



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

ESTUDO DA VIABILIDADE TÉCNICA DO REÚSO DE ÁGUAS RESIDUÁRIAS NA
AQUICULTURA

THOMAS EDSON LIMA TORRES

Orientadora: Dra. Patrícia Rodriguez de Carvalho Pinheiro

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

Junho/2000

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)

- T649e Torres, Thomas Edson Lima.
Estudo da viabilidade técnicas do reúso de águas residuárias na aquicultura / Thomas Edson Lima
Torres. – 2000.
45 f. : il. color.
- Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Curso de Engenharia de Pesca, Fortaleza, 2000.
Orientação: Profa. Dra. Patrícia Rodriguez de Carvalho Pinheiro.
1. Aquicultura. 2. Saneamento. Águas residuais - Purificação - Processo de lodo ativado . I. Título.
CDD 639.2
-

Prof^a. Dra. Patrícia Rodriguez de Carvalho Pinheiro
Orientadora

COMISSÃO EXAMINADORA:

Prof José William Bezerra e Silva

Prof. José Jarbas Studart Gurgel

VISTO:

Prof. Luís Pessoa Aragão, MS
Chefe do Departamento de Engenharia de Pesca.

Prof^a. Maria Selma Ribeiro Viana, MS
Coordenadora do Curso de Engenharia de Pesca.

AGRADECIMENTOS

Os meus agradecimentos,

A Deus, por me ensinar a não temer os obstáculos e sim encará-los como desafios, enfrentá-los e ultrapassá-los;

A meu Pai (*In Memoriam*), e a minha Mãe, que sempre me ajudaram e possibilitaram que eu chegasse até aqui;

Ao meu irmão, Flávio, pelo apoio e por esclarecer todas as dúvidas durante esses cinco anos;

A Professora Patrícia Pinheiro, pela orientação, pela ajuda e pelos conselhos ao longo de todo esse tempo;

Ao Professor Masayoshi Ogawa e a sua esposa Norma Barreto Perdigão, pela ajuda que me deram sempre que necessário;

Ao Professor José William Bezerra e Silva, pelo profissionalismo, e por sempre compartilhar gentilmente todo o seu conhecimento diante dos meus “bombardeios” de perguntas;

Aos professores, Alexandre Holanda Sampaio, Silvana Saker Sampaio, Maria Selma Ribeiro Viana, José Jarbas Studart Gurgel e Artamízia Montezuma, pelas demonstrações de apoio, e por sempre estarem simpaticamente dispostos a ajudar nas mais diferentes situações ao longo do curso.

Aos Funcionários, Leni e Edilson pela paciência durante todos esses anos;

Ao pessoal do LARAq, André, Cíntia, Janaína, Daniel, Neto, Suzana e Dioniso, e a todos aqueles que deram uma “força” para a realização desse e de outros trabalhos;

Ao amigo Haroldo, pelas inúmeras viagens à CAGECE e a onde quer que fosse necessário para que eu pudesse concluir este trabalho.

À todos aqueles que realmente se tornaram meus amigos durante essa etapa, nem sempre fácil, de nossas vidas;

Em especial agradeço à Companhia de Água e Esgoto do Estado do Ceará – CAGECE, nas pessoas do Eng. Luciano Maia, pelo apoio, cordialidade e interesse na realização do trabalho. As meninas do laboratório, Georgia e Iracema pela ajuda durante as análises e pelas agradáveis tardes. Ao Ferreira e ao Messias do Arquivo Técnico, e ainda a todos os outros funcionários com quem tive contato, pela simpatia com que sempre me receberam.

SUMÁRIO

	Página
LISTA DE TABELAS	v
LISTA DE FIGURAS	vi
1. INTRODUÇÃO	1
2. Os usuários	2
3. O Reúso dos Efluentes	4
3.1. Composição dos Efluentes	5
3.2. Classificação das Águas Residuárias	6
3.3. Classificação do Reúso	7
3.4. Uso dos Efluentes na Aquicultura	8
4. MATERIAL E MÉTODOS	10
4.1. Características Técnicas da ETE	10
4.2. Princípios de Tratamento	11
4.3. Coletas	17
4.4. Análises	17
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES	19
5.1. Oxigênio Dissolvido	19
5.2. Amônia	20
5.3. Nitrito	21
5.4. Nitrato	22
5.5. CO ₂ Livre	22
5.6. Alcalinidade	23
5.7. pH	23
5.8. DBO	24
5.9. DQO	24
5.10. Temperatura	25
5.11. Salinidade	26
5.12. Exame Bacteriológico	26
5.13. Sólidos em Suspensão	28
5.14. Dureza	29

LISTA DE QUADROS E TABELAS

	Página
QUADRO 1 Quadro de classificação das águas residuárias em função da DBO e DQO.	7
QUADRO 2 Quadro de classificação das águas doces de acordo com seus usos preponderantes (Resolução CONAMA nº 20, 18/06/86.	32
QUADRO 3 Quadro comparativo entre os valores recomendados (Resolução CONAMA) e valores encontrados.	32
TABELA 1 Valores absolutos, médias, desvio padrão e variância dos resultados.	33
TABELA 2 Valores absolutos, médias, desvio padrão e variância dos resultados.	33

LISTA DE FIGURAS

	Página
FIGURA 1 Diagrama com a composição das águas residuárias	6
FIGURA 2 Fluxograma do sistema lodos ativados convencional	14
FIGURA 3 Fluxograma do sistema lodos ativados – aeração prol.	14
FIGURA 4 Reator biológico	15
FIGURA 5 Decantador Secundário	15
FIGURA 6 Leitões de secagem do lodo	16
FIGURA 7 Ponto de coleta	16
FIGURA 8 Tanque de Contato	18
FIGURA 9 Vista geral dos decantadores secundários	18
FIGURA 10 Hidrograma típico de vazão afluente a uma ETE	31

Estudo da Viabilidade Técnica do Reúso de Águas Residuárias na Aqüicultura

Thomas Edson Lima Torres

1. INTRODUÇÃO

O vertiginoso aumento da demanda de água nos últimos anos, vem obrigando todos os setores da sociedade a repensar suas posturas, e aprender a administrar um recurso que sempre foi usado sem um planejamento, garantindo assim sua oferta presente e futura, em quantidade e qualidade adequadas. A água, que em tão pouco tempo passou de um bem natural considerado ilimitado, à situação de escassez, está hoje configurada como um elemento vital, não só para o ecossistema, mas também para a qualidade de vida e desenvolvimento de todas as atividades humanas.

Devemos então, procurar adaptar-nos aos novos modelos de gerenciamento dos recursos hídricos, desenvolvendo e adotando tecnologias que ajudem a racionalizar o uso da água e preservar o meio ambiente. Para tal, é necessário que estejamos preparados para mudanças que invariavelmente devem ocorrer, e que incluem, desde tratamento e adequação dos efluentes das produções às exigências dos padrões ambientais, a outorgas e cobranças pelo uso das águas.

Se olharmos para os números podemos antever o quão difícil será administrar este recurso. A ONU, em sua preocupação com a qualidade de vida, alerta que em aproximadamente 25 anos, a população atingirá 8,5 bilhões de pessoas, criando conflitos e disputas pela utilização da água, hoje já escassa em cerca de 25 países, alcançando algo em torno de 48 países em 2025. Especialistas reunidos na cidade do Cairo, comemorando o dia mundial da água, em 22 de março de 1999, calcularam que serão necessários entre 600 e 800 bilhões de dólares até 2010, para amenizar a crise da água potável em todo o mundo.

Desse modo, o gerenciamento das ações necessárias devem ser igualmente compartilhadas com todos os segmentos da sociedade governamental e não governamental.

Este trabalho visa caracterizar, através de análises físico-químicas, os efluentes de uma estação de tratamento de esgotos domésticos que utiliza o sistema de lodos ativados – aeração prolongada e determinar para essas águas, os valores dos principais parâmetros que são observados para a produção de peixes, desse modo, verificar a viabilidade do reúso de águas residuárias na aquicultura, como um meio de produção de proteína animal a baixos custos, atendendo ainda a questões como: controle da degradação ambiental, e economia de água no processo da produção aquícola.

Como consequência das análises dos parâmetros, o presente trabalho também objetiva sugerir as espécies de peixes que melhor se adaptam às condições de cultivos em águas residuárias, segundo os requerimentos já determinados e inerentes a cada espécie, no que se refere à qualidade da água. Por último, pretende contribuir com informações que devem ser consideradas para a realização desses projetos, de acordo com características técnicas e operacionais das ETE's .

2. Os Usuários

O principal responsável pelo consumo é a agricultura irrigada, que sozinha utiliza cerca de 70% da água doce disponível. Para se visualizar estes valores, podemos usar a informação de que são necessários mais de 1900 litros de água para produzir 1 quilo de arroz.

Segundo a Secretaria de Recursos Hídricos, no Ceará o consumo de um hectare irrigado equivale ao abastecimento durante um ano de uma população de cerca de 500 habitantes. A indústria vem em segundo lugar, utilizando cerca de 21,5% e os serviços urbanos e domésticos¹ respondem por 7,5%.

A aquicultura, apesar de não possuir estatísticas próprias que quantifiquem seu uso de água (seus números normalmente estão inseridos no contexto do setor agropecuário), é um potencial “usuário” de águas. Contudo, é

¹ Valores aproximados, não consideradas as perdas durante a distribuição, que podem chegar a 40%.

algumas vezes classificada como atividade de “uso não consuntivo”, ou seja, forma de exploração dos recursos hídricos que não consome água. Esta classificação somente se enquadra às situações onde apenas se povoa com peixes os lagos, açudes ou reservatórios que não foram construídos com o objetivo principal do cultivo de organismos aquáticos. Nessa situação estão os açudes no Nordeste destinados ao abastecimento de cidades, onde os peixes, são cultivados de maneira extensiva e a pesca apenas agrega um valor econômico ao reservatório que é prioritariamente destinado ao abastecimento público, sem que o cultivo e a pesca promovam um aumento da quantidade de água utilizada.

Ao contrário do cenário descrito anteriormente, na aquicultura semi-intensiva e intensiva, modalidades onde se objetiva uma maior produtividade e retorno econômico e que vem mostrando um crescimento rápido nos últimos anos, podem e devem ser consideradas como atividades de consumo de águas. Nesse tipo de aquicultura, há a captação para os tanques e viveiros, onde a água sofre uma maior evaporação devido às próprias características dessas estruturas (grandes espelhos d’água com pouca profundidade) e passa por grandes alterações na sua qualidade devido ao processo de produção, antes de ser devolvida ao ambiente. As quantidades de água utilizadas podem ser bastante expressivas, considerando-se que, em cultivos intensivos, onde se utilizam altas densidades de estocagem, a taxa de renovação de água diária, dependendo da qualidade da água, pode chegar a 30% do volume total do viveiro, devendo-se somar à isso, as perdas por evaporação e infiltração.

O cultivo de peixes em tanques-rede também deve ser considerado como atividade que consome água, pois embora não utilize água em quantidade, já que faz uso da água dos reservatórios já existentes, a utiliza em qualidade, onde o uso de rações e os metabólitos dos peixes normalmente cultivados em altíssimas densidades, causam um impacto ambiental, como já observado em alguns cultivos.

Estes contribuem para um processo de eutrofização² das águas que podem apresentar alterações bastante indesejáveis. Desse modo, a aquicultura deve se preocupar em desenvolver e adotar tecnologias que ajudem a racionalizar o uso da água, a reduzir os custos e preservar o meio ambiente, antecipando-se às mudanças que inevitavelmente ocorrerão, tais como, enquadramento dos efluentes em padrões ambientais mais rígidos, cobranças pelo uso da água (a cobrança atual é apenas pelo tratamento e distribuição, sendo o líquido em si gratuito), entre outros. Desse modo estará se adequando, aos novos rumos do gerenciamento dos recursos hídricos e aos padrões internacionais de qualidade ambiental, posicionando-se de vez como atividade que incorpora em todos os sentidos o conceito de sustentável.

3. Reúso dos Efluentes

Países em desenvolvimento, e especialmente regiões áridas e semi-áridas, necessitam tratar seus esgotos a baixos custos e tecnologias apropriadas (Asano & Tchobanoglous, 1991; Mota, 1991 *apud* Hortegal Filha, 1999). Uma vez tratados, além da preservação do meio ambiente e da diminuição de doenças de veiculação hídrica, os efluentes podem e devem ser reutilizados.

O reúso de águas, uma das principais diretrizes de gerenciamento dos recursos hídricos, é hoje uma eficiente ferramenta na política de águas de países que sofrem com secas, como Israel, onde a tecnologia possibilitou níveis de reúso que chegam ao ponto de descarga zero³, onde as águas residuárias voltam à sua condição de potabilidade.

Entretanto, vários outros tipos de aproveitamento de águas residuárias podem ser programados com tecnologias mais baratas e acessíveis, e o reúso deverá ser bastante incentivado pela política de recursos hídricos nos próximos anos. Um programa de reúso de águas pode diminuir de 15% a 20% a demanda de água tratada que é usada em atividades menos exigentes do

² Segundo Branco (1977), eutrofização é o aumento da concentração de nutrientes, especialmente nitrogênio e fósforo nos ecossistemas aquáticos.

³ Segundo Ribeiro (1998), descarga zero é o processo pelo qual nenhuma água que adentra a planta industrial ou de tratamento de esgoto, é descartada como efluente.

ponto de vista da qualidade, resultando em uma economia de água destinada a fins mais nobres (Shalaham, 1989 *apud* Hortegal Filha, 1999).

Além disso, o reúso apresenta várias vantagens econômicas, ambientais e operacionais em suas aplicações, entre elas:

- Recuperação e economia de águas;
- Redução dos custos com fertilizantes e dos custos de produção agrícola;
- Proteção ambiental, com redução da eutrofização dos recursos hídricos;
- Reaproveitamento em áreas paisagísticas, descargas de vasos sanitários, combate à incêndios e sistema de refrigeração em indústrias;
- Recarga de aquíferos subterrâneos;
- Aumento da fertilidade dos solos;
- Irrigação agrícola, campos de futebol, golf, canteiros, etc;
- Aqüicultura.

Entretanto um projeto de reúso de águas residuárias deve contemplar da forma mais abrangente possível as questões técnicas, econômicas e sociais, sendo que esta última merece uma atenção especial. O trabalho da parte cultural e psicológica dos futuros beneficiários, assim como o esclarecimento das comunidades diretamente envolvidas é fundamental para o sucesso do projeto, estes devem ter acesso às informações que apontem as vantagens e desvantagens, prevenções e riscos do reaproveitamento de águas servidas.

3.1. Composição dos Efluentes

A palavra esgoto, costumava ser usada para definir tanto a tubulação de águas servidas, como também o próprio líquido. Devido a aversão pelo termo "esgoto", alguns autores passaram a empregar o termo "águas residuárias" que é uma tradução do inglês "wastewater" (Pessoa & Jordão, 1982).

A origem dos esgotos pode ser doméstica, industrial ou mista, podendo ainda ser comercial, de atividades públicas, agrícolas e da drenagem de águas pluviais urbanas.

As águas residuárias de origem doméstica são compostas de fezes, urinas e águas servidas. Dessa composição, 99,9% é água, e 0,1% é material

sólido. Dos sólidos, 70% são compostos orgânicos, proteínas, carboidratos, lignina, sabões, detergentes sintéticos, gorduras e produtos da decomposição. Os 30% restantes são compostos inorgânicos, areia, sais e metais (Tebbut, 1970 *apud* Hortegal Filha, 1999).

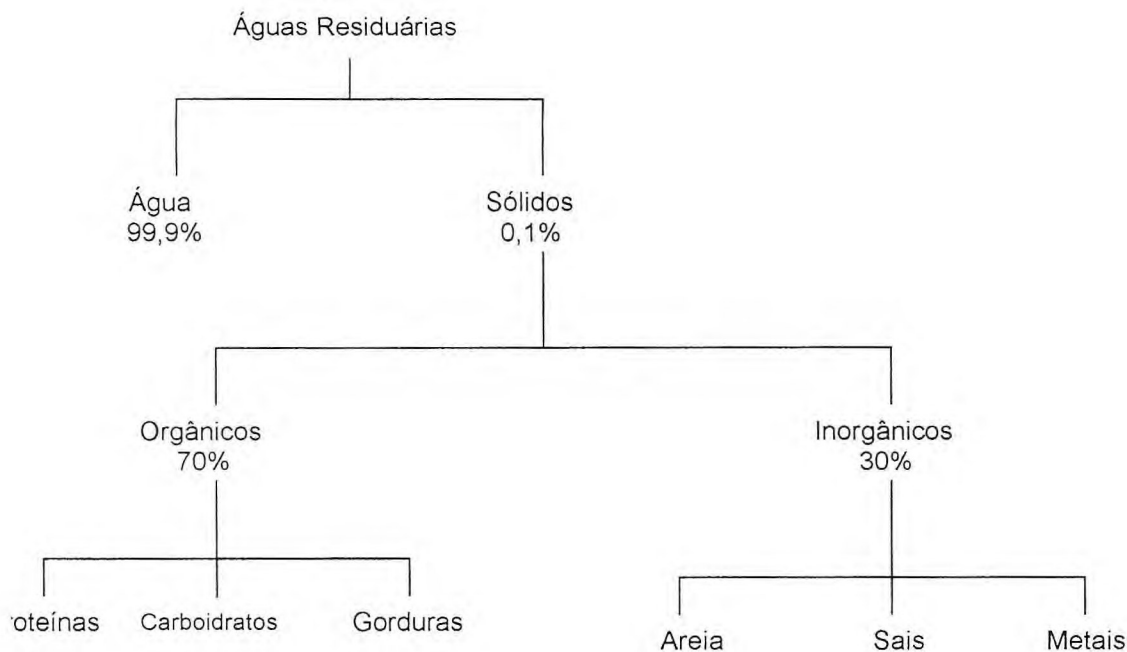


Fig. 1. Composição das águas residuárias. Fonte: Tebbut, 1970 *apud* Hortegal Filha, 1999.

As águas de origem essencialmente industrial, por possuírem características diversas e serem de difícil análise, devem contemplar projetos de reúso que sirvam aos processos de produção da própria planta industrial, devendo-se evitar seu reúso, onde as águas sirvam à produção de alimentos ou mantenham contato direto com pessoas e/ou animais. Mesmo quando se tratar de esgotos industriais orgânicos, deve-se ter o cuidado de analisar com rigor o efluente.

3.2. Classificação das Águas Residuárias

A DBO é, por definição, a quantidade de O₂ utilizada por uma população mista de microorganismos durante a oxidação aeróbia da matéria orgânica

contida em uma amostra de esgotos (Hammer, 1979). Este é o parâmetro mais usado para definir um esgoto doméstico ou industrial orgânico. Suas maiores aplicações residem na medição da carga orgânica imposta a uma estação de tratamento de esgoto e na avaliação de sua eficiência.

A DQO também é extensivamente usada na caracterização da fração orgânica de esgotos ou águas poluídas e mede a quantidade de oxigênio requerida para a oxidação química da matéria orgânica existente em uma amostra.

Uma conveniente classificação de águas residuárias, em função de sua DBO e DQO é apresentada no quadro abaixo:

Quadro 1. Classificação da águas residuárias em função da DBO e DQO.

Concentração	DBO ₅ (mg/l)	DQO (mg/l)
Fraca	200	400
Média	350	700
Forte	500	1000
Excessiva	>750	>1500

Fonte: Silva & Mara (1979).

3.3. Classificação do Reúso

O reúso pode ser dividido em direto e indireto e planejado ou não. O reúso direto, que normalmente é planejado, pode ser caracterizado pela utilização direta do efluente tratado, sem que este sofra diluição para posterior uso. Reusar de forma direta pode implicar na utilização de tubulações, bombas ou outros mecanismos necessários para sua implementação.

O reúso indireto não planejado ocorre com a participação do meio ambiente. Após o tratamento, o efluente é descarregado num curso d'água superficial ou subterrâneo, onde ocorrem processos de diluição, dispersão e autodepuração.

O indireto planejado também tem a participação do meio ambiente, mas nesse caso, se tem a intenção direta de aproveitamento do efluente.

Segundo Blumenthal (1987) *apud* Hortegal Filha (1999), cada tipo de reúso tem sua própria característica em termos de qualidade e de potenciais de riscos à saúde pública. De acordo com o tipo de reúso escolhido, será necessário considerar no projeto o cumprimento de todos os padrões de qualidade da água.

3.4. O Uso dos Efluentes na Aqüicultura

Esse tipo de cultivo constitui uma alternativa para a produção de proteína animal a baixo custo e que pode atingir alta produtividade em função dos efluentes das ETE's (Estações de Tratamento de Esgotos) serem ricas fontes de nutrientes, promovendo assim o desenvolvimento, em abundância, do alimento natural para os peixes nos viveiros. Os detritos ou seston (sólidos suspensos orgânicos e inorgânicos), decorrentes ou não da biodegradação dos resíduos, são colonizados por microorganismos essenciais às cadeias alimentares e podem fornecer requisitos nutricionais indispensáveis para os peixes que dela se alimentam (Matheus, 1993 *apud* Hortegal Filha, 1999). Nutrientes e minerais que possam originalmente estar em formas não disponíveis, são liberados através da atividade microbiana na coluna d'água e nos sedimentos, proporcionando substrato para os organismos fotossintetizantes, que constituem a base da alimentação de peixes herbívoros. Assim sendo, o resíduo orgânico pode entrar na rede alimentar principalmente como:

- Alimento consumido diretamente pelos peixes;
- Fontes de minerais utilizados na produção fotossintética do fitoplâncton cuja biomassa pode ser consumida pelos peixes;
- Substrato orgânico e mineral dos microorganismos heterotróficos, que por sua vez são consumidos pelo zooplâncton e invertebrados bentônicos, e que também são alimentos para os peixes, incorporando-se desta forma na cadeia alimentar.

Dessa maneira é possível reduzir custos com rações, que normalmente representam os custos mais elevados nos cultivos, além do controle da

poluição, economia de água, rações e da reciclagem de nutrientes, os inegáveis atrativos do reúso planejado despertam cada vez mais o interesse de países com escassez de água, ou que desejam implementar uma moderna política de recursos hídricos.

Dos países ocidentais o México foi o que acumulou mais experiências no reúso de águas. Existe uma produção regular em quase todo o país, de peixes, frutas e verduras que são produzidos com efluentes de estações de tratamento de esgoto e são vendidos normalmente nos supermercados. Segundo Ceballos (1999), o mesmo ocorre no Peru, onde cultivos com águas residuárias, produzem tilápias que são comercializadas vivas, ao equivalente a R\$ 1,20 o quilo. O produto reúne higiene, alto valor protéico e preço baixo.

4. MATERIAL E MÉTODOS

As coletas para realização do presente trabalho foram feitas na ETE da CAGECE/UFC, situada no Campus do Pici. Foram realizadas duas coletas por semana e em diferentes horários, para tornar possível a visualização das flutuações diárias dos parâmetros analisados. Logo após as coletas, as amostras eram conduzidas aos laboratórios do LARAq – Laboratório de Recursos Aquáticos/UFC e ao Laboratório de Oceanografia do Departamento de Engenharia de Pesca, onde, observados todos os procedimentos necessários, eram realizadas as análises. Devido a não disponibilidade de alguns equipamentos, as análises de DBO_5 , DQO, sólidos em suspensão, nitrogênio total, fósforo total e nitratos foram realizadas nos laboratórios da Companhia de Água e Esgotos do Estado do Ceará - CAGECE.

4.1. Características Técnicas da ETE

A Estação de Tratamento de Esgotos do Campus do Pici tem como tributárias duas grandes bacias, nas quais, o Campus está inserido (Anexo 2) e possui sistema coletor de águas do tipo separador⁴.

Os esgotos tratados pela ETE possuem características típicas de esgotos domésticos⁵ e a população adotada para dimensionamento do projeto foi de 20.000 habitantes, considerando-se uma contribuição “per capita” de 55l/hab.dia e taxa de infiltração de 0,0002 l/s. A rede coletora perfaz um total de 9.409m, e as vazões mínimas, médias e máximas são respectivamente: 12,10 l/s; 22,32 l/s e 38,66 l/s. O efluente final é descartado para a Lagoa Jenibaú localizada poucos metros a jusante da estação de tratamento (Anexo 1).

⁴ Segundo Sperling (1995), o sistema separador é o sistema predominantemente usado no Brasil, onde as águas pluviais não contribuem à ETE.

⁵ O conceito de esgoto doméstico engloba, usualmente, esgotos oriundos dos domicílios, bem como de atividades comerciais e institucionais, normalmente componentes de cada localidade.

4.2. Princípios de Tratamento

O nível de tratamento realizado pela ETE é o secundário (tratamento biológico), no qual, o principal objetivo é a remoção de matéria orgânica e eventual redução da carga de nutrientes (nitrogênio e fósforo).

O tratamento biológico de esgotos, como o próprio nome indica, ocorre inteiramente por mecanismos biológicos. Estes processos reproduzem, de certa maneira, os processos naturais que ocorrem em um corpo d'água após o lançamento dos despejos. No corpo d'água, a matéria orgânica é convertida em produtos mineralizados por mecanismos puramente naturais, caracterizando assim o chamado fenômeno da *autodepuração*. Em uma estação de tratamento de esgotos, os mesmos fenômenos básicos ocorrem, mas a diferença é que há em paralelo a introdução de tecnologia. Essa tecnologia tem como objetivo fazer com que o processo de *depuração* se desenvolva em condições controladas (controle de eficiência) e em taxas mais elevadas (solução mais compacta).

O sistema de tratamento adotado, lodos ativados - aeração prolongada (fluxo contínuo) é uma variação do sistema de tratamento por lodos ativados convencional. Os sistemas de lodos ativados e suas variações, são amplamente utilizados para tratamento de esgotos domésticos e industriais, onde são necessárias elevadas qualidades do efluente, mas existem restrições quanto ao espaço.

a estação conta com sistema de tratamento preliminar, que antecede a etapa biológica de tratamento e inclui grade e caixa de areia (desarenador). O tratamento preliminar destina-se, principalmente: 1) à redução de sólidos grosseiros e areia, visando assim, a proteção dos dispositivos de transporte de esgotos (bombas e tubulações); 2) eliminar ou reduzir a possibilidade de obstrução nos tanques, tubulações, sifões, etc; 3) proteção dos corpos receptores e facilitar o transporte líquido, principalmente a transferência de lodo em suas diversas fases. Além das unidades de remoção de sólidos grosseiros, inclui-se também uma unidade para medição de vazão. Normalmente é constituída por uma calha de dimensões padronizadas (calha Parshall), onde o valor medido do nível de líquido pode ser correlacionado com a vazão.

O tratamento de nível secundário ou biológico propriamente dito, possui, nesta variação do sistema de lodos ativados, as seguintes unidades: tanque de aeração ou reator biológico (fig. 4), tanque de decantação ou decantador secundário (fig. 5) e sistema de recirculação de lodo.

No reator ocorrem as reações bioquímicas de remoção da matéria orgânica e, em determinadas condições, da matéria nitrogenada. Uma biomassa de microorganismos se utiliza do substrato presente no esgoto bruto para se desenvolver no reator biológico. Devido à entrada contínua de alimento na forma de DBO⁶ e a aeração mecânica, os microorganismos crescem e se reproduzem continuamente, oxidando a matéria orgânica do reator biológico, então o efluente segue para o decantador secundário, onde ocorre a sedimentação dos sólidos (biomassa de microorganismos). A biomassa consegue ser facilmente separada no decantador secundário devido à sua propriedade de flocular. Essa propriedade se deve ao fato das bactérias possuírem uma matriz gelatinosa que permite a aglutinação das próprias bactérias e outros microorganismos, tais como os protozoários. O floco aglutinado possui maiores dimensões, o que facilita a sedimentação, permitindo que o efluente final sobrenadante saia clarificado. Daí, os sólidos sedimentados no fundo do decantador secundário são recirculados para o reator pela elevatória de lodo recirculado, aumentando, assim, a concentração de biomassa no mesmo, o que é responsável pela elevada eficiência do sistema. (Sperling, 1997a). Quando a biomassa atinge altas densidades, o lodo é descartado para os leitos de secagem (fig. 6). Posteriormente a toda a etapa biológica, segue-se uma etapa de desinfecção por adição de cloro⁷.

A principal diferença entre o sistema de lodo ativado convencional e aeração prolongada (figs. 2 e 3) é que no último a biomassa de microorganismos permanece no sistema por mais tempo, entre 20 e 30 dias, ao invés de 4 a 10 (daí o nome aeração prolongada), recebendo a mesma carga de DBO que o sistema convencional, haverá então, uma menor disponibilidade de alimento para as bactérias. Em decorrência disto, as bactérias começam a utilizar em seus processos metabólicos a própria matéria orgânica componente

⁶ No presente texto, adota-se a DBO₅ como variável representativa da matéria carbonácea, em consonância com a maior parte da literatura mundial.

de suas células. Esta matéria orgânica celular é convertida em gás carbônico e água através da respiração e isto corresponde à estabilização da biomassa que ocorre no próprio tanque de aeração ou reator biológico, enquanto que no sistema convencional a estabilização do lodo é feita em separado na etapa de tratamento do lodo. Já que não há a necessidade de se utilizar o lodo biológico excedente, procura-se evitar, no sistema de aeração prolongada, a geração de alguma outra forma de lodo que venha requerer posterior estabilização. Deste modo, os sistemas de aeração prolongada normalmente não possuem decantadores primários, para evitar a necessidade de estabilizar o lodo primário. Com isso, obtém-se uma simplificação no fluxograma do processo e não há decantadores primários nem unidades de digestão de lodo (Sperling, 1997a).

⁷ A remoção de patógenos por adição de produtos químicos como o cloro, apesar de caracterizar uma etapa do tratamento terciário, pode ser considerada como uma etapa adicional ao tratamento secundário.

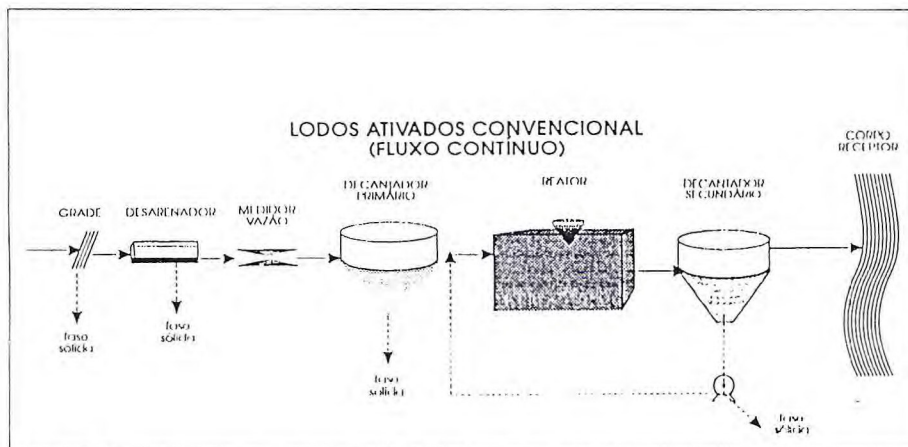


Fig. 2 – Fluxograma de um sistema de lodos ativados convencional.
Fonte: Sperling (1997).

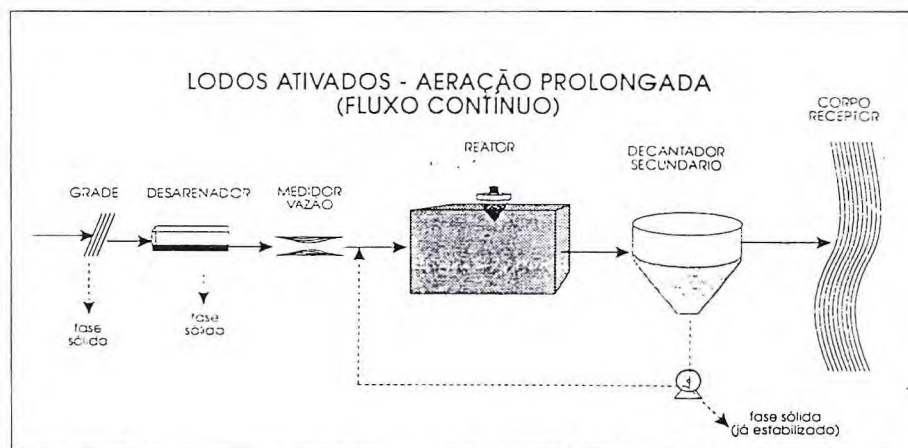


Fig. 3 – Fluxograma de um sistema de lodos ativados aeração – prolongada.
Fonte: Sperling (1997).

Existem ainda outras variações no sistema da lodos ativados, assim como no tratamento biológico, entretanto, suas descrições não se fazem necessárias neste trabalho. Todas as unidades do sistema e suas respectivas dimensões podem ser visualizadas na planta baixa da estação em escala 1: 100 (Anexo 2).



Fig. 4 - Reator Biológico.



Fig. 5 - Decantador Secundário.



Fig. 6 - Leitos de Secagem do Lodo.



Fig. 7 - Ponto de Coleta.

4.3. Coletas

As coletas de água foram feitas na saída do efluente para o tanque de contato (fig. 7), antes da cloração, que é feita através da adição de água clorada (do tanque de solução) ao efluente, com a mistura ocorrendo ao longo do tanque de contato (fig. 8). Esta constitui a última etapa antes do descarte do efluente final para a lagoa Jenibaú (setores 11 e 13 do Anexo 2). O motivo das amostras terem sido coletadas antes da cloração, foi determinar as características originais do efluente tratado biologicamente, como se propõe o sistema de tratamento, sem que houvesse a adição de qualquer produto químico ao efluente e sua possível interferência nas análises. Além disso, a etapa de desinfecção por cloração pode ser considerada uma etapa opcional nesse sistema de tratamento, podendo ocorrer em dosagens diferentes ou até não ocorrer em outras estações que utilizem o mesmo sistema de tratamento.

4.4. Análises

Alguns dos principais parâmetros usados como referência para qualidade de águas destinadas à aquicultura foram cuidadosamente analisados, seus respectivos métodos de determinação estão listados a seguir.

1) Temperatura e pH: medição feita com termômetro de imersão (0 - 60 °C) e aparelho específico, marca ANALION respectivamente; **2) Gases dissolvidos:** CO₂ livre determinado por método descrito no Manual de Normalização Técnica da CETESB (1986) e oxigênio dissolvido, determinado pelo método iodométrico ou de Winkler, descrito em Hammer (1979); **3) Alcalinidade e dureza,** ambos determinados por métodos descritos no Manual de Normalização Técnica da CETESB (1986); **4) Salinidade** medida com refratômetro portátil; **5) Nutrientes:** amônia analisada através do método de Nessler, nitrato, nitrogênio total e fósforo total, todos descritos em APHA (1995), e nitrito analisado através de procedimento descrito em Parsons, *et al* (1984); **6) DBO₅, e DQO** pelo método descrito em Hammer (1979); **7) Exame bacteriológico** de coliformes totais e fecais, pelo método NMP, segundo Soares & Maia (1999); **8) Sólidos em Suspensão** analisado pelo método gravimétrico descrito em APHA (1995).



Fig. 8 - Tanque de Contato.



Fig. 9 – Vista Geral dos Decantadores Secundários.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES:

5.1 – Oxigênio Dissolvido

A determinação deste parâmetro é uma dos principais recursos para estimativa da qualidade da água, uma vez que é essencial na respiração da biota.

Apesar da tolerância variar entre as espécies, níveis baixos de oxigênio dissolvido afetam negativamente o crescimento e a reprodução da maioria dos peixes e níveis muito baixos podem causar sua mortalidade em massa.

A temperatura possui influência direta sobre a dinâmica do O_2 , sendo que, altas temperaturas diminuem sua solubilidade na água, causando uma diminuição nas concentrações de oxigênio. Como regra geral, observa-se uma tendência dos peixes de águas frias apresentarem uma menor tolerância aos baixos níveis de O_2 na água, enquanto que peixes de águas quentes, ou aclimatados a estas águas, resistem a teores de oxigênio dissolvido mais baixos, por maiores espaços de tempo.

Como o principal efeito da poluição orgânica é o decréscimo dos teores de oxigênio dissolvido, espera-se que os efluentes de uma ETE possuam baixos níveis desse gás, uma vez que o processo de estabilização da matéria orgânica é realizado com o consumo de O_2 . Segundo Sperling (1995 b), O consumo de oxigênio no tratamento de esgotos se dá basicamente de três formas, a saber:

5.1.1 – Oxidação da matéria orgânica.

A oxidação, ou decomposição da matéria orgânica corresponde ao principal fator de consumo de O_2 . Este consumo se deve à respiração dos microorganismos decompositores, principalmente bactérias heterotróficas aeróbias.

5.1.2. – Demanda bentônica

A matéria orgânica que sedimentou formando o lodo do fundo, também necessita ser estabilizada, e grande parte dessa estabilização se dá de forma anaeróbia devido à dificuldade de penetração de O_2 na camada de lodo. No

entanto, a camada superior, da ordem de alguns milímetros tem ainda acesso ao O_2 da massa líquida sobrenadante, contribuindo para o consumo de O_2 .

5.1.3 – Demanda nitrogenada ou demanda de segundo estágio.

Assim chamada devido ao fato de que as bactérias nitrificantes tem uma taxa de crescimento mais lenta que as bactérias heterotóficas. Corresponde a demanda de O_2 necessária aos processos de nitrificação.

Contudo, os valores encontrados para o O.D. nos efluentes da estação de tratamento de esgotos em estudo, podem ser considerados altos, pois atingiram uma média de 5,11 mg/l. Tal resultado, parece se dever ao mecanismo de aeração artificial nos reatores.

Os valores de O.D. encontrados são suficientes para suportar o cultivo de peixes com alta tolerância, como a tilápia e a carpa, desde que observadas as adequadas densidades de estocagem. Entretanto, recomenda-se um sistema de aeração que possa ser usado em regime de segurança, no caso de uma eventual baixa nos teores de oxigênio dissolvido, o que normalmente pode ocorrer durante à noite e ao amanhecer, ou ainda nos casos onde se deseja aumentar as densidades de estocagem.

5.2 – Amônia

A amônia é um produto da decomposição da matéria orgânica nitrogenada, principalmente de proteínas, clorofila e produtos do metabolismo animal, e em sua forma não-ionizada (NH_3), representa um gás tóxico aos organismos aquáticos.

O pH possui uma relação direta com a amônia, e quando este aumenta, a fração não-ionizada do gás também aumenta. A temperatura apresenta a mesma relação, mas em menor intensidade. Altas concentrações deste gás interferem na habilidade do sangue dos peixes em transportar oxigênio e aumentam o consumo desse gás nos tecidos. A amônia possui alta solubilidade nos lipídeos e sua ação tóxica se traduz através da susceptibilidade à doenças e redução no crescimento. Segundo Gurgel (1997), os peixes parecem não reconhecer a presença da amônia na água, em face

desta ser um gás inodoro e morrem sem manifestar qualquer reação de se afastar da zona de maior concentração.

Valores de amônia não-ionizada acima de 0,4 mg/l já são suficientes para induzir uma toxidez crônica, levando a uma diminuição no crescimento e a uma baixa resistência a doenças, enquanto que níveis entre 0,7 e 2,4 mg/l podem ser letais para os peixes mesmos quando expostos por poucas horas (Kubitza, 1998). Entretanto Boyd (1990), relata que as tilápias de um modo geral, possuem a capacidade de se aclimatar a níveis elevados de amônia de até 4,0 mg/l em pH 7,3 – 7,5, com temperaturas acima de 20°C. Segundo o mesmo autor, *op. cit.* a carpa comum, *Cyprinus carpio* pode suportar concentrações acima de 3,0 mg/l, contudo, com prejuízo para as taxas de crescimento.

A média da concentração de amônia (NH₃) foi de 0,060 mg/l, assim os valores encontrados para a amônia não-ionizada (NH₃) nos efluentes analisados são considerados baixos e propícios à criação de organismos aquáticos, mesmo aos menos tolerantes à esse gás.

5.3. – Nitrito

O nitrito é um composto intermediário na conversão da amônia à nitrato (nitrificação), normalmente, sua acumulação é resultado de uma nitrificação incompleta. Considerado mais tóxico que a amônia, o nitrito pode causar matahemoglobinemia, condição na qual a hemoglobina é oxidada à metahemoglobina e é impedido o funcionamento do mecanismo de transporte de oxigênio e como resultado, o peixe pode experimentar estados de hipóxia, cianose e eventualmente a morte (Middlebrooks, 1972). Esse quadro pode ser indicado por uma coloração marron no sangue, o que pode ser observado examinando-se as brânquias dos peixes (Kubitza, 1998).

Segundo o mesmo autor, *op. cit.*, em águas doces e dependendo da espécie, concentrações de nitrito entre 0,7 e 2,0 mg/l podem causar massiva mortandade dos peixes, e quando expostos à níveis subletais (0,3 a 0,5 mg/l) podem sofrer redução no crescimento e na resistência à doenças.

As análises mostraram valores de nitrato bem inferiores aos que poderiam ser prejudiciais ao cultivo dos peixes, e a média da concentração de nitrito no efluente final foi de 0,423 mg/l.

5.4 – Nitrato

O nitrato tende a ser a principal forma de nitrogênio na água devido ao fato de ser altamente solúvel, e constituir uma forma bastante estável. É resultante da oxidação completa de compostos nitrogenados (nitrificação).

Os nitratos assim como o íon amônio, são as formas mais rapidamente assimiladas pelas plantas, não representam elevada toxidez aos organismos aquáticos, seu monitoramento em águas residuárias serve para avaliar a eficiência do tratamento quanto à decomposição da matéria orgânica nitrogenada.

A média dos valores de nitrato encontrados nos efluentes analisados foi de 2,47 mg/l, valor que indica a possibilidade do cultivo de peixes nessas águas.

5.5 – CO₂ livre

O dióxido de carbono, embora esteja presente na composição do ar atmosférico em quantidades de apenas 0,03 %, desempenha um papel fundamental na química da água, pois reage rapidamente com esta, formando bicarbonatos e radicais carbonatados. O CO₂ pode ser absorvido do ar, ou pode ser produzido na decomposição bacteriana da matéria orgânica na água, esta última forma parece ser a principal responsável pelos teores de CO₂ em efluentes (Hammer, 1979).

O CO₂ é um dos principais agentes responsáveis pela acidez da água, e sua concentração está diretamente relacionada com o pH. Apresenta os níveis mais altos ao amanhecer, e de acordo com Kubitza (1998), quando a concentração de O.D. é adequada os peixes podem tolerar níveis de CO₂ bem acima de 10 mg/l. Concentrações de CO₂ acima de 25 mg/l, aliadas as baixas

concentrações de oxigênio dissolvido, podem afetar sensivelmente o desempenho da produção de peixes e até mesmo, causar asfixia nestes.

Durante as análises o valor mais alto de CO₂ livre encontrado foi de 13,32 mg/l, ficando a concentração média de CO₂ em 10,20 mg/l, o que mostra que este parâmetro viabiliza o cultivo de peixes nestas águas.

5.6 – Alcalinidade

A alcalinidade é uma medida da capacidade que as águas tem de neutralizar ácidos ou seja, sua capacidade tampão (CETESB, 1986).

Os principais constituintes da alcalinidade são os bicarbonatos (HCO₃⁻), carbonatos (CO₃²⁻) e os hidróxidos (OH⁻). A distribuição entre essas três formas é função do pH (Sperling, 1995). Em águas residuárias, a alcalinidade é resultante principalmente da reação do CO₂ com a água, sendo o CO₂ proveniente da atmosfera e/ou da decomposição da matéria orgânica.

Os valores desejáveis de alcalinidade para o cultivo de organismos aquáticos são acima de 20 mg/l, e segundo Kubitza (1998), valores de dureza e alcalinidade total acima de 30 mgCaCO₃/l são adequados para a garantia de um eficiente sistema tampão da água.

Portanto as análises realizadas nos efluentes revelaram valores satisfatórios para a alcalinidade, sendo que a sua média ficou em 40,04 mgCaCO₃/l.

5.7 – pH

Potencial hidrogeniônico, representa a concentração do íon hidrogênio (H⁺) em escala anti-logarítmica, dando uma indicação sobre a condição de acidez, neutralidade ou alcalinidade da água (Sperling, 1995a). A faixa de pH varia de 0 a 14, sendo que o valor 7 representa a neutralidade, abaixo deste valor temos um estado de acidez, e acima a alcalinidade. O pH é constantemente monitorado nas ETE's, pois valores afastados da neutralidade afetam negativamente os microorganismos responsáveis pela eficiência do

tratamento biológico. Dessa forma era esperado que os valores de pH observados durante as análises fossem adequados ao cultivo de organismos aquáticos. De fato os valores encontrados obtiveram uma média de 7,02. Tais valores de pH, aliados aos valores de alcalinidade encontrados, podem evitar, em alguns casos, a necessidade de uma operação bastante comum em cultivo de peixes, que é a correção da acidez da água através do processo de calagem.

5.8 – DBO (Demanda Bioquímica de Oxigênio)

A DBO retrata a quantidade de O_2 requerida para estabilizar a matéria orgânica. É uma indicação indireta, portanto, do carbono orgânico biodegradável existente na água. Apesar deste parâmetro ser amplamente utilizado como indicador de matéria orgânica nas águas, normalmente não é um parâmetro freqüentemente observado na caracterização das águas destinadas à aquicultura. Entretanto quando se trata do reaproveitamento de águas residuárias, ou mesmo, do uso de águas superficiais que possam conter níveis significativos de matéria orgânica, a DBO pode ser de grande importância, tanto para prevenções de possíveis baixas na concentração do oxigênio, quanto para se ter uma idéia da quantidade de material orgânico oxidável existente na água destinada aos cultivos.

A DBO no efluente apresentou valores médios de 3,1 mg/l, os testes mostraram que a estação de tratamento está operando com uma eficiência de aproximadamente 94 % e que a DBO residual é baixa, indicando que o uso dos efluentes não implicará em maiores consumos de O_2 nos cultivos.

5.9. – DQO (Demanda Química de Oxigênio)

O teste da DQO mede o consumo de oxigênio ocorrido durante a oxidação química da matéria orgânica. O valor obtido é, portanto, uma indicação indireta do teor de matéria orgânica presente.

A principal diferença com relação ao teste da DBO encontra-se claramente presente na nomenclatura de ambos os testes. A DBO relaciona-se com a oxidação bioquímica da matéria orgânica, realizada inteiramente por microorganismos. Já a DQO corresponde à uma oxidação química da matéria orgânica obtida através de um forte oxidante (dicromato de potássio) em meio ácido (Sperling, 1995a). Pelos mesmos motivos citados quanto ao teste de DBO, o conhecimento dos valores de DQO são importantes em sistemas de reúso de águas em geral.

O valor médio encontrado para os efluentes de 22,55 mg/l, indica um consumo relativamente baixo de oxigênio na água que poderá ser destinada aos viveiros, uma vez que a grande parte da matéria orgânica já foi oxidada.

5.10 – Temperatura

É a medição da intensidade de calor. Apesar de ser um parâmetro de fácil medição, consiste em um importante indicador quando analisado em conjunto com outros parâmetros. Sua importância reside no fato de que elevações na temperatura aumentam a taxa das reações químicas e biológicas, diminuem a solubilidade dos gases, aumenta a taxa de transferência destes, e influem ainda na densidade dos líquidos.

O tratamento de esgotos pelo processo biológico não causa nenhuma alteração significativa na temperatura da água, dessa forma, o efluente da ETE apresentará uma temperatura semelhante à de qualquer outro corpo d'água na região, ou seja, a temperatura do efluente depende unicamente da temperatura local onde a ETE está localizada. No caso do efluente em estudo, a média das temperaturas, que foram medidas em diferentes horários (manhã e tarde) foi de 27,4 °C. Tais temperaturas são consideradas ideais para o cultivo de peixes como a tilápia do Nilo, *Oreochromus niloticus* que, segundo Colt. *et al*, 1996 *apud* Hortegal Filha, 1999 apresenta um ótimo de crescimento com temperaturas entre 20°C e 30°C.

5.11 – Salinidade

A salinidade é frequentemente utilizada na classificação de águas, também pode ser usada como indicação de poluição por esgotos sanitários. Apesar disto, os valores de salinidade encontrados nos efluentes da ETE caracterizam o efluente como água doce (segundo Resolução CONAMA nº 20, 18/16/86), ou seja, salinidade menor que 0,5 ppm (partes por mil), sendo que a média dos valores foi igual a 0,1 ppm.

5.12 – Exame Bacteriológico

Os exames bacteriológicos (colimetria) realizados nos efluentes da ETE, revelaram uma alta concentração de microorganismos (coliformes totais e fecais) presentes na água. O tratamento biológico por lodos ativados – aeração prolongada apresenta, segundo Sperling (1995a), uma eficiência de 65 a 90 % na remoção de coliformes, mas apesar das eficiências parecerem altas, deve-se considerar que tratamentos adicionais possam vir a ser necessários para remoção de coliformes, para atender aos padrões desejáveis, considerando-se o uso para a produção de alimentos.

Deve-se considerar ainda que, por motivos já comentados anteriormente a coleta de água foi feita antes que se procedesse à desinfecção por cloração, que apesar de não fazer parte do tratamento biológico, é necessária, e se mostra como uma etapa adicional ao tratamento biológico, bastante eficiente em se tratando da remoção de coliformes. Após a adição de cloro, e sua consequente mistura no efluente ocorrendo ao longo do tanque de contato (Anexo 1) o número de microorganismos é consideravelmente reduzido.

Os valores encontrados para a água no ponto de coleta (antes da cloração) foram de 402×10^5 coliformes fecais/100 ml e 449×10^4 coliformes totais/100 ml. Entretanto, os valores encontrados após a cloração (fornecidos pela CAGECE), foram de 98 coliformes totais e fecais/100 ml, o que demonstra

a grande eficácia da adição de cloro⁸ como desinfetante, e redutor da concentração de coliformes.

Este parâmetro necessita de uma atenção especial, pois apesar de não inviabilizar o cultivo de organismos aquáticos, influi diretamente na qualidade do pescado. Segundo considerações de Vieira (1989), a qualidade será comprometida devido a microbiota do pescado ser tanto mais rica, quanto mais poluída for a água de onde ele advém. Sendo que, a temperatura tem influência direta no crescimento ou redução dessa microbiota, enquanto que a espécie do pescado determina a susceptibilidade a essa carga microbiana.

Tais fatores influem diretamente na “vida de prateleira” do pescado, pois quando estes são provenientes de águas com elevado número de microorganismos, se não devidamente processados em pouco tempo, se deterioram mais rapidamente. A causa dessa deterioração é o crescimento rápido de bactérias da biota normal do pescado (Liston, 1980 *apud* Vieira, 1989).

Outro fator que merece bastante atenção, é a possibilidade de contaminação do consumidor por microorganismos patogênicos quando o pescado é preparado sem higiene, e consumido mal cozido, ou ainda cru. Contudo, quando seguidas algumas recomendações, o consumo de peixes cultivados em águas residuárias não representa riscos à saúde do consumidor.

Quanto à captação de água, apesar das análises terem sido feitas antes da cloração, esta deve ser feita após a adição de cloro para garantir uma redução significativa na carga microbiana, contudo, deve ser observado um período de tempo adequado (aproximadamente 24 horas) para que, caso a concentração de cloro seja elevada, ocorra a diminuição do cloro residual a fim de não comprometer o cultivo. A água clorada, quando exposta à luz solar, a agitação e altas temperaturas, reduz rapidamente sua concentração (Soares & Maia, 1999). Entretanto deve-se tomar o cuidado de não liberar a água para o abastecimento dos viveiros povoados com peixes, devendo-se mantê-la em uma caixa d'água ou tanque de armazenamento até que o cloro tenha atingido concentrações inócuas aos mesmos.

⁸ Normalmente em águas residuárias tratadas por sistemas de lodos ativados, usa-se uma dosagem de cloro de 2 a 4 mg/l. Como efeito secundário da cloração, conta-se ainda uma redução na DBO de aproximadamente 15 % (Garcez, 1988).

Quando se desejar abastecer diretamente os viveiros, os mesmos só devem ser povoados após alguns dias. Contudo quando se tratar da renovação da água, os cuidados acima devem ser observados.

apesar de uma possível formação de produtos halogenados em função das reações do cloro com a matéria orgânica presente na água. não foi encontrado na literatura, relatos de que esses compostos sejam prejudiciais aos peixes.

Apesar de uma significativa redução na carga microbiana ocorrer devido a cloração da água, os peixes logo após a despesca devem ser ainda lavados com água clorada ou hipoclorito de sódio a uma concentração de aproximadamente 10 % para a eliminação de uma possível microbiota remanescente nos peixes. O pescado a ser consumido deve ser preparado observando-se regras básicas de higiene, e não deve ser consumido cru ou mal cozido. Quando a distribuição ao consumidor for feita com o peixe ainda vivo, deve-se recomendar que este seja eviscerado e preparado tão logo seja possível. O mesmo deve ocorrer no caso de comercialização "in natura". Se a comercialização for feita com o peixe abatido, deve-se proceder à evisceração e acondicionamento em temperaturas adequadas o quanto antes possível.

Desde que observadas tais práticas, os pescados cultivados em águas residuárias não implicarão em riscos à saúde do consumidor.

5.13 – Sólidos em Suspensão

Simplificadamente, os sólidos podem ser classificados de acordo com suas características físicas (tamanho e estado) ou de acordo com suas características químicas. A divisão dos sólidos por tamanho é sobretudo uma divisão prática. Por convenção, diz-se que as partículas de menores dimensões, capazes de passar por um papel de filtro de tamanho especificado, correspondem aos *sólidos dissolvidos* enquanto que os de maiores dimensões, retidos pelos filtros são considerados *sólidos em suspensão*. Numa faixa intermediária situam-se os *sólidos coloidais* de difícil identificação pelos métodos simplificados de filtração em papel (Sperling, 1995a).

O valor médio desse parâmetro encontrado nos efluentes foi de 87,0 mg/l. A concentração de sólidos em suspensão influe diretamente na turbidez, que por sua vez é um parâmetro de constante monitoramento na aquicultura, e representa o grau de interferência com a passagem de luz através da água, conferindo uma aparência turva à mesma quando em alta concentração.

5.14 – Dureza

A dureza representa a concentração de cátions multimetálicos em solução. Os cátions mais frequentemente associados à dureza são os cátions divalentes Ca^{2+} e Mg^{2+} . Em condições de saturação, esses cátions reagem com ânions na água, formando precipitados. A dureza pode ser classificada como dureza em carbonato e dureza não carbonato, dependendo do ânion com a qual está associada. A dureza correspondente à alcalinidade é a dureza em carbonato, enquanto que as demais formas são caracterizadas como dureza não carbonato (Sperling, 1995a).

Os efluentes analisados apresentaram o valor médio de 39,7 mg/l de CaCO_3 , dessa forma os efluentes se mostram adequados para o cultivo, pois os valores considerados ideais para a aquicultura estão entre 15 e 100 mg/l em seu equivalente teor de CaCO_3 .

5.15 – Nutrientes

O sistema de tratamento de esgotos por lodos ativados-aeração prolongada pode alcançar a eficiência de 15 a 30 % na remoção de nitrogênio e 10 a 20 % na remoção de fósforo. Possui também uma eficiência de 93 a 98 % na remoção de DBO (Sperling, 1997). Tais valores indicam que, ao usar os efluentes de estações de tratamento teremos uma água que certamente possuirá as formas e quantidades desejáveis de nutrientes para o uso na aquicultura, sem que ocorra a demanda de O_2 que normalmente é necessária para disponibilizá-los.

Os valores de N total e fosfato total encontrados para os efluentes em questão foram de 0,013 mg/l e 0,025 mg/l respectivamente. Possuindo-se uma água com essa quantidade de nutrientes, podemos obter uma produção primária dos viveiros sem a necessidade da adubação, prática comum, realizada quando se deseja aumentar a produtividade da água. E conseqüentemente sem os problemas inerentes à essa prática, tais como, depleção do oxigênio dissolvido e acidificação da água, decorrentes da mineralização da matéria orgânica.

5.16 – Aspectos Técnicos

A Estação do Campus do Pici, possui as vazões de projeto mínima, média e máxima de 12,10 l/s, 22,32 l/s e 38,66 l/s respectivamente. Tomando-se por base que a quantidade de água aproximadamente necessária para inundar 1 hectare seja de 36 m³/h, e considerando-se a vazão média de 22,32 l/s, para esta ETE, dispomos de água suficiente para abastecer 2,23 ha de viveiros. Se considerarmos a vazão máxima (38,66 l/s), dispomos de água para atender até 3,86 ha de viveiros. Entretanto, esses valores foram, calculados através de uma estimativa média da quantidade de água necessária por hectare, para um cultivo de peixes, sendo que, a área inundada poderá ainda ser ampliada dependendo da proposta do projeto, dimensões e disposições dos viveiros, sistemas de cultivo, etc.

Deve-se levar em conta que é possível ainda utilizar as variações diárias nas vazões dos efluentes para se otimizar o abastecimento dos viveiros (fig. 9).

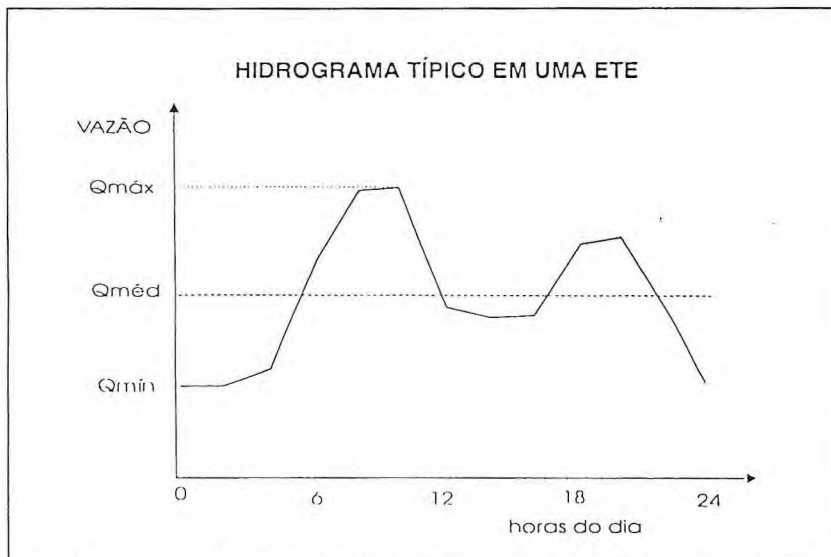


Fig. 10. Hidrograma típico da vazão afluyente a uma ETE. Fonte: Sperling (1995a)

Cada ETE possuirá suas vazões afluentes e efluentes calculadas em função da população local, contribuição "per capita", comprimento dos coletores, taxa de infiltração, etc. Por isso, poderão ocorrer variações significativas nas vazões em função da localidade onde a ETE está situada.

As informações sobre as vazões da ETE constam no memorial descritivo do projeto técnico, e devem ser conhecidas antes de se iniciar qualquer atividade relativa ao projeto dos viveiros.

Com exceção do exame bacteriológico⁹ que foi comentado anteriormente, todos os parâmetros analisados apresentaram valores favoráveis ao cultivo de organismos aquáticos, pois estão de acordo com o indicado pela **Resolução CONAMA nº 20, 18 de junho de 1986**, que classifica as águas em doces, salobras e salinas em todo o Território Nacional.

Do segmento relativo as águas doces, a Resolução enquadra a criação natural ou extensiva de espécies destinadas à alimentação humana (aquicultura), nas classes 1 e 2 (Quadro 2). A comparação entre os valores médios encontrados e os indicados pode ser visualizada no quadro 3.

Quadro 2. Quadro de Classificação das águas doces em função dos usos preponderantes (Resolução CONAMA, nº20, 18/06/86).

Usos	Classe				
	Especial	1	2	3	4
Abastecimento doméstico	•	• ^a	• ^b	• ^b	
Preservação do equilíbrio natural das comunidades aquáticas	•				
Recreação de contato primário		•	•		
Proteção das comunidades aquáticas		•	•		
Irrigação		• ^c	• ^d	• ^e	
Criação de espécies (aquicultura)		•	•		
Dessedentação de animais				•	
Navegação					•
Harmonia paisagística					•
Usos menos exigentes					•

Notas: (a) após tratamento simples; (b) após tratamento convencional; (c) Hortaliças e frutas rentes ao solo; (d) hortaliças e plantas frutíferas; (e) culturas arbóreas, cerealíferas e forrageiras. **Fonte:** Sperling, 1995.

Quadro 3. Resumo¹⁰ com a comparação dos padrões recomendados pela Resolução CONAMA Nº 20, 18/06/86 para corpo d'água classe 2, com os valores médios encontrados para os efluentes da ETE em estudo.

PARÂMETRO	UNIDADE	VALORES RECOMENDADOS	VALORES ENCONTRADOS
PH	-	6,0 – 9,0	7,01
DBO ₅	mg/l	≤ 5	3,1
DQO	mg/l	-	22,25
OD	mg/l	≥ 5	5,11
S.S.	mg/l	-	87,0
CF	org/100ml	1000	98
CT	org/100ml	5000	98
Amônia	mgNH ₃ /l	≤ 0,2	0,060
Nitrito	mgN/l	1,0	0,423
Nitrato	mgN/l	10	2,47
CO ₂ livre	mg/l	≤ 20	10,20
Salinidade	ppm	≤ 0,5	0,1
NT	mg/l	-	0,013
PT	mg/l	≤ 0,025	0,025
Dureza	mg/l	15 – 100	39,7
Alcalinidade	mg/l	40 – 200	40,04
Temperatura	°C	-	27,4

⁹ Considerando-se coleta antes da etapa de cloração.

¹⁰ No quadro constam apenas os valores dos parâmetros (para corpo d'água classe 2) mais importantes para a aquicultura, a Resolução CONAMA Nº 20, 18/16/86 lista ainda vários outros parâmetros físico-químicos.

Tabela 1. Valores absolutos, médias, desvio padrão e variância dos resultados.

Coleta/Dat	Temp. °C	Sal. ppm	OD mg/l	OD %	CO ₂ mg/l	pH	Alcalinid. mgCaCO ₃ /l	Amônia mg/l	Nitrito mg/l	CF* org/100ml	CT* org/100ml
25/04	27,0	0,0	4,06	52,8	13,2	6,69	37	-	1,41	430x10 ⁶	430x10 ⁶
28/04	28,0	0,0	4,30	54,8	11,0	6,81	38	-	-	400x10 ⁶	400x10 ⁶
02/05	28,0	0,5	4,86	62,0	9,68	7,05	40	-	0,288	380x10 ⁵	380x10 ⁵
05/05	27,5	0,5	5,28	66,8	6,16	7,16	40	0,055	0,276	400x10 ⁶	400x10 ⁶
09/05	28,0	0,0	4,67	59,6	11,44	7,12	54	0,085	0,264	230x10 ⁵	230x10 ⁵
16/05	26,5	0,0	6,03	79,9	7,04	7,08	40	0,035	0,416	500x10 ⁴	500x10 ⁴
19/05	26,8	0,0	5,90	73,2	9,61	7,00	39	0,055	0,352	240x10 ⁵	930x10 ⁵
24/05	28,0	0,0	5,83	74,3	13,32	7,02	34	0,060	0,276	360x10 ⁵	360x10 ⁵
26/05	28,3	0,0	5,00	64,3	10,61	7,00	38	0,060	0,299	400x10 ⁴	400x10 ⁴
31/05	28,0	0,5	5,21	66,4	9,90	7,32	40	0,060	0,368	520x10 ⁶	400x10 ⁶
05/06	27,7	0,0	5,50	96,6	9,00	7,00	37	0,060	0,368	400x10 ⁵	400x10 ⁵
08/06	28,0	0,0	4,90	62,5	13,00	6,80	33	0,085	-	270x10 ⁴	410x10 ⁶
12/06	26,0	0,0	5,20	64,0	10,20	7,08	50	0,060	0,352	550x10 ⁴	550x10 ⁴
15/06	27,0	0,0	5,00	62,7	9,13	7,03	41	0,045	-	550x10 ⁴	551x10 ⁴
19/06	26,0	0,0	5,05	62,2	9,80	7,00	40	0,060	0,402	400x10 ⁴	400x10 ⁴
Média	27,4	0,1	5,11	65,0	10,20	7,01	40,04	0,060	0,423	402x10⁵	449x10⁴
Desvio	0,68	0,21	0,55	7,14	2,047	0,15	5,40	0,013	0,31	-	-
Var.	0,74	0,043	0,30	50,9	4,19	0,023	29,20	0,11	0,099	-	-

Nota: OD: Oxigênio Dissolvido; %OD: Saturação do Oxigênio Dissolvido; CF: Colif. Fecais; CT: Colif. totais
Coleta antes da etapa de cloração

Tabela 2. Valores absolutos*, médias, desvio padrão e variância dos resultados.

Coleta/Data	DBO ₅ mg/l	DQO mg/l	SS mg/l	Nitrato mg/l	Dureza mg/l	PT mg/l	NT
23/05	2,0	11,0	10,0	2,0	38	0,027	0,012
03/04	3,0	16,0	4,0	2,2	40	0,026	0,008
16/04	5,0	32,0	249,0	4,0	42	0,031	0,010
25/04	4,0	20,0	292,0	4,0	40	0,020	0,010
04/05	2,0	11,0	100,0	2,0	40	0,019	0,010
15/05	2,0	12,0	85,0	2,0	45	0,030	0,015
29/05	2,0	16,0	21,0	1,0	32	0,026	0,015
06/06	5,0	67,0	9,0	2,0	38	0,022	0,018
14/06	3,0	18,0	16,0	2,0	38	0,027	0,014
Média	3,1	22,55	87,0	2,47	39,7	0,025	0,013
Desvio	1,19	17,87	109,9	0,92	2,48	4,18	3,33
Var.	1,43	319,5	12092,5	0,85	6,19	1,75	1,107

Nota: SS: Sólidos em Suspensão; PT: fósforo total; NT: Nitrogênio total.
Dados fornecidos pela CAGECE.

6. CONCLUSÕES

- O cultivo de organismos aquáticos utilizando-se águas residuárias é um alternativa viável para a reciclagem dos nutrientes existentes nas águas tratadas, sem que sejam necessárias significativas adaptações dos projetos de tratamento de esgotos e de aquicultura.
- As espécies de peixes mais indicadas para esse tipo de cultivo são também aquelas mais comumente cultivadas no Nordeste, tais como as tilápias e as carpas.

6.1. Considerações Finais

- O reúso pode ainda reduzir custos de produção na aquicultura, pois possibilita uma economia no uso de rações balanceadas, uma vez que, mais alimento natural poderá estar disponível para os peixes através do aumento da produção primária. Pode representar uma economia ainda maior, nos casos onde a cobrança pela água venha a incorporar mais uma despesa para o setor.
- O reúso pode abranger várias modalidades de cultivos, sendo mais indicado, por motivos econômicos, à modelos de produção semi-intensiva. Contudo o sistema se mostra como potencial fator de otimização da produção, e redução de custos em todos os modelos de cultivos.
- O sistema de reúso se mostra como exemplo de uma atividade de proteção aos recursos hídricos, pois além de diminuir o consumo de água, reduz a quantidade de nutrientes que seriam lançados no ambiente, diminuindo assim os problemas com a eutrofização.
- Os benefícios alcançados com o reúso, se justificam ainda mais em regiões com escassez de água.

- O cultivo não corre riscos de passar por colapsos no abastecimento d'água, ou grandes reduções na vazão devidos aos períodos de estiagem, uma vez que o abastecimento público de água é o último a sofrer os efeitos de possíveis racionamentos. Mesmo quando estes ocorrem, a ETE, que funciona como um concentrador das águas de uma comunidade, garante pelo menos a vazão mínima prevista no projeto da estação, e que deve ser considerada num projeto de cultivo.
- Os fatores sazonais não terão influências significativas sobre a qualidade da água, pois não são observadas grandes flutuações nos parâmetros por ocasião de períodos de chuvas ou estiagem, uma vez que nos sistemas de tratamento de esgoto o Brasil adota amplamente o sistema separador, no qual as águas pluviais não contribuem à ETE.
- O reúso se mostra ainda mais eficiente nas condições climáticas das regiões Norte e Nordeste, pois é onde a eficiência dos sistemas de tratamento alcança níveis mais altos devido as altas temperaturas.
- Cultivos com águas residuárias podem servir não só a iniciativa privada, mas também a propósitos públicos, podendo contemplar programas sociais de geração de empregos, renda e formação de profissionais, com a produção podendo ser comercializada, ou ainda servindo como fonte de proteína à própria população local, por exemplo, através da merenda escolar.
- A elaboração do projeto torna-se significativamente mais simplificada e menos dispendiosa, uma vez que, a grande maioria do levantamento de dados e informações necessárias ao projeto, tais como, plantas da bacia hidrográfica e de contribuição, levantamento planialtimétrico do local, pluviosidade e fotoperíodo, taxas de evaporação e de infiltração, características da água e do solo, etc. constam no memorial descritivo do projeto da ETE e podem ser considerados na elaboração do projeto de

cultivo. O memorial descritivo da ETE, conta ainda com dados importantes e decisivos na escolha do tipo de projeto e local de implantação, tais como, população local, principais estradas para escoamento da produção, renda “per capita” da população, entre outras informações que são imprescindíveis ao estudo de mercado que deve acompanhar o projeto técnico desse tipo de empreendimento.

6.2. Recomendações

- A experiência nesse tipo de tratamento sugere uma ausência de quantidades significativas de metais pesados nos efluentes das estações. A própria eficiência do tratamento pode ser considerada como um importante indicador dessa observação, uma vez que os metais afetam sensivelmente os microorganismos responsáveis pela oxidação da matéria orgânica. Entretanto, recomenda-se algumas análises, principalmente de metais pesados, nos efluentes que possam vir a ser utilizados nas diversas formas de reuso.
- Os projetos de reuso, em geral, não devem contar somente com as águas efluentes das estações de tratamento, devendo sempre que possível, possuir uma fonte de água alternativa.
- Recomenda-se ter cautela quanto ao uso dos efluentes durante as operações mais delicadas dos cultivos, tais como, incubação de ovos e larvas ou fases iniciais de alevinagem. Contudo esses cuidados dependerão, em grande parte, da espécie cultivada.

7. RESUMO

O reúso de águas constitui uma das principais diretrizes dos novos modelos de gerenciamento dos recursos hídricos, e em suas diversas formas, se mostra como alternativa para economia e racionalização no uso da água. O reaproveitamento de águas residuárias na aquicultura é uma forma de produção de proteínas a baixos custos, que pode ser bastante atrativa tanto para a iniciativa privada como para o setor público. Este trabalho foi conduzido com o objetivo de caracterizar os efluentes, indicar as espécies mais propícias a esse tipo de cultivo e verificar sua aplicação. Dessa forma, são apresentados os resultados obtidos através de análises laboratoriais e aparelhos específicos que evidenciam a viabilidade técnica e as vantagens dessa alternativa de cultivo, contribuindo assim com informações necessárias à realização desses projetos.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- APHA – **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater.** 19 ed., Washington D.C.: APHA – AWWA – WEF, 1995.
- BOYD, C. E. – **Water Quality in Ponds for Aquaculture.** Alabama, USA: Birmingham Publishing Co., 1990.
- BRANCO, S. M. – **Poluição, Proteção e Usos Múltiplos de Represas.** CETESB – Companhia de Tecnologia do Saneamento Ambiental. São Paulo: Edgard Blücher Ltda, 1977.
- CARNEIRO, P. R. T. – A Cobrança pelo Uso das Águas e a Aquicultura. **Rev. Panorama da Aquicultura**, P. 19 – 22, nov/dez 1999.
- SRH - CE, Secretaria de Recursos Hídricos do Ceará – **Usando Bem as Águas do Ceará.** Fortaleza, 1997. 20p.
- CEBALLOS, B. O. – Reutilização de Águas Servidas é Alternativa. **Diário do Nordeste**, Fortaleza, 8 de set. 1999. 1º Caderno, p. 9.
- CETESB – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental – **Manual de Normalização Técnica**, São Paulo, 1986.
- GARCEZ, L. N. – **Elementos de Engenharia Hidráulica e Sanitária.** 2º ed. São Paulo: Edgard Blücher Ltda, 1988.
- GURGEL, J. J. S. – **Apostila de Limnologia**, Fortaleza: UFC/CCA/DEP, 1997 142 p.
- HAMMER, M. J. – **Sistemas de Abastecimento de Água e Esgotos.** Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1979.

- HORTEGAL FILHA, M. do S. R. – **Perspectiva do Uso de Lagoas de Maturação na Produção de Peixes**. Fortaleza, 1999. 67 p.
- KONIG, A. & CEBALLOS, B. S. O. – **Reúso de Águas Residuárias – Uma Alternativa para a Produção e Controle Ambiental**. COMBEA – 19º Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola – Campina Grande, 1997.
- KUBITZA, F. – Qualidade da Água na Produção de Peixes – Parte II. **Rev. Panorama da Aquicultura**. P. 35 – 41 mar/abr 1998.
- MOTA, S. – **Preservação dos Recursos Hídricos**. Rio de Janeiro: ABES – Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 1988.
- NOGUEIRA, C. – O Planeta tem Sede, Brasil se Prepara para Cobrar Pela Água Como Forma de Afastar Uma Crise que Já Preocupa o Mundo. **Rev. Veja**, p.154 – 156, Nov de 1999.
- PARSONS, T. R.; Maita, Y. & Lally, C. M. – **A Manual of Chemical and Biological Methods in Seawater Analysis**. Oxford: Pergamon Press, 1984.
- PESSOA, C. A. & JORDÃO, E. P. – **Tratamento de Esgotos Domésticos**. 2ª Ed. Rio de Janeiro: ABES - Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 1982.
- RIBEIRO, W. M. S. – Vantagens do Reúso e Reciclo de Águas. **Rev. Meio Ambiente Industrial**, São Paulo, V.3, nº 15, p.81 – 85, Nov/dez 1998.
- SILVA, S. A. & MARA, D. D. – **Tratamentos Biológicos de Águas Residuárias: Lagoas de Estabilização**. Rio de Janeiro: ABES - Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 1979.
- SOARES, J. B. & MAIA, A. C. F. – **Água, Microbiologia e Tratamento**. Fortaleza: Edições UFC, 1999.

SPERLING, M. V. – **Introdução à Qualidade das Águas e ao Tratamento de Esgotos**. Belo Horizonte: DESA – Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Federal de Minas Gerais, 1995a. 1V., 2º Ed. 234p.

SPERLING, M. V. – **Princípios Básicos do Tratamento de Esgotos**. Belo Horizonte: DESA – Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Federal de Minas Gerais, 1995b. 2V., 211p.

SPERLING, M. V. – **Lodos Ativados**. Belo Horizonte: DESA – Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Federal de Minas Gerais, 1997. 3V., 416 p.

VIEIRA, R. H. S. dos F. – **Ciência e Tecnologia dos Organismos Aquáticos, Aspectos Microbiológicos do Pescado Antes e Depois de Processado**. St. John's, Newfoundland, Canadá: Printed Service, 1989. 1V.

MIDDLEBROKS, E. J. - **Water Reuse**. Michigan: Ann Arbor Science, 1982.