-químicas da água

A discussão que se segue sobre as características físico-químicas da água sub-superficial do LJ tem como referência as recomendações técnicas para aqüicultura, apresentadas por Boyd e Tucker (1998).

Apesar da concentração média de oxigênio dissolvido da água do LJ se encontrar em conformidade com a recomendação técnica para criação de organismos aquáticos ($\geq 4,0$ mg/L), observou-se, em uma das amostras, um valor abaixo dessa referência (3,5 mg/L). Portanto, há situações de estresse respiratório dos animais presentes no LJ. Essas situações, provavelmente, ocorrem quando há maior descarga de esgotos domésticos ou entrada de escoamento superficial nesse ambiente (HEATH, 1995). Além disso, deve-se levar em conta que apenas a água sub-superficial do LJ foi amostrada (20 – 30 cm da superfície), devendo-se esperar, na água de fundo, valores bem inferiores aos observados.

O equilíbrio ácido-básico do ecossistema aquático é de fundamental importância para sua biota. Nessa questão, três variáveis limnológicas se destacam: pH, alcalinidade e concentração de CO_2 livre (WEATHERLEY, 1988). A faixa de variação do pH da água observada no presente trabalho (7,5 – 8,5) está dentro dos limites para o bom desenvolvimento de organismos aquáticos (6,5 – 9,0). A média observada de pH (7,98) indica que a água do LJ apresenta boa alcalinidade total, fato esse comprovado pelas observações realizadas (alcalinidade total média = 70,9 mg/L CaCO_3 equivalente). Entretanto, os elevados resultados de CO_2 livre apontam que os animais aquáticos do LJ estão sob condição de estresse respiratório, especialmente na entrada do lago. Portanto, apesar do resultado de alcalinidade média do LJ sugerir que há capacidade tampão satisfatória, fato positivo para a vida aquática, as elevadas concentrações de CO_2 livre evidenciam a existência de acentuada carga de matéria orgânica em decomposição no lago (ARRIGNON, 1979).

O valor médio de dureza cálcica de 67,1 mg/L CaCO₃ equivalente permite classificar a água do LJ como moderadamente dura. Tal condição indica que há cálcio suficiente na água para a satisfação das exigências fisiológicas de animais e vegetais para esse mineral (WATANABE et al., 1997).

Tendo-se em mente que o limite máximo de fósforo total na água de ecossistemas aquáticos continentais, para não considerá-lo eutrofizado, é 60 µg/L (BEVERIDGE, 2004), a concentração média de fósforo reativo da água do LJ (69 µg/L) sugere que o mesmo se encontra nessa condição. Essa avaliação se torna ainda mais significativa quando se considera que fósforo reativo é apenas uma fração do fósforo total. Logo, o valor de fósforo total em amostras de água do LJ poderá ser bem maior que 69 µg/L. Quando eutrofizado, o ambiente aquático está sujeito a recorrentes episódios de hipóxia e anóxia, os quais podem causar mortandades em massa de sua biota (MOLISANI, 2005).

No presente trabalho, os elevados resultados de amônia total e nitrito observados nas amostras de água do LJ vêm confirmar os resultados de CO₂ livre. A amônia é um metabólito tóxico que surge a partir da decomposição da proteína. Em condições aeróbias, é transformada em nitrato, que é atóxico. Em condições anaeróbias, acumula-se no meio, podendo causar grandes malefícios aos animais. O nitrito também é uma forma reduzida de nitrogênio inorgânico que é bastante tóxica aos animais (GOLOMBIESKI et al., 2005). Torna-se evidente, pela análise dos resultados de CO₂ livre e amônia, que o ponto de entrada do LJ é o que se encontra em situação sanitária mais crítica, sendo, provavelmente, o local onde há o despejo direto de esgotos domésticos e/ou o deságüe de efluentes de galerias pluviais.

A concentração média de ferro total na água do LJ (0,45 mg/L) está próxima do limite máximo aceito como seguro para vida aquática (0,50 mg/L). Há que se investigar a origem do ferro presente no LJ para que se possa propor medidas mitigadoras apropriadas.

4.2 Nitrito e concentração de *Escherichia coli*

Nitrito (NO_2^-) é o produto intermediário da oxidação da amônia (NH_3) pelas bactérias aeróbias nitrificantes. Inicialmente, as bactérias do gênero *Nitrosomonas* transformam amônia a nitrito. Esse, em seguida, é convertido a nitrato (NO_3^-) pelas bactérias do gênero *Nitrobacter*. Em situações de escassez de oxigênio, esse processo pode não se completar, havendo o acúmulo de nitrito no meio. Além da nitrificação, o nitrito também pode ser formado por bactérias anaeróbias amonificadoras de nitrato (ARANA, 2000).

Quando o nitrito é absorvido pelos peixes, ele reage com a hemoglobina para formar metemoglobina. Visto que a metemoglobina é incapaz de transportar oxigênio, a absorção continuada de nitrito pelo peixe pode o levar à hipóxia e à cianose. O sangue que contém quantidades apreciáveis de metemoglobina é marrom. Por isso, o envenenamento de peixes por nitrito é freqüentemente referido como a “doença do sangue marrom”. Peixes mais sensíveis podem ser severamente afetados por concentrações de nitrito tão baixas quanto 0,5 mg/L (BOYD, 1992).

A bactéria Gram-negativa *Escherichia coli* é anaeróbia facultativa e pertence à família das Enterobacteriaceae, que são bactérias colonizadoras do trato intestinal dos animais homeotermos. Dentro dessa família, encontram-se bactérias patogênicas por excelência, tais como *Salmonella*, *Shigella* e *Yersinia*; e bactérias que, excetuando-se quando em número muito elevado, convivem em equilíbrio com o organismo hospedeiro, tais como *Enterobacter* e *Klebsiella*. A bactéria *E. coli* pertence a esse último grupo que, atualmente, é chamado de coliformes termotolerantes (SILVA et al., 1997).

O trato intestinal dos animais homeotermos, bem como dos humanos, sejam saudáveis ou doentes, está geralmente colonizado por *E. coli*. Essa bactéria pode causar diarreia quando em número muito elevado no intestino. A concentração de *E. coli* em amostras de água é um dos principais indicadores biológicos de contaminação fecal utilizados pelo homem (FRANCO & LANDGRAF, 1996).

A relação inversa entre a concentração de nitrito na água (mg/L) e a concentração de *E. coli* (NMP/100 mL) pode ser explicada pela depleção de

oxigênio dissolvido na água nos períodos em que havia no LJ grande carga de matéria orgânica de origem fecal (15/6/08). Nessas situações, a demanda bioquímica por oxigênio aumenta significativamente no meio devido à realização da atividade decompositora (SILVA & MENDONÇA, 2003). Assim, com menos oxigênio disponível na água, as bactérias aeróbias *Nitrossomonas*, que fazem a transformação de amônia em nitrito, tiveram, provavelmente, sua atividade reduzida ou mesmo cessada no LJ. Com isso, houve acúmulo de amônia e menor concentração de nitrito no meio. Portanto, sugere-se que a elevada carga de matéria fecal em decomposição na água do LJ bloqueou o processo de nitrificação por escassez de oxigênio dissolvido, impossibilitando a transformação de amônia em nitrito.

Além disso, quando a carga de matéria orgânica fecal em decomposição no LJ era menor, como ocorrido em 13/7/08, houve recuperação na concentração de oxigênio dissolvido na água. Em conseqüência, houve reativação do processo de nitrificação da amônia. Desse modo, a amônia era transformada em nitrito, elevando a ocorrência desse último composto na água do LJ.

Por outro lado, deve-se considerar que a redução na concentração de nitrito na água do LJ, observada nas campanhas em que houve grande contaminação fecal, não pode ser vista como fato positivo, já que a mesma foi devido à concomitante ocorrência de quadros de hipóxia ou anóxia no meio.

4.3 pH e concentração de *Escherichia coli*

O pH é definido como o logaritmo negativo da concentração de íons H^+ em solução. A maioria das águas naturais tem valores de pH variando entre 6,0 e 8,0, mas há várias exceções. As atividades biológica da fotossíntese e respiração/decomposição afetam grandemente o pH da água. Enquanto a fotossíntese eleva o pH, a respiração e decomposição da matéria orgânica tornam a água mais ácida (DODDS, 2002).

A relação inversa entre a concentração de *E. coli* (NMP/100 mL) e o pH da água do LJ pode ser explicada pela reação ácida do gás carbônico com a água. Quando havia muita matéria orgânica fecal em decomposição, como ocorrido em 15/6/08, a concentração de CO_2 na água, proveniente da respiração bacteriana, elevou-se consideravelmente. Esse CO_2 , ao reagir com a molécula de água, forma ácido carbônico que, ao dissociar-se, libera um íon H^+ na água, causando a queda no valor do pH (WURTS & DURBOROW, 1992). Por outro lado, na situação de menor descarga de efluentes domésticos e de outras fontes de matéria fecal, como ocorrido em 13/7/08, as menores concentrações de CO_2 na água propiciaram o ajuste do pH médio do LJ para valores mais alcalinos.

Portanto, os resultados do presente trabalho indicam que o incremento na concentração de *E.coli* nas águas do LJ, além de aumentarem o risco microbiológico à saúde humana, provoca também acidificação indireta da água. Esse fenômeno é importante porque, em situações de estresse ácido, agrava-se o problema de mortandades em massa de animais aquáticos por gás sulfídrico (PILLAY, 2004). Esse gás pode desprender-se dos sedimentos de lagos eutrofizados, como o LJ, e atingir a camada superficial da água, afetando inevitavelmente os peixes desses ambientes.

5. CONCLUSÃO

Os resultados obtidos no presente trabalho permitem concluir que:

1. Houve relação inversa entre a concentração de *Escherichia coli* e o pH da água do Lago Jacareí (Fortaleza, Ceará), expressa através da equação $y = 8,67 - 1,77 * 10^{-4}x + 5,94 * 10^{-9}x^2$, onde y é o pH da água e x é a concentração média de *E. coli*, em NMP/100 mL ($R^2 = 0,888$; $P = 0,037$);
2. As freqüentes descargas de esgotos domésticos que ocorrem no Lago Jacareí atuam como agentes redutores de alcalinidade e/ou acidificantes desse ambiente;
3. Há períodos em que os animais aquáticos do Lago Jacareí sofrem estresse respiratório por deficiência de oxigênio dissolvido e excesso de gás carbônico;
4. As águas do Lago Jacareí apresentam elevadas concentrações de fósforo reativo, amônia e nitrito o que sugerem que esse ecossistema se encontra eutrofizado e, portanto, suscetível a episódios recorrentes de mortandades em massa de sua biota por asfixia.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

APHA – AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. **Standard methods for the examination of water and waste water**. APHA: Washington, 1992.

APHA – AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. **Standard methods for the examination of water and waste water**. 20th Ed. APHA: Washington, 1999.

ARANA, L.V. **Princípios químicos da qualidade da água em aqüicultura: uma revisão para peixes e camarões**. 2. Ed. Florianópolis: EDUFSC, 2000.

ARRIGNON, I. **Ecologia y piscicultura de águas dulces**. Madri: Mundi-Prensa, 1979. 365p.

BEVERIDGE, M.C.M. **Cage Aquaculture**. 3. ed. Blackwell Publishing: Oxford, 2004. 368 p.

BOYD, C.E. Water quality management for pond fish culture. **Developments in Aquaculture and Fisheries Science**, 9. Amsterdam: Elsevier, 1992. 318 p.

BOYD, C.E., TUCKER, C.S. **Pond Aquaculture Water Quality Management**. Kluwer, Norwell, MA, 1998.

CARMOUZE, J.P. **O metabolismo dos ecossistemas aquáticos: fundamentos teóricos, métodos de estudo e análises químicas**. São Paulo: Edgard Blücher Ltda/FAPESP, 1994. 253 p.

DODDS, W.K. **Freshwater ecology: concepts & environmental applications (Aquatic ecology)**. New York: Academic Press, 2002. 592 p.

ESTEVES, F.A. **Fundamentos de Limnologia**. 2. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 1998. 601 p.

FRANCO, B.D.G.M.; LANDGRAF, F.M. **Microbiologia dos Alimentos**. São Paulo: Atheneu, 1996. p.50-52.

FORTALEZA. Prefeitura Municipal de Fortaleza. **Programa Lagoas de Fortaleza: Relatório do Mapeamento Batimétrico**. Disponível em: <http://www.seman.fortaleza.ce.gov.br/arquivos_pdf/batimetria_relatoria.pdf>. Acesso em: 03 out. 2007.

GOLOMBIESKI, J.I.; MARCHEZAN, E.; MONTI, M.B. et al. Qualidade da água no consórcio de peixes com arroz irrigado. **Ciência Rural**, v.35, n.6, p.1263-1268, 2005.

HEATH, A.G. **Water pollution and fish physiology**. New York: CRC Press, 1995. 359 p.

MOLISANI, M.M. **Caracterização das condições físico-químicas dos estuários do Estado do Ceará**. Relatório do Programa de Zoneamento Ecológico e Econômico (ZEE) da Zona Costeira do Estado do Ceará. SEMACE/LABOMAR, 2005. 30 p. Disponível em: <http://www.semace.ce.gov.br/programas/zee/Produtos/Condi%E7%F5esFisico_Quimica.pdf> Acesso em: 02 out. 2008.

Praças bem cuidadas são opções de lazer. **Jornal O Povo**, 2006, edição de 12 out. 2006. Disponível em: <<http://www.opovo.com.br>>; Acesso em: 25 fev. 2008.

PILLAY, T.V.R. **Aquaculture and the Environment**. 2. ed. New York: Fishing News Books, 2004. 196 p.

FORTALEZA. SECRETARIA MUNICIPAL DO MEIO AMBIENTE E CONTROLE URBANO (SEMAN). **Balneabilidade das lagoas – Lago Jacareí, 2008**.

Disponível em <www.seman.fortaleza.ce.gov.br/lago_Jacarei.htm>; Acesso em: 25 fev. 2008.

SILVA, S.R.; MENDONÇA, A.S.F. Correlação entre DBO e DQO em esgotos domésticos para a Região da Grande Vitória – ES. **Engenharia Sanitária e Ambiental**. v.8, n.4, p.213–220, 2003.

SILVA, N.; JUNQUEIRA, V.C.A.; SILVEIRA, N.F. **Manual de métodos de análise microbiológica de alimentos**. São Paulo: Varela, 1997. p.8-11, 32-38.

WATANABE, T.; KIRON, V.; SATOH, S. Trace minerals in fish nutrition. **Aquaculture**. v.151, p.185-207, 1997.

WEATHERLEY, N. S. Liming to mitigate acidification in freshwater ecosystems: A review of the biological consequences. **Water, Air and Soil Pollut.** v.3, p.421-437, 1988.

WETZEL, R.G. **Limnology – Lake and river ecosystems**. 3. ed. San Diego: Academic Press, 2001. 1006 p.

WURTS, W.A.; DURBOROW, R.M. Interactions of pH, carbon dioxide, alkalinity and hardness in fish ponds. **Southern Regional Aquaculture Center Publication nº 464**, Kentucky State University, 1992.