



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE
CENTRO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA SANITÁRIA**

Fernanda Lima Cavalcante

**AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DE FILTROS ANAERÓBIOS NA
REMOÇÃO DE COLIFORMES FECAIS E OVOS DE HELMINTOS.**

**Natal
2007**

Fernanda Lima Cavalcante

**AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DE FILTROS ANAERÓBIOS NA REMOÇÃO
DE COLIFORMES FECAIS E OVOS DE HELMINTOS.**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Sanitária, da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia Sanitária.

Orientador: Prof. Dr. Cícero Onofre de Andrade Neto

Co-orientador: Prof. Dr. André Luis Calado Araújo

Natal

2007

AGRADECIMENTOS

A Deus por mais esta oportunidade em minha vida;

Aos meus Pais, minha irmã e familiares pelo amor, apoio, confiança e crédito que sempre me dedicaram;

Ao Orientador Prof Dr. Cícero Onofre de Andrade Neto, pela oportunidade em executar esta pesquisa e ajuda constante nas diversas fases deste trabalho, além da grande contribuição para a minha formação pessoal e profissional. Um exemplo de profissional dedicado e competente;

Ao Professor e Amigo Dr. André Luis Calado Araújo, pela co-orientação e grande contribuição nas análises estatísticas e que sempre esteve à disposição para ajudar no que fosse necessário;

Ao Prof Dr. Luiz Pereira de Brito, chefe do laboratório, pela disponibilização de espaço e equipamentos essenciais para realização da investigação experimental;

Ao PROSAB/RN -Programa de Pesquisa em Saneamento Básico- no tema Esgotos Sanitários, coordenado pelo Professor Henio Normando de Souza Melo, pela oportunidade de trabalho em suas unidades experimentais e pelo apoio financeiro alocados à aquisição de material necessário à realização das análises microbiológicas (coliformes fecais), meu reconhecimento e agradecimento.

À Sandro responsável pelo laboratório, que sempre esteve à disposição para ajudar;

À Maryele que esteve presente e me ajudou nos resultados de conclusão do experimento;

Aos membros da banca examinadora, pelas correções e sugestões;

À todos os Professores do Programa de Engenharia Sanitária e Ambiental que de alguma maneira contribuíram para minha formação, nas disciplinas ministradas, na convivência e experiências transmitidas;

Aos funcionários do curso de mestrado, em especial, à secretária do programa, Leonor Barbosa pela amizade e disposição em ajudar sempre que solicitada;

Ao CNPq pelo apoio financeiro através da bolsa de estudo;

Ao programa de pós-graduação em Engenharia sanitária pela infra-estrutura oferecida;

Aos amigos e colegas do curso de Mestrado em Engenharia Sanitária, em especial, Anderson José Brilhante Faheina de Souza, Carlos Magno de Souza Barbosa, Daniel Melo Martins de Góis, Diogenes Santos de Sena, Eulina Maria de Moura, Igor Silva Cruz, Luciano Rebello da Cunha Melo, Paula Rafaela Silva dos Santos, Pedro Alves da Silva Filho, Prisciliana Medeiros Nobre, Thaise Emmanuele Andrade de Sales pelo companherismo;

E a todos aqueles que direta ou indiretamente contribuíram para realização deste trabalho;

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	vi
LISTA DE TABELAS	viii
RESUMO.....	1
ABSTRACT.....	2
1 INTRODUÇÃO	3
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	6
2.1 QUADRO ATUAL DO SANEAMENTO NO BRASIL E O USO DE REATORES ANAERÓBIOS	6
2.2 FILTROS ANAERÓBIOS:	9
2.2.1 Considerações Gerais:	9
2.2.2 Descrição da tecnologia:	10
2.2.2.1 Funcionamento:	10
2.2.2.2 Meio suporte	12
2.2.2.3 Eficiência:	13
2.2.3 O sistema tanque séptico e filtros anaeróbios:.....	14
2.2.4 Vantagens e desvantagens:	15
2.3 USO DE EFLUENTE DE FILTRO ANAERÓBIO PARA IRRIGAÇÃO:.....	16
2.4 PATÓGENOS:	19
2.5 HELMINTOS:.....	22
2.5.1 Aspectos Gerais:.....	22
2.5.2 Características.....	23
2.5.3 Ovos de helmintos:	24
2.5.4 Mecanismos de remoção de ovos de helmintos	26
2.6 BACTÉRIAS	32
2.6.1 Características.....	32
2.6.2 Coliformes fecais (termotolerantes).....	33
2.6.3 Mecanismos de remoção de bactérias:.....	34
3 MATERIAL E MÉTODOS:	40
3.1 SISTEMAS PESQUISADOS:.....	40
3.1.1 Decanto-digestor e filtro anaeróbio (Sistema RN):	40
3.1.2 ETE anaeróbia compacta:	43
3.1.3 Filtro Anaeróbio-Parelhas:	44
3.2 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS:.....	45
3.2.1 Ovos de helmintos:	45
3.2.2 Coliformes Fecais:	48
3.3 TRATAMENTO ESTATÍSTICO DOS DADOS:	50
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO:.....	51
4.1 DECANTO-DIGESTOR E FILTRO ANAERÓBIO (SISTEMA RN):.....	51
4.2 ETE COMPACTA:	61
4.3 FILTRO ANAERÓBIO-PARELHAS:	66
5. CONCLUSÕES:.....	76
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	78

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1: Conversão biológica nos sistemas anaeróbio e aeróbio.....	7
FIGURA 2:Classificação dos helmintos e gêneros comumente encontrados na água residuária.....	24
FIGURA 3:Tamanho de partículas dos constituintes do esgoto e faixa de atuação das unidades de tratamento por tamanho de partículas.....	29
FIGURA 4:Situação esquemática do grupo coliforme em relação às demais bactérias intestinais.....	34
FIGURA 5: O sistema RN - Tanque séptico modificado seguido de filtro anaeróbio	40
FIGURA 6: O sistema piloto da UFRN: tanque séptico seguido de filtros anaeróbios	41
FIGURA 7:Tanque séptico com o filtro acoplado	41
FIGURA 8: Filtro anaeróbio descendente afogado.....	42
FIGURA 9:Vista da ETE anaeróbia compacta	44
FIGURA 10:Aspectos metodológicos da técnica de membrana de filtração	49
FIGURA 11: Estatística descritiva para os dados de pH, temperatura, DQO e sólidos suspensos para os pontos EB, DD-Fa, F10 e F15 do SISTEMA RN.	52
FIGURA 12:Estatística descritiva para os dados de Coliformes Fecais no Sistema RN - Gráfico Box Plot.	53
FIGURA 13:Histogramas de freqüência de coliformes fecais para o Sistema-RN nos pontos monitorados.	54
FIGURA 14:Histogramas de freqüência de coliformes fecais após transformação logarítmica	55
FIGURA 15:Estatística descritiva para os dados de ovos de helmintos no Sistema RN - Gráfico Box Plot	59
FIGURA 16:Estatística descritiva para os dados de pH,temperatura, DQO e sólidos suspensos para o afluente (EB) e efluente da ETE compacta (ETEc)...	62

FIGURA 17: Estatística descritiva para os dados de coliformes fecais na ETE compacta - Gráfico Box Plot	63
FIGURA 18: Estatística descritiva para os dados de ovos de helmintos na ETE compacta - Gráfico Box Plot	64
FIGURA 19: Estatística descritiva para os dados de pH, temperatura, DQO e sólidos suspensos para o Sistema Parelhas – Fase 1.....	67
FIGURA 20: Estatística descritiva para os dados de pH, temperatura, DQO e sólidos suspensos para o Sistema Parelhas – Fase 2.....	68
FIGURA 21: Estatística descritiva para os dados de coliformes Fecais nas fases 1 e 2 para o Sistema Parelhas - Gráfico Box Plot.....	69
FIGURA 22: Estatística descritiva para os dados de ovos de helmintos nas fases 1 e 2 para o Sistema Parelhas - Gráfico Box Plot.....	73

LISTA DE TABELAS

TABELA 1: Vantagens e desvantagens dos processos anaeróbios	8
TABELA 2: Remoção de patógenos através de tanques sépticos	15
TABELA 3: Concentrações típicas de organismos patogênicos e *indicadores de contaminação fecal em esgotos domésticos	17
TABELA 4: Recomendações da Organização Mundial de Saúde relativas à qualidade microbiológica para uso agrícola (a) de efluentes de estações de tratamento de esgoto	18
TABELA 5: Período de sobrevivência dos microorganismos patogênicos nas águas residuárias, no solo e nas culturas	21
TABELA 6: Tamanho, densidade e velocidade de sedimentação de algumas espécies de ovos de helmintos.....	27
TABELA 7: Dimensões características dos cistos de Giardia spp. e dos oocistos de Cryptosporidium spp	28
TABELA 8: Eficiência de remoção de patógenos em processos de tratamento de efluentes	30
TABELA 9: Concentração de coliformes fecais (termotolerantes) e ovos de helmintos encontrados nos efluentes de reatores anaeróbios.....	37
TABELA 10: Caracterização dos pontos EB, DD-Fa, F10 e F15, para os parâmetros de pH, temperatura, DQO e sólidos suspensos.....	51
TABELA 11: Resultados da estatística descritiva para coliformes fecais- Sistema RN.	52
TABELA 12: Análise de variância para coliformes fecais- Sistema RN	56
TABELA 13: Resultados da estatística descritiva para ovos de helmintos- Sistema RN	58
TABELA 14: Análise de variância para ovos de helmintos - Sistema RN	60
TABELA 15: Caracterização do afluente e efluente da ETE compacta para os parâmetros de pH, temperatura, DQO e sólidos suspensos.....	62

TABELA 16:Resultados da estatística descritiva para coliformes fecais e Ovos de helmintos - ETE compacta	63
TABELA 17:Análise de variância para coliformes fecais e ovos de helmintos- ETE compacta.....	65
TABELA 18: Caracterização do Sistema Parelhas-Fase 1 para os parâmetros de pH, Temperatura, DQO e Sólidos Suspensos.....	66
TABELA 19: Caracterização do Sistema Parelhas-Fase 2 para os parâmetros de pH, Temperatura, DQO e Sólidos Suspensos.....	67
TABELA 20:Resultados da estatística descritiva para coliformes fecais nas fases 1 e 2 - Sistema Parelhas	68
TABELA 21:Análise de variância para coliformes fecais nas fases 1 e 2 - Sistema Parelhas.....	70
TABELA 22:Resultados da estatística descritiva para ovos de helmintos nas fases 1 e 2 -Sistema Parelhas.	71
TABELA 23:Análise de variância para ovos de helmintos nas fases 1 e 2- Sistema Parelhas.....	74

RESUMO

A tecnologia de reatores anaeróbios para o tratamento de esgoto sanitário vem sendo extensivamente desenvolvida no Brasil, e hoje encontra-se praticamente consolidada. Apresentando diversas vantagens, como baixos custos de construção e operação, e baixa produção de lodo, os reatores anaeróbios são uma alternativa bastante atrativa para a mitigação dos problemas de saneamento básico urbano, e também das áreas rurais. Os filtros anaeróbios vêm sendo bastante aplicados no Brasil. Sua utilização produz um efluente com baixa concentração de matéria orgânica e sólidos suspensos, além de conservar os nutrientes, sendo por isso muito bom para irrigação com fins produtivos, desde que sejam resguardados os cuidados com a presença de organismos patogênicos. Este trabalho teve por objetivo avaliar a eficiência de filtros anaeróbios na remoção de coliformes fecais e ovos de helmintos, e verificar se os mesmos atendem às recomendações sanitárias para reuso em irrigação, segundo a Organização Mundial de Saúde - OMS (WHO, 1989). Para enumeração dos ovos de helmintos foi utilizada a técnica de Bailenger modificada (Ayres e Mara, 1996), que deu origem à metodologia atualmente recomendada pela OMS para avaliação de águas residuárias brutas e tratadas. Para determinação de coliformes fecais foi utilizado o método da membrana filtrante. Foram analisados três diferentes sistemas de tratamento de esgoto compostos por filtros anaeróbios. Numa análise geral dos resultados, observou-se que todos os sistemas pesquisados atingiram eficiência maior que 93% para remoção de ovos de helmintos, resultando em um efluente final com valor médio menor que 1 ovo/L. Um dos sistemas, o Sistema RN, alcançou uma remoção maior que 99%, confirmando o bom desempenho dos filtros anaeróbios na remoção de ovos de helmintos. Mesmo com baixas concentrações de ovos no afluente, os filtros foram capazes de remover eficientemente este parâmetro. Em relação à contagem de coliformes fecais, foi observado, para todos os sistemas pesquisados um efluente final com cerca de 10^6 UFC/100mL. As altas concentrações de coliformes fecais no efluente dos filtros permitem a reutilização apenas para irrigação restrita, de acordo com as diretrizes da OMS. Apesar dos sistemas pesquisados não removerem eficazmente coliformes fecais, os resultados encontrados no presente estudo indicaram uma boa eficiência dos filtros anaeróbios na remoção de ovos de helmintos.

PALAVRAS-CHAVE: Filtros Anaeróbios, Tratamento de Esgotos, Ovos de Helmintos, Coliformes Fecais.

ABSTRACT

The technology of anaerobic reactors for sanitary wastewater treatment has been extensively developed in Brazil, and today it is practically consolidated. They present several advantages, such as low construction and operating costs, and low sludge production, the anaerobic reactors are an attractive alternative to minimize problematic lack of basic sanitation in urban areas, and also of the rural areas. The anaerobic filters have been widely used in Brazil. It produces an effluent with low concentration of organic matter and solids suspended, besides conserving the nutrients, therefore, it is good for use in irrigation, but the practice must be associated with knowledge of the pathogens presence. The main objective of this study was to evaluate the efficiency of anaerobic filters in removal faecal coliforms and helminth eggs, and to verify if the effluent can be used for agricultural purposes, according to the World Organization of Health (WHO, 1989). The protocol used to enumerate helminths eggs was the modified Bailenger method, (Ayres and Mara, 1996) recommended by WHO for evaluation of raw effluent and treated effluent. The membrane filtration method was utilized to determine the concentrations of faecal coliforms. Three different systems of sewer treatment composed by anaerobic filters were analyzed. The results, in a general analysis, showed that all the researched systems reached a larger removal than 93% to helminth eggs, resulting in an effluent with smaller average than 1 egg/L. One of these systems, Sistema RN, reached a larger removal than 99%, confirming the good performance of the anaerobic filters in removal helminths eggs. Even with low concentrations of eggs in the influent, the filters were capable to remove this parameter efficiently. About faecal coliforms, it was observed for all the researched systems an effluent with 10^6 CFU/100mL. The high concentrations to faecal coliforms in the effluent just allow reuse for restricted irrigation, in agreement with the guidelines of WHO. Although the researched systems have not removed faecal coliforms efficiently, the results indicated a good efficiency of the anaerobic filters in removal helminth eggs.

KEY-WORDS: anaerobic filters, wastewater treatment, helminth eggs, faecal coliforms.

1 INTRODUÇÃO

Um dos grandes desafios do Brasil refere-se à melhoria do saneamento básico fornecido a sua população. Entre os serviços de saneamento básico, o esgotamento sanitário é o que tem menor presença nos municípios brasileiros. Segundo o IBGE (2000), 47,8% dos municípios brasileiros não têm coleta de esgoto. O Norte é a região com a maior proporção de municípios sem coleta (92,9%), seguido do Centro-Oeste (82,1%), do Sul (61,1%), do Nordeste (57,1%) e do Sudeste (7,1%). Apenas 52,2% dos municípios apresentam serviço de coleta, e desse percentual, somente 20,2% dos municípios tratam o esgoto (IBGE, 2000).

Se a cobertura do serviço de esgotamento sanitário é reduzida e o tratamento do esgoto coletado não é abrangente, o destino final do esgoto sanitário contribui ainda mais para um quadro precário do serviço. Do total de distritos que não tratam o esgoto sanitário coletado, a grande maioria (84,6%) despeja o esgoto nos rios, comprometendo a qualidade da água utilizada para o abastecimento, irrigação e recreação, sendo os distritos das Regiões Norte e Sudeste os que mais se utilizam desta prática (IBGE, 2000). Este quadro alarmante agrava os problemas de saúde pública e ambiental, e sua melhoria depende, em grande parte, do desenvolvimento de sistemas de tratamento simples, eficientes e adaptáveis às condições econômicas e estruturais do Brasil.

É dentro desse contexto que se inserem os reatores anaeróbios: sistemas simples; que trazem a vantagem de não consumir energia elétrica, já que não constitui um sistema mecanizado; ocupam pequena área; produzem pouco lodo e têm baixo custo quando comparados aos reatores aeróbios.

Os reatores anaeróbios mais utilizados no país são: lagoas anaeróbias, tanques sépticos ou decanto-digestores, filtros anaeróbios, reatores anaeróbios de manta de lodo (UASB), e reatores anaeróbios de leito expandido ou fluidificado (CAMPOS *et al.*, 1999).

Este trabalho deteve-se apenas aos filtros anaeróbios, reatores biológicos constituídos por um tanque contendo material de enchimento ou outro material inerte que serve de suporte para aderência e desenvolvimento de microrganismos.

Os primeiros trabalhos acerca de filtros anaeróbios que tiveram grande divulgação foram realizados na década de 60 por Young e McCarty, e, desde então, os filtros anaeróbios têm tido aplicação crescente (CHERNICHARO, 1997).

Os filtros apresentam as vantagens de produzir pouco lodo, resistir bem às variações de vazão afluente, permitir grande liberdade de projeto, ter operação e construção bastante simples. As desvantagens são decorrentes do risco de entupimento do leito (colmatação dos interstícios), e do custo adicional ocasionado pelo preenchimento do filtro com o material de enchimento (ANDRADE NETO, 2006).

Sistemas completamente anaeróbios, compostos por filtros anaeróbios, podem remover, na prática, mais de 80% da matéria orgânica, o quê em grande parte, dependendo da capacidade do corpo receptor ou do uso dado ao efluente, resolveria os problemas causados pelos esgotos; além de que, quando esses sistemas anaeróbios são antecidos de decanto-digestor ou reator de manta de lodo, podem propiciar efluentes com concentrações médias de DBO (demanda bioquímica de oxigênio) abaixo de 60 mg/L e de sólidos suspensos abaixo de 20 mg/L, propriedades estas, que facilitam a desinfecção, com ótimo aspecto visual e sem problemas de maus odores (CHERNICHARO *et al.*, 2001).

O efluente de um filtro anaeróbio é bastante claro, tem relativamente baixa concentração de matéria orgânica e sólidos suspensos, inclusive, mantém os nutrientes, como fósforo e nitrogênio, além de outros macro e micronutrientes, sendo por isso, muito bom para irrigação com fins de produção vegetal, desde que sejam resguardados os cuidados com a presença de organismos patogênicos (ANDRADE NETO *et al.*, 1999a).

A Organização Mundial de Saúde reconhece dois tipos de organismos indicadores da qualidade microbiológica de efluentes de estações de tratamento de esgoto para uso agrícola: coliformes fecais (UFC/100mL) e ovos de helmintos (nº de ovos/L) (WHO, 1989). A concentração desses organismos indicadores abaixo de um certo limite indica que o esgoto tratado tem qualidade satisfatória para o uso pretendido.

Quanto à segurança sanitária, pouco se tem estudado a respeito da remoção de patógenos em reatores anaeróbios, mas sabe-se que não é satisfatória. Contudo, este fato não inviabiliza o uso de reatores anaeróbios, até por que os reatores aeróbios compactos, à custa de mecanização e energia elétrica, geralmente também não são eficientes na remoção de patógenos (tratamento terciário).

Ademais, as pesquisas mais recentes têm indicado que os filtros anaeróbios são eficientes na remoção de ovos de helmintos, e que as baixas concentrações de

sólidos suspensos facilitam a desinfecção. Doses de cloro na ordem de 10 mg/L, aplicadas em efluentes de filtros anaeróbios com tempo de contato superior a 25 minutos, podem propiciar alta eficiência na remoção de coliformes fecais (termotolerantes) e de *E. coli* (ANDRADE NETO, 2006).

O objetivo deste trabalho foi avaliar a eficiência de filtros anaeróbios na remoção de ovos de helmintos e coliformes fecais, tendo como objetivos específicos:

- Comparar os mecanismos de remoção de ovos de helmintos e de coliformes fecais nos filtros anaeróbios;
- Verificar se os efluentes tratados atendem às exigências para reuso em irrigação.

Tal avaliação poderá assegurar aos filtros anaeróbios uma posição de destaque, não só pela remoção de matéria orgânica e sólidos suspensos, fatos que já foram constatados em outros estudos, mas sim, pela remoção de patógenos, o qual significará um passo importante na busca da preservação do meio ambiente e na proteção da saúde pública.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 QUADRO ATUAL DO SANEAMENTO NO BRASIL E O USO DE REATORES ANAERÓBIOS

Nos últimos vinte anos, é evidente a crescente conscientização sobre a importância do saneamento básico para a saúde e a qualidade de vida da população. Ainda assim, com base nas informações obtidas na Pesquisa Nacional de Saneamento Básico, (IBGE, 2000), pode-se afirmar que o setor de saneamento não tem recebido a atenção merecida. Entre os serviços de saneamento básico, o esgotamento sanitário é o que tem menor presença nos municípios brasileiros. Apenas 52,2% dos municípios brasileiros são atendidos por redes coletoras de esgoto.

Os resultados da Pesquisa Nacional de Saneamento Básico demonstram haver desigualdade na cobertura com redes coletoras de esgoto em função do tamanho da população dos municípios brasileiros. Em geral, quanto maior a população do município maior a proporção de domicílios com serviço de esgoto. No Brasil, os municípios com mais de 300 000 habitantes têm quase três vezes mais domicílios ligados à rede geral de esgoto do que os domicílios em municípios com população de até 20 000 habitantes (IBGE, 2000).

Também é visível a disparidade dos serviços prestados em relação às diferentes áreas do País, sendo o Norte a região com maior proporção de municípios sem coleta de esgoto (92,9%), seguido do Centro-Oeste (82,1%), do Sul (61,1%), do Nordeste (57,1%) e do Sudeste (7,1%). Dos 52,2 % dos municípios que coletam o esgoto sanitário, somente 20,2% realizam algum tipo de tratamento.

O destino final do esgoto sanitário contribui ainda mais para um quadro precário do serviço. Nos municípios onde não é realizado o tratamento do esgoto coletado, o mesmo é despejado *in natura* nos corpos de água ou no solo, comprometendo a qualidade da água utilizada para o abastecimento, irrigação e recreação (IBGE, 2000).

Diante do déficit sanitário existente no Brasil e do perfil sócio-econômico das comunidades, constata-se a necessidade de sistemas simplificados de tratamento dos esgotos.

Esses sistemas devem ser eficientes e adaptáveis às nossas condições ambientais e econômicas, conjugar baixos custos de implantação e manutenção, simplicidade operacional, índices mínimos de mecanização e sustentabilidade do

sistema como um todo, além de serem socialmente aceitáveis e garantirem proteção adequada à saúde pública.

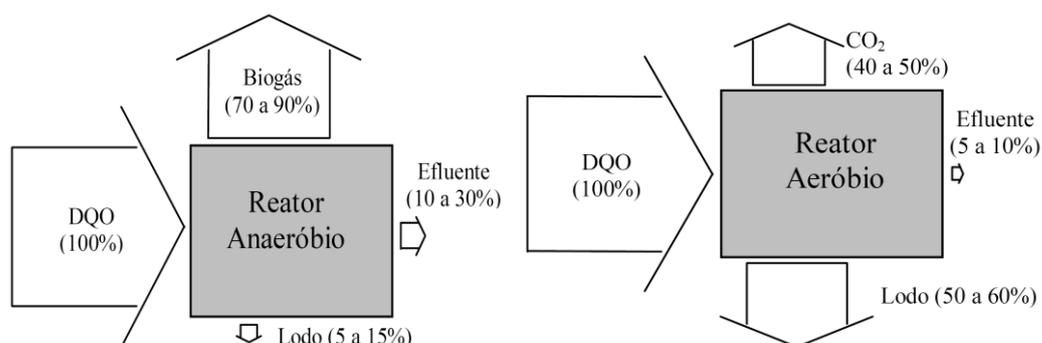
Alguns dos sistemas simplificados de tratamento de esgotos atualmente aplicado no Brasil são os que utilizam o processo anaeróbio.

Os processos anaeróbios são fundamentados na estabilização da matéria orgânica através de diferentes tipos de microorganismos, em ambientes sem oxigênio livre. A digestão anaeróbia promove a transformação dos compostos orgânicos complexos (carboidratos, proteínas e lipídios) em moléculas mais simples como metano e gás carbônico.

A produção de lodo nos processos anaeróbios é muito baixa, já que no metabolismo anaeróbio predomina o catabolismo, verificando-se que a maior parte do material orgânico biodegradável presente no despejo é convertido em biogás (cerca de 70 a 90%), formado principalmente por metano (CH_4) e gás carbônico (CO_2), que são removidos da fase líquida e deixam o reator na forma gasosa. Apenas uma pequena parcela do material orgânico é convertida em biomassa microbiana (cerca de 5 a 15%), vindo a constituir o lodo excedente do sistema. Além da menor quantidade de lodo produzida, em comparação aos sistemas aeróbios, o lodo apresenta-se mais concentrado e com melhores características de desidratação (Figura 1).

Já nos processos aeróbios predomina o anabolismo, verificando-se uma enorme incorporação de matéria orgânica como biomassa microbiana (cerca de 50 a 60%), que vem a se constituir o lodo excedente do sistema. Ocorre somente cerca de 40 a 50% de degradação biológica, com conseqüente conversão em CO_2 . O material orgânico não convertido em CO_2 ou em biomassa deixa o reator como material não degradado (5 a 10%) (CHERNICHARO *et al.*, 2001).

FIGURA 1: Conversão biológica nos sistemas anaeróbio e aeróbio



Fonte: CHERNICHARO *et al.*, 2001

No Brasil a utilização de reatores anaeróbios para tratamento de águas residuárias vem crescendo, e um dos principais motivos para que isto ocorra é o clima quente predominante no país, altamente favorável às reações de biodegradação que ocorrem no interior dos reatores, que resultam em degradação da matéria orgânica mais eficiente (PIMENTA *et al.*, 2005).

Aliado a essas vantagens, os reatores anaeróbios ocupam pequena área, não consomem energia e são bastante simples nos aspectos construtivos, operacionais e de manutenção, como mostrado na Tabela 1.

TABELA 1: Vantagens e desvantagens dos processos anaeróbios

Vantagens	Desvantagens
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Baixa produção de sólidos (cerca de 5 a 10 vezes inferior à dos processos aeróbios). ▪ Baixo consumo de energia, usualmente associado a uma elevatória de chegada. Isso faz com que os sistemas tenham custos operacionais muito baixos. ▪ Baixa demanda de área; ▪ Baixos custos de implantação, da ordem de R\$ 20 a 40 <i>per capita</i>; ▪ Produção de metano, um gás combustível de elevado teor calorífico; ▪ Possibilidade de preservação da biomassa, sem alimentação do reator, por vários meses; ▪ Tolerância a elevadas cargas orgânicas; ▪ Aplicabilidade em pequena e grande escala; ▪ Baixo consumo de nutrientes. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ As bactérias anaeróbias são susceptíveis à inibição por diversos compostos; ▪ A partida do processo pode ser lenta, na ausência de lodo de semente adaptado; ▪ Pós-tratamento é usualmente necessário; ▪ A bioquímica e a microbiologia da digestão anaeróbia precisam ser mais estudadas; ▪ Possibilidade de geração de maus odores, porém controláveis; ▪ Possibilidade de geração de efluente com aspecto desagradável; ▪ Remoção de nitrogênio, fósforo e microorganismos insatisfatória.

Fonte: Adaptado de CHERNICHARO (1997)

Apesar das inúmeras vantagens, os reatores anaeróbios têm eficiência limitada e seus efluentes dificilmente atendem aos padrões de qualidade estabelecidos pela legislação ambiental brasileira, sendo necessário tratamento posterior.

Em alguns casos, quando o efluente da estação de tratamento de esgotos (ETE) é disposto no solo ou quando o corpo receptor apresenta boa capacidade de diluição, alguns órgãos estaduais têm aceitado DBO_5 com até 60 mg/L, o que permite a implantação de ETEs mais simples e mais econômicas (CAMPOS *et al.*, 1999).

Uma ETE totalmente anaeróbia, geralmente só produz continuamente efluente com DBO menor que 60 mg/L se o último reator for um filtro biológico (ANDRADE NETO, 2006).

Os decanto-digestores e os reatores de manta de lodo geralmente não ultrapassam, respectivamente, 70% e 75% de eficiência na remoção de DBO_5 e SST, mas tanto um decanto-digestor, como um reator de manta de lodo, seguido de um filtro anaeróbio, pode propiciar eficiência maior que 80% na remoção de DBO_5 e SST, o que em alguns casos tem sido aceito por órgãos ambientais, como solução para o tratamento dos esgotos (ANDRADE NETO, 2006).

Os reatores anaeróbios mais utilizados no país são: lagoas anaeróbias, tanques sépticos ou decanto-digestores, filtros anaeróbios, reatores anaeróbios de manta de lodo (UASB), e reatores anaeróbios de leito expandido ou fluidificado (CAMPOS *et al.*, 1999).

Neste trabalho serão estudados apenas os filtros anaeróbios.

2.2 FILTROS ANAERÓBIOS:

2.2.1 Considerações Gerais:

Os filtros anaeróbios consistem basicamente em tanques contendo leito de pedras ou outro material inerte que serve de suporte para aderência e desenvolvimento de microrganismos num biofilme de espessura variável.

A aplicação dessa tecnologia para remoção de cargas poluidoras teve início no passado recente. Basicamente, o interesse pela utilização deve-se, em princípio, à publicação de Young e MacCarty, em 1969, elaborada com dados de pesquisa realizada a partir de 1963 em um reator com despejo líquido sintético.

No Brasil, a partir de 1970, muitos estudos foram realizados visando à utilização do filtro anaeróbio, como sistema de tratamento de grande variedade de efluentes.

Quanto à aplicação do filtro anaeróbio para tratamento de esgoto sanitário, esse se tornou mais popular, no Brasil, a partir da promulgação da NBR 7229/82,

“Construção e Instalação de Fossas Sépticas e Disposição dos Efluentes Finais”, da ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas). Essa norma incorporou diretrizes básicas para projeto e construção de filtros anaeróbios utilizados como pós-tratamento de efluentes de tanques sépticos.

O modelo do filtro anaeróbio recomendado pela NBR 7229/82 apresentou vários problemas operacionais, principalmente devido à dificuldade de remoção do excesso de lodo acumulado na câmara inferior de entrada. Entretanto teve o mérito de difundir essa alternativa de tratamento e estimular vários estudos e discussões, as quais iniciaram a evolução tecnológica do processo.

Em 1997, a ABNT publicou a nova norma sobre pós-tratamento de efluentes de tanques sépticos, a NBR 13969/97 “Tanques Sépticos: Unidades de Tratamento Complementar e Disposição Final dos Efluentes Líquidos – Projeto, Construção e Operação”, apresentando modelos de filtros anaeróbios de fluxo ascendente mais detalhados e cuidadosos aspectos operacionais.

Vale lembrar que a aplicação de filtros anaeróbios não se limita apenas ao pós-tratamento de efluentes de pequenos tanques sépticos. São também utilizados para pós-tratamento de outras unidades anaeróbias porque, além de complementar o tratamento, sua capacidade de reter sólidos e de recuperar-se de sobrecargas qualitativas e quantitativas, contribuem muito para que o efluente seja mais uniforme e estável. Vários trabalhos de pesquisa e aplicações em escala real têm sido realizados com filtros anaeróbios de médio e grande porte. Mais recentemente, os filtros anaeróbios vêm sendo aplicados para pós-tratamento (polimento) de efluentes de grandes decanto-digestores e de reatores anaeróbios de manta de lodo, com vazões superiores a 60L/s (ANDRADE NETO, 2004).

2.2.2 Descrição da tecnologia:

2.2.2.1 Funcionamento:

Os filtros anaeróbios são reatores biológicos constituídos por um tanque contendo material de enchimento, geralmente pedras britadas ou outro material inerte, formando um leito fixo, através do qual se faz fluir o esgoto com auxílio de dispositivos de distribuição do afluente e drenagem do efluente. Na superfície de cada peça do material de enchimento ocorre a fixação e o desenvolvimento de microrganismos na forma de biofilme, em cujos interstícios proliferam microorganismos formando grânulos e flocos (ANDRADE NETO, 2004).

O esgoto ao passar pelos interstícios do meio suporte, entra em contato com o lodo ativo retido, rico em microorganismos que são responsáveis pela conversão dos compostos orgânicos solúveis em produtos intermediários e finais, especificamente metano e gás carbônico.

A sobrevivência e o crescimento dos microorganismos presentes no filtro dependerão de alguns fatores, como temperatura, disponibilidade de nutrientes, pH e presença de materiais tóxicos. Os microorganismos muitas vezes superam a instabilidade do ambiente em que vivem pela adesão a uma superfície, formando o biofilme, que nada mais é do que a agregação de microorganismos e seus produtos metabólicos aderidos a uma superfície (ANDRADE NETO, 2004).

No início da formação do biofilme, é importante a concentração de nutrientes. Com o passar do tempo, se a disponibilidade de nutrientes for suficiente para atender aos microorganismos em crescimento, o biofilme continua se desenvolvendo, ficando espesso, dificultando a difusão de gases e de líquidos. Assim, nas camadas mais internas ocorre insuficiência de nutrientes, acúmulo de resíduos, dificuldade de trocas gasosas, o que favorece o desprendimento e arraste de fragmentos do biofilme.

A agregação de microrganismos em biofilme, flocos ou grânulos propiciam-lhes melhores condições de sobrevivência, resistindo melhor às agressões ambientais (lavagem, cisalhamento, presença de substâncias tóxicas e de predadores) e também facilita a transferência de massa e trocas gasosas pela maior proximidade entre os microorganismos (ANDRADE NETO, 2004).

Já a formação de flocos ou grânulos parece restringir-se aos reatores de manta de lodo e, em menor escala aos filtros anaeróbios (CHERNICHARO, 1997).

O desenvolvimento de grânulos é importante, pois facilita a decantação do material floculado, gerando efluentes com menor quantidade de sólidos suspensos.

Os principais fenômenos que ocorrem no filtro são:

- Ação metabólica biodegradadora dos microrganismos presentes no biofilme e no lodo retido nos interstícios sobre a matéria dissolvida.
- Retenção de sólidos de pequenas dimensões e até partículas muito finas e coloidais, por contato com o material suporte recoberto de biofilme e por sedimentação forçada, propiciada pela perda de carga nos interstícios. Este fenômeno favorece o decaimento de ovos de helmintos, já que estes são removidos através de processos físicos como a filtração e sedimentação.

Os filtros são utilizados para tratamento de esgotos concentrados ou diluídos, sendo mais indicados para esgotos com contaminantes solúveis, pois quanto maior a quantidade de contaminantes particulados (sólidos suspensos) maior a possibilidade de entupimento. Podem ter fluxo ascendente, descendente ou horizontal (ANDRADE NETO, 1999b). Os dispositivos de entrada e saída dependem do sentido de fluxo do reator. No caso de filtro com fluxo ascendente, o esgoto é distribuído através de tubos perfurados na base, ou também pode ser feito abaixo de um fundo falso vazado (ou perfurado) que suporta o leito, e no topo são coletados através de canaletas ou tubos perfurados afogados. Já no fluxo descendente o caminho realizado pelo esgoto é o inverso, e os dispositivos de distribuição dos esgotos são os mesmos.

2.2.2.2 Meio suporte

Um dos grandes desafios é estudar alternativas para o meio suporte que atendam os requisitos para o bom funcionamento do reator e ao mesmo tempo, ampliar a possibilidade de utilizar materiais disponíveis de menor custo e com peso menor, para não comprometer a estrutura do reator. Diferentes tipos de meio suporte têm sido estudados, tais como: pedras britadas, elementos cerâmicos, elementos em madeira, bambu, blocos modulares de plástico, cilindros vazados de plástico, esferas perfuradas de plástico, etc (CARVALHO & POVINELLI, 1996).

Ultimamente têm-se desenvolvido peças de plástico especialmente para enchimento de reatores anaeróbios. O material plástico apresenta duas grandes vantagens: são mais leves, o que facilita seu transporte e arranjo nos filtros, e são altamente porosos (porosidade acima de 95%), o que permite maior acúmulo de sólidos biológicos.

No Brasil, o material de enchimento mais utilizado é a pedra britada nº 4, sendo um material muito pesado, com um índice de vazios muito baixo, em torno de 50%, o que acarreta a necessidade de maior volume do reator e menor capacidade de acumular lodo ativo por unidade de volume.

Na Universidade Federal do Rio Grande do Norte, foi estudado o desempenho de filtros anaeróbios com diferentes materiais de enchimento (brita comercial, brita N° 4, seixo rolado classificado, tijolos cerâmicos vazados e anéis de eletroduto corrugado de plástico) e sob várias condições operacionais, com as

seguintes conclusões: os vários tipos de pedras utilizados apresentaram eficiências muito próximas, resultando em efluentes com cerca de 20 mg/L de SS e 120 mg/L de DQO total; o filtro com enchimento de conduíte cortado apresentou um excelente desempenho, com médias no efluente de até 15 mg/L de SS e DQO de até 78 mg/L (ANDRADE NETO *et al.*, 2000a).

As principais finalidades do material de enchimento são: facilitar a agregação de microrganismos; dificultar a perda de sólidos biológicos, propiciar o acúmulo de grande quantidade de lodo ativo e ajudar a distribuir uniformemente o fluxo no reator (ANDRADE NETO, 2006).

2.2.2.3 Eficiência:

A eficiência do filtro anaeróbio depende de duas variáveis de projeto: tempo de retenção celular (TRC), e tempo de detenção hidráulica (TDH). O primeiro (TRC) ou tempo de retenção de sólidos biológicos no interior do filtro, dependerá do meio filtrante e é de difícil obtenção. O segundo, O TDH, pode ser obtido dividindo-se o volume do reator pela vazão, correspondendo ao tempo médio de permanência do líquido no interior do filtro, sendo assim de mais fácil determinação, mostrando-se como a mais importante variável de projeto. A eficiência também dependerá da atividade biológica que é fortemente influenciada pela temperatura.

Young (1991) reuniu dados operacionais de diversos filtros anaeróbios e correlacionou-os estatisticamente, objetivando a determinação dos diversos parâmetros que mais influenciavam o desempenho dos filtros. Os parâmetros analisados foram: tempo de detenção hidráulica, concentração do esgoto, área superficial do meio suporte, declividade das placas corrugadas do meio suporte, carga orgânica.

O resultado indicou que o tempo de detenção hidráulica foi o parâmetro que mais influenciou na eficiência de remoção de DQO dos filtros, independente do material de enchimento. Com relação aos módulos corrugados, o aumento da área superficial não foi estatisticamente significativo na eficiência do sistema, e sim o tamanho dos espaços vazios e a geometria do material corrugado demonstraram apresentar significância no desempenho dos filtros.

Com relação ao sentido do fluxo, Andrade Neto, *et al.* (2001) verificaram desempenhos estatisticamente iguais na remoção de matéria orgânica e sólidos

suspensos para os dois sentidos de fluxo nos filtros, ascendente e descendente afogado.

2.2.3 O sistema tanque séptico e filtros anaeróbios:

Desde a década de 80, os filtros anaeróbios têm sido bastante pesquisados no Brasil, principalmente associado ao tanque séptico, cuja notoriedade tem aumentado desde a publicação da norma da ABNT NBR-7229 de 1982.

A combinação tanque séptico + filtro anaeróbio, constitui o popular sistema TS-FAN.

Neste sistema, o tanque séptico tem por finalidade principal reter os sólidos inorgânicos e orgânicos por sedimentação. Estes últimos constituem parte da DBO total, a fração mais particulada, que com o tempo será digerida anaerobiamente no fundo do tanque. A fração mais solúvel da DBO total será tratada no filtro anaeróbio (pós-tratamento), que pela sua configuração é mais adequado para o tratamento de esgoto com remoção prévia de sólidos suspensos. A excessiva quantidade destes constituintes provocaria em curto tempo a colmatação do leito, o que poderia causar um mau desempenho e até o seu colapso.

As vantagens do TS-FAN são:

- Reator resistente às variações do afluente;
- Operação esporádica e não necessita de operador especializado;
- Partida imediata;
- Não perde a eficiência a longo prazo;

Os filtros anaeróbios podem ser utilizados como unidades principais do tratamento de esgotos, entretanto são mais indicados para pós-tratamento (polimento). Certamente estarão bem associados quando precedidos de um reator que retenha sólido decantáveis, como o decanto-digestor, promovendo depuração complementar.

Nos decanto-digestores à medida que o lodo sedimenta formando a camada de fundo, leva consigo uma parte das bactérias, vírus e alguns ovos de helmintos ou cistos de protozoários suficientemente densos que são absorvidos às partículas em suspensão e vem a constituir o lodo de fundo. Sua eficiência na remoção de

patógenos dependerá do tempo de detenção hidráulico, e da configuração do tanque, que deve evitar choques hidráulicos e zonas mortas.

Quando a camada de lodo aumenta, e a remoção do lodo não é realizada, o tempo de detenção hidráulica diminui, levando a maiores concentrações de patógenos no efluente final.

A remoção de vários tipos de patógenos no efluente de tanques sépticos encontram-se na tabela 2.

TABELA 2: Remoção de patógenos através de tanques sépticos

	Afluente	Efluente	Remoção (%)	Efluente Final
Vírus entérico	0 - 10 ⁹ /L	0 - 10 ⁸ /L	50	Contaminado
<i>E. coli</i>	10 ⁷ -10 ⁹ /L	10 ⁶ - 10 ⁸ /L	50-90	Contaminado
Ovos de Ancilostomídeos	0 - 10 ⁴ /L	0 - 10 ³ /L	50-90	Contaminado
Ovos de Ascaris	0 - 10 ⁴ /L	0 - 10 ³ /L	50-90	Contaminado
Ovos de Tênia	0 - 10 ³ /L	0 - 500/L	50-90	Contaminado

Fonte: FEACHEM *et al.*, (1980)

2.2.4 Vantagens e desvantagens:

Os filtros apresentam as vantagens de produzirem pouco lodo, resistirem bem às variações de vazão afluente, permitirem grande liberdade de projeto, possuírem operação e construção bastante simples. As desvantagens são decorrentes do risco de entupimento do leito (colmatação dos interstícios) e do custo adicional ocasionado pelo preenchimento do filtro com o material de enchimento.

Andrade Neto *et al.*, (1999a) definem o efluente do filtro anaeróbico: “De forma geral, o efluente do filtro anaeróbico é bastante clarificado e tem relativamente baixa concentração de matéria orgânica, inclusive dissolvida, porém é rico em sais minerais. Presta-se muito bem para a disposição no solo, não somente por infiltração, mas, também para irrigação (revitalização do solo com fins de produção vegetal). Evidentemente, pode receber tratamento complementar para remoção de nutrientes eutrofizantes por meio de variados processos, quando necessário ou conveniente. Contém ainda grande quantidade de microorganismos patogênicos e, quando necessário, deve sofrer desinfecção, para o que podem ser aplicados quaisquer dos processos usuais”.

Alguns estudos têm demonstrado que o efluente do Filtro Anaeróbio pode ser utilizado em substituição à solução nutritiva para cultivos hidropônicos (MELO *et al.*, 2002; ANDRADE NETO *et al.*, 2003).

Em se tratando de uso para irrigação, as vantagens são inegáveis, porém é imprescindível a qualificação quanto à presença de microorganismos patogênicos, evitando o comprometimento da saúde humana.

2.3 USO DE EFLUENTE DE FILTRO ANAERÓBIO PARA IRRIGAÇÃO:

Os sistemas de tratamento de esgotos domésticos foram originalmente concebidos para remover matéria orgânica e sólidos. Posteriormente surgiu a preocupação em reduzir outros constituintes, como nutrientes e organismos patogênicos (GASI, 1993).

A irrigação como meio de reciclagem de água e produção agrícola, constitui uma prática centenária, entretanto, o desenvolvimento da microbiologia sanitária e as preocupações crescentes com a saúde pública devido aos microorganismos patogênicos contidos nos esgotos, fizeram com que esta prática se tornasse desaconselhada já desde o século XIX (OLIVEIRA, 2006).

No entanto, não pode-se negar os atrativos de ordem ecológica, (reciclagem de nutrientes, controle de poluição) e econômica (economia de fertilizantes, fonte alternativa de água), ainda mais quando se tem conhecimento de que a agricultura irrigada requer grandes volumes de água, que representam maior demanda de água nas regiões secas, como é o caso do nordeste brasileiro.

As plantas são beneficiadas não somente pela água, mas, também, pelos materiais dissolvidos nos efluentes, tais como matéria orgânica, nitrogênio, fósforo, potássio e micronutrientes (MARQUES *et al.*, 2003).

Segundo Von Sperling (1996a) os esgotos domésticos contêm aproximadamente 99,9% de água e 0,1% de sólidos orgânicos e inorgânicos, suspensos e dissolvidos, bem como vários microorganismos patogênicos ou não. Dentre os microorganismos patogênicos, pode-se classificá-los em quatro categorias: vírus, bactérias, protozoários e ovos de helmintos.

A tipologia e a concentração com que são encontrados nos esgotos brutos ou tratados depende das condições socioeconômicas da população, das condições sanitárias, da região geográfica, da presença de animais vivendo na rede, da

natureza do esgoto (industrial ou doméstico) e do tipo de tratamento a que o esgoto foi submetido (FERREIRA *et al.*, 2002).

Os organismos mais freqüentemente encontrados nos esgotos e suas concentrações estão apresentados na tabela 3.

TABELA 3:Concentrações típicas de organismos patogênicos e *indicadores de contaminação fecal em esgotos domésticos

Patógenos	Densidade
* <i>Escherichia coli</i>	10^6 - 10^8 /100ml
<i>Salmonellae</i> spp.	10^2 - 10^3 /100ml
Cistos de <i>giárdia</i> sp.	10^2 - 10^4 /L
Oocistos de <i>Cryptosporidium</i> spp.	10 - 10^2 /L
Ovos de helmintos	10 - 10^3 /L
Vírus	10^2 - 10^5

Fonte: BASTOS *et al.*, (2003)

Quando se estuda o uso de efluentes de ETEs para a irrigação, deve-se avaliar suas características microbianas segundo as normas de saúde pública, tendo em consideração o tipo de cultura, o solo, o sistema de irrigação e a forma em que se consumirá o produto.

A composição microbiológica das águas residuárias impõe restrições às culturas e aos usuários. Isto significa que nem todos os efluentes podem ser usados para finalidades agrícolas.

Visando à proteção da saúde pública, a Organização Mundial de Saúde (OMS) estabeleceu, em 1989, parâmetros microbiológicos para reúso dependentes da atividade agrícola de destino. Foram adotados dois tipos de organismos indicadores (tabela .4) da qualidade microbiológica dos efluentes de estações de tratamento de esgoto: a concentração de coliformes fecais (expressa em unidade formadora de colônia - UFC/100 ml) e o número de ovos de helmintos (expresso em número de ovos/L) (WHO, 1989).

A escolha desses organismos como indicadores da qualidade higiênica de ETEs recaem principalmente no fato de apresentarem, em relação a outros patógenos, uma maior sobrevivência em sistemas de tratamento. A sua concentração abaixo de certo limite indica que o esgoto tratado tem uma qualidade satisfatória para o uso pretendido.

TABELA 4: Recomendações da Organização Mundial de Saúde relativas à qualidade microbiológica para uso agrícola (a) de efluentes de estações de tratamento de esgoto

Categoria	Condições de Aproveitamento	Grupo Exposto	Ovos de Helmintos/L^(b) (média aritmética)	Coliformes Fecais/100ml^(c) (média geométrica)
A	Culturas consumidas cruas, campos esportivos, jardins públicos ^(d)	Trabalhadores, consumidores e público em geral	≤1	≤1000 ^(e)
B	Cultura de cereais, industriais e forrageiras, prados e árvores	Trabalhadores	<1	Não se recomenda nenhuma norma
C	Categoria B, sem os trabalhadores e o público estarem expostos	Nenhum	Não se aplica	Não se aplica

Fonte: WHO, 1989.

a) Em casos específicos, de acordo com os fatores ambientais, epidemiológicos, locais e socioculturais, devem ser consideradas modificações das recomendações;

b) espécies dos nematóides: *Ascaris*, *Trichuris*, *Necator americanus* e *Ancilostoma duodenale*;

c) durante o período de irrigação;

d) recomendações mais rigorosas devem ser consideradas (≤ 200 CF/100 ml) para gramados públicos com os quais o público tem contato direto;

e) no caso de árvores frutíferas, a irrigação deve ser suspensa duas semanas antes da colheita, sem que sejam apanhadas do chão.

A OMS (1989) considera o padrão de ≤1 ovo de nematóides/L (*Ascaris*, *Trichuris*, *Necator* e *Ancylostoma*) como indicador da remoção dos demais organismos sedimentáveis (outros ovos de helmintos e cistos de protozoários). Neste caso, um organismo patogênico assume o papel de indicador da remoção dos demais patógenos cujo mecanismo de remoção seja similar – a sedimentação. Registra-se que isso não pode ser estendido à filtração, já que os ovos de helmintos apresentam dimensões bem maiores do que cistos de protozoários.

Com relação aos coliformes fecais, o padrão ≤1.000CF/100ml é indicativo da inativação de bactérias enteropatogênicas e vírus.

Para irrigação irrestrita (culturas processadas industrialmente, cereais, forragens, pastagens e árvores) não foi estabelecido padrão bacteriológico sob condições específicas de uso.

Os grupos de risco a serem protegidos com a observação dos critérios de qualidade propostos são: na irrigação irrestrita -agricultores, consumidores e o público em geral; e na irrigação restrita- agricultores.

Com base na recomendações da OMS, os riscos de transmissão de doenças associados à irrigação com esgotos sanitários foram assim categorizados, de acordo com os respectivos agentes etiológicos: (i) alto risco - helmintos; (ii) médio - bactérias e protozoários; (iii) baixo - vírus (BASTOS, 2002).

Alem das recomendações da OMS, é essencial o entendimento de: “para que um microorganismo patogênico presente em um efluente utilizado para a irrigação chegue e provocar doenças, o mesmo teria de resistir aos processos de tratamento de esgoto empregado e sobreviver no meio ambiente em número e tempo suficiente para infectar um indivíduo suscetível que venha ter contato com água residuária, com o solo ou com as culturas irrigadas” (BASTOS *et al.*, 2003).

Observados os cuidados necessários e vencidas as resistências de natureza cultural, o reuso apresenta-se como uma solução sanitariamente segura, economicamente viável e ambientalmente sustentável (NAVAL, 2006).

2.4 PATÓGENOS:

A Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos, (Environmental Protection Agency / USEPA, 1999) define patógeno como qualquer organismo ou substância capaz de causar doença. Os patógenos infectam os seres humanos através de várias formas, incluindo ingestão, inalação e contato com a pele.

A dose infectiva é conceituada como a quantidade de organismo patogênico a que o homem deve ser exposto para tornar-se infectado, e depende do tipo de organismo e do estado imunológico em que o homem se encontra.

O risco real de um indivíduo ser infectado depende da combinação de uma série de fatores, entre eles:

- Dose infectiva
- Suscetibilidade e grau de imunidade do hospedeiro.
- Grau de exposição humana aos focos de transmissão.
- Resistência dos organismos patogênicos ao tratamento de esgotos e às condições ambientais.

- Latência: tempo necessário, desde o momento da excreção, para que o microorganismo se torne infectivo. Dentre os helmintos, somente três têm ovos ou larvas que podem ser imediatamente infectantes após serem eliminados com as fezes: *Enterobius vermiculares*, *Hymenolepis nana* e, ocasionalmente, o *Strongyloides Stercoralis*, enquanto que os restantes precisam de períodos variáveis de passagem pelo solo (FEACHEM *et al.*, 1980).
- Capacidade de se multiplicar ao longo da via de transmissão. A multiplicação de patógenos, fora do hospedeiro é incomum, exceto em alimentos contaminados, como maionese, salada e ovos.

O processo de tratamento de esgoto tende a remover os patógenos do efluente tratado, concentrando-o no lodo formado. Por possuir grandes quantidades de microorganismos patogênicos, o lodo deve ser tratado e disposto adequadamente de forma a evitar a disseminação de doenças infecciosas.

O sucesso do tratamento de esgoto na remoção de microorganismos patogênicos depende do tempo de detenção hidráulica e também de criar condições adversas à sua sobrevivência. Cada grupo de microorganismo patogênico apresenta diferentes tolerâncias às diferentes condições, por isso alguns processos de remoção de patógenos podem ser eficientes na remoção de alguns patógenos, como bactérias e não possuir nenhum efeito sobre outros, como helmintos. A eficiência de um processo particular também pode variar dependendo das condições em que o sistema é operado. Por exemplo, o aumento de temperatura do esgoto pode ser crítico para inativar patógenos mais sensíveis, como as bactérias, aumentando o desempenho do sistema de remoção. A única solução, para a destruição de todos os patógenos em curto intervalo de tempo é com altas temperaturas (55-65°C) (FEACHEM *et al.*, 1980).

Para que uma espécie possa sobreviver e multiplicar-se necessita encontrar no meio ambiente todos os materiais e condições indispensáveis à sua fisiologia, que varia de espécie para espécie, de gênero a gênero.

Alguns dos fatores que influenciam a sobrevivência dos patógenos incluem: pH, temperatura, competição com outros organismos, luz solar e nutrientes orgânicos e inorgânicos. A tabela 5 apresenta de forma comparativa a sobrevivência de vírus, bactérias, protozoários e helmintos em diferentes matrizes ambientais.

TABELA 5: Período de sobrevivência dos microorganismos patogênicos nas águas residuárias, no solo e nas culturas

Patógenos	Tempo de sobrevivência, t (dias)		
	Águas Residuárias	Solos	Culturas
Vírus Enterovírus	50 < t < 120	20 < t < 100	15 < t < 60
Bactérias*			
Coliformes Fecais	30 < t < 60	20 < t < 70	15 < t < 30
<i>Salmonella spp.</i>	30 < t < 60	20 < t < 70	15 < t < 30
<i>Shigella spp.</i>	10 < t < 30	-	5 < t < 10
<i>Vibrio cholerae</i>	10 < t < 30	10 < t < 30	2 < t < 5
Protozoários			
<i>Entamoeba histolytica</i>	15 < t < 30	10 < t < 20	2 < t < 10
Helmintos			
<i>Ascaris lumbricoides</i>	Muitos meses	Muitos meses	30 < t < 60

Fonte: Adaptado de FEACHEM *et al.*, (1980)

A água residuária pode conter numerosas espécies de organismos patogênicos, e a análise de cada espécie não é praticável, para isso são utilizados os organismos indicadores.

Os microorganismos indicadores são organismos que respondem ao processo de tratamento de esgoto e às condições ambientais de maneira similar que os patogênicos. O monitoramento da densidade ou concentração desses organismos, provê informação sobre a sobrevivência do grupo dos patogênicos (USEPA, 1992).

Os coliformes fecais são bactérias entéricas não patogênicas, presentes no intestino de todos os animais homeotérmicos, usados como indicadores de contaminação fecal. Sua presença dá uma satisfatória indicação da contaminação por fezes humanas e de animais homeotérmicos, que conseqüentemente podem conter enteropatogênicos.

Apesar de sua grande utilidade como indicador de contaminação fecal, erroneamente assumem-se como indicadores de qualquer tipo de contaminação biológica. No tocante à avaliação da qualidade parasitológica do efluente, não há indicador biológico que represente a remoção dos parasitas por sedimentação ou

filtração e, neste caso, não há como evitar a pesquisa dos próprios protozoários e helmintos no efluente (FLORENCIO *et al.*, 2006) .

Em países em desenvolvimento, devido a maior quantidade e variedade de microorganismos presentes, os coliformes fecais são insuficientes como indicadores de contaminação fecal. Por isso, para o reúso se deve selecionar um indicador adicional. Este indicador são os ovos de helmintos que são muito mais resistentes e se comportam de forma diferente dos coliformes fecais durante os processos de desinfecção.

Ao se pensar em reúso, é fundamental a compreensão das características dos patógenos presentes, seu comportamento em condições ambientais diversas, e como as diferentes tecnologias de tratamento podem interferir no seu ciclo de vida de forma a evitar a transmissão das doenças por eles causadas.

Dentre os organismos patogênicos, estuda-se neste trabalho, os helmintos e bactérias.

2.5 HELMINTOS:

2.5.1 Aspectos Gerais:

Vários fatores afetam a ocorrência e a concentração de ovos de helmintos em amostras de esgoto bruto, incluindo a prevalência e intensidade de infecção da população que gera o esgoto (PASSAMANI *et al.*,2000).

No Brasil, as altas concentrações de ovos de helmintos no esgoto bruto são resultado direto das baixas condições socioeconômicas que se refletem na saúde da população, o que, de maneira geral, não ocorre em países desenvolvidos, tanto da Europa como da América do Norte (ZERBINI *et al.*, 2001).

As helmintíases são uma doença que afetam entre 25 a 33% da população dos países em desenvolvimento enquanto que nos desenvolvidos, menos de 1.5% (BRATTON & NESSE, 1993).

Uma fêmea de *Ascaris lumbricoides* pode eliminar cerca de 200 mil ovos por dia. Assim, a grande quantidade de ovos expelidos, a frequência do parasitismo na população, o grande tempo de sobrevivência no meio externo, associados a fatores ambientais e precárias condições de saneamento, torna a ascaridíase uma das helmintoses mais disseminadas no mundo (GODINHO, 2004). Constituem um problema dos países em desenvolvimento, e em particular das regiões onde a

pobreza e as condições precárias de saneamento básico dominam (BRATTON & NESSE, 1993).

2.5.2 Características

Os helmintos são organismos eucariotas, pluricelulares, pertencentes ao reino Animália. Existem indivíduos de vida livre, mas a grande maioria são parasitas que apresentam, em geral, de forma completa ou incompleta, sistema digestivo, circulatório, nervoso, excretor e reprodutivo, sendo, portanto, altamente especializados para viverem como parasitas humanos (GONÇALVES, 2003).

A maioria dos helmintos apresenta um complexo ciclo biológico, compreendendo, de forma geral, três estágios: ovo, larva (podendo haver mais de um estágio) e verme adulto.

O ciclo biológico ocorre da seguinte maneira: ingestão de ovos ou larvas, desenvolvimento dos estágios de larva no organismo do hospedeiro, reprodução no organismo do hospedeiro, produção de ovos, desenvolvimento dos estágios de larva ainda no organismo do hospedeiro e excreção de ovos e/ou larvas junto com as fezes.

Existe uma ampla variedade de helmintos, de diversos tamanhos, com indivíduos em estágios larvais de tamanho variando de 100 a 200 micrômetros, enquanto que os vermes adultos podem atingir dimensões que variam de centímetros a alguns metros (taenia) (COMPARINI, 2001).

Apesar dos ovos e larvas serem visíveis apenas ao microscópio, os vermes adultos podem ser vistos ao olho nu, sendo assim não são classificados como microorganismos.

Os helmintos são divididos em três grandes grupos (figura 2):

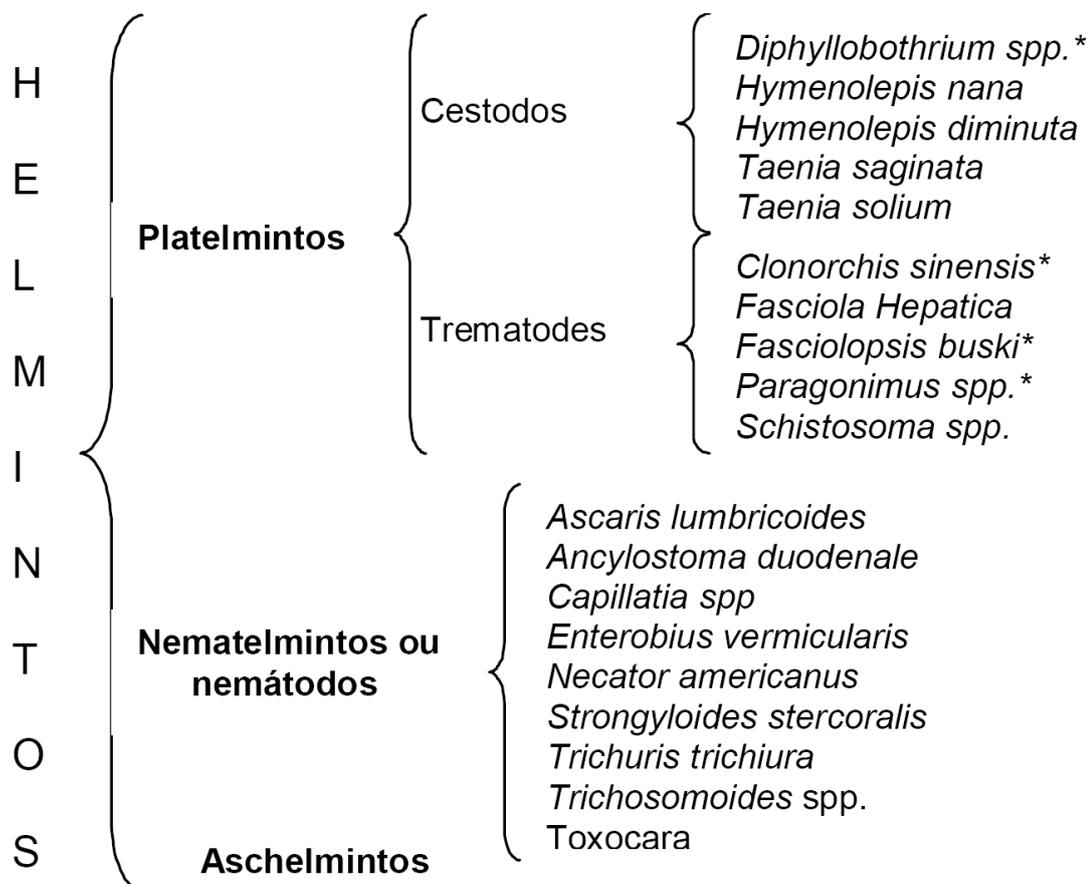
(a) Platelminhos -vermes planos

(b) Nematelmintos ou nemátodos- vermes cilíndricos

(c) Asquelmintos –vermes cilíndricos de corpo alongado

No campo da engenharia ambiental, somente os dois primeiros grupos são importantes. Uma característica comum dos helmintos é que se reproduzem por meio de ovos (JIMENEZ, 2005).

FIGURA 2: Classificação dos helmintos e gêneros comumente encontrados na água residuária



*Prevalência em regiões da Ásia
Fonte: JIMENEZ, 2005

2.5.3 Ovos de helmintos:

Os helmintos apresentam-se nos esgotos sob as formas de ovos (forma infectiva), e não na forma de larvas, as quais não sobrevivem na água residuária ou lodo, já que necessitam de um hospedeiro. Os ovos constituem a forma de disseminação dos helmintos no meio ambiente. Para se tornarem infectivos, dependem do desenvolvimento da larva, que ocorre sob condições de umidade e temperatura adequadas. Os ovos dos helmintos podem permanecer vivos na água, terra ou culturas por diversos meses à anos (tabela 5).

Apresentam uma cobertura muito resistente, composta de três camadas básicas, ainda pouco conhecidas. Estas camadas, secretadas pelo próprio ovo, são: uma membrana interna lipoidal, uma intermediária quitinosa, e outra externa de

natureza protéica. Em conjunto, essas camadas conferem uma grande resistência a condições ambientais adversas (JIMENEZ,2005).

Este fato torna os helmintos a forma mais resistente dentre os organismos patogênicos. Dentre os ovos, o gênero *Ascaris* sp. são os mais resistentes aos agentes químicos e físicos. Para se ter idéia, em relação aos agentes químicos, o *Ascaris* sp. não morre quando temporariamente imersos no formol a 12%, no fenol a 0,3%, na solução saturada de sublimado, na solução normal de hidróxido de sódio, no bicromato de potássio a 10% e frente a muitos outros desinfetantes (NEVES *et al.*, 2000). Necessitam de pequenas quantidades de oxigênio para se desenvolver, e podem se manter viáveis por longos períodos em condições anaeróbias.

A sobrevivência dos parasitos intestinais pode ser afetada por variáveis, como:

- Físicas: temperatura, intensidade de luz solar
- Químicas: amônia, sais, ácidos
- Biológicas: fungos, protozoários e invertebrados (competição).

Baixas temperaturas (8,9 °C a 15,6 °C) inibem o desenvolvimento dos embriões dentro dos ovos, assim como temperaturas superiores à 34°C podem ocasionar sua morte, quando os ovos são expostos por certo tempo (SOARES *et al.*,2004).

No solo, a sobrevivência dos ovos é favorecida pelo frio, umidade, sombreamento, e localização abaixo da superfície. As exposições à luz do sol e dissecação reduzem os tempos de sobrevivência consideravelmente.

Os ovos de helmintos encontrados na água residuária e lodos medem, usualmente, 20 a 80 µm e apresentam densidade relativa de 1.06 a 1.30.

Estas três propriedades, (resistência, tamanho e densidade dos ovos), determinam o comportamento dos ovos dos helmintos nos processos de tratamento de esgoto.

Por sobreviverem longo tempo no meio ambiente, a dose infectante ser baixa, e não desenvolverem imunidade, como ocorre para diversas bactérias e vírus, os helmintos representam um grande risco à saúde pública.

Quanto à viabilidade, distinguem-se dois tipos de ovos de helmintos: os férteis ou fecundados e os inférteis ou não fecundados.

A viabilidade é de primordial importância na sua epidemiologia, já que é esta característica a que determina a capacidade de um ovo de desenvolver-se até a etapa infectante, a única capaz de causar doença.

A etapa de desenvolvimento, desde o embrião até a larva infectiva, ocorre no solo ou nos cultivos, sendo que esta capacidade infectiva pode permanecer latente durante anos se as condições ambientais forem apropriadas (GALVÁN & VICTORICA, 1998).

Diferentes agentes químicos ou físicos podem interromper o desenvolvimento do embrião, ao causar danos na estrutura dos ovos. Se os danos são intensos e afetam a capacidade de regeneração, os ovos se tornam inviáveis. Ao contrário, se os danos são leves, é possível a regeneração das partes afetadas, como por exemplo, as membranas.

A OMS utiliza apenas o número de ovos de helmintos, como parâmetro indicador da possibilidade de reuso do efluente pra irrigação e não faz menção a análise de viabilidade (WHO, 1989).

Para se analisar a viabilidade, aplica-se a coloração biológica entre outros procedimentos. Este método fundamenta-se na troca de permeabilidade da camada externa dos ovos, provocada pelas modificações das estruturas químicas dos componentes que envolvem o ovo, quando este perde sua viabilidade. Dessa forma, os ovos que são viáveis não permitem a entrada do corante, permanecendo com a sua cor natural. Já os ovos não viáveis, permitem a entrada do corante e adquirem a cor do corante utilizado.

2.5.4 Mecanismos de remoção de ovos de helmintos

Os ovos de helmintos são muito resistentes aos processos de desinfecção físico e químico; por outro lado, devido ao tamanho, densidade e afinidade química e física para aderir em partículas, são removidos através de processos físicos, como a sedimentação e a filtração, acumulando-se no lodo.

Porém, a sedimentação é um mecanismo apenas de retenção dos ovos, não estando necessariamente relacionado com a morte do ovo nos reatores de tratamento de esgoto. Os ovos removidos através da sedimentação incorporam-se ao lodo de fundo, onde podem permanecer viáveis por anos.

Segundo Veerannan (1977), a taxa de fertilidade de ovos de *Ascaris lumbricoides* retidos em lodos de ETEs varia entre 50, 25 e 12% depois de

decorridos 1, 1,5 e 2 anos, respectivamente. Após três anos a fertilidade é praticamente nula.

Um fator de grande importância na remoção de ovos de helmintos nos sistemas de tratamento de esgoto é o tempo, quando ocorre a sedimentação dos mesmos. A taxa de sedimentação de ovos de diferentes espécies depende do tamanho, densidade e velocidade de sedimentação, como apresentado na tabela 6. A taxa de sedimentação dos ovos pode diminuir em função da presença de detergente, choques hidráulicos, curto-circuitos e às vezes liberação de gases.

TABELA 6: Tamanho, densidade e velocidade de sedimentação de algumas espécies de ovos de helmintos.

Espécies	Tamanho (μm)	Densidade	Velocidade de Sedimentação (m/h)
<i>Ascaris suum</i>	65 x 45	1,13	0,95
<i>Ascaris lumbricoides</i>	55 x 40	1,11	0,43
<i>Schistosoma mansoni</i>	50 x 150	1,18	5,23
<i>Trichuris trichiura</i>	22 x 50	1,15	0,48
<i>Taenia saginata</i>	40 x 35	1,30	0,83
Ancilostomídeos	60 x 40	1,055	0,26

Fonte: DUNN, 1991 apud ZERBINI *et al.*, (2000)

Pode-se observar que, com exceção dos ovos de *S. mansoni*, os demais ovos são ligeiramente menores que os ovos de *Ascaris suum* e suas densidades relativas são similares, exceto para os ovos de *Taenia saginata* que apresentam densidade mais alta (1,30).

A filtração se destaca como um dos mecanismos importantes na redução de microorganismos patogênicos no efluente, principalmente de helmintos e protozoários, cujas dimensões dos ovos, cistos e oocistos variam de 4 μm a 150 μm (tabela 6 e tabela 7). Os ovos de helmintos por possuírem maiores dimensões e densidades do que os cistos de protozoários são mais facilmente removidos através da filtração e sedimentação.

TABELA 7: Dimensões características dos cistos de *Giardia* spp. e dos oocistos de *Cryptosporidium* spp

Protozoários	Dimensões dos cistos e oocistos
<i>Giardia</i> spp.	8 µmX12 µm (cisto)
<i>Cryptosporidium</i> spp	4 µmX7 µm (oocisto)

Fonte: NEVES *et al.*, (1995)

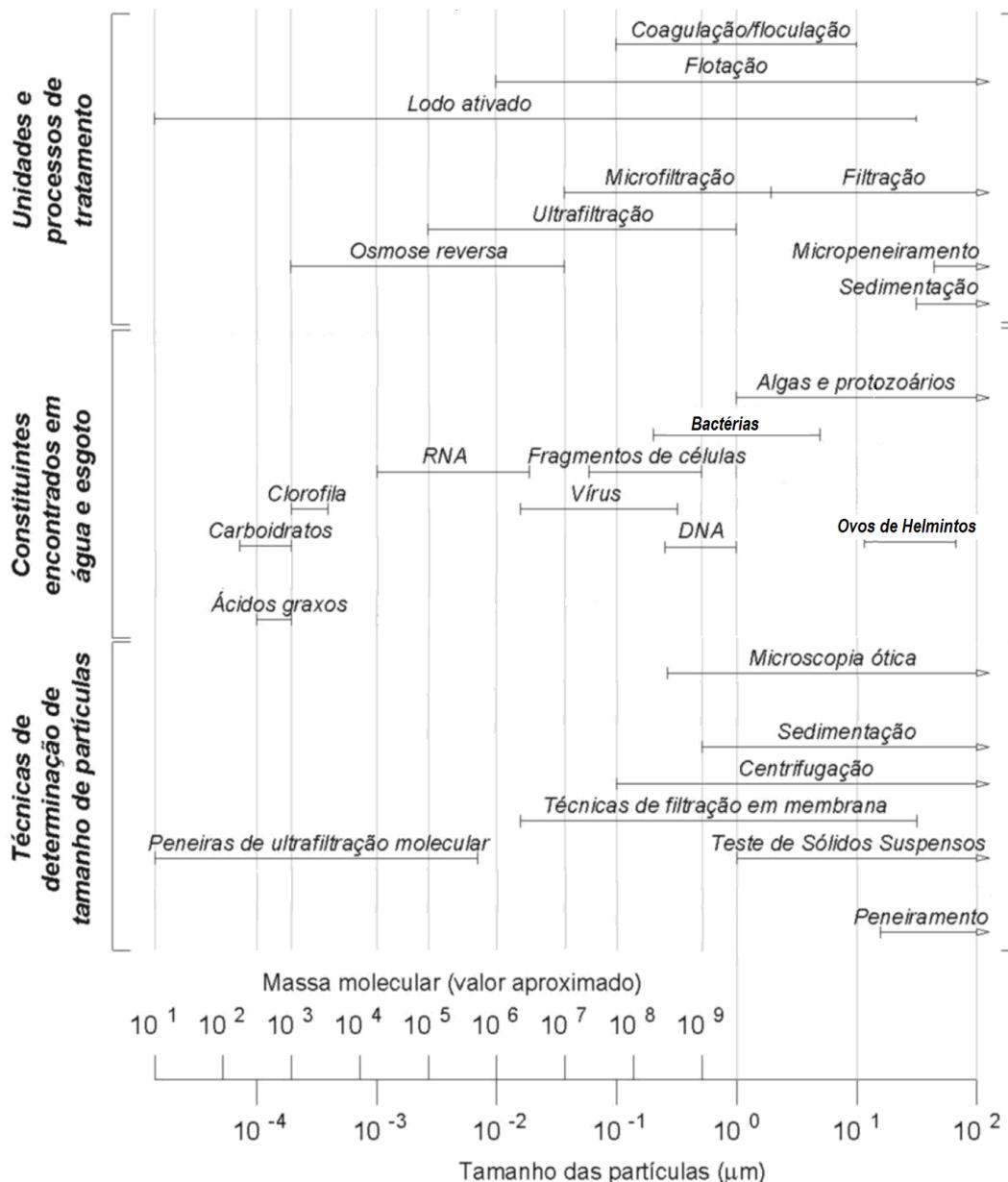
Para remover ovos de helmintos das águas residuárias se aproveita fundamentalmente do fato de que são partículas e fazem parte dos sólidos suspensos. Sendo assim, existe uma correlação entre a densidade de ovos de helmintos e dos sólidos suspensos, e de partículas com dimensões entre 20 a 80 µm em esgotos (JIMENEZ, 2005).

Essa associação torna-se útil para determinar indiretamente a concentração de ovos e poder monitorar de forma simples e econômica a eficiência de um processo de tratamento. Entretanto esta correlação não é dita universal e por isso deve ser calculada para cada tipo de esgoto bruto e para os efluentes de cada tipo de reator. Mesmo sendo uma avaliação indireta dos ovos de helmintos, a relação destes com os sólidos é útil pelo seu custo ser inferior quando comparado ao custo do procedimento parasitológico.

Segundo Prado *et al.*, (2004) essa correlação não deve ser extrapolada para outros patógenos, como bactérias e protozoários encontrados na água e no esgoto sanitário, já que estes não ultrapassam tamanhos de 0,5 µm e 10 µm, respectivamente, e os sólidos suspensos incluem, principalmente, partículas com dimensões maiores que 10 µm. Segundo os mesmos autores, a maioria das bactérias e dos protozoários não são removidos por filtração, já que são partículas de tamanhos reduzidos (0,5 e 10 µm, respectivamente). A filtração é eficaz para partículas com dimensões maiores que 10 µm, e portanto, os filtros anaeróbios não são úteis para remover bactérias por esse processo. Os filtros são na verdade “leitos” de filtração, onde não somente funciona o processo físico de filtração mas também adsorção, absorção e sedimentação.

Na figura 3, mostra-se que as bactérias possuem tamanho médio inferior aos ovos de helmintos, com dimensões entre 20 a 80 µm, e que, portanto, podem ser mais facilmente removidos através da filtração. A figura 3 apresenta faixas de tamanho de partículas de alguns constituintes do esgoto e as faixas de tamanho de partículas nas quais algumas das tecnologias de tratamento de esgoto são efetivas.

FIGURA 3: Tamanho de partículas dos constituintes do esgoto e faixa de atuação das unidades de tratamento por tamanho de partículas.



Fonte: Adaptado de LEVINE *et al.*, (1985) apud SANTOS(2006).

As estações de tratamento de esgotos concentram os ovos de helmintos no lodo (removendo-os do efluente tratado), e estes são inativados no lodo (JIMENEZ, 2005).

Os processos de tratamento amplamente difundidos no Brasil, concebidos usualmente para remoção de matéria orgânica (DBO e DQO), são pouco eficientes na remoção de organismos patogênicos, resultando em efluentes com níveis

significativos de patógenos. A tabela 8 apresenta alguns processos de tratamento de efluentes e sua eficiência na remoção de patógenos.

TABELA 8:Eficiência de remoção de patógenos em processos de tratamento de efluentes

Processo de tratamento	Eficiência típica de remoção (\log_{10})			
	Bactérias	Vírus	Protozoários	Helmintos
Precipitação Química	1-2	0-1	0-1	1-3
Precipitação Química + filtração terciária	1-2	1-2	1-3	1-3
Biofiltros	0-2	0-1	0-1	0-2
Reatores anaeróbios	0-1	0-1	0-1	0-1
Lagoas de estabilização	1-6	1-4	1-4	1-3
Desinfecção	2-6	1-4	0-3	0-1
Precipitação Química + filtração terciária + desinfecção	2-6	1-4	1-4	1-3

Fonte: MARA & CAIRNCROSS (1989) apud BASTOS *et al.*, (2003)

Segundo Von Sperling (1996a) as lagoas de estabilização são um dos processos de tratamento de esgoto mais eficazes na remoção de helmintos, propiciando a remoção total destes organismos pelo longo tempo de detenção hidráulico, pelo regime hidráulico e segundo a configuração do sistema. Jimenez (2005) mostra a remoção de até 6 log de bactérias, 5 log de vírus e 100% de protozoários e helmintos em lagoas de estabilização, sem usar uma etapa específica de desinfecção do efluente final.

Nas lagoas de estabilização os fatores mais importantes na remoção de patógenos são: a temperatura, a luz solar, o pH, a predação entre os microorganismos, a adsorção e a absorção, sendo a sedimentação para o caso de ovos de helmintos, o processo mais efetivo.

Com relação à remoção de ovos de helmintos em reatores anaeróbios, o mais estudados é o UASB - Upflow Anaerobic Sludge Blanketed – Reator Anaeróbio de Fluxo Ascendente e Manta de Lodo. Trabalhos do PROSAB, mostram eficiências médias na remoção de ovos entre de 63% a 88% (GONÇALVES, 2003).

Cota *et al.*, (2000), obtiveram em reator UASB remoção de 82% de ovos de helmintos, garantindo um resultado satisfatório. Já os dados de Zerbini *et al.*, (1999),

também para reator UASB, mostraram somente a remoção de 60% para ovos de helmintos.

Silva *et al.*, (2005) analisando a associação UASB + Filtro anaeróbio compartimentado verificaram um efluente sem ovos. Segundo a WHO (1989), efluentes tratados sem a presença de ovos de helmintos são isentos também de cistos de protozoários.

Pesquisando o desempenho de reatores piloto tipo UASB e Híbrido (UASB mais filtro anaeróbio) para o tratamento de esgoto doméstico, Pimenta *et al.*, (2005) concluíram que o reator Híbrido mostrou-se eficaz na remoção de sólidos suspensos voláteis, DBO e até 20% mais eficiente em relação ao reator UASB para todas as variáveis monitoradas. A principal vantagem do reator Híbrido foi a remoção de ovos de helmintos, obtendo-se menos de um ovo viável por litro, o que viabiliza o uso do efluente deste reator para irrigação irrestrita, segundo a OMS.

Passamani *et al.*, (1999) analisando a remoção de helmintos em reatores UASB e Biofiltro Aerado Submerso (BF), concluíram que as maiores concentrações foram detectadas no leito do UASB e no lodo de lavagem do BF. Esses resultados mostram que existe a tendência dos ovos sedimentarem no leito do reator UASB e retidos por adsorção no biofilme formado nas bilhas de poliestireno do reator BF, já que os mesmos foram encontrados em pequenas quantidades ou não detectados durante todo o período experimental nas amostras desses efluentes. É importante frisar que os ovos de helmintos estão apenas retidos, não foram destruídos, sendo necessário sofrer tratamento adequado antes de seu lançamento final.

Na remoção de ovos de helmintos, considera-se a eficiência do UASB como resultado de filtração e agregação dos grânulos biológicos na manta de lodo.

Para o reator anaeróbio de lodo fluidizado –RALF, segundo Paulino *et al.*, (2001), foi observado eficiência variando entre 60 a 93% para remoção de ovos de helmintos.

Avaliando a eficiência de uma ETE anaeróbia compacta na remoção de helmintos, Leopoldino *et al.*, (2005) concluíram que o sistema removeu satisfatoriamente ovos de helmintos, atingindo concentração média menor inferior a um ovo de helminto por litro no efluente final.

Outro estudo realizado no âmbito do Prosab, sobre remoção de ovos de helmintos em reatores anaeróbios, particularmente em reatores UASB, foi reportada como da ordem de 60 a 80%, insuficiente, portanto, para produzir efluentes que possam ser utilizados na irrigação irrestrita (CHERNICHARO *et al.*, 2001).

Muitos estudos já confirmaram que os filtros anaeróbios representam uma tecnologia eficiente na remoção de matéria orgânica e sólidos suspensos, no entanto a literatura é escassa em relação a eficiência dos filtros na remoção de patógenos. Em relação aos reatores UASB a eficiência mostrou-se satisfatória para remoção de ovos de helmintos quando eles são acrescidos de pós-tratamento, como filtros anaeróbios. Nas pesquisas de Pimenta *et al.*, 2005 e Silva *et al.*, 2005 o efluente dos filtros apresentou menos de um ovo viável por litro, satisfazendo as recomendações da OMS para irrigação irrestrita.

Pesquisas recentes têm mostrado que os filtros anaeróbios são eficientes na remoção de ovos de helmintos (ANDRADE NETO, 2006), revelando, que os filtros anaeróbios representam uma tecnologia eficiente para remover matéria orgânica e sólidos suspensos, como também organismos patogênicos. Tal fato significa um passo importante na busca da preservação do meio ambiente e na proteção da saúde pública.

2.6 BACTÉRIAS

2.6.1 Características

As bactérias são organismos do reino monera, procariontes (não apresentam membrana nuclear), unicelulares, que se reproduzem por divisão binária simples. Podem se apresentar isoladamente ou em colônias. A célula que compõe cada indivíduo têm formas variadas, em geral podem ser: esféricas (cocos), bastões (bacilos) e espiraladas.

Devido ao número de bactérias patogênicas presentes nas fezes dos indivíduos infectados, as águas residuárias contém uma elevada variedade e uma alta concentração destes organismos. Com exceção das bactérias filamentosas, que podem ter dimensões acima de 100 micrometros, e das cianobactérias, com 5 a 50 micrometros, as bactérias medem entre 0,3 a 1-2 micrometros (COMPARINI, 2001).

A célula bacteriana é composta basicamente por parede celular, estrutura rígida que dá forma à célula a qual pode conter flagelos e cílios utilizados para a movimentação; pela membrana citoplasmática (interna à parede celular) que envolve o citoplasma. A informação genética das bactérias está contida em uma única molécula de DNA.

Em linhas gerais, as bactérias enteropatogênicas têm no trato gastrointestinal do hospedeiro seu habitat, porém a maioria delas só é capaz de provocar doença

acima de certo número, geralmente elevado; abaixo desta dose infectante o hospedeiro pode ser um portador assintomático, o que não deixa de ter sua importância epidemiológica como reservatório do agente etiológico e da doença. Todas as bactérias enteropatogênicas são heterotróficas, obtendo energia pela oxidação de moléculas orgânicas (carboidratos, lipídios e proteínas). Algumas espécies exigem nutrientes mínimos, como a *Escherichia coli* que pode crescer em meio contendo apenas glicose e sais inorgânicos.

O crescimento e divisão de algumas bactérias, como a *E.coli*, em duas células filhas idênticas, exige apenas 30 minutos, sob condições ótimas de temperatura, pH e nutrientes; outras podem levar até 24 horas para se dividir. A *E.coli* pode sobreviver na água no máximo por 50 dias, em temperaturas de 20 a 30°C, por um período máximo de 20 dias.

Algumas bactérias têm a habilidade de se multiplicar mesmo fora do hospedeiro, desde que encontrem um ambiente rico em nutrientes e com pouca competição de outros organismos, como as do gênero *Salmonella* (USEPA, 1992).

Uma fração importante da população de bactérias encontradas no esgoto sanitário faz parte da microbiota do trato gastrointestinal dos seres humanos (ex.: *E. coli*, *Klebsiella* spp., *Enterobacter* spp.). Dentre elas, destaca-se o grupo das bactérias coliformes fecais, ou mais recentemente denominado coliformes termotolerantes, selecionados, por suas características, como organismos indicadores de contaminação por material fecal.

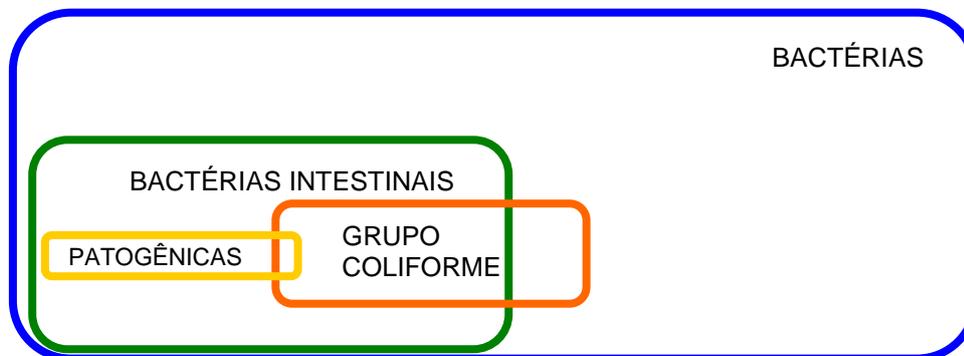
2.6.2 Coliformes fecais (termotolerantes)

São definidos como microorganismos do grupo coliformes fecais, aqueles bastonetes gram-negativos, capazes de fermentar lactose a 44-45°C, não esporulados, redutores de nitrato, representados pela *Escherichia coli* e, pelos gêneros *Klebsiella*, *Enterobacter* e *Citrobacter*, entre outros.

Além de presentes em fezes humanas e de animais homeotérmicos, podem ser encontradas em solos, plantas ou quaisquer efluentes contendo matéria orgânica. Von Sperling (1996b) complementa essa definição enfatizando, ainda, que esses microorganismos são comuns à biota de intestinos saudáveis e possuem resistência aproximadamente similar à maioria das bactérias patogênicas intestinais, particularidades essas que permitem associar sua presença na água à contaminação de origem fecal e, conseqüentemente, à sua potencialidade para

transmitir doenças de veiculação hídrica. A figura 4 mostra esquematicamente a posição do grupo coliforme com relação às bactérias, de maneira geral.

FIGURA 4: Situação esquemática do grupo coliforme em relação às demais bactérias intestinais.



Fonte: SPERLING, 1996a.

2.6.3 Mecanismos de remoção de bactérias:

As bactérias devido às características fisiológicas, distribuem-se entre as fases sólida e líquida do sistema de tratamento. Em função das grandes quantidades de bactérias a serem inativadas no esgoto sanitário, a eficiência de remoção necessária para que o efluente tratado atinja os padrões de qualidade microbiológica deve ser próximo de 99,999% (efluente com valor igual ou menor que 10^3 NMP/100 ml).

As características estruturais tornam as bactérias, um grupo sensível aos processos de desinfecção físicos e químicos, e, portanto, são de inativação relativamente fácil em estações de tratamento de água e esgoto com tempo prolongado de exposição à ação dos raios solares ou em unidades de desinfecção, utilizando o cloro, o dióxido de cloro, o ozônio, etc.

O termo *inativação* de bactérias tem sido utilizado para descrever, genericamente, a ação dos desinfetantes, já que nem sempre causam a morte das bactérias, mas apenas o comprometimento temporário de suas funções metabólicas.

Segundo Gonçalves (2003), os agentes desinfetantes podem atuar de diferentes formas:

- causando danos à parede celular,
- destruindo parcial ou totalmente a membrana citoplasmática,

- interferindo na síntese e na replicação do DNA,
- ocasionando danos aos ácidos nucleicos e às proteínas,
- provocando a lise ou a morte das células.

A sobrevivência dos coliformes fecais é afetada por diferentes fatores, como: temperatura da água, DBO (Demanda Biológica de Oxigênio) e nutrientes, pH, competição e presença de predadores, oxigênio dissolvido, radiação solar e sedimentação.

- **Temperatura da água:** a elevação da temperatura da água pode ocasionar o decréscimo bacteriano por favorecer a multiplicação de predadores e estimular o crescimento das algas.
- **DBO (Demanda Biológica de Oxigênio) e Nutrientes:** as bactérias heterótrofas requerem formas orgânicas de carbono e nitrogênio, e portanto, uma escassez de substrato orgânico reduz o número de bactérias. Ambientes com DBO₅ menor que 20 mg/l provocam a morte das bactérias por inanição (OLIVEIRA, 1999).
- **Valor do pH:** valores de pH acima de 9, como abaixo de 5, aceleram o decréscimo bacteriano.
- **Predadores e Competição:** as bactérias das águas residuárias fazem parte da cadeia alimentar, sendo predadas por protozoários e microinvertebrados.
- **Oxigênio Dissolvido:** altas concentrações de oxigênio dissolvido (especialmente níveis de supersaturação) promovem o decaimento bacteriano.
- **Radiação Solar no Controle de Bactérias:** a radiação solar tem efeito direto e indireto sobre o decréscimo bacteriano. O efeito indireto é o crescimento das algas mais rápido, conforme a intensidade da luz. O aumento do número de algas é importante para a diminuição bacteriana, já que liberam toxinas que afetam a sobrevivência das bactérias. Já o efeito direto é a produção de formas tóxicas de oxigênio causadas pela luz. Tem-se demonstrado que as substâncias húmicas, comuns nas águas residuárias, absorvem luz solar, passam energia às moléculas de oxigênio e originam formas tóxicas “de oxigênio” (radicais livres peróxidos de hidrogênio e, provavelmente, superóxido e radicais hidroxilas). Essas formas de oxigênio danificam e destroem as bactérias.

O dano ocasionado aos coliformes fecais pela luz é um processo conhecido como fotoxidação, dependente do oxigênio. Este mecanismo atua sinergicamente com o pH elevado, devido às formas tóxicas que danificam a membrana interna dos coliformes fecais (JAVARA, 2005).

- **Sedimentação:** a remoção dos microorganismos patogênicos pode ocorrer por sedimentação, adsorção ou absorção às partículas sedimentáveis. A sedimentação de bactérias ocorre, provavelmente, apenas quando são absorvidas às grandes partículas em suspensão.

A remoção de coliformes fecais é, primariamente, função do tempo de detenção hidráulico. Sistemas que apresentam períodos de detenção muito grandes são eficientes na remoção de coliformes. Embora os diversos fatores citados contribuem para a remoção de coliformes fecais das águas residuárias, alguns desses fenômenos podem atuar simultaneamente e com diferentes graus de importância, criando uma condição insustentável para sua sobrevivência (OLIVEIRA, 1999).

Comparando os diferentes processos de tratamento na tabela 9, organizada por Von Sperling & Chernicharo (2002) apud Gonçalves (2003), observa-se que tratamento anaeróbio não remove de forma significativa coliformes fecais. Segundo os mesmos autores, os únicos processos de tratamento capazes de produzir efluentes tratados com densidades de coliformes fecais iguais ou inferiores a 10^3 NMP/100 ml são as lagoas de maturação, a infiltração no solo e aqueles que possuem uma etapa específica para desinfecção.

TABELA 9:Concentração de coliformes fecais (termotolerantes) e ovos de helmintos encontrados nos efluentes de reatores anaeróbios.

Sistema	Coliformes fecais (NMP/100 ml)	Ovos de helmintos
Tanque séptico + filtro anaeróbio	10^6	>1
Tanque séptico + infiltração	10^3-10^6	<1
UASB	10^6-10^7	>1
UASB+ lodos ativados	10^6	>1
UASB +biofiltro aerado submerso	10^6	>1
UASB+ filtro anaeróbio	10^6	>1
UASB+ filtro biológico de alta carga	10^6	>1
UASB+ lagoas de maturação	10^3-10^6	<1
UASB + escoamento superficial	$10^5- 10^6$	<1
Qualquer das tecnologias superiores + desinfecção	10^3-10^6	Variável

Fonte: Adaptado de Von Sperling & Chernicharo (2002) apud Gonçalves (2003)

Em relação aos indicadores microbiológicos, têm sido reportadas baixas eficiências de remoção de coliformes fecais nos reatores anaeróbios, usualmente da ordem de apenas uma unidade logarítmica (CHERNICHARO, 2001).

Oliveira e Von Sperling (2005), analisando 166 ETEs espalhadas no Brasil, encontraram para um sistema composto de fossa séptica seguida de filtros anaeróbios eficiência média (unidade log para a remoção de coliformes fecais) de 0,9; já os reatores UASB funcionando isoladamente mostraram eficiência de 0,6 log.

Para reatores UASB, Chernicharo *et al.*, (2001), obtiveram remoção de uma unidade logarítmica para coliformes fecais e *E.coli*. Zerbini *et al.*, (2000) obtiveram resultados semelhantes. Já Santos *et al.*,(2003) observaram um valor de 1,25 unidade logarítmica removida de coliformes fecais.

Passamani *et al.*, (1999), estudaram a associação de um reator UASB + Biofiltros e constataram que o sistema, com eficiência média de 98,9% para a remoção de coliformes fecais, ainda continha em média 10^6 NMP/100 ml de coliformes fecais, indicando a necessidade de desinfecção ou polimento em casos de reutilização deste efluente.

Pereira-Ramirez *et al.*, (2004) analisaram um sistema UASB+ Filtro anaeróbio, e constataram que o filtro mesmo, recebendo efluente com expressiva concentração

de patógenos removeu 80 e 96% dos coliformes fecais e 50% e 70% de *Salmonella Choleraesuis*. Mesmo assim, as concentrações residuais de coliformes fecais de $2,51 \cdot 10^7$ NMP/100ml e de $1,7 \cdot 10^4$ UFC/100 para *Salmonella Choleraesuis*, impedem o reuso para irrigação irrestrita.

Silva *et al.*, (2005) estudaram um reator UASB seguido de Filtro Anaeróbio Compartimentado (FAC) preenchido com material descartável (PET) e verificaram concentração média de coliformes termotolerantes no efluente do reator UASB de $2,72 \cdot 10^6$ UFC/100 ml. Após passar pelo FAC a concentração média era de $1,56 \cdot 10^4$ UFC/100 ml, o que representa uma remoção total de 99,48%. Ainda com essa eficiência, o efluente final não atendia às condições sanitárias estabelecidas pela WHO (1989) para a irrigação irrestrita.

A pesquisa conduzida por Soares *et al.*, (2001) na qual analisava a remoção de patógenos em reatores UASB, submetido TDH diferentes, mostrou remoção de ovos de helmintos entre 61,96 e 78,69 %, para o TDH de 5,0 e 7,5 horas, respectivamente. Com relação à remoção de coliformes fecais, o UASB, foi responsável pela remoção de uma unidade logarítmica em quase todos os tempo de detenção hidráulica estudados, exceto para o TDH de 7, 5, referente à fase 4.

Nesta fase, mesmo com uma concentração menor de *E.coli* para o esgoto bruto, a eficiência do UASB para remoção desse parâmetro mostrou-se inferior às outras fases monitoradas. Já para ovos de helmintos, nesta mesma fase, apesar do esgoto afluente ter também apresentado uma redução na concentração média de ovos, o UASB obteve sua maior eficiência, da ordem de mais de 70%, em comparação as outras fases estudadas. Este resultado permitiu constatar que mesmo a redução da concentração de coliformes fecais e ovos de helmintos no esgoto afluente e o aumento do TDH (fase 4), não significou uma maior eficiência para a remoção de coliformes fecais, apenas, para ovos de helmintos. Isso pode ser justificado pelo fato desses organismos possuírem características bem diferentes, que fazem com que possuam também mecanismos de remoção diferenciados.

Os estudos acima apresentados mostram que os organismos patogênicos, particularmente os avaliados através dos indicadores bacterianos de contaminação fecal, são pouco afetados pelo tratamento anaeróbio. Exceto para o estudo de Silva *et al.* (2005), todos os resultados observados não ultrapassaram remoção de 2 unidade log, e sim, sempre estiveram muito próximos de 1 unidade log removida.

Com relação aos filtros anaeróbios, os estudos realizados têm indicado baixa eficiência na remoção de coliformes fecais, na faixa de uma unidade logarítmica. No

entanto, uma simples desinfecção química em efluentes de filtros anaeróbios, da ordem de 10 mg/L com tempo de contato superior a 25 minutos pode propiciar alta eficiência na remoção de coliformes fecais (termotolerantes ou *E. coli*) (ANDRADE NETO, 2006).

3 MATERIAL E MÉTODOS:

Neste estudo foram pesquisados três diferentes sistemas de tratamento de esgoto contendo filtros anaeróbios. Cada sistema é descrito em seguida:

3.1 SISTEMAS PESQUISADOS:

3.1.1 Decanto-digestor e filtro anaeróbio (Sistema RN):

O sistema em estudo está localizado no Campus Central da Universidade Federal do Rio Grande do Norte - UFRN. O esgoto afluyente é proveniente das Residências Universitárias I e II, Restaurante do Campus, Pousou Universitário e do Departamento de Educação Física. É, portanto, essencialmente doméstico.

O sistema compõe-se de um tanque séptico prismático retangular, com duas câmaras em série, seguido de um pequeno filtro de pedras acoplado ao tanque séptico com comunicação direta, e quatro filtros anaeróbios descendentes afogados que ladeiam o tanque séptico. Atualmente estão em funcionamento apenas dois filtros anaeróbios, denominados F_{10} e F_{15} .

A Figura 5 e 6 mostram o Sistema RN, e as Figuras 7 e 8, respectivamente, cortes transversais esquemáticos do tanque séptico com o pequeno filtro acoplado e dos filtros anaeróbios afogados que ladeiam o tanque séptico.

FIGURA 5: O sistema RN - Tanque séptico modificado seguido de filtro anaeróbio

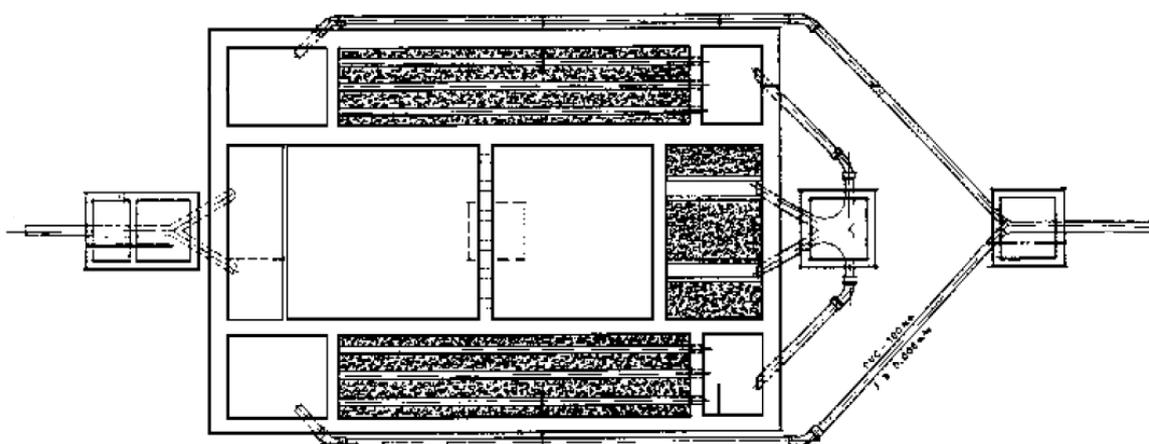
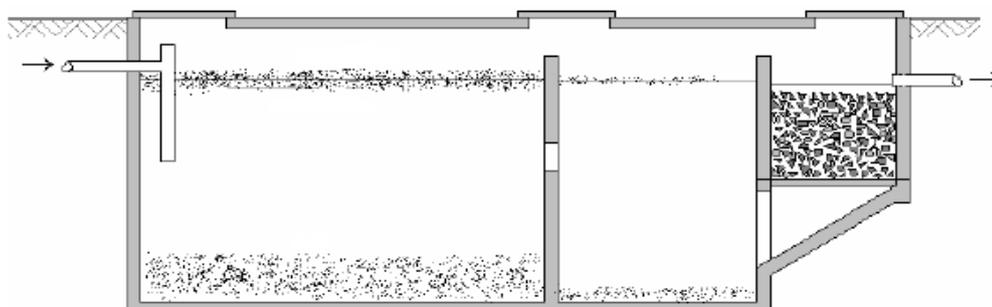


FIGURA 6: O sistema piloto da UFRN: tanque séptico seguido de filtros anaeróbios



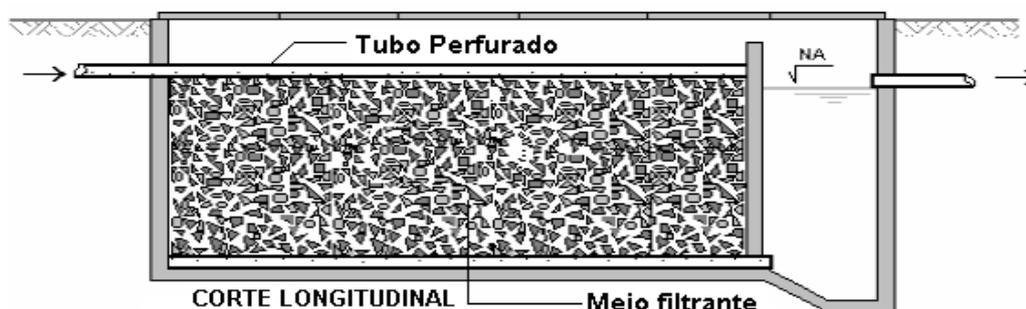
Fonte: ANDRADE NETO *et al.*, 2001

FIGURA 7: Tanque séptico com o filtro acoplado



Fonte: ANDRADE NETO *et al.*, 1999b

O decanto-digestor tem volume total de $8,82 \text{ m}^3$, inclui, acoplado ao último compartimento, um filtro de pedras (brita nº 4) de fluxo ascendente com $0,60 \text{ m}$ de espessura da camada suporte e volume total de $0,84 \text{ m}^3$ (Figura 7), que comunica-se com o tanque séptico através de um fundo falso inclinado, facilitando o retorno do lodo e impedindo a colmatação do leito. A importância deste filtro está na retenção de sólidos suspensos, chegando aos filtros anaeróbios um efluente com maior parcela dissolvida (ANDRADE NETO *et al.*, 2001).

FIGURA 8: Filtro anaeróbico descendente afogado

Fonte: ANDRADE NETO *et al.*, 1999a

Nos filtros anaeróbios o esgoto é distribuído e coletado através de tubos perfurados, colocados sobre e sob o meio filtrante (leito) (Figura 8).

O objetivo destes filtros é a remoção da matéria orgânica dissolvida e de sólidos de pequenas dimensões, para complementar o tratamento por ação biológica anaeróbia. Os filtros também favorecem o decaimento de ovos de helmintos.

Eles funcionam em paralelo, todos recebendo o mesmo afluente, proveniente do tanque séptico, onde a vazão é dividida em partes iguais destinadas a cada um dos filtros, recebendo cada filtro a vazão de $7,5\text{m}^3/\text{dia}$, e operando com TDH de 9,5 horas. Apresentam 4,00 m de comprimento por 0,70 m de largura e profundidade média de 1,20 m, foram construídos em alvenaria de tijolos revestidos. O filtro denominado F_{10} é preenchido com conduit cortado, e o F_{15} com peças de plástico próprias para enchimento de filtros.

Após o filtro há um compartimento (figura 8) com várias finalidades: permite a drenagem do excesso de lodo; dá acesso aos tubos perfurados do fundo do filtro; serve, eventualmente, para tratamento complementar; e mantém o filtro afogado. Este compartimento é importante também para facilitar o esgotamento dos filtros. O lodo em excesso é removido automaticamente, através dos tubos perfurados, quando se esgota o compartimento a jusante dos filtros, porque isso provoca velocidades de fluxo bastante elevadas nos interstícios do leito.

As amostras coletadas foram: o esgoto afluente, o efluente do tanque séptico acoplado ao filtro de pedras e o efluente de cada filtro anaeróbio.

As análises foram realizadas no período de abril até setembro de 2006, com coletas quinzenais. Após um mês as coletas tornaram-se semanais, para os parâmetros de coliformes fecais e ovos de helmintos.

3.1.2 ETE anaeróbia compacta:

A ETE anaeróbia compacta (Figura 9) fica localizada no Campus Central da Universidade Federal do Rio Grande do Norte -UFRN, em Natal, RN. O esgoto afluyente é o mesmo do Sistema RN, descrito anteriormente.

O sistema consiste de uma unidade compacta, fabricada em plástico reforçado com fibra de vidro (PRFV). É composta por um digestor anaeróbio, que aproveita funções dos decanto-digestores e dos reatores de manta de lodo em um mesmo reator com separador de fases, seguido por um filtro anaeróbio com enchimento de anéis de eletroduto corrugado de plástico e com fluxo ascendente.

O esgoto chega ao digestor anaeróbio pela parte superior, através de tubulação em PVC, e é direcionado para o fundo do mesmo através de um tê com prolongador, garantindo assim a submergência na camada de lodo ativo e forçando um fluxo ascendente. As partículas sólidas decantam, formando uma camada de lodo que é estabilizada pela ação dos organismos anaeróbios. O esgoto afluyente, ao seguir um fluxo ascendente, sofre a ação da manta de lodo, propiciando a remoção da matéria orgânica. Enquanto não há formação da manta de lodo, o reator funciona como decanto-digestor. Em seguida o esgoto é conduzido para polimento no filtro anaeróbio (BRITO *et al.*, 2005a).

O sistema funcionou com a vazão de $2,5 \text{ m}^3/\text{dia}$; operando com um tempo de detenção total de 19,6 horas, sendo 13 horas no reator anaeróbio e 6,6 horas no filtro anaeróbio.

Os pontos de coleta estavam localizados na entrada da ETE compacta (esgoto bruto) e na saída da ETE compacta. Inicialmente a ETE foi monitorada com coletas quinzenais, e após um mês as coletas passaram a ser semanais, para as análises de coliformes fecais e ovos de helmintos.

FIGURA 9: Vista da ETE anaeróbia compacta

3.1.3 Filtro Anaeróbio-Parelhas:

O sistema estudado fica localizado na cidade de Parelhas, Estado do Rio Grande do Norte. O tratamento de esgotos do município conta com uma unidade de tratamento preliminar constituída por grade de barras e caixa de areia, para remoção de sólidos grosseiros e areia. Segue para uma lagoa facultativa primária com volume de 6500 m³, e tempo de detenção hidráulico de aproximadamente 5 dias. Parte do efluente segue para dois filtros anaeróbios de fluxo descendente, que foram objeto deste estudo.

Os filtros apresentam dimensões de 4,10m x 1,00m x 1,225m (comprimento, largura, altura útil) perfazendo um volume útil de 10 m³, preenchidos com anéis de eletroduto corrugado (BRITO *et al.*, 2005b). Trabalharam com a vazão de 30m³/dia e operaram com tempo de detenção hidráulico da ordem de 8 horas na primeira fase de monitoramento. Já na segunda fase os filtros trabalharam com a vazão de 15 m³/dia e tempo de detenção hidráulico da ordem de 16 horas.

O sistema foi monitorado entre os meses de julho a dezembro de 2004, correspondendo a primeira fase; e entre março a setembro de 2005, correspondendo a segunda fase de monitoramento. As coletas eram realizadas quinzenalmente para as análises de coliformes fecais e de ovos de helmintos.

3.2 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS:

As análises laboratoriais realizadas foram: enumeração de ovos de helmintos e contagem de coliformes fecais.

3.2.1 Ovos de helmintos:

Para enumeração de ovos de helmintos foi utilizado a Técnica de Bailenger modificada (Ayres e Mara, 1996), que deu origem à metodologia atualmente recomendada pela Organização Mundial de Saúde para a enumeração de ovos de helmintos em águas residuárias brutas e tratadas. Este método foi escolhido em função de sua simplicidade e baixo custo e por propiciar a recuperação de uma ampla faixa de ovos de helmintos de gêneros diferentes, particularmente ovos de nematodas (*Ascaris* sp., *Trichuris* sp. e Ancilostomídeos) que são os indicadores parasitológicos especificados no guia da Organização Mundial de Saúde para reuso na agricultura.

Segundo o método, as amostras de esgotos a serem processadas passam pelas etapas de: sedimentação, centrifugação e flutuação.

▪ Procedimento para enumeração dos ovos:

- a) Coletar uma amostra de esgoto de volume conhecido - usualmente 1 litro para esgoto bruto ou parcialmente tratado e 10 litros para esgoto tratado;
- b) deixar sedimentar por 1 a 2 h, pois os ovos apresentam diferentes velocidades de sedimentação;
- c) remover 90 % do sobrenadante através de sifonamento e transferir o restante (10 %) para um ou mais tubos e centrifugar a 1000 g por 15 min, não se esquecendo de enxaguar com solução detergente o recipiente.
- e) Após a primeira centrifugação, descartar o sobrenadante; transferir todos os sedimentos para um único tubo e centrifugar novamente a 1000 g por 15 minutos;
- f) descartar o sobrenadante e ressuspender o sedimento com igual volume de solução tampão aceto-acética, pH = 4,5. Se o volume do concentrado for inferior a 2 mL, colocar solução tampão até resultar 4 mL para facilitar o descarte do sobrenadante.
- g) Adicionar um volume de éter correspondente a duas vezes o volume do sedimento e homogeneizar a amostra com equipamento tipo Vortex .

h) Centrifugar a 1000 g por 15 minutos. Após a centrifugação a amostra apresentará três fases distintas:

- i) no fundo do tubo se concentrará o material não gorduroso e fragmentos pesados, incluindo os ovos de helmintos, larvas e cistos de protozoários;
- ii) uma fase intermediária contendo a solução tampão, que deverá ser clara (transparente); e
- iii) uma fase superior contendo gordura e outros materiais, que juntamente com o éter (ou acetato de etila) formam uma camada espessa e de cor escura.

i) anotar o volume do sedimento que contém os ovos, e desprezar o restante do sobrenadante com um único movimento firme e rápido. Se for necessário para soltar o tampão presente na superfície, primeiro perfurar suavemente ao redor do tubo com uma agulha fina;

j) ressuspender o sedimento com 5 volumes de solução de sulfato de zinco ($ZnSO_4$ densidade 1,18). Anotar o volume final do produto (sedimento + $ZnSO_4$) e homogeneizar a amostra com equipamento tipo Vortex.

k) Remover uma alíquota da amostra final com uma pipeta Pasteur e transferir para a câmara McMaster para exame final; deixar a câmara de contagem em repouso por 5 minutos para permitir que os ovos flutuem e atinjam a superfície da grelha de contagem.

l) Examinar no microscópio em objetivas de 10x e de 40x . Para uma melhor precisão na enumeração dos ovos, deve-se fazer a leitura de mais de uma câmara, preferencialmente três, e calcular a média aritmética das contagens obtidas .

m) calcular o número de ovos por litro utilizando a equação:

▪ **Expressão dos resultados:**

O número final de ovos da amostra de esgotos deve ser calculado por meio da seguinte equação:

$$N = \frac{A \times X}{P \times V}$$

onde:

N = número de ovos (nº de ovos/litro)

A = número médio de ovos contados nas câmaras de McMaster (nº de ovos)

X = volume do produto final (sedimento + ZnSO₄)

P = volume da câmara de McMaster (para câmara de duas grelhas P = 0,30 mL;
para câmara de uma grelha P = 0,15 mL)

V = volume original da amostra

▪ **Identificação de ovos de helmintos:**

Os critérios para identificação dos ovos de helmintos são baseados, principalmente, no tamanho e nas características morfológicas específicas dos ovos, tais como:

- **Tamanho:** os ovos de helmintos variam em comprimento de pequenos (18 µm) a grandes (150 µm ou maiores) e possuem diâmetros de 12 a 14 µm (como é o caso de alguns ovos de trematodas) a 90 µm ou mais (caso dos maiores ovos de trematodas)
- **Forma:** os ovos de helmintos podem ser de forma esférica ou oval, embora alguns poucos possam ser assimétricos
- **Conteúdo interno:** os ovos recentemente excretados apresentam estágios de desenvolvimento que são característicos para cada espécie. Em sua maioria, os ovos de nematodas não apresentam-se embrionados quando liberados com as fezes.
- **Várias modificações da estrutura dos ovos também se constituem ferramentas importantes de identificação, a exemplo de:** protuberâncias, espinhos, rolhas polares e opérculos.

Diversos métodos para a enumeração de ovos de helmintos em águas residuárias tem sido descritos na bibliografia especializada, cada um com suas vantagens e desvantagens.

Passamani *et al.*, (2000), ao comparar dois métodos utilizados para enumeração de helmintos, concluiu que a Técnica do Corante Biológico permite não só quantificar e identificar os ovos de helmintos, mas também visualizar os ovos viáveis. Embora a técnica de Bailenger modificada por Ayres e Mara (1996) não apresente este atributo, de visualizar a viabilidade dos ovos, o método apresentou contagens de ovos de helmintos mais elevadas, ou seja, um percentual de

recuperação de ovos superior ao da técnica do Corante Biológico, além deste apresentar custo inferior.

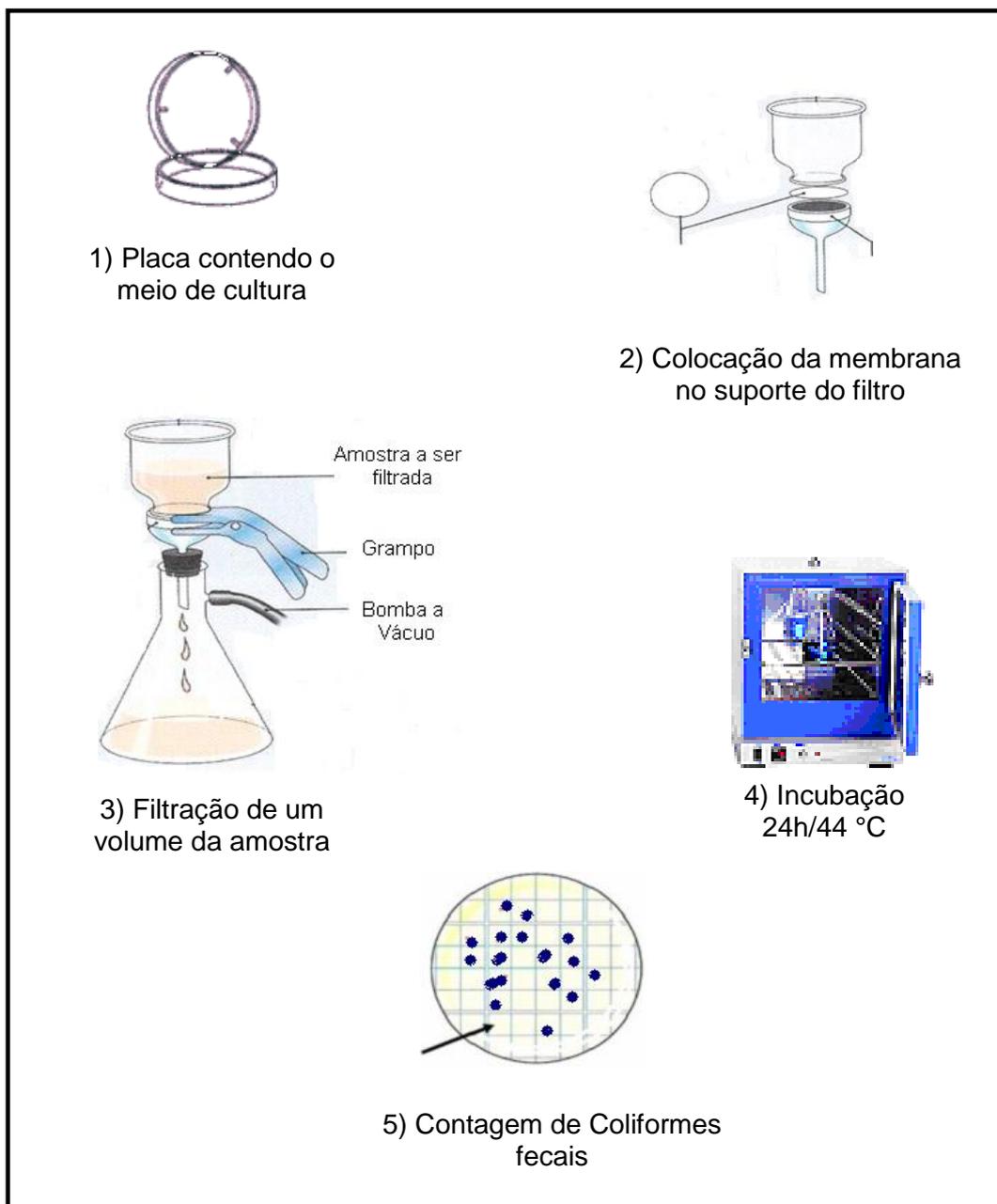
3.2.2 Coliformes Fecais:

Para coliformes fecais foi utilizado o método da membrana filtrante, uma técnica bastante útil para analisar grandes volumes de amostras e que proporciona resultados rápidos. O teste baseia-se na filtração de um volume conhecido de amostra (ou diluições da mesma) através de uma membrana estéril de poros muito pequenos ($0,22\mu\text{m}$ - $0,45\mu\text{m}$ de diâmetro), que retêm as bactérias em sua superfície.

Após a filtração, a membrana é transferida assepticamente à placa com meio de cultura m FC Agar e incubada à temperatura específica, durante 24 horas (Figura 9). Cada bactéria retida pelos poros da membrana se desenvolve localmente e forma uma pequena colônia. Assume-se que cada colônia foi produzida apenas por uma bactéria, portanto, a contagem de colônias indicam o número original de bactérias presente na amostra. Os coliformes fermentam a lactose, ocorrendo acidificação do meio, que é evidenciada pela coloração azul das colônias, decorrente da viragem do indicador (anilina azul). Uma solução de ácido rosólico é adicionada ao meio com a finalidade de suprimir o crescimento de outras bactérias. Sem o efeito inibitório desta substância, pode ocorrer um crescimento substancial de colônias atípicas.

Após o período de incubação, efetua-se a contagem das colônias típicas de coliformes fecais (com coloração azul) e seus resultados são expressos em UFC (Unidade Formadora de Colônia) /100 ml de água.

$$UFC/100ml = \frac{n^{\circ} \text{ de colônias } \times 100}{\text{Volume filtrado } \times (\text{diluição})}$$

FIGURA 10: Aspectos metodológicos da técnica de membrana de filtração

3.3 TRATAMENTO ESTATÍSTICO DOS DADOS:

A análise e interpretação dos resultados obtidos no presente estudo foram realizadas com o auxílio do Programa STATISTIC 6.0 para Windows.

Para a análise estatística básica (estatística descritiva) dos dados de coliformes fecais e ovos de helmintos, foram obtidos valores de tendência central e valores de dispersão.

Com o objetivo de verificar a normalidade dos dados foram realizados testes estatísticos específicos, tais como Kalmogorov-Smirnov e Shapiro-Wilk's, juntamente com as interpretações gráficas através de histogramas de frequência.

Foi, ainda, realizada a aplicação da ANOVA (Análise de Variância) para verificar diferenças entre as médias de coliformes fecais e ovos de helmintos para o esgoto bruto e o tratado.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO:

4.1 DECANTO-DIGESTOR E FILTRO ANAERÓBIO (SISTEMA RN):

- Caracterização do afluente e efluente do decanto digestor e filtro anaeróbio (SISTEMA RN).

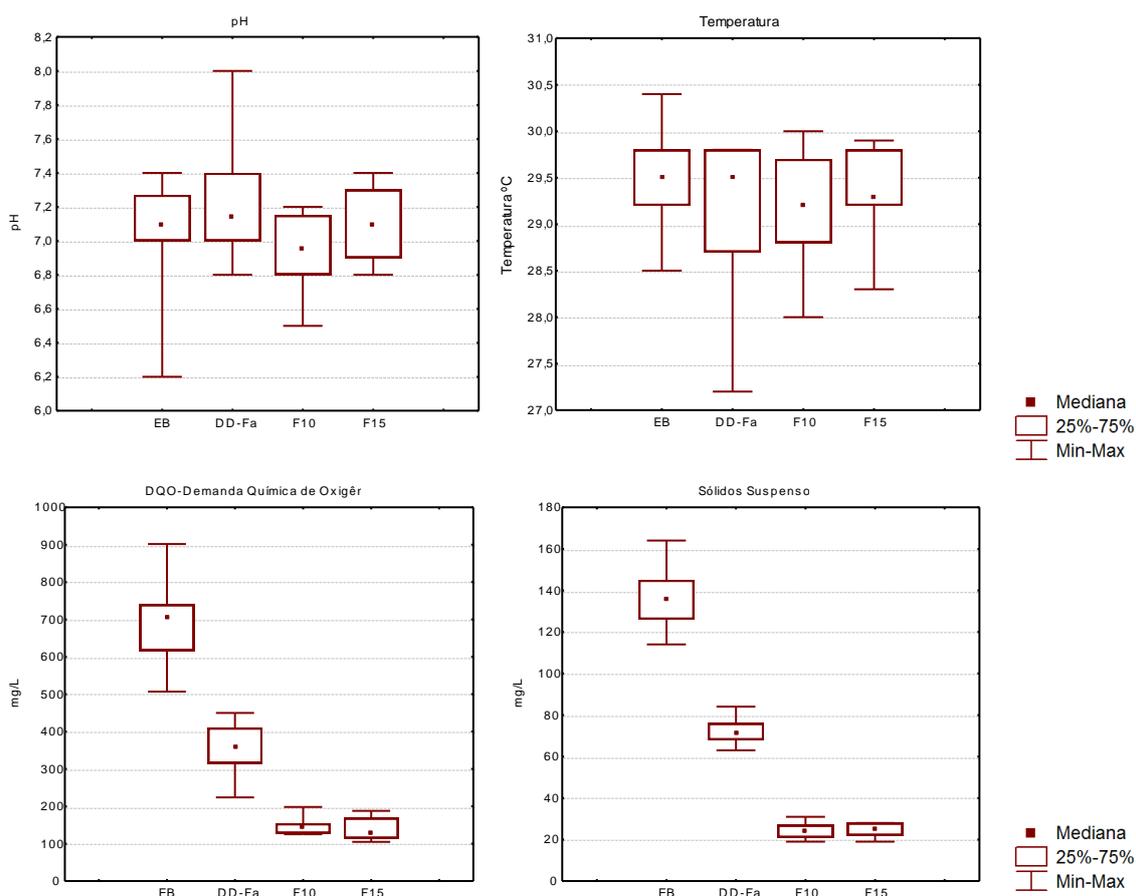
Visando caracterizar o afluente e efluente do decanto digestor e filtro anaeróbio (SISTEMA RN), para os parâmetros de: pH, temperatura, DQO e sólidos suspensos, foi construído a tabela 10, e em seguida são apresentados os respectivos gráficos Box-plot (figura 11).

TABELA 10: Caracterização dos pontos EB, DD-Fa, F10 e F15, para os parâmetros de pH, temperatura, DQO e sólidos suspensos.

Parâmetros	Amostras	Valor Mínimo	Valor Máximo	Média Aritmética	Desvio Padrão
pH	EB	6,2	7,4	7,03	0,37
	DD-Fa	6,8	8	7,24	0,36
	F ₁₀	6,5	7,2	6,94	0,24
	F ₁₅	6,8	7,4	7,10	0,21
Temperatura	EB	28,5	30,4	29,43	0,59
	DD-Fa	28,2	29,8	29,3	0,57
	F ₁₀	28	30	29,14	0,69
	F ₁₅	28,3	29,9	29,27	0,58
DQO	EB	507	902	677,33	116,74
	DD-Fa	224	450	354	69,12
	F ₁₀	126	198,5	148,64	26,29
	F ₁₅	105	188	137,97	31,18
Sólidos suspensos	EB	114	164	136,78	15,88
	DD-Fa	63	84	71,67	6,76
	F ₁₀	19	31	24,11	3,72
	F ₁₅	19	28	24,56	3,24

EB-Esgoto Bruto; DD-Fa-Decanto-digestor e filtro acoplado; F₁₀- Filtro 10 ;F₁₅-Filtro 15

FIGURA 11: Estatística descritiva para os dados de pH, temperatura, DQO e sólidos suspensos para os pontos EB, DD-Fa, F10 e F15 do SISTEMA RN.



- Coliformes fecais

Os resultados de coliformes fecais para o Sistema-RN estão apresentados na tabela 11, em seguida encontra-se o respectivo gráfico Box Plot (Figura 12).

TABELA 11: Resultados da estatística descritiva para coliformes fecais- Sistema RN.

Coliformes Fecais (UFC / 100ml)				
	EB	DD-Fa	F10	F15
Nº de dados	22	22	20	22
Mínimo	2,50E+06	7,00E+05	3,00E+05	2,00E+05
Máximo	2,48E+08	3,84E+07	1,67E+07	1,44E+07
Média Aritmética	7,12E+07	9,99E+06	5,22E+06	4,26E+06
Média Geométrica	4,51E+07	5,51E+06	3,42E+06	2,86E+06
Mediana	4,50E+07	6,00E+06	5,00E+06	2,90E+06
Desvio Padrão	6,95E+07	1,06E+07	4,16E+06	3,69E+06

Eficiência de Remoção (%)

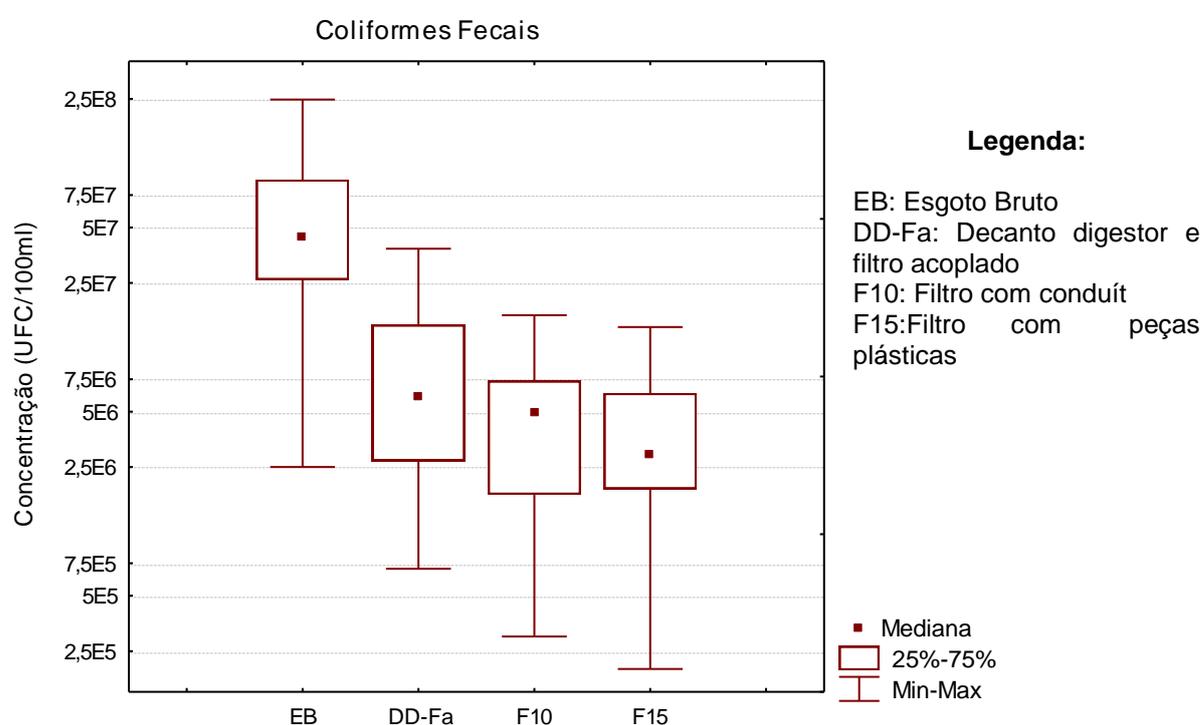
	EB	DD-Fa	F10	F15
Relativa		87.43	37.92	50.37
Acumulada (conjunto)			92.20	93.76

Unidade Log Removidas

	EB	DD-Fa	F10	F15
Relativa		0,91	0,22	0,28
Acumulada (conjunto)			1,16	1,19

EB-Esgoto Bruto; DD-Fa-Decanto-digestor e filtro acoplado; F₁₀- Filtro 10 ;F₁₅-Filtro 15

FIGURA 12: Estatística descritiva para os dados de Coliformes Fecais no Sistema RN - Gráfico Box Plot.



Analisando os dados apresentados na Tabela 11, juntamente com a figura 12, fica evidente que ocorreu uma grande variação na concentração de coliformes fecais

em todos os pontos monitorados. Através do gráfico Box fica mais fácil visualizar informações, como, dispersão e valores discrepantes.

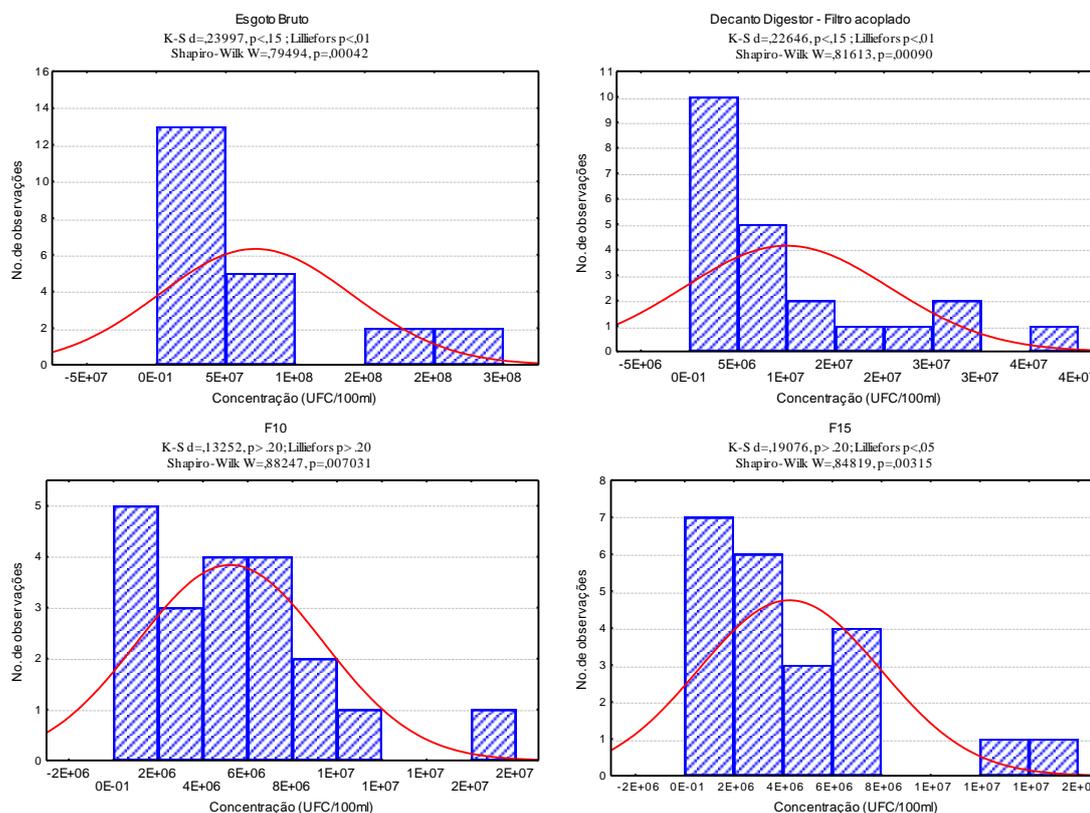
Vale salientar que, para todos os pontos, os valores dos desvios padrões foram superiores aos valores das médias aritméticas, o que confirma a dispersão dos dados.

Existe uma considerável diferença entre os valores das médias aritméticas em relação às médias geométricas e medianas, as quais apresentaram valores mais próximos. Este fato evidencia a falta de normalidade dos dados.

Para verificar a normalidade dos dados foram realizados os testes de Kalmogorov-Smirnov e Shapiro- Wilk's, interpretados através do gráfico de histograma de freqüência, apresentados na figura 13. A análise da figura permite concluir, ao nível de 5% de significância, a completa falta de ajuste dos dados com distribuição normal em todos os pontos de coleta.

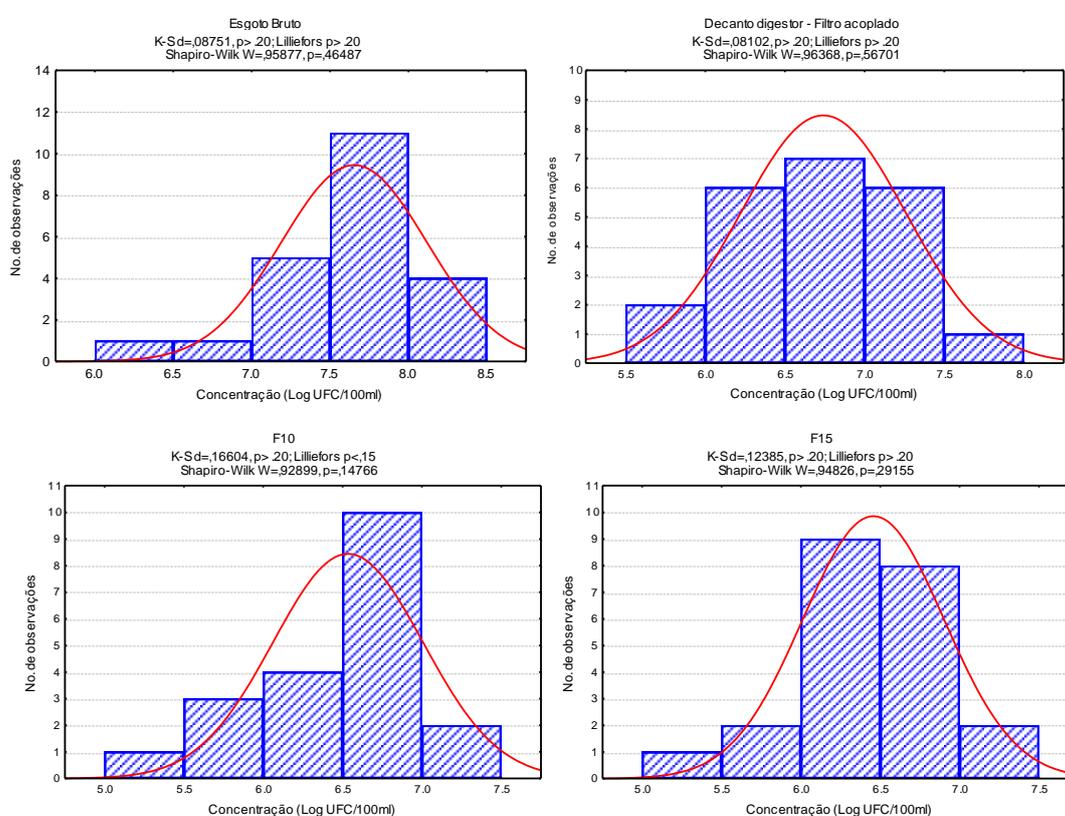
Os dados quando apresentam uma distribuição normal, descrevem uma curva semelhante a um sino, conhecida também como Sino de Gauss. A distribuição normal é simétrica em torno da média o que implica que a média, mediana e moda apresentam valores próximos.

FIGURA 13: Histogramas de freqüência de coliformes fecais para o Sistema-RN nos pontos monitorados.



Na tentativa de normalização dos dados, para posterior aplicação da Análise de Variância (ANOVA), foi efetuada a transformação logarítmica para todos os pontos de coleta e os testes de verificação de normalidade novamente aplicados. A figura 14 apresenta os histogramas de freqüência, para os mesmos pontos apresentados anteriormente.

FIGURA 14: Histogramas de freqüência de coliformes fecais após transformação logarítmica



Através da figura acima, verifica-se que os dados transformados (Log da concentração) tiveram um comportamento tendendo para a distribuição normal (mais ajustados às linhas de tendência), sendo obtidos para todos os pontos de coleta valores de $p > 0,05$.

Os resultados normalizados foram submetidos à ANOVA.

- ANOVA

A análise de variância, conhecida como ANOVA (analysis of Variance), é uma extensão do teste t de Student para a situação na qual se quer fazer comparações entre mais de dois grupos de dados. Através da análise de variância, pode-se determinar se todos os grupos de dados possuem valores médios que não diferem entre si de forma significativa (Heller *et al.*, 1996).

O teste baseia-se em duas hipóteses:

H_0 : as médias dos tratamentos são todas iguais.

H_a : as médias dos tratamentos não são todas iguais

A primeira hipótese, H_0 , também chamada de hipótese nula, admite que não existem diferenças significativas entre as médias. Já a segunda, H_a , também chamada de hipótese alternativa, considera que existe diferença significativa entre as médias e, portanto elas não são iguais.

A análise de variância gera resultados para um dado valor p, que corresponde ao nível de significância do objeto da análise. A hipótese nula é rejeitada quando o valor p calculado é menor do que o nível de significância desejado, estabelecido no presente caso como igual a 5%, e que corresponde ao nível de confiança de 95%.

Sendo assim, a ANOVA foi aplicada para verificar a existência de diferenças significativas entre as concentrações de coliformes fecais para cada ponto de monitorado. Valores de $p < 0,05$, revelam diferenças entre as médias consideradas significativas, e valores de $p < 0,001$, diferenças altamente significativas.

Na tabela 12 encontra-se a interpretação matemática para a análise de variância para os pontos monitorados.

TABELA 12: Análise de variância para coliformes fecais- Sistema RN

Grupos	EB	DD-Fa	F10	F15
EB		0.000119**	0.000116**	0.000119**
DD-Fa	0.000119**		0.185565	0.057810
F10	0.000116**	0.185565		0.588157
F15	0.000119**	0.057810	0.588157	

*Variações significativas ($p < 0,05$)

**Variações altamente significantes ($p < 0,001$)

Através do tratamento estatístico dos dados para o Sistema RN, pode-se concluir que:

Em relação à estatística descritiva, (tabela 11) a média para o esgoto afluente situou-se em uma faixa que, segundo Oliveira *et al.*,(2005), é considerada típica para esgoto bruto predominantemente doméstico no Brasil, como também manteve-se na faixa reportada pela literatura que varia de $10^6 - 10^9$ UFC/100ml. O efluente do Sistema-RN, manteve-se dentro do valor entre 4×10^5 até 1×10^7 UFC/100ml para coliformes fecais em um sistema constituídos por Fossa Séptica seguido de Filtro anaeróbio, e eficiência média em termos de unidade log de 0,9. Esta configuração é semelhante ao Sistema RN, que obteve um desempenho melhor quando comparado ao de Oliveira et al (2005).

Oliveira (1983), apud Andrade Neto (1997) estudou um sistema de Tanque Séptico com duas câmaras em série mais filtro anaeróbio ascendente, alimentado por esgoto bruto, e constatou a remoção de 85% para coliformes fecais, um valor inferior ao obtido para o Sistema RN.

A fim de se evitar a superavaliação da remoção de coliformes fecais por porcentagens tais como, 90 e 99%, neste trabalho também foi determinado a remoção de coliformes fecais através de unidades logarítmicas.

Para o Sistema RN foi constatada a remoção de apenas uma unidade logarítmica para coliformes fecais. A baixa eficiência já era esperada, estando de acordo com a literatura pertinente para filtros anaeróbios.

As altas concentrações de coliformes fecais no efluente dos filtros torna possível seu reuso apenas para irrigação restrita segundo critérios da Organização Mundial de Saúde- OMS (WHO,1989).

A análise de Variância revelou que:

- O Esgoto bruto foi a única amostra que apresentou diferença considerada estatisticamente significativa em relação aos outros pontos monitorados (DD-Fa, F10 e F15).
- Os filtros (F10 e F15) apresentaram médias para CF muito semelhantes, não havendo diferença significativa entre os dois tipos de enchimentos dos filtros para a remoção de coliformes fecais.

- O efluente do DD-Fa mostrou valores que não diferem dos filtros (F10 e F15) de forma significativa. Podendo-se concluir que não haveria necessidade dos filtros anaeróbios, se o objetivo fosse a remoção de CF, já que a qualidade do efluente do DD-Fa é estatisticamente igual ao dos filtros. Este resultado provou que os filtros não removem eficientemente CF. Contudo, deve-se salientar que somente devido à presença dos filtros, o efluente do DD-Fa conseguiu atingir a remoção de uma unidade log para CF. Esse acréscimo pode ser importante nessa faixa onde a remoção de CF vai se tornando cada vez mais difícil.

- Ovos de helmintos

Os resultados de ovos de helmintos para o Sistema-RN estão apresentados na tabela 13, em seguida o gráfico Box Plot (Figura 15).

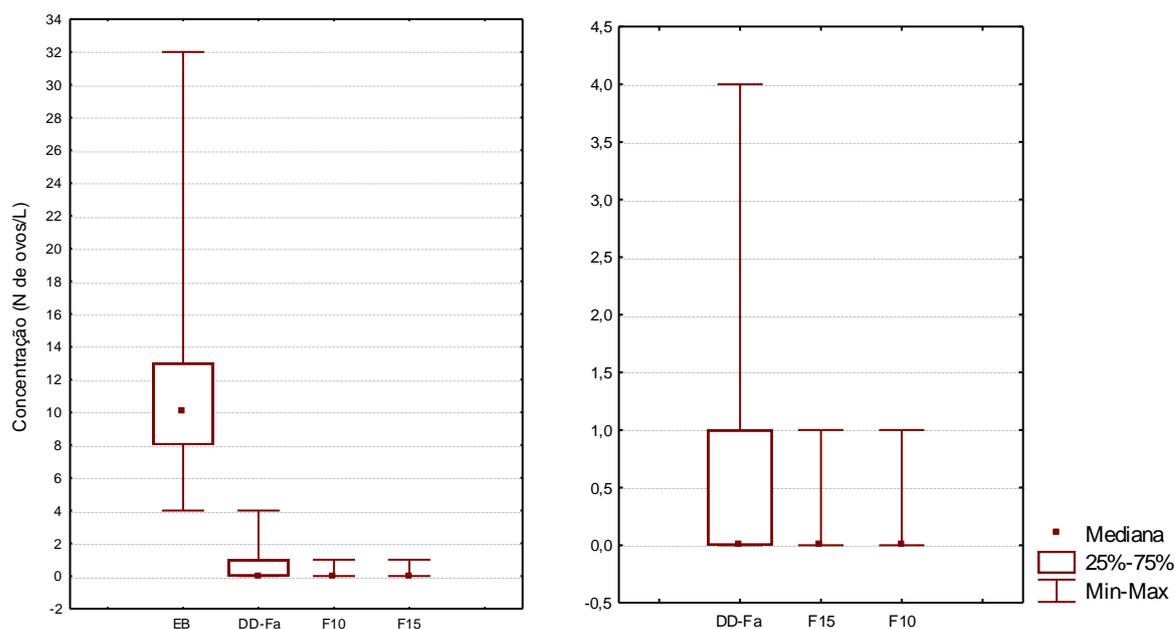
TABELA 13: Resultados da estatística descritiva para ovos de helmintos-Sistema RN

	Ovos de Helmintos (nº de ovos/L)			
	EB	DD-Fa	F10	F15
Nº de dados	22	22	22	22
Mínimo	4	0	0	0
Máximo	32	4	1	1
Média Aritmética	12.90	0.65	0.09	0.06
Desvio Padrão	8.46	1.11	0.29	0.23
Mediana	10	0	0	0
	Eficiência de Remoção (%)			
	EB	DD-Fa	F10	F15
Relativa		94.89	86.21	89.66
Acumulada (conjunto)			99.30	99.47

EB:Esgoto bruto; DD-Fa:Decanto-digestor e filtro acoplado; F₁₀: Filtro 10 ;F₁₅:Filtro 15

No gráfico (à direita) foi utilizado uma escala mais conveniente para representação dos pontos DD-Fa, F10 e F15 (figura 15).

FIGURA 15: Estatística descritiva para os dados de ovos de helmintos no Sistema RN - Gráfico Box Plot



Além da contagem dos ovos foi efetuada a identificação dos gêneros de ovos presentes, revelando o perfil sanitário da população que gerou o esgoto.

Os ovos de *Hymenolepis diminuta*, parasita essencialmente de ratos e muito raramente do homem (NEVES *et al.*, 2000) foram os mais abundantes (60%) seguido em ordem de abundância pelo *Ascaris lumbricoides* (37%) e *Trichuris trichiura* (3%).

A alta freqüência dos ovos de *Hymenolepis diminuta* indica a possibilidade da presença de ratos vivendo na rede de esgoto, e /ou, a presença de dejetos desses animais no esgoto do Campus.

A presença de ovos de *Ascaris lumbricoides* já era esperada em virtude da predominância de casos de ascaridíase na população brasileira e da conhecida resistência de seus ovos no meio ambiente (FIGUEIREDO *et al.*, 2005).

Através da figura 15 fica visível que para os pontos F10 e F15 e até mesmo para o DD- Fa não houveram grandes variações no número de ovos.

A eficiência média do sistema em termos de remoção de ovos de helmintos, foi de 99.30% para o filtro preenchido com conduít e de 99.47% para o filtro preenchido com peças plásticas. A boa eficiência se deve, certamente aos mesmos fenômenos que removem os sólidos suspensos no filtro anaeróbio.

Segundo Jimenez (2005) a remoção de helmintos está associada à remoção de sólidos suspensos. Com o intuito de comprovar esta relação, foi realizado um teste de correlação e obtido um coeficiente de 0,70, ou seja as variáveis estão correlacionadas positivamente e são diretamente proporcionais.

Oliveira (1983), estudando um sistema semelhante, composto por tanque séptico com duas câmaras mais filtro anaeróbio ascendente, constatou uma remoção de 90% para ovos de parasitas intestinais. Já o sistema RN atingiu índices de remoção próximos a 100%.

Uma pesquisa conduzida por Pimenta et al., 2005 e Silva et al., 2005, constataram para efluentes de filtros anaeróbios, menos de 1 ovo viável por litro, satisfazendo os requisitos da OMS para irrigação irrestrita.

A análise da estatística descritiva demonstrou que tanto o efluente do decanto digestor como dos filtros anaeróbios (efluente final) apresentaram média menor que 1 ovo/litro, atendendo aos requisitos da OMS para irrigação irrestrita. Além de que mais de 90% dos dados para o F10 e F15 apresentaram valores nulos para ovos de helmintos.

Vale salientar que a baixa concentração de ovos de helmintos no efluente do decanto digestor está relacionado ao fato deste possuir um filtro agregado. Este filtro comunica-se com o decanto digestor através de um fundo falso, abaixo do qual situa-se um fundo inclinado que propicia o retorno do lodo ao decanto-digestor. O objetivo deste pequeno filtro é, principalmente, complementar a retenção de sólidos suspensos. Sendo assim, a boa eficiência na remoção de ovos de helmintos deve-se, certamente aos mesmos fenômenos que removeram os sólidos suspensos no filtro acoplado.

Deve-se destacar, que mesmo uma contagem "zero" não garante que o efluente esteja completamente livre dos ovos de helmintos, tendo em vista que nenhuma das metodologias de enumeração, utilizadas atualmente, garante um percentual de recuperação de 100% dos ovos eventualmente presentes nas amostras processadas (FERREIRA *et al.*, 2005).

Na tabela 14 encontra-se a interpretação matemática para a análise de variância para os pontos monitorados em relação aos ovos de helmintos.

TABELA 14: Análise de variância para ovos de helmintos - Sistema RN

Grupos	EB	DD-Fa	F10	F15
EB		0.000119**	0.000119**	0.000119**
DD-Fa	0.000119**		0.026336*	0.019784*
F10	0.000119**	0.026336*		0.778200
F15	0.000119**	0.019784*	0.778200	

*Variações significativas ($p < 0,05$)

**Variações altamente significantes ($p < 0,001$)

A análise de variância revelou:

- Os valores médios de ovos de helmintos para o Esgoto Bruto diferiram de forma altamente significativa em relação aos demais pontos monitorados.
- Os dois materiais utilizados como enchimento dos filtros não mostraram eficiências com diferenças significativas em relação a remoção de ovos de helmintos.
- O efluente do Decanto digestor apresentou diferença considerada estatisticamente significativa quando comparada aos efluentes dos filtros (F10 e F15).
- O efluente do decanto-digestor garantiu um efluente com média menor do que 1 ovo/l, aceitável para irrigação segundo a OMS. Este sucesso deve ser atribuído à presença de um filtro acoplado.
- Os filtros mostraram-se eficientes mesmo quando o afluente apresentava baixas concentrações de ovos. Essa remoção “complementar”, proporcionada pelos filtros, foi considerada estatisticamente significativa. A boa atuação dos filtros anaeróbios na remoção de ovos de helmintos, também pode estar relacionada à presença de um compartimento de $0,72\text{m}^3$, situado no final de cada filtro. Este compartimento tem várias finalidades: permite a drenagem do excesso de lodo; dá acesso aos tubos perfurados do fundo do filtro; mantém o filtro afogado, e serve, eventualmente, para tratamento complementar, favorecendo a sedimentação dos ovos de vermes, já que estes possuem densidade maior que a água.

4.2 ETE COMPACTA:

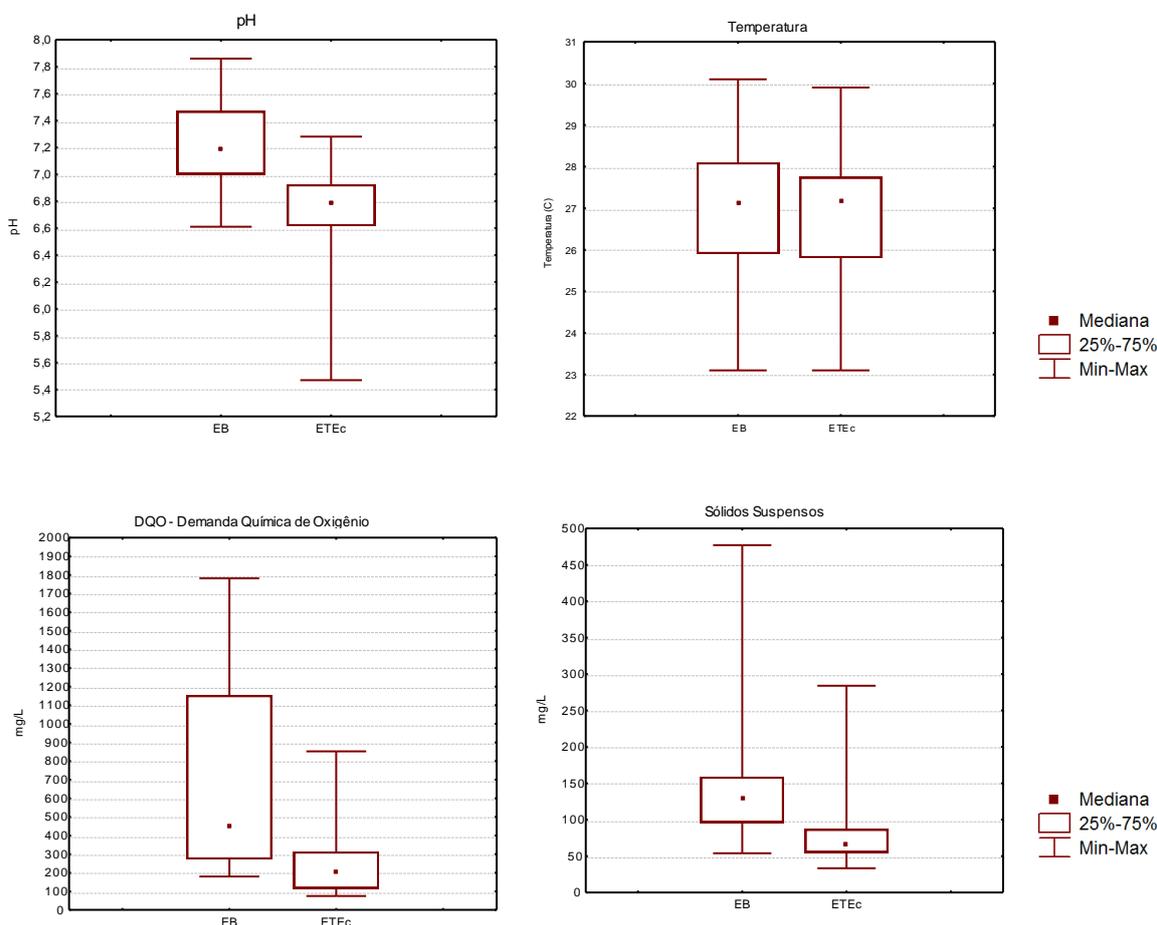
- Caracterização do afluente e efluente da ETEc:

Visando caracterizar o afluente e efluente da ETEc para os parâmetros de pH, temperatura, DQO e sólidos suspensos foi construído a tabela 15, em seguida são apresentados os respectivos gráficos Box-plot (figura 16).

TABELA 15: Caracterização do afluente e efluente da ETE compacta para os parâmetros de pH, temperatura, DQO e sólidos suspensos.

Parâmetros	Amostras	Valor Mínimo	Valor Máximo	Média Aritmética	Desvio Padrão
pH	Esgoto Bruto	6,61	7,86	7,19	0,33
	ETEc	5,47	7,28	6,74	0,35
Temperatura	Esgoto Bruto	23,10	30,10	26,58	1,58
	ETEc	23,10	29,90	26,89	1,56
DQO	Esgoto Bruto	180	1782	656,07	503,02
	ETEc	75	852,2	279,68	236,31
Sólidos suspensos	Esgoto Bruto	54	477	151,83	97,44
	ETEc	33,33	284	94,39	70,72

FIGURA 16: Estatística descritiva para os dados de pH, temperatura, DQO e sólidos suspensos para o afluente (EB) e efluente da ETE compacta (ETEc).



▪ Coliformes fecais e ovos de helmintos:

Os resultados de coliformes fecais e ovos de helmintos para a ETEc são apresentados na tabela 16, e os respectivos gráficos Box Plot (figura 17 e 18).

TABELA 16: Resultados da estatística descritiva para coliformes fecais e Ovos de helmintos - ETE compacta

	Coliformes Fecais (UFC/100ml)		Ovos de helmintos (N° de ovos/L)	
	Esgoto Bruto	ETEc	Esgoto Bruto	ETEc
N° de dados	22	22	22	22
Mínimo	2.50E+06	4.00E+05	4	0
Máximo	2.48E+08	2.92E+07	30	7
Média Aritmética	6.88E+07	6.82E+06	12.50	0.79
Média Geométrica	4.27E+07	4.11E+06	-	-
Mediana	4.10E+07	5.30E+06	10	0
Desvio Padrão	7.02E+07	6.74E+06	7.72	1.63
Eficiência de Remoção (%)				
Coliformes Fecais		Ovos de helmintos		
Esgoto Bruto	ETEc	Esgoto Bruto	ETEc	
	89.84		93.64	
Unidade Log Removidas				
Coliformes Fecais				
Esgoto Bruto		ETEc		
		1,01		

FIGURA 17: Estatística descritiva para os dados de coliformes fecais na ETE compacta - Gráfico Box Plot

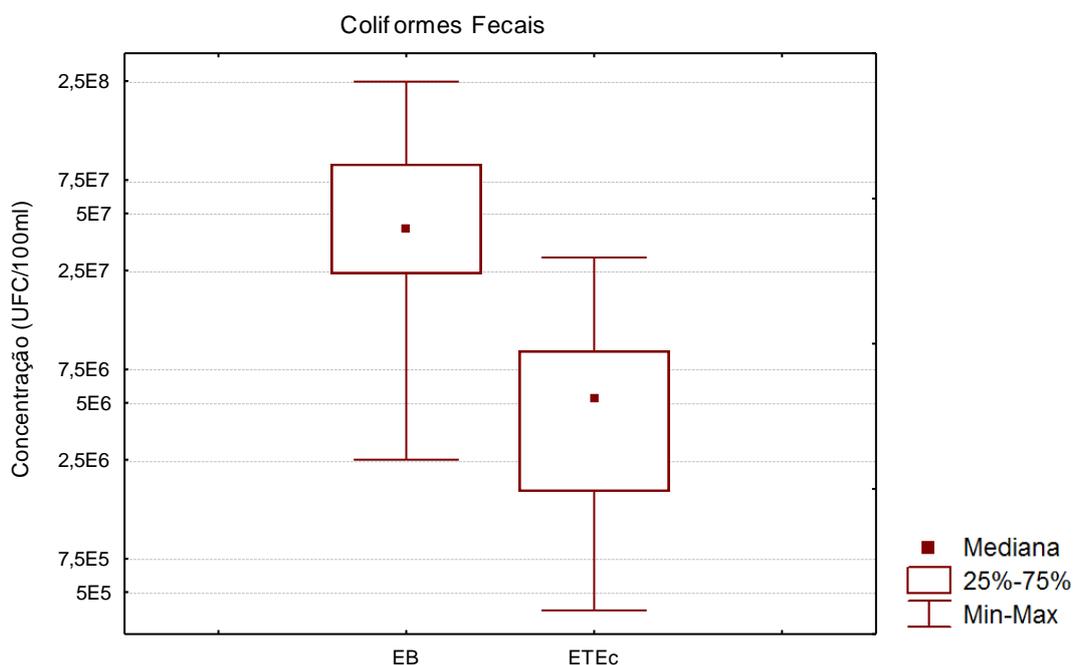
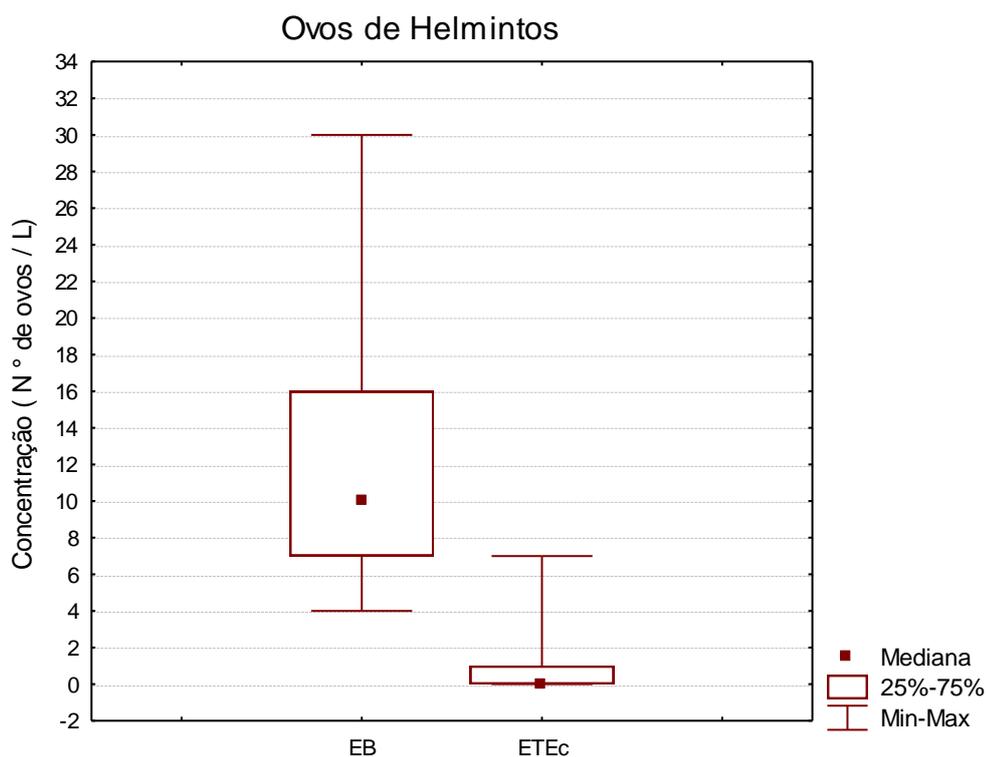


FIGURA 18: Estatística descritiva para os dados de ovos de helmintos na ETE compacta - Gráfico Box Plot



A ETEc atingiu uma remoção de apenas uma unidade logarítmica para coliformes fecais, estando de acordo com a literatura pertinente, segundo a qual reatores anaeróbios ou aeróbios compactos com TDH pequeno não removem eficientemente coliformes fecais (LEOPOLDINO *et al.*, 2005).

O resultado verificado, de 93,64%, foi considerado uma boa eficiência da ETEc na remoção de ovos de helmintos. Leopoldino *et al.*, (2005) trabalhando com o mesmo reator, em um estudo preliminar de 8 amostras, observaram um efluente final com média menor que 1 ovo/L, sendo a remoção de 83,3% para ovos de helmintos. Para coliformes fecais a média observada foi de $5,5 \times 10^5$ UFC/100ml, atingindo uma eficiência de 96,5%, o que equivale a remoção de apenas duas unidades logarítmicas.

Em relação à possibilidade de reuso, a ETEc removeu eficientemente ovos de helmintos, o que de acordo com a OMS (WHO,1989), permitiria a irrigação de cultivos agrícolas da categoria "A", mas a elevada concentração de coliformes fecais impede o reuso nesta categoria, necessitando de desinfecção.

Pesquisas recentes têm indicado que doses de cloro da ordem de 10 mg/L aplicadas em efluentes de filtros anaeróbios com tempo de contato superior a 25 minutos podem propiciar alta eficiência na remoção de coliformes fecais (termotolerantes ou *E. coli*) (ANDRADE NETO, 2006).

Portanto, um efluente como o de um filtro anaeróbio, apresentando concentrações de ovos de helmintos abaixo do valor permitido para reuso, caso não atenda aos limites estabelecidos em relação aos coliformes fecais, poderá sofrer uma simples desinfecção química, como forma de remoção/inativação de coliformes fecais. Um tratamento que não é válido quando o objetivo é remoção de ovos de vermes.

Já para as categorias “B” e “C” o reuso seria admitido sem a necessidade de desinfecção.

Para execução da ANOVA, os resultados de coliformes fecais foram transformados em escala logarítmica.

A seguir, a interpretação matemática para a análise de variância para os parâmetros de coliformes fecais e ovos de helmintos na ETE compacta (tabela 17).

TABELA 17: Análise de variância para coliformes fecais e ovos de helmintos-ETE compacta.

Coliformes Fecais			Ovos de helmintos		
Grupos	EB	ETEc	Grupos	EB	ETEc
EB		0.000119**	EB		0.000118**
ETEc	0.000119**		ETEc	0.000118**	

*Variações significativas ($p < 0,05$)

**Variações altamente significantes ($p < 0,001$)

A análise de Variância revelou que:

- Tanto para remoção de coliformes fecais quanto para a de ovos de helmintos, os resultados obtidos na ETEc confirmou a hipótese de que os dois efluentes, esgoto bruto e tratado, diferem de forma altamente significativa ($p < 0,001$), sugerindo que o tratamento foi efetivo para a remoção dos dois parâmetros analisados. No entanto, mesmo a remoção para coliformes fecais, tendo sido significativa, segundo os resultados da ANOVA, ela não foi capaz de atingir os padrões exigidos pela OMS para reuso na irrigação irrestrita.

O teste de correlação realizado para os parâmetros de ovos de helmintos e sólidos suspensos comprovou a relação existente entre os parâmetros, com um coeficiente de 0,60, ou seja, as variáveis estão correlacionadas positivamente e são diretamente proporcionais.

O coeficiente de correlação obtido permite inferir que o aumento dos sólidos suspensos, observados no final do período de monitoramento, estão associados à liberação de lodo no efluente tratado, que conseqüentemente eleva o valor para ovos de helmintos.

Com a finalidade de reduzir o lodo eliminado no efluente tratado, um dispositivo de contenção de sólidos foi instalado. Após a instalação do dispositivo, foi constada uma diminuição nos valores de sólidos suspensos e ovos de helmintos, por um período de até 2 semanas, em seguida altos valores para sólidos suspensos e ovos de helmintos foram novamente verificados, merecendo portanto a limpeza do reator como forma de solucionar a questão, ou a possibilidade de um pós-tratamento.

4.3 FILTRO ANAERÓBIO-PARELHAS:

- Caracterização do afluente e efluente do filtro anaeróbio-Parelhas:

Visando caracterizar o afluente e efluente do filtro do Sistema Parelhas, assim como o esgoto bruto para os parâmetros de pH, temperatura, DQO e sólidos suspensos foi construído a tabela 18 e 19, em seguida são apresentados os respectivos gráficos Box-plot (figura 19 e 20).

TABELA 18: Caracterização do Sistema Parelhas-Fase 1 para os parâmetros de pH, Temperatura, DQO e Sólidos Suspensos.

Parâmetros	Amostras	Valor Mínimo	Valor Máximo	Média Aritmética	Desvio Padrão
pH	EB	6,80	7,55	7,20	0,19
	EF	7,71	7,90	7,80	0,07
	EF	7,27	7,89	7,50	0,19
Temperatura	EB	28,00	32,00	29,48	1,45
	EL	26,00	32,00	27,98	2,18
	EF	25,00	29,80	26,94	1,51
DQO	EB	1123,70	1653,30	1381,84	161,90
	EL	339,30	600,40	519,75	81,17
	EF	266,70	472,70	394,19	59,61
Sólidos suspensos	EB	126,00	316,00	194	72,21
	EL	64,00	142,00	103,50	27,50
	EF	40,00	98,00	62,50	21,53

EB-Esgoto bruto; EL-Efluente da lagoa; EF-Efluente do filtro

FIGURA 19: Estatística descritiva para os dados de pH, temperatura, DQO e sólidos suspensos para o Sistema Parelhas – Fase 1

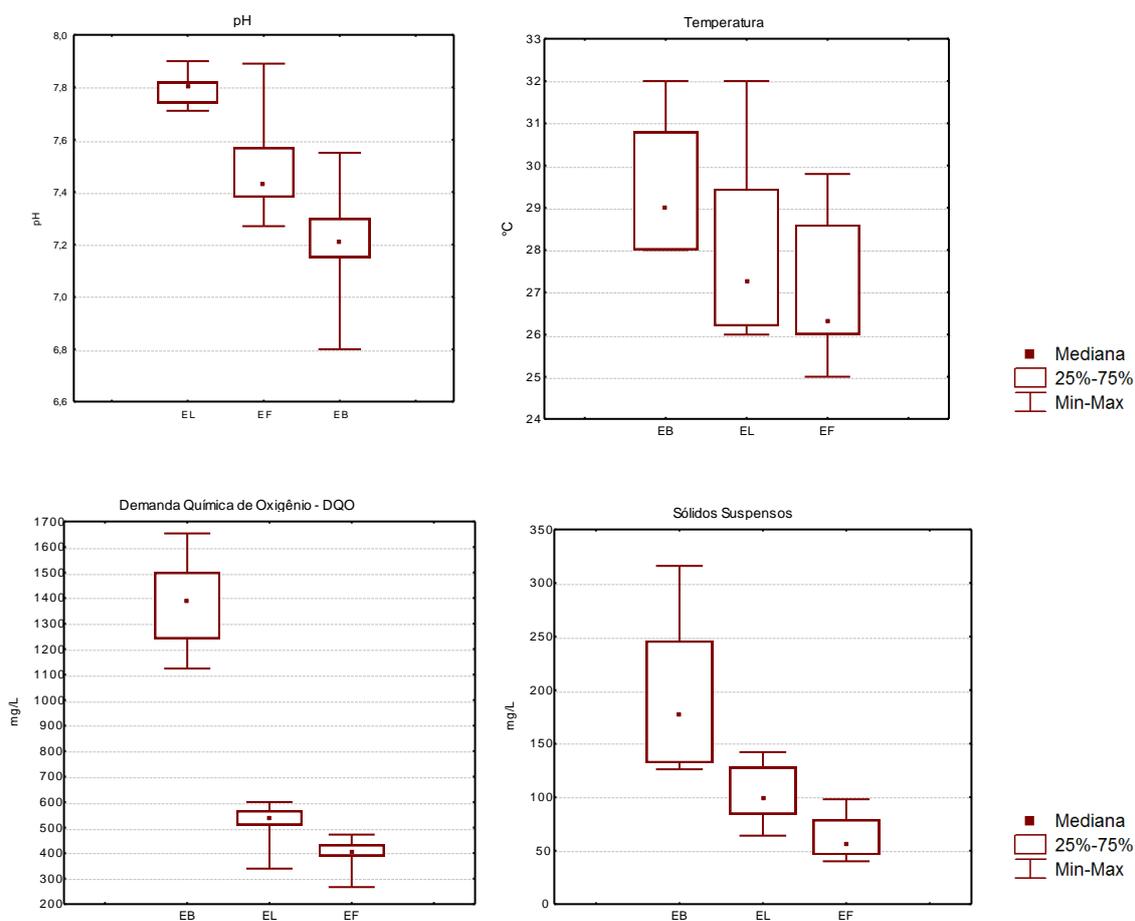
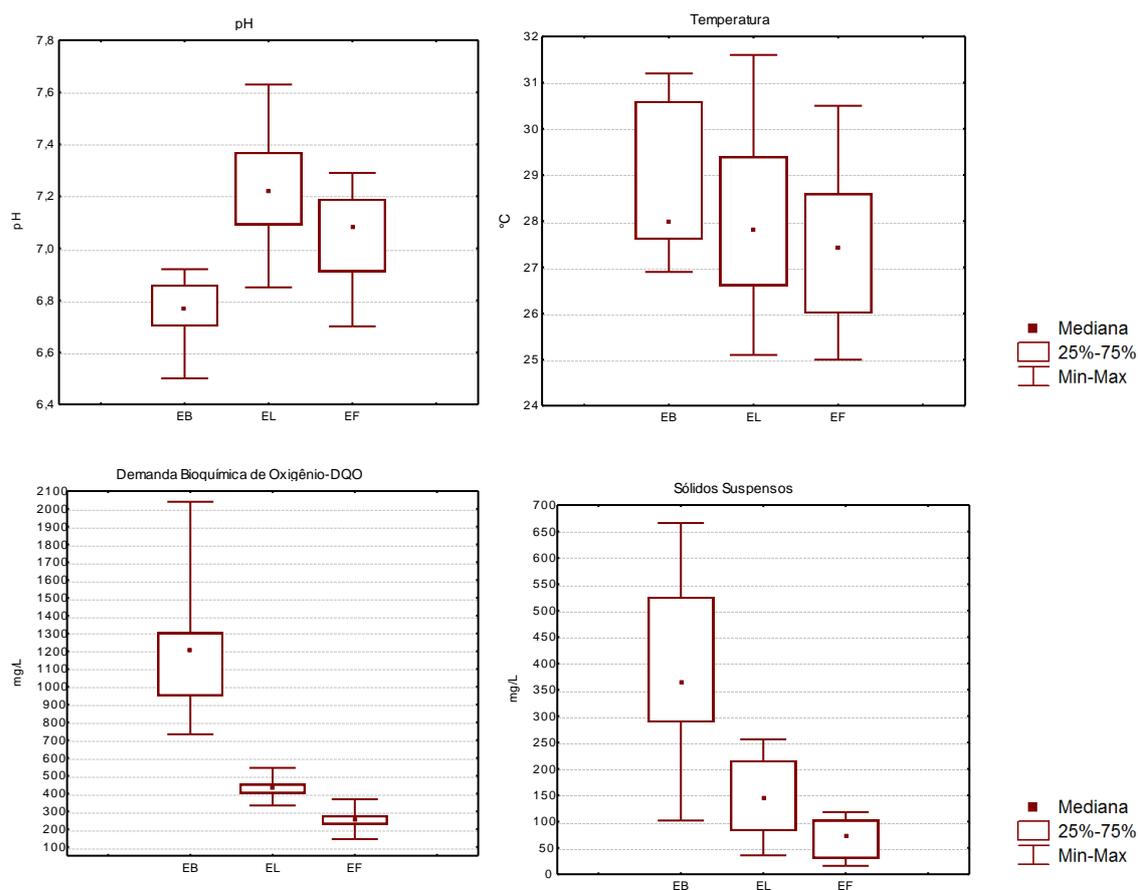


TABELA 19: Caracterização do Sistema Parelhas-Fase 2 para os parâmetros de pH, Temperatura, DQO e Sólidos Suspensos

Parâmetros	Amostras	Valor Mínimo	Valor Máximo	Média Aritmética	Desvio Padrão
pH	EB	6,50	6,92	6,76	0,11
	EL	6,85	7,63	7,26	0,24
	EF	6,70	7,29	7,04	0,17
Temperatura	EB	26,90	31,20	28,89	1,58
	EL	25,10	31,60	28	1,95
	EF	25	30,50	27,52	1,61
DQO	EB	733,30	2040	1197,92	334,30
	EL	333,30	544,40	428,82	51,51
	EF	144	368	245,48	60,46
Sólidos suspensos	EB	102	666	372,46	182,37
	EL	36	256	143,38	71,32
	EF	16	122	72,77	39,59

EB-Esgoto bruto; EL-Efluente da lagoa; EF-Efluente do filtro

FIGURA 20: Estatística descritiva para os dados de pH, temperatura, DQO e sólidos suspensos para o Sistema Parelhas – Fase 2



▪ **Coliformes fecais**

Os resultados da concentração de coliformes fecais para o Sistema de Parelhas são apresentados na tabela 20, e o respectivo gráfico Box Plot (figura 21).

TABELA 20: Resultados da estatística descritiva para coliformes fecais nas fases 1 e 2 - Sistema Parelhas

Coliformes fecais (UFC/100ml)

	FASE 1			FASE 2		
	EB	EL	EF	EB	EL	EF
N de dados	12	8	12	11	11	11
Mínimo	1.00E+07	1.10E+07	1.00E+06	8.00E+06	7.00E+05	1.00E+06
Máximo	4.00E+09	1.10E+08	4.70E+07	1.40E+08	2.50E+07	9.00E+06
Média Aritmética	9.10E+08	4.11E+07	9.73E+06	5.36E+07	1.10E+07	4.34E+06
Média Geométrica	5.47E+08	2.96E+07	4.92E+06	4.42E+07	6.89E+06	3.48E+06
Desvio Padrão	1.01E+09	3.71E+07	1.33E+07	3.41E+07	7.85E+06	2.75E+06

Eficiência de Remoção (%)

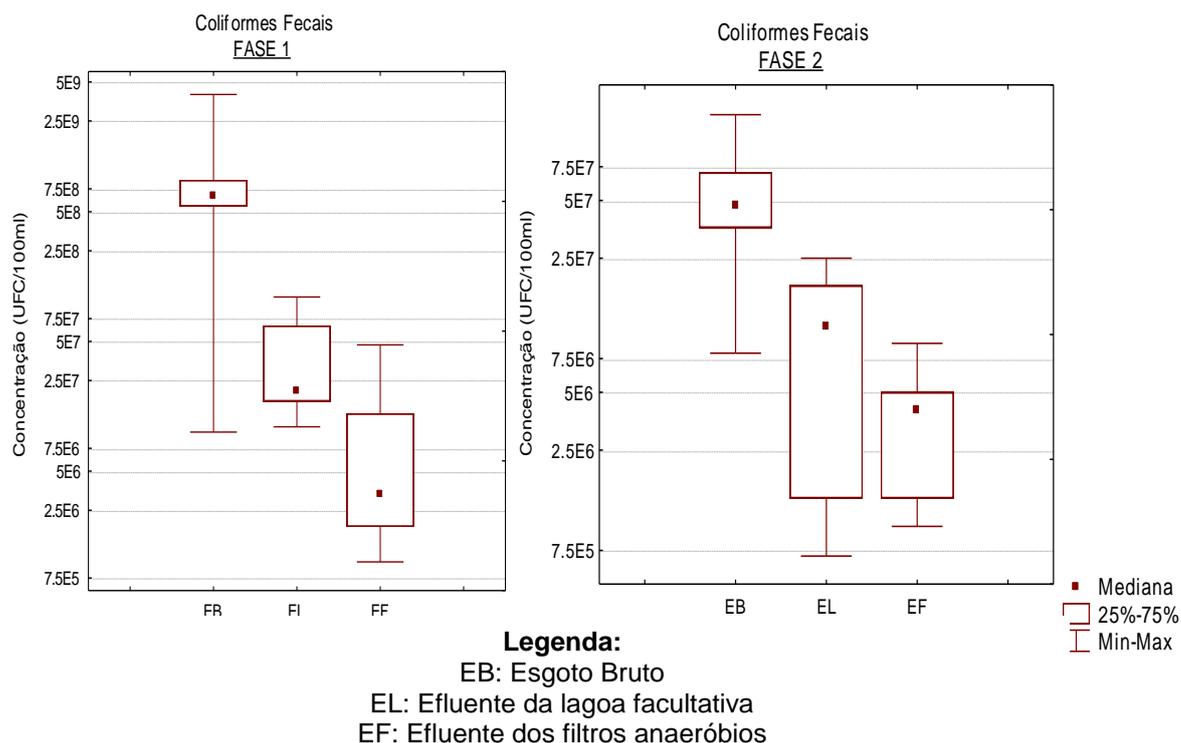
	FASE 1			FASE 2		
	EB	EL	EF	EB	EL	EF
Relativa		94.6	83.4		84.4	49.4
Acumulada (conjunto)			99.10			92.12

Unidade log removidas

	FASE 1			FASE 2		
	EB	EL	EF	EB	EL	EF
Relativa		1,50	0,80		0,80	0,29
Acumulado (conjunto)			2.04			1.10

EB-Esgoto bruto; EL-Efluente da lagoa; EF-Efluente do filtro

FIGURA 21: Estatística descritiva para os dados de coliformes Fecais nas fases 1 e 2 para o Sistema Parelhas - Gráfico Box Plot



Os filtros anaeróbios trabalharam com a vazão de 30m³/dia e TDH da ordem de 8 horas na primeira fase de monitoramento. Já na segunda fase os filtros trabalharam com a vazão de 15 m³/dia e TDH da ordem de 16 horas. Em ambas as fases o efluente dos filtros não atendeu às exigências da OMS para irrigação na

categoria “A” , que contempla a irrigação de culturas consumidas cruas, campos esportivos e jardins públicos.

A análise da estatística descritiva (Tabela 20) permitiu concluir que mesmo o aumento do TDH, proporcionado na 2ª fase de monitoramento, não favoreceu o decaimento do número de coliformes fecais. Se compararmos a eficiência nas fases de monitoramento, a fase 1 com metade do TDH da fase 2, garantiu uma remoção de uma unidade logarítmica a mais do que a fase 2.

Os dados transformados para escala logarítmica foram submetidos à análise de variância (tabela 21).

TABELA 21:Análise de variância para coliformes fecais nas fases 1 e 2 - Sistema Parelhas

	FASE 1		
Grupos	EB	EL	EF
EB		0.000201**	0.000144**
EL	0.000201**		0.001826*
EF	0.000144**	0.001826*	

	FASE 2		
Grupos	EB	EL	EF
EB		0.000508**	0.000151**
EL	0.000508**		0.136504
EF	0.000151**	0.136504	

*Variações significativas ($p < 0,05$)

**Variações altamente significantes ($p < 0,001$)

- FASE 1:

De acordo com a análise de variância, todos os pontos monitorados diferem entre si de forma significativa, sendo que o esgoto bruto em relação aos outros pontos difere de forma altamente significativa ($p < 0,001$).

Mesmo as lagoas representando um dos processos mais eficientes na remoção de coliformes fecais (VON SPERLING,1996a), neste estudo merece destaque a atuação dos filtros na remoção de coliformes fecais. Os filtros foram capazes de remover 83,4% de coliformes fecais de um efluente que já havia sofrido uma diminuição de 94,6% proporcionada pela lagoa facultativa. Este resultado foi considerado, segundo o teste de variância, como uma remoção significativa ($p < 0,05$).

- FASE 2:

Apesar de os filtros trabalharem com um TDH maior do que na primeira fase, a remoção de coliformes fecais não foi considerada estatisticamente significativa já que o efluente da lagoa e do filtro, segundo ANOVA não diferem entre si. No entanto o efluente final da fase 2 tem uma qualidade melhor, em termos de coliformes fecais, do que o da fase 1.

- Análise de Variância entre as FASES 1 e 2 para a remoção de coliformes fecais:

Foi realizado o teste de variância para avaliar se a concentração média de coliformes fecais na Fase 1 diferia da Fase 2.

O resultado obtido ($p= 0,2023$) mostrou que o TDH não é uma variável capaz de melhorar o desempenho dos filtros na remoção de coliformes fecais, ou seja, se o valor médio entre as fases não diferiram, sendo mais vantajoso utilizar TDH de 8 horas, se o objetivo fosse apenas a remoção de coliformes fecais.

- Ovos de helmintos:

Os resultados de ovos de helmintos para o Sistema Parelhas são apresentados na tabela 22, e, em seguida no gráfico Box Plot (Figura 22).

TABELA 22: Resultados da estatística descritiva para ovos de helmintos nas fases 1 e 2 -Sistema Parelhas.

Ovos de Helmintos (Nº de ovos/L)						
	FASE 1			FASE 2		
	EB	EL	EF	EB	EL	EF
N de dados	12	8	12	12	12	12
Mínimo	10	0	0	10	0	0
Máximo	25	2	2	33	2	1
Média Aritmética	15.66	1.12	0.33	19.08	0.58	0.25
Mediana	15.50	1	0	21	0	0
Desvio Padrão	4.07	0.83	0.65	7.03	0.90	0.45

Eficiência de Remoção (%)

	FASE 1			FASE 2		
	EB	EL	EF	EB	EL	EF
Relativa		92.82	70.37		96.94%	57.14%
Acumulada (conjunto)			97.87			98.69

EB:Esgoto bruto; DD-Fa:Decanto-digestor e filtro acoplado; F₁₀: Filtro 10 ;F₁₅:Filtro 15

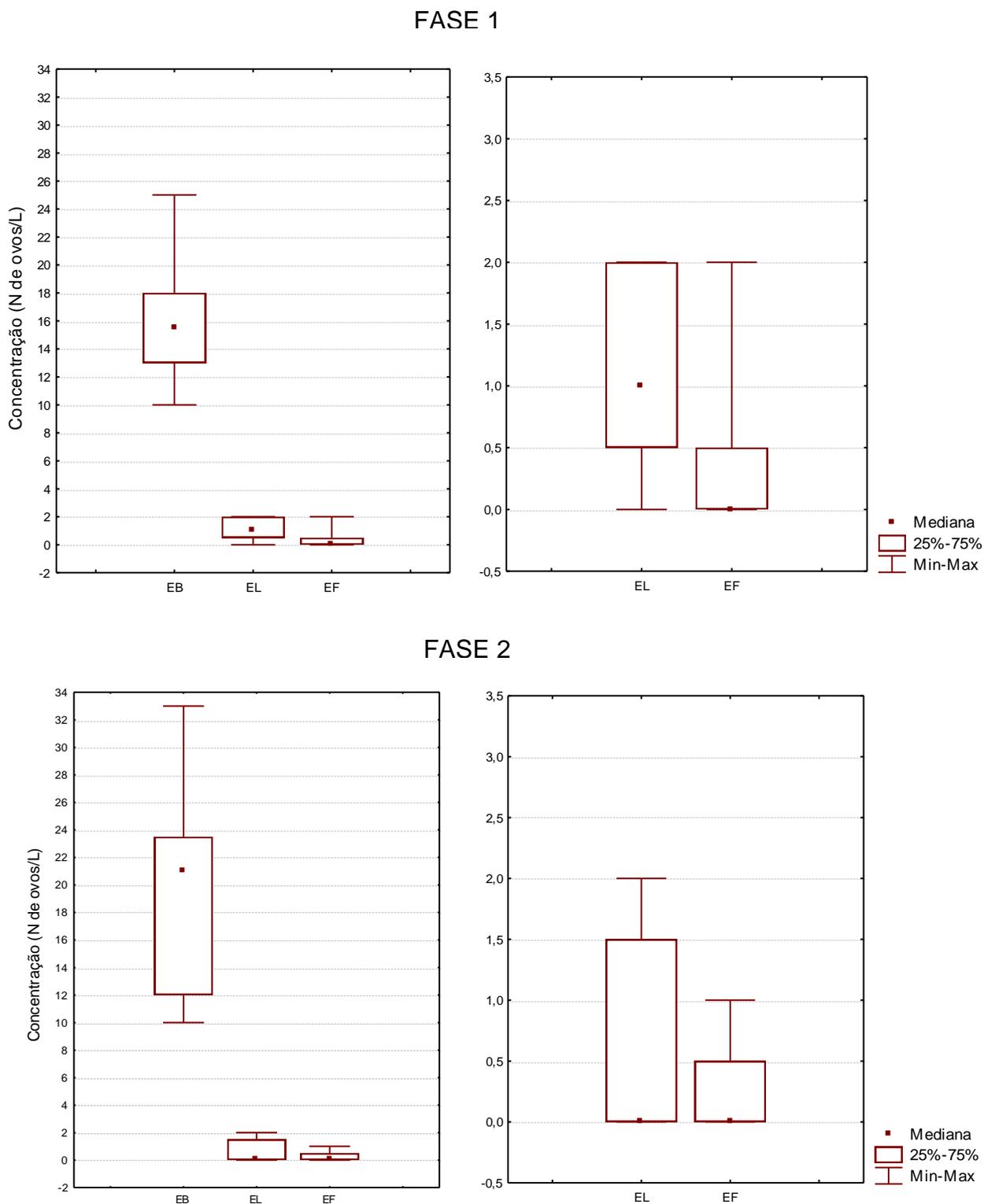
O aumento do TDH (fase 2) influenciou de forma positiva no decaimento dos ovos de helmintos. Isso, certamente, por que favorece a sedimentação dos ovos. Embora, a diferença na remoção de ovos para um aumento de 8 horas no filtro (fase 2) tenha sido praticamente insignificante. Os resultados indicam que não há necessidade de altos TDH quando o objetivo é a remoção de ovos neste reator. Na fase 2 foi obtido um efluente final com valor menor de ovos quando comparado a fase 1, no entanto o afluente do filtro na fase 2 foi quase que a metade do afluente na fase 1, e isso levou à eficiência de 78.37% na remoção de ovos de helmintos para o filtro na fase 1, versus a eficiência de 57.14% para o filtro na fase 2.

Embora a eficiência na fase 2 tenha sido menor, deve-se levar em conta que atingir um efluente com 0.25 ovos/l a partir de um afluente que contém 0.58 ovos/l (fase 2) é bem mais difícil do que alcançar um efluente com 0.33 ovos/l quando se tem um afluente com 1.12 ovos/l (fase 1), demonstrando assim o quão árduo é remover ovos de helmintos quando o afluente já contém baixas concentrações deste parâmetro.

O coeficiente de correlação encontrado foi de 0,77 para a fase 1, e de 0,74 para a fase 2, indicando, que para ambas as fases de monitoramento as variáveis: ovos de helmintos e sólidos suspensos estão correlacionados positivamente e são diretamente proporcionais.

Mais uma vez, o efluente dos filtros anaeróbios atende ao padrão permitido para reuso irrestrito segundo a OMS.

FIGURA 22: Estatística descritiva para os dados de ovos de helmintos nas fases 1 e 2 para o Sistema Parelhas - Gráfico Box Plot



A escala utilizada nos gráficos à direita representa melhor os pontos EL e EF (figura 22).

TABELA 23: Análise de variância para ovos de helmintos nas fases 1 e 2- Sistema Parelhas

FASE 1			
Grupos	EB	EL	EF
EB		0.000161**	0.000144**
EL	0.000161**		0.028581*
EF	0.000144**	0.028581*	

FASE 2			
Grupos	EB	EL	EF
EB		0.000144**	0.000144**
EL	0.000144**		0.264228
EF	0.000144**	0.264228	

*Variações significativas ($p < 0,05$)

**Variações altamente significantes ($p < 0,001$)

- FASE 1:

Segundo os resultados da análise de variância, todos os pontos monitorados diferem entre si de forma significativa, sendo que o esgoto bruto, em relação aos outros pontos difere de forma altamente significativa ($p < 0,001$). Este resultado foi semelhante ao obtido para coliformes fecais.

Mesmo a lagoa precedendo os filtros e removendo boa parte dos ovos, sem a presença dos filtros, o efluente não teria atingido o valor < 1 ovo/l, padrão necessário, segundo a OMS, para irrigação irrestrita. Além de que, o “polimento” proporcionado pelo filtro foi considerado estatisticamente significativo.

- FASE 2:

De acordo com os valores da análise de variância, o esgoto bruto foi a única amostra que apresentou diferença considerada altamente significativa em relação aos outros pontos monitorados.

Embora a remoção de ovos de helmintos realizada pelos filtros, não tenha sido considerada estatisticamente significativa, vale salientar que:

Apesar do filtro ser precedido por uma lagoa facultativa, e, conseqüentemente, o efluente das lagoas apresentar baixas concentrações de ovos de helmintos, devido ao alto tempo de detenção hidráulica que favorece a sedimentação dos ovos, os filtros mostraram-se capazes de proporcionar um polimento importante ao efluente da lagoa, demonstrando assim sua importância, diante da dificuldade de remoção de ovos de efluentes com baixas concentrações deste parâmetro.

- Análise de Variância entre as fases 1 e 2 para a remoção de ovos de helmintos.

Foi realizado o teste de variância para avaliar se a concentração média de ovos de helmintos na Fase 1 diferia da Fase 2.

O resultado obtido ($p= 0,8019$) mostrou que o TDH não foi considerado uma variável capaz de melhorar o desempenho dos filtros na remoção de ovos de helmintos, já que os valores médios entre as fases não são estatisticamente diferentes.

5. CONCLUSÕES:

Tendo em vista a análise e a discussão dos resultados, pode-se concluir que:

- Todos os sistemas propiciaram efluentes com média menor que 1 ovo/l, o que tornaria o efluente aceitável para uso agrícola na categoria A que contempla a irrigação de culturas consumidas cruas, campos esportivos e jardins públicos, mas a alta concentração de Coliformes fecais torna possível apenas o reuso para as categorias B e C, que seria a irrigação de cereais industriais, forrageiras, prados e árvores sem os trabalhadores e o público exposto, segundo as recomendações da OMS.
- Apesar dos sistemas pesquisados não removerem significativamente coliformes fecais, o que já era esperado para esses sistemas, os resultados indicaram uma boa eficiência dos mesmos na remoção de ovos de helmintos. Isso certamente por que a remoção dos ovos de helmintos e coliformes fecais dos esgotos ocorre por mecanismos diferentes.

Cada um dos sistemas, por apresentarem diferentes configurações, revelou particularidades quanto às conclusões obtidas:

▪ **Decanto-digestor e filtro anaeróbio (Sistema RN):**

- Os filtros não removem significativamente Coliformes fecais, já que não foi constatado diferença estatisticamente significativa para o efluente dos filtros em relação ao do DD-Fa.
- O decanto-digestor garantiu um efluente com média menor do que 1 ovo/l, aceitável para irrigação irrestrita segundo a OMS. O bom desempenho do DD-Fa na remoção de ovos de helmintos foi atribuído à presença de um filtro acoplado.
- Os filtros mostraram-se eficientes na remoção de ovos de helmintos mesmo quando o afluente apresentava baixas concentrações deste parâmetro. Essa remoção complementar, proporcionada pelos filtros, foi estatisticamente significativa.
- Os materiais de enchimento não mostraram eficiências significativamente diferenciadas para remoção de coliformes fecais e ovos de helmintos.

- A espécie *H. diminuta*, parasita essencialmente de ratos, prevaleceu sobre as outras espécies no esgoto bruto, apresentando frequência de 60%, seguida em ordem de abundância, o *Ascaris lumbricoides* (37%) e *Trichuris trichiura* (3%).

- **ETE compacta:**

- A qualidade sanitária do efluente tratado em relação à concentração de coliformes fecais e ovos de helmintos diferiu de forma altamente significativa ($p < 0,001$) da qualidade do esgoto bruto, mostrando que o tratamento foi eficiente, na remoção dos dois parâmetros estudados.
- O decréscimo da eficiência no final do período de monitoramento deveu-se a liberação de lodo no efluente tratado, elevando o resultado de ovos de helmintos.

- **Filtro Anaeróbio-Parelhas:**

- **Fase 1:**

- O efluente do filtro diferiu de forma significativa nas concentrações de ovos de helmintos e de coliformes fecais em relação às outras amostras monitoradas, mostrando bom desempenho na remoção de ambos indicadores.

- **Fase 2:**

- Embora a remoção de ovos de helmintos realizada no filtro não tenha sido considerada estatisticamente significativa, os filtros foram capazes de reduzir mais de 50% da concentração de ovos no efluente da lagoa, demonstrando sua importância, diante da dificuldade de remover ovos de helmintos de afluentes com baixas concentrações deste parâmetro.
- O aumento do TDH, proporcionado na segunda fase de monitoramento, não influenciou no desempenho dos filtros quando o objetivo foi a remoção de coliformes fecais e ovos de helmintos.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas, NBR 7229 - **Construção e Instalação de Fossas Sépticas e Disposição dos Efluentes Finais**. 1982.37p.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas, NBR 13969 - **Tanques Sépticos - Unidades de Tratamento Complementar e Disposição Final dos Efluentes Líquidos - Projeto, Construção e Operação**. 1997.60p.

ANDRADE NETO, C. O. **Sistemas Simples para Tratamento de Esgotos Sanitários** :Experiência Brasileira. Rio de Janeiro: ABES, 1997. v.01. 301p.

ANDRADE NETO, C. O; CAMPOS, J. R; ALÉM SOBRINHO, P; CHERNICHARO, C. A. L.; NOUR, E. A. Filtros Anaeróbios. In: CAMPOS, J.R. (Org.) **Tratamento de Esgotos Sanitários por Processo Anaeróbio e Disposição Controlada no Solo**. Rio de Janeiro: ABES – Projeto PROSAB, 1999a. p.139-154.

ANDRADE NETO, C. O; ALÉM SOBRINHO, P; MELO, H. N. S; AISSE, M. M. Decanto-Digestores. In: CAMPOS, J.R. (Org.) **Tratamento de Esgotos Sanitários por Processo Anaeróbio e Disposição Controlada no Solo**. Rio de Janeiro: ABES – Projeto PROSAB, 1999b. p.117-138.

ANDRADE NETO, C. O; PEREIRA, M.G; MELO, H.N.S. Materiais Alternativos para Enchimento de Filtros Anaeróbios: conduíte cortado e tijolo cerâmico vazado. In: VI OFICINA E SEMINÁRIO LATINO-AMERICANO DE DIGESTÃO ANAERÓBIA, 2000. Recife. Anais...Recife, 2000a.v.1,p28-35.

ANDRADE NETO, C.O; GUIMARÃES, P; PEREIRA, M.G ; MELO, H.N.S.Decanto-digestor e filtros anaeróbios. In: CAMPOS, J.R (Org.) **Tratamento de esgotos sanitários por processo anaeróbio e disposição controlada no solo**:coletânea de trabalhos técnicos. São Carlos:ABES-PROSAB, p.162-178. 2000b

ANDRADE NETO, C. O; MELO, H.N.S; LUCAS FILHO, M. Filtros Anaeróbios com Fluxo Ascendente e Fluxo Descendente. In: CHERNICHARO, C.A.L(Org.).**Pós-Tratamento de efluentes de Reatores Anaeróbios**:Coletânea de trabalhos técnicos.. Belo Horizonte:PROSAB,2001. v.02.

ANDRADE NETO, C. O ; MELO, H. N. S; OLIVEIRA, F. K. D; MELO FILHO, C. P; Pereira, M.G . Hidroponia Forrageira com Efluente de Filtro Anaeróbio. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL,22., 2003. Joinville. Anais.... Joinville: ABES, 2003.

ANDRADE NETO, C.O.**Filtro Anaeróbio Aplicado ao Tratamento de Esgoto Sanitário**. Tese (Doutorado em Recursos Naturais) Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande: UFCG, 2004.

ANDRADE NETO, C. O de. O uso do filtro anaeróbio para tratamento de esgoto sanitário.**Revista Meio filtrante**,Santo André, ano V, n.19, p.12-16, 2006.

AYRES, R. & MARA, D. **Analysis of wastewater for use in agriculture**: a laboratory manual of parasitological and bacteriological techniques. WHO, Geneva. 1996.

BARROS R.T.V; CHERNICHARO C.A.L; HELLER L; VON SPERLING, M. **Manual de Saneamento e Proteção Ambiental para os Municípios**. Belo Horizonte:DESA,1995.v.2.

BASTOS, R.K.X et al. Avaliação da contaminação de hortaliças irrigadas com esgotos sanitários. In: CONGRESO INTERAMERICANO DE INGENIERIA SANITARIA Y AMBIENTAL, 28.,2002.Cancún.Anais...Cancún:AIDIS, 2002.

BASTOS, R. K. X.;BEVILACQUA, P.D; ANDRADE NETO, C. O;VON SPERLING, M.Utilização de esgoto em irrigação -Aspectos Sanitários. In: BASTOS, R. K. X. (Org.)**Utilização de esgotos tratados em fertirrigação, hidroponia e piscicultura**. Rio de Janeiro: ABES-PROSAB,2003.p.23-59.

BRATTON, R; NESSE, R. Ascariasis: an infection to watch for in immigrants. **Postgraduate Medicine**, Minneapolis, v.93, p.171–178, 1993.

BRITO, L.P ; ANDRADE NETO, C. O ; COSTA, C.G; LIMA, A.D .Avaliação da eficiência de uma ETE anaeróbia compacta na remoção de sólidos suspensos, DQO e turbidez In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 23.,2005.Campo Grande. Anais....Campo Grande :ABES, 2005a.

BRITO, L.P ; ANDRADE NETO, C. O; LUCAS FILHO, M; SILVA, D.A; LIMA, A.D.Estudo comparativo da eficiência de um Wetland e um Filtro Biológico anaeróbio na remoção de sólidos suspensos, DBO e DQO In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 23.,2005.Campo Grande. Anais....Campo Grande :ABES, 2005b.

CAMPOS, J. R; ANDRADE NETO, C. O. Introdução. In: CAMPOS, J.R. (Org.) **Tratamento de Esgotos Sanitários por Processo Anaeróbio e Disposição Controlada no Solo**. Rio de Janeiro: ABES – Projeto PROSAB, 1999. p.1-28.

CARVALHO, E.H; POVINELLI, J. Filtros biológicos anaeróbios: revisão de literatura, projeto e desenvolvimento. In:CONGRESO INTERAMERICANO DE INGENIERIA SANITARIA Y AMBIENTAL, 25.,1996.México. Anais....México:AIDIS, 1996.

CHERNICHARO, C.A.L. **Princípios do tratamento biológico de águas residuárias**: Reatores anaeróbios.Belo Horizonte:DESA,1997.v5.

CHERNICHARO; C.A.L;HAANDEL, A.C.V; FORESTI, E; CYBIS, L.F.Aplicabilidade da tecnologia anaeróbia para o tratamento de esgotos domésticos.In: CHERNICHARO,C.A.L.(Org.)**Pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios**,Belo Horizonte:ABES-PROSAB, 2001.

COMPARINI, J.B. **Estudo do decaimento de patógenos em biossólidos estocados em valas e em biossólidos submetidos à secagem em estufa agrícola**. Tese (Doutor em Engenharia) Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2001.

COTA, R. S; CHERNICHARO, C. A. L; SPERLING, M. V ; GONÇALVES, L. C ; ZERBINI, A.M ; GOMES, C. C. Pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios em um sistema de aplicação superficial de esgotos no solo com o sistema operando em regime hidráulico transiente. In: CONGRESO INTERAMERICANO DE INGENIERIA SANITARIA Y AMBIENTAL,27.,2000. Porto Alegre.Anais....Porto Alegre:AIDIS, 2000.

FEACHEM, R.G; BRADLEY, D. J; GARELICK, H; MARA, D.D. **Health aspects of excreta and sullage management: state-of-the-art review.** Washington D.C, World Bank.318p.1980.

FERREIRA, A.C; ANDREOLI, C.V; PREVEDELLO, B. M. S. Viabilidade de ovos de helmintos em lodo de esgoto tratado termicamente em leitos de secagem. **Revista Técnica da SANEPAR-Sanare**, Paraná.v17, 2002.

FIGUEIREDO; A.M.F; CEBALLOS;B.S.O; SOUSA ; J.T ; ARAÚJO, H.W.C. Efeito da fertirrigação de esgotos domésticos tratados na qualidade sanitária e produtividade do quiabo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.9, p.322-327, 2005.

FLORENCIO, L; BASTOS, R.K.X; AISSE, M.M.(Coord.).**Tratamento e utilização de esgotos sanitários.**Rio de Janeiro:ABES-PROSAB, 427p.2006.

GALVÁN, M. & de VICTORICA J. Implicaciones sanitarias de la presencia de huevos viables de nemátodos en el agua para riego y necesidad de su evaluación rápida. In:CONGRESO INTERAMERICANO DE INGENIERIA SANITARIA Y AMBIENTAL,26.,1998. Lima. Anais....AIDIS:Peru, 1998.

GASI, T.M.T; ROSSIN, A.C. Remoção de Microorganismo Indicadores e Patogênicos em Reator UASB Operando com Esgotos Domésticos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL,17.,1993. Rio de Janeiro. Anais ... Rio de Janeiro: ABES, 1993.

GHEYI, H.R; MEDEIROS, S.S; SOARES, F.A.L. (organizadores). **Uso e Reúso de Águas de Qualidade Inferior: Realidades e Perspectivas.**Palestras. Campina Grande, PB, 2005.535p.

GODINHO, V.A; CHERNICHARO, C.A.L ; HONORIO, K.B.Characterização de Lodos Gerados em Sistemas de Tratamento de Esgotos quanto à presença de Ovos de Helmintos.In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL,22., 2003.Joinville.Anais...Joinville:ABES, 2003.

GONÇALVES, R.F(coordenador).**Desinfecção de efluentes sanitários** .Rio de Janeiro : ABES-PROSAB, 2003, 438 p.

HELLER, L.; NASCIMENTO, N.O.; VON SPERLING, M. Investigação científica em engenharia sanitária e ambiental. Parte 3: Análise estatística de dados e modelos. **Revista Engenharia Sanitária e Ambiental**,v.4,ano I,p.152-168,1996.

IBGE. **Pesquisa Nacional de Saneamento Básico**, 2000. Disponível em: www.ibge.gov.br. Acesso em: 04 de janeiro de 2007, 22:11:00.

JAVARA, M.A.G. **Desinfecção da água utilizando aquecimento solar**. 2005. 68 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia / Energia na Agricultura) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu. 2005.

JIMENEZ, B. Potenciales y limitaciones del reúso de agua y de lodos. In: **Uso e Reúso de Águas de Qualidade Inferior: Realidades e Perspectivas**. Palestras. Campina Grande, PB, 2005.p.1-23.

LEOPOLDINO , J.K.M; ANDRADE NETO, C. O ; NÓBREGA, A . K.C; BRITO, L.P. Avaliação da eficiência de uma ETE anaeróbica compacta na remoção de coliformes e ovos de helmintos In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL,23.,2005.Campo Grande.Anais....Campo Grande :ABES, 2005.

MARQUES,M.O *et al*.Utilização de esgoto em irrigação -Aspectos Agronômicos e ambientais. In: BASTOS, R. K. X. (Org.)**Utilização de esgotos tratados em fertirrigação, hidroponia e piscicultura**. Rio de Janeiro: ABES-PROSAB,2003.p.61-116.

MELO, H. N. S ; MOURA, L. R. B ; ANDRADE NETO, C. O ; OLIVEIRA, F. K. D. Uso de Esgoto Doméstico Tratado em Filtros Anaeróbios como Fonte de Macro e Micro Nutrientes para Culturas Hidropônicas. In: SIMPÓSIO LUSO-BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL,10., 2002. Braga. Anais....Braga:SIBESA,2002.

NAVAL,L.P; OLIVEIRA,A.A. Avaliação de eficiência da remoção de ovos de helmintos em um sistema de reator UASB+filtro anaeróbio, visando reúso do efluente final para fins agrícolas. In: SIMPÓSIO ÍTALO-BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL,,8.,2006. Fortaleza. Anais... Fortaleza: SIBESA 2006.

NEVES, D. P; MELO, A. L; LINARDI, P. M. **Parasitologia Humana**. 9. ed. São Paulo: Atheneu, 1995.

NEVES, D.P; MELO, A.L.; GENARO, O; LINARD P.M. **Parasitologia Humana**.10ed.São Paulo:Atheneu, 2000.

OLIVEIRA, A.A; NAVAL, L.P. Avaliação de eficiência da remoção de ovos de helmintos em um sistema de reator UASB+Filtro anaeróbio, visando reúso do efluente final para fins agrícolas. In: SIMPÓSIO ÍTALO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL,8.,2006.Fortaleza.Anais.... Fortaleza: SIBESA, 2006.

OLIVEIRA, R ;SILVA, J.B.P ; ATHAYDE JUNIOR, G. B ; SILVA, S. A ; SILVA, S. T.A.Velocidade de remoção de coliformes fecais em um reservatorio de estabilizacao alimentado com esgoto domestico bruto. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITARIA E AMBIENTAL,20.,1999. Rio de Janeiro. Anais...Rio de Janeiro:ABES,1999.

OLIVEIRA, S. M. A. C ; SPERLING, M. V. Avaliação de 166 ETEs em operação no país, compreendendo diversas tecnologias. Parte 1: análise de desempenho. **Revista Engenharia Sanitária e Ambiental**,v.10,n.4,2005.

PASSAMANI, F.R.F; BOF, VS; FIGUEIREDO, K.F ; MOTTA, J.S ; ROCHA, V.J.R; GONÇALVES, R.F. Remoção de coliformes fecais e patógenos em um conjunto UASB-bf tratando esgoto sanitário. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL,20.,1999. Rio de Janeiro. Anais...Rio de Janeiro:ABES,1999.

PASSAMANI, F. R. F; FIGUEIREDO, K. F; MOTTA, J. S. ; GONCALVES, R. F. Comparação de técnicas laboratoriais para recuperação de ovos de helmintos em efluentes de um conjunto UASB-BF tratando esgoto sanitário. In: SIMPÓSIO LUSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 9., 2000. Porto Seguro. Anais... SILUBESA:Porto Seguro, 2000.

PAULINO, R.C; CASTRO, E. A; THOMAZ-SOCCOL, V. Tratamento anaeróbio de esgoto e sua eficiência na redução da viabilidade de ovos de helmintos. Revista da Sociedade Brasileira de Medicina Tropical, Uberaba, v. 34, n. 5, 2001.

PEREIRA-RAMIREZ, O; ANTUNES, R.M; QUADRO, M.S; KOETZ, P. R.Filtro anaeróbio utilizado como pós-tratamento de um reator anaeróbio de fluxo ascendente (UASB) para dejetos de suinocultura. **Revista Brasileira de Agrociência**.Pelotas. v.10, n. 3, p. 339-346, 2004.

PIMENTA, M; KATO, M T; GAVAZZA, S; FLORENCIO, L. Desempenho de Reatores Piloto Tipo UASB e Híbrido para o Tratamento de Esgoto Doméstico. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 23.,2005.Campo Grande. Anais...Campo Grande: ABES, 2005.

PRADO, G.S; SANTOS, H. R; VIDAL, C .M. S.Aplicabilidade das técnicas de determinação de tamanho de partículas em sistemas de tratamento de água e esgoto sanitário. **Engenharia Sanitária e Ambiental**. v.9,n.4,p.291-300,2004.

SANTOS, H.R. **Coagulação/precipitação de efluentes de reator anaeróbio de leite expandido e de sistema de lodo ativado precedido de reator UASB, com remoção de partículas por sedimentação ou flotação**.Tese (Doutorado em Engenharia Hidráulica e Saneamento).Universidade de São Paulo. São Paulo:USP, 2006

SANTOS, S.E; VON SPERLING, M. Avaliação do desempenho operacional de uma ETE em escala real, composta de reator UASB seguido de lagoa de polimento. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL,22., 2004.Joinville.Anais...Joinville:ABES, 2004.

SILVA, V.F; SOUSA, J.T; VIEIRA, F.F; SANTOS, K.D. Tratamento anaeróbio de esgoto doméstico para fertirrigação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande,v.9,p.186-190,2005.

SOARES, A.M.E; VON SPERLING, M; CHERNICHARO, C.A.L; BRITO, L.H.N.C; ZERBINI, A.M ; MELO, M.C; BARCELLOS, F.N.M. Avaliação da remoção de patógenos em duas lagoas de polimento com diferentes relações geométricas tratando o efluente de um reator UASB compartimentado. In: CHERNICHARO, C.A.L. **Pós-tratamento de Efluentes de Reatores Anaeróbios**: Coletânea de trabalhos técnicos. Belo Horizonte: PROSAB, 2001. v.2.

SOARES, A. M. E, *et al.* Perfil longitudinal de *escherichia coli* e ovos de helmintos em um sistema reator UASB/ lagoa de polimento com chicanas. In: CONGRESSO INTERAMERICANO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 23., 2005. Campo Grande. Anais... Campo Grande: ABES, 2005.

VON SPERLING, M. **Princípio do tratamento biológico de águas residuárias**: Lagoas de estabilização. Belo Horizonte: DESA - Universidade Federal de Minas Gerais, 1996a. 134p.v3

VON SPERLING, M. **Princípios do tratamento biológico de águas residuárias**: Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. Belo Horizonte: DESA- Universidade Federal de Minas Gerais, 1996b. 240p.v1.

US-EPA. **Control of pathogens and vector attraction in sewage sludge** EPA/625/R- 92-004. Washington, D.C., 1992

VEERANNAN, K.M. Some experimental evidence on the viability of *Ascaris lumbricoides* ova. **Current Science**, Bangalore, n.46, p-386-387, 1977.

WHO. **Health Guidelines for the Use of Wastewater in Agriculture and Aquaculture**, Technical Report Series, Nº 778, World Health Organization, Geneva, Switzerland. 1989.

YOUNG, J.C. Factors affecting the design and performance of upflow anaerobic filters. **Water science and technology**, v.24, p.133-55, 1991.

ZERBINI, A . M; CHERNICHARO, C. A. L; VIANA, E.M. Estudo da remoção de ovos de helmintos e indicadores bacterianos em um sistema de tratamento de esgotos domésticos por reator anaeróbio e aplicação superficial no solo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITARIA E AMBIENTAL, 20., 1999. Rio de Janeiro. Anais... Rio de Janeiro: ABES, 1999.

ZERBINI, A.M; CHERNICHARO, C.A.L. Proposta de consolidação de metodologias para enumeração, identificação e análise de viabilidade de ovos de helmintos em águas residuárias brutas e tratadas. In: autor, **Pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbio**. Belo Horizonte: ABES-PROSAB, 2000.

ZERBINI, A.M ; CHERNICHARO, C. A. L. Identificação e contagem de ovos de helmintos em um sistema UASB - Rampas de escoamento superficial In: CONGRESSO DA ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 21., 2001. João Pessoa. Anais... João Pessoa: ABES, 2001.