

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA HIDRÁULICA E AMBIENTAL
MESTRADO EM ENGENHARIA CIVIL / SANEAMENTO AMBIENTAL

RÉGIS MEIRELES BENEVIDES

ASPECTOS SANITÁRIOS E AGRONÔMICOS DO USO DE
ESGOTOS TRATADOS NA IRRIGAÇÃO DO CAPIM TANZÂNIA
(*Panicum Maximum Jacq. cv. Tanzânia*) – AQUIRAZ, CEARÁ

FORTALEZA – CE

2007

RÉGIS MEIRELES BENEVIDES

**ASPECTOS SANITÁRIOS E AGRONÔMICOS DO USO DE
ESGOTOS TRATADOS NA IRRIGAÇÃO DO CAPIM TANZÂNIA
(*Panicum maximum Jacq. cv. Tanzânia*) – AQUIRAZ, CEARÁ**

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre. Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Ceará, Área de Concentração Saneamento Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Francisco Suetônio Bastos Mota.

**FORTALEZA - CE
2007**

RÉGIS MEIRELES BENEVIDES

**ASPECTOS SANITÁRIOS E AGRONÔMICOS DO USO DE
ESGOTOS TRATADOS NA IRRIGAÇÃO DO CAPIM TANZÂNIA
(*Panicum maximum* Jacq. cv. *Tanzânia*) – AQUIRAZ, CEARÁ**

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre. Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Ceará, Área de Concentração Saneamento Ambiental.

Dissertação aprovada em Fortaleza, 09 de Agosto de 2007.

BANCA EXAMINADORA

Orientador: Prof. Francisco Suetônio Bastos Mota, Dr.
Universidade Federal do Ceará

Membro: Prof^a. Marisete Dantas de Aquino, Dra.
Universidade Federal do Ceará

Membro: Prof^a. Nájila Rejane Alencar Julião Cabral, Dra.
CEFET/CE

DEDICATÓRIA

Dedico à minha família, noiva e aos meus amigos.

AGRADECIMENTOS

A Deus, meu guia em todos os caminhos da minha vida.

Aos meus irmãos, pelo apoio em todos os momentos.

Ao professor Dr. Suetônio Mota, pela orientação no desenvolvimento deste trabalho.

A Edglerdânia Luzia Lima de Oliveira, pela ajuda nos trabalhos de campo.

Aos colegas do curso de Mestrado, pela amizade e apoio durante todo o curso.

A todos os professores do curso de Mestrado em Saneamento Ambiental.

A todos do projeto CT-HIDRO e PROSAB, pelo apoio durante a pesquisa.

“Só existem dois dias do ano que nada pode ser feito. Um se chama ontem e o outro se chama amanhã, portanto, hoje é o dia certo para amar, acreditar, fazer e principalmente viver.”

Dalai Lama

RESUMO

Nesta pesquisa procurou-se avaliar os aspectos sanitários e agronômicos da utilização de esgotos tratados na irrigação do capim Tanzânia (*Panicum maximum Jacq. cv. Tanzânia*). Os experimentos foram realizados no Centro de Pesquisa sobre Tratamento de Esgotos e Reúso de Águas da Companhia de Água e Esgoto do Ceará em Aquiraz – Ceará. A cultura de capim Tanzânia foi irrigada com água de poço e esgoto tratado adubado com diferentes dosagens de fertilizante. Foi utilizado o método de irrigação por microaspersão, dividida em blocos, e aplicados quatro tratamentos diferentes. Os tratamentos utilizados foram: irrigação com água de poço (T1), irrigação com esgoto tratado (T2), irrigação com esgoto tratado mais adubação completa recomendada (T3) e irrigação com esgoto tratado mais metade da adubação recomendada (T4). Foram realizadas análises físico-químicas e microbiológicas na água do poço e no efluente da última lagoa de estabilização da Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) de Aquiraz, utilizados na irrigação, onde se constatou diferenças significativas, mas os valores encontravam-se dentro de níveis aceitáveis para esse uso. Na cultura do capim Tanzânia foi coletada amostras para as análises microbiológicas e químico-bromatológicas. Os resultados das análises microbiológicas no capim Tanzânia apresentaram valores aceitáveis em todos os tratamentos aplicados. Observou-se um decaimento menor da presença de microorganismos patogênicos no tratamento irrigado com esgoto mais adubação completa recomendada (T3). A qualidade para consumo e digestibilidade do capim Tanzânia pelos animais foi avaliada por meio das análises químico-bromatológicas, com base em parâmetros como: matéria seca (MS), proteína bruta (PB), extrato etéreo (EE), resíduo mineral (RM), fibra em detergente ácido (FDA) e fibra em detergente neutro (FDN). Os tratamentos irrigados com esgoto tratado (T2, T3 e T4) apresentaram valores melhores que o tratamento irrigado com água do poço (T1).

ABSTRACT

This research evaluated the sanitary and agronomic aspects of the use of treated wastewater in the irrigation of Tanzânia grass (*Panicum maximum Jacq. cv. Tanzânia*). The experiments had been carried through in the Center of Research on Wastewater Treatment and Reuse of the Company of Water and Wastewater of the Ceará in Aquiraz - Ceará. The culture of Tanzânia grass was irrigated with water of well and treated wastewater with different dosages to fertilizer. The method of irrigation for microaspersão, divided was used block-type, and applied four different treatments. The used treatments had been: irrigation with well water (T1), irrigation with treated wastewater (T2), irrigation with treated wastewater more complete fertilization recommended (T3) and to irrigation with treated wastewater more half to the recommended fertilization (T4). Analyses had been carried through physicist-chemistries and microbiological in the water of the well and the effluent one of the last lagoon of stabilization of the Station of Wastewater Treatment (ETE) of Aquiraz, used in the irrigation, where if it contacted significant differences, but the values met inside of acceptable levels for this use. In the culture of Tanzânia grass it was collected samples for the microbiological analyses and chemical and bromatologic. The results of the microbiological analyses in Tanzânia grass had presented acceptable values in all the applied treatments. A lesser decline of the presence of pathogenic microorganisms in the treatment irrigated with wastewater more recommended complete fertilization (T3) was observed. The quality for consumption and digestibility of Tanzânia grass for the animals was evaluated by means of chemical and bromatologic analysis, on the basis of parameters as: dry substance (MS), crude protein (PB), ether extract (EE), mineral residue (RM), fiber in acid detergent (FDA) and fiber in neutral detergent (FDN). The treatments irrigated with treated wastewater (T2, T3 and T4) had presented better values that the treatment irrigated with water of the well (T1).

LISTA DE TABELAS

TABELA 3.1 - Características dos principais sistemas de lagoas para remoção da DBO.....	33
TABELA 3.2 - Análise comparativa dos principais sistemas de lagoas para a remoção da DBO.....	35
TABELA 3.3 - Fatores que afetam a escolha do método de irrigação e as medidas preventivas requeridas quando se utiliza esgotos.....	47
TABELA 3.4 - Critérios de qualidade microbiológica recomendada pela USEPA, em 1992, para a utilização de águas residuárias na agricultura.....	60
TABELA 3.5 - Diretrizes microbiológicas recomendadas pela WHO, em 1989, para uso de esgotos na agricultura.....	61
TABELA 3.6 - Principais exemplos de utilização de esgotos sanitários na agricultura.....	63
TABELA 4.1 - Localização geográfica.....	71
TABELA 4.2 - Dimensões das lagoas de estabilização da ETE de Aquiraz.....	74
TABELA 5.1 - Valores médios dos principais parâmetros físico-químicos e microbiológicos da água e do efluente da lagoa de estabilização. Aquiraz, CE, 2006.....	91
TABELA 5.2 - Resultado das análises microbiológicas do capim Tanzânia.....	95

TABELA 5.3 - Resultados das análises químico-bromatológicas da 1ª coleta.....	98
TABELA 5.4 - Resultados das análises químico-bromatológicas da 2ª coleta.....	99
TABELA 5.5 - Resultados das análises químico-bromatológicas da 3ª coleta.....	100

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 3.1 – Formas potenciais de reúso de água.....	39
FIGURA 4.1 - Localização geográfica do Município de Aquiraz – CE.....	71
FIGURA 4.2 - Localização geográfica do Município de Aquiraz – CE.....	72
FIGURA 4.3 - Lagoas anaeróbia e facultativa da ETE de Aquiraz.....	73
FIGURA 4.4 - Lagoa de maturação da ETE de Aquiraz.....	74
FIGURA 4.5 - Captação de esgoto tratado na lagoa de maturação.....	75
FIGURA 4.6 - Reservatórios de água e de esgoto tratado da área de pesquisa.....	76
FIGURA 4.7 - Croqui da área de plantio do Capim Tanzânia e tratamentos aplicados.....	79
FIGURA 4.8 - Área de plantio e microaspersores utilizados na irrigação.....	80
FIGURA 4.9 - Módulo com irrigação de esgoto e aplicação de fertilizante.....	81
FIGURA 4.10 - Módulo com irrigação de água de poço.....	82
FIGURA 4.11 - Início do corte do capim na área de plantio após coleta das amostras.....	84
FIGURA 4.12 - Área de plantio sendo regularizada.....	85

FIGURA 4.13 - Estrutura em pvc para proteção da área.....	86
FIGURA 4.14 - Estrutura montada com a lona plástica.....	87
FIGURA 5.1 - Decaimento da quantidade de coliformes fecais no Capim Tanzânia.....	96
FIGURA 5.2 - Porcentagem de Matéria Seca (MS) presente no capim Tanzânia.....	101
FIGURA 5.3 - Teor de proteína bruta (PB) presente na matéria seca (MS) do capim Tanzânia.....	102
FIGURA 5.4 - Teor de Extrato Etéreo (EE) na matéria seca (MS) do capim Tanzânia.....	103
FIGURA 5.5 - Teor de Resíduo Mineral (RM) na matéria seca do capim Tanzânia.....	104
FIGURA 5.6 - Concentrações de fibras em detergente ácido (FDA) na matéria seca (MS) do capim Tanzânia.....	105
FIGURA 5.7 - Concentrações de fibras em detergente neutro (FDN) na matéria seca (MS) do capim Tanzânia.....	106

LISTA DE SÍMBOLOS

CAGECE – Companhia de Água e Esgoto do Estado do Ceará

CONAMA – Conselho Nacional de Meio Ambiente

DBO – Demanda Bioquímica de Oxigênio

DQO – Demanda Química de Oxigênio

E. coli – *Escherichia coli*

EE – Extrato Etéreo

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

ETE – Estação de Tratamento de Esgoto

FDA – Fibra em detergente Ácido

FDN – Fibra em detergente Neutro

IPLANCE – Instituto de Pesquisa e Informação do estado do Ceará

MS – Matéria Seca

PB – Proteína Bruta

RAS – Razão de Adsorção de Sódio

RM – Resíduo Mineral

USEPA – Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos

WHO – Organização Mundial de Saúde

SUMÁRIO

RESUMO	06
ABSTRACT	07
LISTA DE TABELAS	08
LISTA DE FIGURAS	10
LISTA DE SÍMBOLOS	12
1. INTRODUÇÃO	16
Água – O risco da escassez	16
2. OBJETIVOS	21
Objetivo Geral	21
Objetivos Específicos	21
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	22
Tratamento de Esgotos Sanitários	22
Fundamentos.....	22
Lagoas de Estabilização.....	24
Histórico.....	24
Conceitos.....	26
Unidades.....	28
Lagoas anaeróbicas.....	28
Lagoas aeróbicas.....	28
Lagoas facultativas.....	29
Lagoas aeradas.....	31
Eficiências e aplicabilidade das lagoas.....	32
Reúso de Águas	36
Conceitos.....	36
Importância da Prática do Reúso.....	41
Reúso em área urbana.....	43
Reúso industrial.....	44
Reúso associado à recarga artificial de aquíferos.....	45

Métodos de Irrigação Utilizados no Reúso.....	46
Métodos de Irrigação.....	46
Irrigação por Sulco.....	47
Irrigação por Gotejamento.....	49
Irrigação por Aspersores.....	51
Aspectos Sanitários da Irrigação com Esgotos.....	55
3.4.1 Qualidade da Água para Reúso em Irrigação.....	58
Uso de Esgotos Sanitários Tratados na Agricultura.....	62
Efeitos Positivos.....	64
Efeitos Negativos.....	65
Planejamento de Sistemas de Reúso de Água para fins Agrícolas.....	65
Aspectos Legais e Regulatórios.....	67
Aspectos Econômicos e Financeiros.....	68
Importância das Culturas de Forrageiras.....	69
Características da Cultura do Capim Tanzânia.....	70
4. MATERIAL E MÉTODOS.....	71
Localização da Região do Projeto.....	71
Características Gerais da Área.....	72
Características da Estação de Tratamento de Esgotos.....	73
Estação de Tratamento de Esgoto de Aquiraz.....	73
Captação.....	75
Análises Realizadas na Água e no Esgoto Tratado.....	76
Desenvolvimento da Pesquisa sobre o Capim Tanzânia.....	78
Determinação dos Tratamentos Aplicados e da Área de Plantio.....	78
4.4.1.1 Tratamentos aplicados.....	78
4.4.1.2 Área de plantio e desenvolvimento do Capim Tanzânia.....	80
Análises Realizadas.....	83
Análises químico-bromatológicas.....	83

4.4.2.1.1 Metodologia aplicada nas análises químico-bromatológicas.....	84
Análises microbiológicas.....	85
Metodologia aplicada nas análises microbiológicas.....	88
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	91
Características da Água do Poço e do Efluente da ETE.....	91
Análises Microbiológicas do Capim Tanzânia.....	95
Análises Químico-Bromatológicas do Capim Tanzânia.....	98
6. CONCLUSÕES.....	107
7. RECOMENDAÇÕES.....	109
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	110

1 INTRODUÇÃO

1.1 Água – O risco da escassez

Estudiosos prevêem que em breve a água será causa principal de conflitos entre nações. Há sinais dessa tensão em áreas do planeta como Oriente Médio e África. Mas também os brasileiros, que sempre se consideraram dotados de fontes inesgotáveis, vêem algumas de suas cidades sofrerem falta de água. A distribuição desigual é causa maior de problemas. Entre os países, o Brasil é privilegiado com 12% da água doce superficial no mundo.

Outro foco de dificuldades é a distância entre fontes e centros consumidores. É o caso da Califórnia (EUA), que depende para abastecimento até de neve derretida no distante Colorado. E também é o caso da cidade de São Paulo, que, embora nascida na confluência de vários rios, viu a poluição tornar imprestáveis para consumo as fontes próximas e tem de captar água de bacias distantes, alterando cursos de rios e a distribuição natural da água na região. Na última década, a quantidade de água distribuída aos brasileiros cresceu 30%, mas quase dobrou a proporção de água sem tratamento (de 3,9% para 7,2%) e o desperdício ainda assusta: 45% de toda a água ofertada pelos sistemas públicos (ISA, 2005).

Embora o Brasil seja o primeiro país em disponibilidade hídrica em rios do mundo, a poluição e o uso inadequado comprometem esse recurso em várias regiões do País.

O Brasil concentra em torno de 12% da água doce do mundo disponível em rios e abriga o maior rio em extensão e volume do Planeta, o Amazonas. Além disso, mais de 90% do território brasileiro recebe chuvas abundantes durante o ano e as condições climáticas e geológicas propiciam a formação de uma extensa e densa rede de rios, com exceção do Semi-Árido, onde os rios são pobres e temporários. Essa água, no entanto, é distribuída de forma irregular,

apesar da abundância em termos gerais. A Amazônia, onde estão as mais baixas concentrações populacionais, possui 78% da água superficial. Enquanto isso, no Sudeste, essa relação se inverte: a maior concentração populacional do País tem disponível 6% do total da água (ISA, 2005).

Mesmo na área de incidência do Semi-Árido (10% do território brasileiro; quase metade dos estados do Nordeste), não existe uma região homogênea. Há diversos pontos onde a água é permanente, indicando que existem opções para solucionar problemas socioambientais atribuídos à seca.

A água limpa está cada vez mais rara na Zona Costeira e a água de beber cada vez mais cara. Essa situação resulta da forma como a água disponível vem sendo usada: com desperdício - que chega entre 50% e 70% nas cidades -, e sem muitos cuidados com a qualidade. Assim, parte da água no Brasil já perdeu a característica de recurso natural renovável (principalmente nas áreas densamente povoadas), em razão de processos de urbanização, industrialização e produção agrícola, que são incentivados, mas pouco estruturados em termos de preservação ambiental e da água (ISA, 2005).

Nas cidades, os problemas de abastecimento estão diretamente relacionados ao crescimento da demanda, ao desperdício e à urbanização descontrolada – que atinge regiões de mananciais. Na zona rural, os recursos hídricos também são explorados de forma irregular, além de parte da vegetação protetora da bacia (mata ciliar) ser destruída para a realização de atividades como agricultura e pecuária. Não raramente, os agrotóxicos e dejetos utilizados nessas atividades também acabam por poluir a água. A baixa eficiência das empresas de abastecimento se associa ao quadro de poluição: as perdas na rede de distribuição por roubos e vazamentos atingem entre 40% e 60%, além de 64% das empresas não coletarem o esgoto gerado. O saneamento básico não é executado de forma adequada, já que 90% dos esgotos domésticos e 70% dos afluentes industriais são jogados sem tratamento nos rios, açudes e

águas litorâneas, o que tem gerado um nível de degradação nunca imaginado (ISA, 2005).

A água disponível no território brasileiro é suficiente para as necessidades do País, apesar da degradação. Seria necessária, então, mais consciência por parte da população no uso da água e, por parte do governo, um maior cuidado com a questão do saneamento e abastecimento. Por exemplo, 90% das atividades modernas poderiam ser realizadas com água de reúso. Além de diminuir a pressão sobre a demanda, o custo dessa água é pelo menos 50% menor do que o preço da água fornecida pelas companhias de saneamento, porque não precisa passar por tratamento. Apesar de não ser própria para consumo humano, poderia ser usada, entre outras atividades, nas indústrias, na irrigação, na lavagem de áreas públicas e nas descargas sanitárias de condomínios. Além disso, as novas construções – casas, prédios, complexos industriais – poderiam incorporar sistemas de aproveitamento da água da chuva, para os usos gerais que não o consumo humano (ISA, 2005).

A água, quando reciclada em sistemas naturais, é um recurso limpo e seguro que é, por meio da atividade antrópica, deteriorada a níveis diferentes de poluição. Entretanto, uma vez poluída, a água pode ser recuperada e reusada para fins benéficos diversos. A qualidade da água utilizada e o objeto específico do reúso, estabelecerão os níveis de tratamento recomendados, os critérios de segurança a serem adotados e os custos de capital e de operação e manutenção associados. As possibilidades e formas potenciais de reúso dependem, evidentemente, de características, condições e fatores locais, tais como decisão política, esquemas institucionais, disponibilidade técnica e fatores econômicos, sociais e culturais.

O uso de esgotos, particularmente no setor agrícola, se constitui em um importante elemento das políticas e estratégias de gestão de recursos hídricos. Muitos países, situados em regiões áridas e semi-áridas, tais como os do norte da África e do oriente médio, consideram esgotos e águas de baixa qualidade,

como parte integrante dos recursos hídricos nacionais, equacionando a sua utilização junto a seus sistemas de gestão, urbanos e rurais. Uma política criteriosa de reúso, transforma a problemática poluidora e agressiva dos esgotos, em um recurso econômico e ambientalmente seguro.

No Brasil, os governos estaduais e federais devem iniciar, imediatamente, processos de gestão para estabelecer bases políticas, legais e institucionais para o reúso, tanto em relação aos aspectos associados diretamente ao uso de afluentes, como aos planos estaduais ou nacionais de recursos hídricos. Linhas de responsabilidade e princípios de alocação de custos devem ser estabelecidos entre os diversos setores envolvidos, ou seja, companhias responsáveis pela coleta e tratamento de esgotos, os usuários que se beneficiarão dos sistemas de reúso, e o Estado, ao qual compete o suprimento adequado de água, a proteção do meio ambiente e da saúde pública. Em adição, e para assegurar a sustentabilidade, deve ser dada atenção adequada aos aspectos organizacionais, institucionais e socioculturais do reúso.

Considerando os problemas de disponibilidade hídrica mundial, nacional e, em particular, local, surgem, para minimizar o problema, debates a respeito do uso racional e eficiente dos recursos hídricos, da busca de alternativas tecnológicas e da implementação de programas de reaproveitamento da água a partir do reaproveitamento de esgotos em geral.

O reúso da água ou o uso de esgotos sanitários tratados não é um conceito novo e tem sido utilizado mundialmente há alguns anos. A demanda crescente por água tem feito da reutilização de tal recurso um tema de grande importância. Nesse sentido, é possível considerar o reúso da água como parte integrante de um conceito mais abrangente, que é o uso racional da água, o qual, por sua vez, está inserido no de recursos naturais, compreendendo a alocação e uso racionais, o controle de perdas e desperdícios, bem como a minimização da produção de resíduos e do consumo.

Nesse contexto e considerando que a água será um bem de importância vital do futuro, a adoção de tecnologias voltadas para o uso racional e, conseqüentemente, redução do desperdício, refletirá favoravelmente para sua conservação. Assim sendo, o presente trabalho propôs-se a aplicar e analisar a proposta de uso de esgoto sanitário tratado na agricultura, especificamente no uso para irrigação. O trabalho focalizou-se na análise dos efeitos do uso de esgoto sanitário tratado na irrigação da cultura de Capim Tanzânia (*Panicum maximum Jacq. cv. Tanzânia*).

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Avaliar os aspectos agronômicos e sanitários do uso de esgotos tratados na irrigação do Capim Tanzânia (*Panicum maximum Jacq. cv. Tanzânia*).

2.2 Objetivos Específicos

- Acompanhar o desenvolvimento do capim Tanzânia irrigado com efluente final de um sistema de tratamento de esgoto doméstico composto de quatro lagoas de estabilização em série.
- Avaliar os aspectos sanitários da utilização de esgotos domésticos tratados na irrigação do capim, especialmente quanto à presença de coliformes fecais e *Salmonella* nos efluentes e nas culturas.
- Comparar o desenvolvimento do capim Tanzânia para quatro tipos de tratamento: irrigação com água acrescida de fertilizante; irrigação com esgoto tratado; irrigação com esgoto acrescido de fertilizante; irrigação com esgoto tratado mais metade dos fertilizantes recomendados.
- Avaliar os efeitos dos fertilizantes no desenvolvimento do capim Tanzânia, por meio de análises químico-bromatológicas.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Tratamento de Esgotos Sanitários

3.1.1 Fundamentos

Águas residuárias, águas servidas ou esgotos são líquidos gerados pela atividade humana, nos mais diversificados usos. Seja na simples atividade doméstica ou na mais sofisticada indústria, a água é utilizada sendo posteriormente descartada, arrastando impurezas que podem ser nocivas ao meio ambiente. São conhecidos inúmeros casos de populações que foram afetadas por doenças transmitidas por microrganismos patogênicos, em regiões desprovidas de qualquer tipo de instalações de tratamento de efluentes.

Nas regiões onde os esgotos sanitários e industriais são tratados, a incidência dessas doenças é praticamente nula. Uma estação de tratamento de efluentes tem por objetivo reduzir a carga contaminante ou poluente dos esgotos, a um nível compatível com o corpo receptor, ou seja, de modo que o efluente final tratado possa ser absorvido, sem provocar a degradação do meio e riscos à saúde do homem. Os sistemas de lagoas de estabilização constituem-se na forma mais simples para o tratamento dos esgotos. Há diversas variantes dos sistemas de lagoas de estabilização, com diferentes níveis de simplicidade operacional e requisitos de área.

A vazão que deve entrar numa estação de tratamento de esgoto é um dos principais parâmetros para se projetar essas estações. A vazão tanto serve para o dimensionamento das unidades do sistema de tratamento, quanto para o estudo de autodepuração e enquadramento na legislação vigente (PELEGRINI e ZORATTO, 2003).

Segundo Pelegrini e Zoratto (2003), antes de se conhecer a vazão de esgoto afluente a estação de tratamento de esgoto (ETE) é importante conhecer também os principais tipos de sistemas de esgotamento sanitário existentes:

- Sistema de esgotamento Unitário ou Combinado: águas residuárias (domésticas e industriais), águas de infiltração (água do solo que penetra nas tubulações) e águas pluviais são coletadas pela mesma tubulação.
- Sistema separador absoluto: as águas residuárias e águas de infiltração veiculam por tubulação independente da água de chuva.

No Brasil, devido à quantidade de chuvas, é adotado o sistema separador absoluto. Os problemas encontrados são os das ligações clandestinas de água de chuva nas redes de esgoto, causando um aumento na vazão de projeto. No Brasil, dos cerca de 160 milhões de habitantes, apenas 48 milhões recebem rede coletora de esgoto sanitário e apenas 16 milhões de pessoas têm seus esgotos tratados (PELEGRINI e ZORATTO, 2003).

Existem os sistemas locais de tratamento de esgoto que não necessitam de rede coletora, pois os mesmos são tratados no local da sua geração. Este tipo de sistema tem sido ótima solução para várias localidades.

Para projetar as estações de tratamento de esgoto deve-se quantificar e qualificar o melhor possível, tanto o esgoto doméstico quanto o industrial.

A eficiência necessária para a instalação de uma estação de tratamento de esgoto é verificada através da classe do rio no qual o esgoto será despejado. Com a classe do rio sabe-se qual é o valor mínimo de oxigênio dissolvido (OD) permitido pela legislação, portanto o valor do oxigênio dissolvido crítico (OD_C) deverá ser igual ao valor mínimo permitido pela legislação.

3.1.2 Lagoas de Estabilização

3.1.2.1 Histórico

Os despejos domésticos de pequenas comunidades vêm sendo tratados há séculos por meio de processos semelhantes aos que ocorrem nas lagoas de estabilização. Mesmo sem os especialistas se darem conta, este tratamento começou a ser realizado à medida que esses despejos, embora acidentalmente, foram encaminhados para lagos naturais ou artificiais.

Segundo Jordão e Pessoa (2005), acredita-se que as primeiras lagoas criadas de forma acidental foram as de Santa Rosa, na Califórnia (USA), em 1924, e a de Fessenden na Dakota do norte (USA), em 1928.

No caso de Santa Rosa, na tentativa de se evitar o custo da construção de uma estação de tratamento, o esgoto foi passado sobre um leito de pedras, acreditando-se que este teria um efeito de filtro percolador, no entanto, não deu certo, pois, a passagem do esgoto, acabou entupindo os vazios do leito, causando um acúmulo de esgoto que chegou a 0,90 m de altura; todavia, o efluente obtido a partir desta “lagoa”, apresentou características semelhantes às de um filtro biológico.

Já em Fesseden, como não se conseguiu construir um corpo coletor adequado, o efluente da rede foi conduzido a uma depressão do terreno, fora da cidade e, alguns meses depois, constatou-se que a qualidade do efluente era equivalente à de um esgoto de tratamento secundário. Esta lagoa permaneceu em operação por trinta anos.

Foi apenas nos últimos cinquenta anos que experimentos objetivos e critérios racionais de projeto começaram a ser desenvolvidos, de modo a se estabelecer parâmetros de carga orgânica, tempo de detenção, profundidade, etc. Já na década de 40 apareciam lagoas com acompanhamento operacional, e a partir

do qual se procurava conhecer melhor, parâmetros para dimensionamento e melhor entendimento de seu funcionamento (JORDÃO E PESSOA, 2005).

Os Estados da Dakota do Norte e Dakota do Sul foram os primeiros na pesquisa objetiva nos Estados Unidos e, em 1948, entrou em operação a primeira lagoa projetada especificamente para receber e tratar esgoto bruto (lagoa de Maddock). Aproximadamente nesta mesma época, na Austrália desenvolveram-se estudos para realizar o tratamento de esgotos em lagoas, e este país foi pioneiro no uso de lagoas em série, que alguns chamam de “lagoas australianas” (JORDÃO e PESSOA, 2005).

A partir de 1950 os principais pesquisadores começaram a publicar seus trabalhos, e já em 1960 se estabeleceu um intercâmbio de informações e experiências entre o meio técnico dos países, que de forma definitiva aceitavam e defendiam o uso de lagoas. O maior desenvolvimento tem-se dado nos Estados Unidos, Austrália, Nova Zelândia, Israel, África do Sul, Índia, Canadá, e na América Latina, no Brasil, México, Colômbia, Peru, Costa Rica, Cuba, Equador (JORDÃO e PESSOA, 2005).

No Brasil, a primeira lagoa construída foi a de São José dos Campos, São Paulo, no sistema australiano, isto é, duas lagoas em série, uma anaeróbia seguida de uma facultativa. Foi fruto de um convênio entre o departamento de Águas e Energia Elétrica do Estado de São Paulo, a Fundação SESP (Serviço Especial de Saúde Pública), e a Prefeitura de São José dos Campos. A finalidade do convênio era operar esta lagoa a ser construída e estabelecer parâmetros de projeto de lagoas em nosso país. Embora o acompanhamento da operação tenha sofrido discontinuidades, a lagoa de São José dos Campos foi a primeira experiência de lagoas em nosso país. Em 1963, no Rio de Janeiro, foi construída uma lagoa também pioneira, de Cidade de Deus, inicialmente facultativa e depois aerada (JORDÃO e PESSOA, 2005).

3.1.2.2 Conceitos

As lagoas de estabilização são sistemas de tratamento biológico em que a estabilização da matéria orgânica é realizada pela oxidação bacteriológica (oxidação aeróbia ou fermentação anaeróbia) e/ou redução fotossintética das algas.

Segundo Jordão e Pessoa (2005), de acordo com a forma predominante pela qual se dá a estabilização da matéria orgânica a ser tratada, as lagoas costumam ser classificadas em:

- Anaeróbias: nas quais predominam processos de fermentação anaeróbia; imediatamente abaixo da superfície não existe oxigênio dissolvido.
- Facultativas: nas quais ocorrem, simultaneamente, processos de fermentação anaeróbia, oxidação aeróbia e redução fotossintética; uma zona anaeróbia de atividade bentônica é sobreposta por uma zona aeróbia de atividade biológica, próxima à superfície; as lagoas facultativas são chamadas primárias, quando recebem esgoto bruto, e secundárias quando recebem o efluente de outra lagoa, em geral anaeróbia;
- Estritamente aeróbias: nas quais se chega a um equilíbrio da oxidação e da fotossíntese para garantir condições aeróbias em todo o meio; é comum chamar-se de aeróbias as lagoas facultativas, embora não seja plenamente correto;
- De maturação: têm como objetivo principal remover organismos patogênicos; reduzem bactérias, vírus, cistos de protozoários e ovos de helmintos; a parcela de redução de sólidos em suspensão e da DBO pode-se negligenciar;

- De polimento: têm como objetivo principal o refinamento de outro processo biológico, em particular de um reator anaeróbio de fluxo ascendente, objetivando uma remoção adicional de DBO, nutrientes e organismos patogênicos;
- Aeradas: nas quais se introduz oxigênio no meio líquido por meio de um sistema mecanizado de aeração; as lagoas aeradas devem ser seguidas de uma lagoa de sedimentação;
- Com macrófitas: usadas como polimento final de um tratamento por lagoas, com objetivo de reduzir nutrientes, sólidos em suspensão e a demanda bioquímica de oxigênio (DBO) remanescente. Várias experiências práticas indicam também a redução de metais. Este tipo de lagoa requer manutenção intensiva (corte regular das plantas que crescem rapidamente, secagem e destino final), e áreas sombreadas incentivam a proliferação de moscas e mosquitos, razões pelas quais não é recomendável.

As lagoas de estabilização são lagoas, seja naturais ou artificiais, em que prevalecem condições técnicas adequadas aos fenômenos físicos, químicos e biológicos que caracterizam a autodepuração. A matéria orgânica é estabilizada principalmente pela ação das bactérias, embora alguns fungos e protozoários também participem do processo. As bactérias produzem ácido orgânico, sob condições anaeróbias, ou CO_2 e água sob condições aeróbias. Uma vez que a DBO do efluente tratado é menor nos casos em que o produto final do metabolismo é o CO_2 e água sob condições aeróbias; além desta razão, a produção de gases mal-cheirosos nos processos anaeróbios, faz com que a oxidação aeróbia tenha preferência em geral, pelo menos nas localidades em que aqueles inconvenientes poderiam ser prejudiciais a uma população eventualmente próxima.

3.1.2.3 Unidades

3.1.2.3.1 Lagoas anaeróbicas

As lagoas anaeróbicas constituem-se em uma forma alternativa de tratamento, onde a existência de condições estritamente anaeróbicas é essencial. Tal é alcançado através do lançamento de uma grande carga de DBO por unidade de volume da lagoa, fazendo com que a taxa de consumo de oxigênio seja várias vezes superiores à taxa de produção. No balanço de oxigênio, as produções pela fotossíntese e pela reaeração atmosférica são, nestes casos, desprezíveis (VON SPERLING, 2002).

As lagoas anaeróbicas são usualmente profundas, da ordem de 3 a 5m. A profundidade é importante, no sentido de reduzir a possibilidade da penetração do oxigênio produzido na superfície para as demais camadas. Pelo fato das lagoas serem mais profundas, a área requerida é correspondentemente menor. A eficiência de remoção de DBO nas lagoas anaeróbicas é usualmente da ordem de 50% a 70%. A DBO efluente é ainda elevada, implicando na necessidade de uma unidade posterior de tratamento (VON SPERLING, 2002).

A remoção de DBO na lagoa anaeróbia proporciona uma substancial economia de área para a lagoa facultativa, fazendo com que o requisito de área total seja em torno de 45 a 70% do requisito de uma lagoa facultativa única (VON SPERLING, 2002).

3.1.2.3.2 Lagoas aeróbicas

Lagoa de oxidação em que o processo biológico de tratamento é predominantemente aeróbio. Estas lagoas têm sua atividade baseada na simbiose entre algas e bactérias. Estas decompõem a matéria orgânica produzindo gás carbônico, nitratos e fosfatos que nutrem as algas, que pela

ação da luz solar transformam o gás carbônico em hidratos de carbono, libertando oxigênio que é utilizado de novo pelas bactérias e assim por diante.

3.1.2.3.3 Lagoas facultativas

Nas lagoas facultativas a remoção da matéria orgânica se dá através dos fenômenos da fermentação anaeróbia (na zona do fundo), e da oxidação aeróbia e redução fotossintética, nas camadas líquidas superiores.

As lagoas facultativas são a variante mais simples dos sistemas de lagoas de estabilização. O esgoto efluente entra em uma extremidade da lagoa e sai na extremidade oposta. Ao longo desse percurso, que demora vários dias, uma série de mecanismos contribui para purificação do esgoto. Estes mecanismos ocorrem nas três zonas das lagoas, denominadas: zona anaeróbia; zona aeróbia; zona facultativa (VON SPERLING, 1996). A matéria orgânica em suspensão (DBO particulada) tende a sedimentar, vindo a constituir o lodo de fundo (zona anaeróbia). Este lodo sofre o processo de decomposição por microrganismos anaeróbios, sendo convertido lentamente em gás carbônico, água, metano e outros. Após certo período de tempo, apenas a fração inerte (não biodegradável) permanece na camada do fundo. O gás sulfídrico gerado não causa problemas de mau cheiro, pelo fato de ser oxidado, por processos químicos e bioquímicos na camada aeróbia superior (VON SPERLING, 1996). A matéria orgânica dissolvida (DBO solúvel), conjuntamente com a matéria orgânica em suspensão de pequenas dimensões (DBO finamente particulada) não sedimenta, permanecendo dispersa na massa líquida. Na camada mais superficial, tem-se a zona aeróbia. Há necessidade da presença de oxigênio, o qual é suprido ao meio pela fotossíntese realizada pelas algas. Tem-se, assim, um perfeito equilíbrio entre o consumo, a produção de oxigênio e gás carbônico (VON SPERLING, 1996). Deve-se destacar que as reações de fotossíntese (produção de matéria orgânica) e respiração (oxidação de matéria orgânica) são similares, apenas com direções opostas.

Para a ocorrência da fotossíntese é necessária uma fonte de energia luminosa, neste caso representado pelo sol. Por esta razão, locais com elevada radiação solar e baixa nebulosidade são bastante propícios à implantação de lagoas facultativas. A fotossíntese, por depender da energia solar, é mais elevada na superfície da lagoa; à medida que se aprofunda na lagoa, a penetração de luz é menor, o que ocasiona a predominância do consumo de oxigênio (respiração) sobre a produção (fotossíntese), com a eventual ausência do oxigênio dissolvido a partir de certa profundidade. A fotossíntese só ocorre durante o dia, fazendo com que durante a noite possa prevalecer a ausência de oxigênio. Devido a estes fatos, é essencial que haja diversos grupos de bactérias, responsáveis pela estabilização da matéria orgânica, que possam sobreviver e proliferar, tanto na presença, quanto à ausência de oxigênio. Na ausência de oxigênio livre são utilizados outros aceptores de elétrons, como o nitrato (condições anóxicas) e sulfatos e CO_2 (condições anaeróbias). Esta zona, onde pode ocorrer a presença ou ausência de oxigênio, é denominada zona facultativa. O processo de lagoas facultativas é essencialmente natural, não necessitando de nenhum equipamento. Por essa razão, a estabilidade da matéria orgânica se processa em taxas mais lentas, implicando na necessidade de elevado período de detenção na lagoa (usualmente superior a 20 dias). A fotossíntese, para que seja efetiva, necessita de uma elevada área de exposição para o melhor aproveitamento da energia solar pelas algas, desta forma implicando na necessidade de grandes unidades (maior entre os processos de tratamento de esgoto) (VON SPERLING, 1996).

O efluente de uma lagoa facultativa possui as seguintes características principais (CETESB, 1989): cor verde devido às algas, elevado teor de oxigênio, sólidos em suspensão, embora praticamente nenhum seja sedimentável (as algas praticamente não sedimentam no teste do cone Imhoff).

3.1.2.3.4 Lagoas aeradas

O Sistema é mecanizado e aeróbio. O oxigênio é fornecido por equipamentos mecânicos - os aeradores - ou por ar comprimido através de um difusor submerso. A remoção do DBO é função do período de aeração, da temperatura e da natureza do esgoto. O despejo de efluente industrial deve ser controlado para não prejudicar a eficiência do processo. Os sólidos dos esgotos e as bactérias sedimentam, indo para o lodo do fundo, ou são removidos em uma lagoa de decantação secundária. O processo tem baixa produção de maus odores, sendo a eficiência na remoção de DBO de 70 a 90% e na eliminação de patogênicos de 60 a 99%. Requerem menos área do que os sistemas naturais, porém ocupam mais espaço que os demais sistemas mecanizados. O consumo de energia é razoavelmente elevado. Em períodos entre 2 a 5 anos é necessária a remoção do lodo da lagoa de decantação.

As lagoas facultativas sobrecarregadas e sem área para expansão podem ser convertidas a lagoas aeradas, através da inclusão de aeradores. É interessante, no entanto, prever esta possibilidade desde o início do projeto, como parte de possível expansão, para que possa ser selecionada uma profundidade que seja compatível com futuros equipamentos de aeração (VON SPERLING, 2002).

Os aeradores mecânicos mais comumente usados em lagoas são unidades de eixo vertical que, ao rodarem em alta velocidade, causam um grande turbilhonamento na água. Isto propicia a penetração do oxigênio atmosférico na massa líquida, onde ele se desenvolve. Com isto, consegue-se uma maior introdução de oxigênio, comparada à lagoa facultativa, permitindo que a decomposição da matéria orgânica se dê mais rapidamente (VON SPERLING, 2002).

3.1.2.4 Eficiência e aplicabilidade das lagoas

As lagoas apresentam excelente eficiência de tratamento. A matéria orgânica dissolvida no efluente das lagoas é bastante estável, e a DBO geralmente encontra-se numa faixa de 30m a 50 mg/L, nas lagoas facultativas (havendo uma separação das algas, esta concentração pode reduzir-se para 20 a 30 mg/L). Em termos de eficiência de remoção de DBO, a faixa típica situa-se entre 75 e 85% (JORDÃO e PESSOA, 2005).

Uma investigação recente, englobando 115 lagoas facultativas na região Sudeste do Brasil, mostrou que lagoas facultativas primárias apresentaram uma eficiência média de 74%, enquanto nos sistemas em série (lagoas anaeróbias seguidas de facultativas) este índice chegou a 82% (JORDÃO e PESSOA, 2005).

Nem sempre, porém, o objetivo será a remoção da DBO ou da DQO – interessará muitas vezes a remoção de organismos coliformes, e tem-se alcançado até, 99,9999% de eficiências em lagoas de maturação em série (JORDÃO e PESSOA, 2005).

Modernamente se aceita que as lagoas devem cumprir dois objetivos principais: a proteção ambiental, e nesse caso tem-se em vista principalmente a remoção da DBO; e a proteção da saúde pública, e aí se visa à remoção de organismos patogênicos.

As lagoas de estabilização têm hoje outro campo muito importante de aplicação: preparar o efluente para uso em agricultura ou aquicultura. Diretrizes recentes estabelecidas pela Organização Mundial de Saúde estabelecem que a qualidade microbiológica de efluentes tratados usados em irrigação de culturas consumidas cruas, bem como em campos esportivos ou parques públicos, nos casos em que existem grupos e trabalhadores ou consumidores ou público expostos, deve ser inferior a 1000 CF/100 mL como média geométrica, e

indicam que uma série de lagoas de estabilização pode alcançar esta qualidade microbiológica. Os limites estabelecidos na Resolução nº 357/05 do Conselho Nacional do Meio Ambiente para águas da Classe 2, irrigação de hortaliças e plantas frutíferas, fixam em 80% ou mais de pelo menos 5 amostras mensais, ≤ 1000 CF/100 mL, e ≤ 5000 CT/100 mL (JORDÃO e PESSOA, 2005).

Em relação à remoção de nutrientes, pode-se encontrar uma razoável remoção de nitrogênio amoniacal nas lagoas de maturação rasas, através do processo de volatilização da amônia livre (NH_3), com pH elevado. É possível no caso de lagoas de maturação rasa obter-se uma remoção de amônia livre da ordem de 70 a 80%.

A Tabela 3.1 mostra faixas de eficiência para vários tipos de lagoas e para os principais parâmetros de interesse:

TABELA 3.1 – Características dos principais sistemas de lagoas para remoção da DBO.

Parâmetro	Facultativa	Anaeróbica + Facultativa	Aerada Facultativa	Aerada de mistura completa
DBO (%)	70 - 85	70 - 90	70 - 90	70 - 90
Nitrogênio (%)	30 - 50	30 - 50	30 - 50	30 - 50
Fósforo (%)	20 - 60	20 - 60	20 - 60	20 - 60
Coliformes (%)	60 - 99	60 - 99,9	60 - 96	60 - 99
Área (m ² /hab)	2,0 - 5,0	1,5 - 3,5	0,3 - 0,6	0,2 - 0,5

Fonte: Von Sperling, 1996.

O tratamento de esgotos utilizando-se lagoas de estabilização é muito adequado para as condições do Brasil e da América Latina, com climas favoráveis e grandes extensões de áreas planas. As experiências indicam esta solução como plenamente aceitável. No entanto, se o projeto não for criterioso, o tratamento adequado, e se deixar de existir equilíbrio entre as condições

locais e as cargas poluidoras, os inconvenientes dos demais processos certamente aparecerão: produção de mau cheiro, estética desfavorável, efluente com DBO elevada, coliformes fecais em excesso, mosquitos, roedores, etc.

Os casos de maus odores são péssimos, já que comprometem perante a opinião pública o bom trabalho que a lagoa faz. Por outro lado, como as lagoas abrangem em geral áreas extensas, as conseqüências exteriores de um projeto ruim ou má operação podem atingir uma grande comunidade, ao contrário do que ocorre em uma estação de tratamento onde os efeitos são localizados.

As principais vantagens e desvantagens das lagoas de estabilização (Tabela 3.2) estão associadas, portanto, à predominância dos fenômenos naturais (VON SPERLING, 1996).

TABELA 3.2 – Análise comparativa dos principais sistemas de lagoas para a remoção da DBO.

Sistema	Vantagens	Desvantagens
Lagoa Facultativa	<ul style="list-style-type: none"> - Satisfatória remoção de DBO; - Eficiente Remoção de patogênicos; - Construção, operação e manutenção simples; - Reduzidos custos de implantação e operação; - Ausência de equipamentos mecânicos; - Requisitos energéticos praticamente nulos; - Remoção de lodo necessário após período superior a 20 anos. 	<ul style="list-style-type: none"> - Dificuldade em satisfazer padrões de lançamentos bem restritos; - A simplicidade operacional pode trazer o descaso na manutenção; - Desempenho variável com a condição climática; - Possibilidade do crescimento de insetos; - Elevados requisitos de área.
Sistema de Lagoa Anaeróbica + Facultativa	<ul style="list-style-type: none"> - Idem lagoas facultativas; - Requisitos de área inferiores aos das lagoas facultativas únicas. 	<ul style="list-style-type: none"> - Idem lagoas facultativas; - Possibilidade de maus odores na lagoa anaeróbia; - Necessidade de um afastamento razoável às residências circunvizinhas.
Lagoa Aerada Facultativa	<ul style="list-style-type: none"> - Construção, operação e manutenção relativamente simples; - Requisitos de área inferiores aos outros sistemas de lagoas; - Maior independência das condições climáticas; - Reduzidas possibilidades de maus odores. 	<ul style="list-style-type: none"> - Introdução de equipamentos; - Ligeiro aumento no nível de sofisticação; - Requisitos de área ainda relativamente elevados; - Requisitos de energia relativamente elevados.
Lagoa Aerada da mistura completa	<ul style="list-style-type: none"> - Idem lagoas aeradas facultativas; - Menores requisitos de área de todos os sistemas de lagoas. 	<ul style="list-style-type: none"> - Introdução de equipamentos; - Necessidade de remoção contínua ou periódica (2 a 5 anos) do lodo.

Fonte: Von Sperling, 1996.

Fatores como: a simplicidade e eficiência do processo, o baixo custo de construção e operação, além das condições climáticas extremamente favoráveis levou o processo a sua completa aceitação ente nós. Muitos estados adotaram definitivamente as lagoas, e grande número de pesquisas e resultados operacionais têm sido publicados.

3.2 Reúso de Águas

3.2.1 Conceitos

Considerando as limitações dos recursos hídricos, o homem primitivo não fixava moradia e mudava-se constantemente numa permanente busca de locais com suposta abundância de água. Essas mobilizações tornaram-se cada vez mais difíceis em razão do crescimento das populações, surgindo a necessidade das comunidades disciplinarem e racionalizarem o uso da água.

De acordo com Brega Filho e Mancuso (2002), o reúso da água subentende uma tecnologia desenvolvida segundo os fins a que a água se destina e de como a mesma tenha sido anteriormente utilizada. A conceituação precisa da expressão reúso de água está condicionada ao exato momento a partir do qual se admite que o reúso tenha sido feito.

Neste sentido, segundo Brega Filho e Mancuso (2002), a caracterização de reúso deve considerar o volume de esgoto recebido pelo corpo d'água, em relação ao volume de água inicialmente existente no rio. No caso de comunidades que utilizam água de um rio que recebe quantidades crescentes de esgoto, não se deve falar em reúso para a situação da comunidade que capta água cuja diluição pode ser caracterizada, na prática, como infinita. O oposto seria a reutilização do esgoto para fins potáveis, sem devolvê-lo antes ao meio ambiente, o que, para alguns, poderia ser classificado como reúso potável direto.

A literatura é rica na terminologia do reúso da água e existem discrepâncias entre vários autores, dificultando o entendimento desta prática. De maneira geral, o reúso de água pode ocorrer de forma direta ou indireta, por meio de ações planejadas ou não. Entretanto, de acordo com a Organização Mundial de Saúde (WHO, 1973, citada por Brega Filho e Mancuso, 2002), existem as seguintes categorias:

- Reúso Indireto: ocorre quando a água já usada, uma ou mais vezes para uso doméstico ou industrial, é descarregada nas águas superficiais ou subterrâneas e utilizada novamente a jusante, de forma diluída;
- Reúso Direto: é o uso planejado e deliberado de esgotos tratados para certas finalidades como irrigação, uso industrial, recarga de aquíferos e água potável;
- Reciclagem Interna: é o reúso da água internamente em instalações industriais, tendo como objetivo a economia de água e o controle da poluição.

A mesma publicação da Organização Mundial de Saúde (1973) *apud* Brega Filho e Mancuso (2002) diferencia o reúso indireto intencional do não intencional e estabelece que, quando o reúso indireto decorre de descargas planejadas a montante, ou de recargas planejadas no aquífero subterrâneo, é classificado como reúso indireto intencional.

Lavrador Filho (1987) sugere uma terminologia com maior nível de detalhamento para uniformização de linguagens distintas, utilizando-se das seguintes expressões:

- Reúso de Água: para designar o aproveitamento de águas já utilizadas, uma ou mais vezes, em alguma atividade humana, para o atendimento

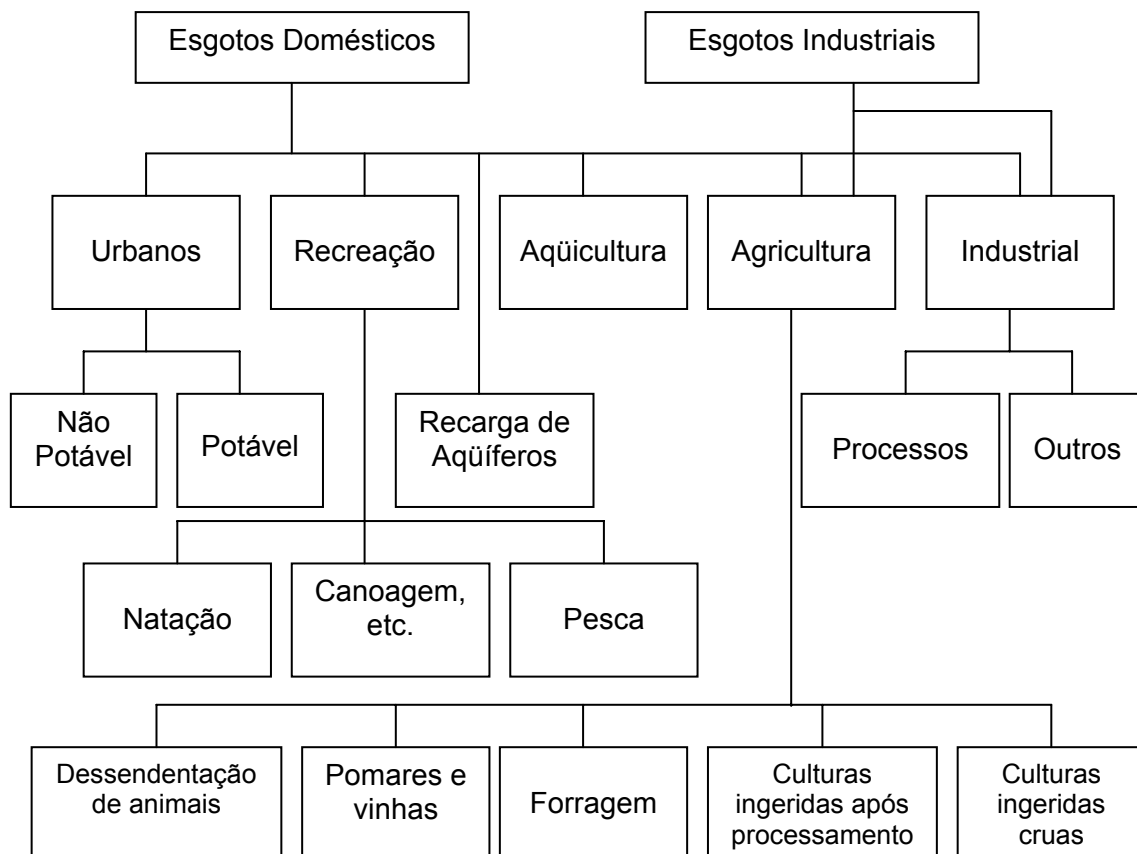
das necessidades de outros usos benéficos, inclusive o original. Podendo ser direto ou indireto, bem como decorrer de ações planejadas ou não planejadas.

- **Reúso Planejado de Água:** o reúso acontece como resultado de uma ação humana consciente, adiante do ponto de descarga do efluente a ser usado de forma direta ou indireta. Esta categoria pressupõe a existência de um sistema de tratamento de efluentes que atenda aos padrões de qualidade da água requeridos pelo o novo uso que se deseja fazer da água. O reúso planejado também pode ser chamado de reúso intencional de água.
- **Reúso Indireto não Planejado de Água:** decorre da reutilização da água uma ou mais vezes em alguma atividade humana e a mesma é descarregada no meio ambiente e novamente utilizada a jusante, em sua forma diluída, de maneira não intencional e não controlada. Nesta situação, o reúso da água é um subproduto não intencional da descarga de montante. Após sua descarga no meio ambiente, o efluente será diluído e sujeito a processos como autodepuração, sedimentação, dentre outros, além de eventuais misturas com outros despejos decorrentes de diferentes atividades humanas.
- **Reúso Indireto Planejado de Água:** para este tipo, os efluentes, após receberem o devido tratamento, são descarregados de forma planejada nos corpos d'água superficiais ou subterrâneos, para serem utilizados a jusante em sua forma diluída e de maneira controlada, no intuito de algum uso benéfico.
- **Reúso Direto Planejado de Água:** os efluentes, após os tratamentos necessários, são encaminhados diretamente de seu ponto de descarga até o local de reúso, sendo submetidos aos tratamentos adicionais e

armazenamentos necessários, mas não sendo, em nenhum momento, descarregado no meio ambiente, durante o seu percurso.

- Reciclagem de Água: trata-se de reúso interno da água, antes de sua descarga em um sistema geral de tratamento ou outro local de disposição, para servir como fonte suplementar de abastecimento do uso original. É um caso particular do reúso direto.

A figura 3.1 apresenta as diversas formas potenciais de reúso de água.



Fonte: Hespanhol, 1997.

FIGURA 3.1 – Formas potenciais de reúso de água.

A Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental utiliza-se da classificação definida por Westerhoff (1984), segundo a qual existem duas grandes categorias de reúso: potável e não potável. Estas, por sua vez, podem ser subdivididas em:

- Reúso Potável

- Reúso Potável Direto: ocorre quando o esgoto recuperado, através de tratamento avançado, é diretamente reutilizado no sistema de água potável.
- Reúso Potável Indireto: neste caso o esgoto, após tratamento, é disposto em águas superficiais ou subterrâneas para diluição, purificação natural e subsequente captação, tratamento e, finalmente, utilizado como água potável.

- Reúso Não Potável

- Fins agrícolas: quando se pratica esta modalidade de reúso, em geral, ocorre recarga do lençol subterrâneo, mas o principal objetivo desta prática é a irrigação de plantas alimentícias, tais como árvores frutíferas, cereais ou plantas não alimentícias, tais como pastagens e forrações, além de ser aplicável para dessedentação de animais.
- Fins industriais: engloba os usos industriais de refrigeração, águas de processo para utilização em caldeiras etc.
- Fins de recreação: classificação reservada para a irrigação de campos de esportes, parques e também para enchimento de lagoas ornamentais, de recreação, entre outros.
- Fins domésticos: consideram-se os casos de reúso de água para irrigação de jardins residenciais, para descargas sanitárias e utilização

desse tipo de água em grandes edifícios para reserva contra incêndio e resfriamento de equipamentos de ar condicionado.

Em complementação à classificação de Westerhoff, são incorporados os fins abaixo descritos:

- Fins de manutenção de vazões: a manutenção de vazões de cursos de água promove a utilização planejada de efluentes tratados, visando uma adequada diluição de eventuais cargas poluidoras a eles carregadas, incluindo-se fontes difusas, além propiciar uma vazão mínima na estiagem.
- Fins de aquicultura: ocorre na produção de peixes e plantas aquáticas visando à obtenção de alimentos e/ou energia, utilizando-se os nutrientes existentes nos efluentes tratados.
- Fins de recarga de aquíferos subterrâneos: a recarga dos aquíferos subterrâneos com efluentes tratados pode ocorrer de forma direta através de injeção sob pressão ou de forma indireta, utilizando-se águas superficiais que tenham recebido descargas de efluentes tratados a montante.

3.2.2 Importância da Prática do Reúso de Água

Nas regiões áridas e semi-áridas, a água tornou-se um fator limitante para o desenvolvimento urbano, industrial e agrícola. Planejadores e entidades gestoras de recursos hídricos procuram continuamente novas fontes de recursos para complementar a pequena disponibilidade hídrica ainda existente.

Diversos países do Oriente Médio, onde a precipitação média oscila entre 100 e 200 mm por ano, dependem de alguns poucos rios perenes e pequenos reservatórios de água subterrânea, geralmente localizados em regiões

montanhosas, de difícil acesso. Nesses locais, a água potável é proporcionada por sistemas de dessalinização da água do mar e, em razão da impossibilidade de manter uma agricultura irrigada, mais de 50% da demanda de alimentos são satisfeitas pela importação de produtos alimentícios básicos (HESPANHOL, 1999).

O fenômeno da escassez, como bem se sabe, não é exclusivo das regiões áridas de uma grande parte de países e das regiões semi-áridas brasileiras. Muitas áreas com taxas de precipitação anual significativas, mas insuficientes para gerar vazões capazes de atender a demandas excessivamente elevadas, também experimentam conflitos de usos e sofrem restrições de consumo que afetam o desenvolvimento econômico e a qualidade de vida.

As águas de qualidades inferiores, tais como esgotos, particularmente os de origem doméstica, águas de chuvas, água de drenagem agrícola e águas salobras devem, sempre que possível, ser consideradas como fontes alternativas para usos menos restritivos. O uso de tecnologias apropriadas para o desenvolvimento dessas fontes constitui-se, atualmente, em associação com a melhoria da eficiência do uso e o controle da demanda, em estratégia básica para a solução do problema da falta universal de água.

A água é um recurso renovável através do ciclo hidrológico. Quando reciclada por sistemas naturais, é limpa e segura, sendo deteriorada a níveis diferentes de poluição por meio de atividade antrópica. Entretanto, uma vez poluída, a água quase sempre pode ser recuperada e reusada para diversos fins.

A qualidade da água utilizada e o objeto específico do reúso estabelecerão os níveis de tratamento recomendados, os critérios de segurança a serem adotados, os custos de capital, de operação e manutenção associados. As possibilidades e formas potenciais de reúso dependem, evidentemente, de características, condições e fatores locais, tais como decisão política, esquemas institucionais e disponibilidade.

Embora existam muitas possibilidades de reúso no mundo para atendimento de grande variedade de usos, os mais significativos são as formas de reúso em área urbana, o reúso industrial, o reúso associado à recarga artificial de aquíferos e o reúso agrícola.

3.2.2.1 Reúso em área urbana

No setor urbano, o potencial de reúso de efluentes é muito amplo e diversificado. As aplicações que demandam águas com qualidade elevada, entretanto, requerem sistemas de tratamento e de controle avançados, podendo levar a custos incompatíveis com os benefícios correspondentes. Os esgotos tratados podem ser utilizados para fins potáveis e não potáveis, desde que obedecem aos critérios de qualidade da água para o devido uso.

De acordo com Hespanhol (1999), a prática do reúso urbano para fins potáveis só poderá ser considerada garantindo-se a operação dos sistemas de tratamento, distribuição e de vigilância sanitária adequada e, obedecendo, estritamente, aos seguintes critérios básicos:

- Empregar unicamente sistemas de reúso indireto;
- Utilizar exclusivamente esgotos domésticos;
- Empregar barreiras múltiplas nos sistemas de tratamento;
- Adquirir aceitação pública e assumir a responsabilidade pelo empreendimento.

Os usos urbanos não potáveis envolvem riscos menores e devem ser considerados como a primeira opção de reúso na área urbana. Entretanto,

cuidados especiais devem ser tomados quando ocorre contato direto do público com gramados de parques, jardins, hotéis, áreas turísticas e campos de esporte.

3.2.2.2 Reúso industrial

O reúso para fins industriais pode ser visualizado sob diversos aspectos, conforme as possibilidades existentes no contexto externo e interno às indústrias. Segundo Hespanhol (2002a), pode ser adotada a seguinte classificação:

- Reúso macroexterno
- Reúso macrointerno
- Reúso interno específico

Os usos industriais que possibilitam viabilização em áreas de concentração industrial significativa são basicamente os seguintes:

- Torres de resfriamento;
- Caldeiras;
- Lavagem de peças e equipamentos, principalmente nas indústrias mecânica e metalúrgica;
- Irrigação de áreas verdes de instalações industriais, lavagens de pisos e veículos;
- Processos industriais.

3.2.2.3 Reúso associado à recarga artificial de aquíferos

Os aquíferos subterrâneos são alimentados, de maneira contínua ou intermitente, através de áreas de recarga naturais, tais como lagos, rios, campos irrigados, ou diretamente, pela infiltração de águas da chuva. A hidrogeologia e engenharia de recursos hídricos, em associação com a prática de reúso, desenvolveram a tecnologia de recarga artificial, realimentando aquíferos com águas de procedências diversas ou efluentes adequadamente tratados, com o objetivo de aumentar a disponibilidade de água, incrementar reservas hídricas, ou para resolver problemas localizados.

Hespanhol (2002b), ao citar Crook *et al.* (1992), afirma que a recarga artificial de aquíferos é basicamente direcionada para o atendimento dos seguintes objetivos:

- Proporcionar atendimento adicional de efluentes;
- Aumentar a disponibilidade de água em aquíferos potáveis ou não potáveis;
- Proporcionar reservatórios de água para uso futuros;
- Prevenir subsidência do solo;
- Prevenir a introdução de cunha salina em aquíferos costeiros.

3.3 Métodos de Irrigação Utilizados no Reúso

3.3.1 Métodos de Irrigação

Segundo Mancuso e Santos (2003), a aplicação de esgotos tratados pode ser efetuada através dos seguintes métodos básicos de irrigação:

- Por inundação ou por canais laterais, molhando praticamente toda a superfície do solo;
- Por sulcos, molhando apenas uma pequena parte da superfície do solo;
- Por aspersores, fazendo com que o solo e as culturas sejam molhados de maneira semelhante ao que ocorre durante chuvas;
- Por irrigação subsuperficial, na qual apenas uma pequena porção do solo é molhada, mas permitindo a saturação do subsolo;
- Por irrigação localizada (gota a gota, exsudação em mangueiras plásticas e *bubbler*), na qual a água é aplicada a cada planta, individualmente, e a uma taxa ajustável.

A tabela 3.3 mostra os métodos utilizados para a irrigação com esgoto e as medidas necessárias para sua utilização, de modo a prevenir possíveis efeitos danosos.

TABELA 3.3 – Fatores que afetam a escolha do método de irrigação e as medidas preventivas requeridas quando se utiliza esgotos.

Método de Irrigação	Fatores que afetam a escolha	Medidas preventivas necessárias
Inundação	Menores custos; não é necessário nivelamento preciso do terreno.	Proteção completa para operários agrícolas, consumidores e manuseadores de culturas.
Sulcos	Custo baixo; nivelamento pode ser necessário.	Proteção para operários agrícolas, possivelmente necessária para consumidores e manuseadores de culturas.
Aspersores	Eficiência média do uso da água; não há necessidade de nivelamento.	Algumas culturas, principalmente árvores frutíferas, são excluídas; distância mínima de 100 metros de casas e estradas.
Subsuperficial ou localizada	Custos elevados; elevada eficiência do uso da água; alta produtividade agrícola.	Filtração para evitar entupimento de orifícios (exceto no caso de irrigação por bubblers).

Fonte: Kandiah, 1994.

3.3.2 Irrigação por Sulcos

A irrigação por superfície constitui a forma mais usada e mais tradicional de irrigar, sendo o método de irrigação por sulcos um dos mais usados, principalmente para cultivos em linhas, como olerícolas, milho, trigo, algodão, cana-de-açúcar e outras (BERNARDO, 1995).

A distribuição da água se dá por gravidade através da superfície do solo. Tem menor custo fixo e operacional, e consome menos energia que os métodos por aspersão. É o método ideal para cultivos em fileiras. Deve ser feito em áreas planas. Exige elevado investimento em mão-de-obra. Possui baixa eficiência, em torno de 30 a 40%, no máximo. Atualmente, devido a grandes discussões sobre a escassez de água no mundo e problemas ambientais, inclusive para a irrigação, esse método tem recebido várias críticas devido à baixa eficiência conseguida.

Segundo Silveira e Stone (1994), o sistema de irrigação por sulcos apresenta as seguintes vantagens:

- Adapta-se a um grande número de solos e culturas;
- Geralmente possui um menor custo de implantação;
- A operação é pouco afetada pelo vento;
- Tem elevado potencial para aumento da eficiência de irrigação e redução do consumo de energia;
- Não interfere nos tratos fitossanitários das culturas;
- Permite a utilização de águas contendo apreciáveis quantidades de sólidos em suspensão ou poluídas;
- Tem maior flexibilidade para superar eventuais interrupções operacionais;
- É possível a automação operacional.

Segundo Silveira e Stone (1994), o sistema apresenta importantes limitações, tais como:

- Acentuada dependências das condições topográficas, geralmente requerendo sistematização;
- Inadequado para solos excessivamente permeáveis, poucos profundos;
- Seu dimensionamento envolve teste de campo;
- Variabilidade de importantes parâmetros de dimensionamento, dentre os quais a característica de infiltração da água no solo;
- Reavaliações freqüentes, com a finalidade de introduzir medidas dimensionais e operacionais corretivas;
- O sistema integra a área para a qual foi projetado e, portanto, não pode ser deslocado para outras áreas;
- Medidas efetivas de controle pela indústria e pelos técnicos. Não há interesse comercial envolvido.

3.3.3 Irrigação por Gotejamento

É um método ou sistema de irrigação de grande eficiência, pelos resultados que apresenta. Sua adoção requer alguns materiais e mecanismos, ou seja:

- Uma fonte de água a nível superior ao das terras a serem irrigadas;
- Uma tubulação ou encanamento principal, para conduzir a água até o local da irrigação e distribuí-la por toda a rede de encanamentos;

- Canos mais finos, de menor diâmetro, para serem fixados à tubulação principal, formando uma rede de encanamentos por toda a área a ser irrigada;

- Bicos especiais para serem adaptados às extremidades de todos os canos que, fixados à tubulação principal, formam a rede de irrigação. É através desses bicos que a água sai, controlada pelas extremidades dos canos, irrigando o solo. Por esse sistema, a água, saindo da fonte de abastecimento, entra na tubulação principal, sendo por ela conduzida para a rede de canos mais finos e saindo através dos orifícios existentes nas extremidades desses canos, caindo exatamente no local desejado pelo agricultor, ou seja, próximo às plantas, para que a água, por infiltração, atinja suas raízes.

Segundo Silveira e Stone (1994), esse método de irrigação apresenta uma série de vantagens, dentre as quais:

- Economiza muita água, pois sua quantidade é controlada pelo gotejamento;
- É fornecido a cada planta somente o volume de água exigido para as suas necessidades;
- Maior produtividade;
- A água para a irrigação pode ser fornecida por gravidade, dispensando os custos com a aquisição e manutenção de bombas motorizadas;
- A irrigação pode ser suspensa a qualquer hora como, por exemplo, quando chove, o que economiza a água dos reservatórios;

- A rede de encanamentos não atrapalha os serviços normais em uma plantação como, por exemplo, colheitas, etc.

3.3.4 Irrigação por Aspersores

Esse sistema de irrigação começou a ser empregado em 1929, havendo sido adotado nos Estados Unidos e em diversos países da Europa, entre os quais a França, Inglaterra e Itália. O processo também é conhecido como “chuva artificial”, pois a água, por meio de aspersão, é realmente lançada para o ar, para cima e caindo sob a forma de chuva, irrigando as lavouras e os terrenos em que elas estejam plantadas. Segundo Silveira e Stone (1994), esse método apresenta diversas vantagens, entre as quais:

- Evita os serviços de preparação do terreno;
- Pode ser empregado, praticamente, em terrenos de qualquer topografia;
- O solo fica menos sujeito a erosões;
- Exige menos mão-de-obra para sua implantação;
- A distribuição da água é mais uniforme e lenta, embora isso dependa, em parte, da intensidade dos ventos;
- A irrigação pode ser feita a qualquer hora do dia e da noite ou durante as 24 horas do dia;
- Concorre para a maior incorporação do oxigênio e do nitrogênio atmosféricos, ao solo;

- Promove melhor a distribuição de adubos solúveis, na água;
- A umidade do ar é elevada de maneira acentuada, reduzindo, dessa maneira, a transpiração das plantas;
- Sua eficiência é maior do que a dos demais sistemas de irrigação.

Para que a água caia sobre as plantações, como se fosse chuva é necessário o uso de equipamentos especiais, que aspiram e bombeiam, através de encanamentos, para dispositivos especiais como aspersores ou tubos com orifícios na superfície, destinados a espalhar a água como uma verdadeira chuva artificial, sobre a plantação.

Segundo Silveira e Stone (1994), o sistema de irrigação por aspersão, no entanto, apresenta algumas desvantagens. Entre as quais, tem-se:

- Remove da superfície da folhas, frutos e ramos, os fungicidas e inseticidas, prejudicando o combate às pragas e doenças que podem atacar as plantações;
- A distribuição da água, de maneira uniforme, é muito prejudicada pelos ventos, quando sua intensidade ultrapassa determinados limites;
- Exige determinadas despesas, às vezes elevadas, para a aquisição, geralmente de uma bomba d'água com motor, encanamentos e outros equipamentos necessários para o funcionamento do sistema de irrigação.

Para a irrigação por aspersão, é necessário um conjunto de instalações e equipamentos, que se passa a descrever:

- Estação de bombeamento, composta por uma fonte de água que pode ser um rio, um córrego, um riacho, uma lagoa, um lago, um açude, um poço, etc.;
- Um motor elétrico, a óleo diesel, a gasolina ou a gás natural;
- Tubulações, tanto a condutora ou principal quanto a distribuidora ou lateral, podem ser de metais ou de PVC. Essas tubulações são móveis, podendo ser mudadas de local, de acordo com as necessidades da plantação;
- Acessórios para os encanamentos: curvas, registros, vedadores finais, dispositivos para a distribuição de adubos, etc.;
- Aspersores ou tubos perfurados de diversas formas, tamanhos e potência, que servem para espalhar a água sobre toda a plantação.

Os conjuntos para aspersão podem ser de 3 tipos ou sistemas:

- Móvel, portátil ou transportável

Ele se caracteriza, justamente, pela mobilidade da bomba que, em geral, é montada sobre rodas, o que facilita o seu transporte para as fontes de água em que será utilizada e que, normalmente, são as mais próximas das plantações a serem irrigadas. As tubulações, principal e lateral, também são móveis, podendo ser mudadas de posição e de local, de acordo com as necessidades. As mais modernas tubulações com aspersores são adaptadas sobre rodas, podendo ser rebocadas, aspergindo a água sobre toda a plantação. Isso facilita o trabalho e diminui o tempo gasto nas aspersões;

- Tipo semifixo, semimóvel, semiportátil ou semitransportável

Nesse caso, ou tipo, a bomba ou unidade de potência e a tubulação principal são fixas no terreno, enquanto que os ramais ou linhas laterais são móveis, e podem ser de metal ou PVC;

- Tipo fixo ou permanente

A característica desse último tipo é o fato de a bomba, a linha principal e todos os ramais serem fixos e subterrâneos. Somente os hidrantes ou tomadas ficam na superfície, onde são acoplados os aspersores. O custo desse tipo de irrigação é muito mais elevado do que os outros dois tipos, anteriormente descritos.

a. Microaspersão

Trata-se de um sistema de irrigação localizada onde a água é aspergida através de microaspersores (miniaturas de aspersores) próximo ao sistema radicular das plantas. É largamente utilizado em fruticultura, forrageiras, irrigação em casas de vegetação, jardins etc. Se adapta a diversas culturas e a qualquer tipo de condições topográficas. Além de proporcionar economia de energia, água e mão-de-obra, os microaspersores permitem uma maior eficiência no controle fitossanitário, maior produtividade e utilização de fertirrigação.

3.4 Aspectos Sanitários da Irrigação com Esgotos

É reconhecido que os nutrientes contidos na água residuária doméstica beneficiam a agricultura. Todavia, é inaceitável que riscos à saúde e ao ambiente possam ser tolerados. Considerável progresso tem sido feito recentemente dentro da avaliação dos riscos associados com o uso da água residuária na irrigação e no desenvolvimento de diretrizes adequadas (PESCOD, 1993).

A aplicação de esgotos sobre o solo é com freqüência a mais econômica forma para disposição de esgotos e do lodo, mas o esgoto de um município contém organismos patogênicos prejudiciais à saúde e pode também conter níveis perigosos de metais pesados e compostos orgânicos industriais. O uso direto do esgoto bruto sem pré-tratamento e sem aplicação de outro tipo de controle acarretará sérios riscos à saúde e, possivelmente, prejudicará a produtividade do solo ao longo do tempo.

Segundo Von Sperling (1995), um corpo de água receptor de lançamentos de esgotos pode conter uma grande quantidade de agentes transmissores de doenças. Esse fato não altera a biota do corpo, mas afeta os usos destinados a ele, como por exemplo, abastecimentos de água potável.

Os microorganismos patogênicos presentes nos efluentes podem acumular-se nas plantas e no solo, causando a contaminação de hortaliças, frutas e outros produtos alimentícios (MOTA e SANTAELLA, 1994).

A respeito do impacto à saúde, do uso de esgotos na agricultura, Shuval *et al.* (1986), *apud* Pescod (1992), fizeram uma relação dos agentes patogênicos, em ordem de prioridade, em relação à incidência da infecção:

- Risco alto – helmintos (*Ancylostoma*, *Ascaris*, *Trichuris*, *Taenia*);

- Risco médio – bactérias entéricas (*Vibrio* da cólera, *Salmonella typhi*, *Shigella* e outros);
- Risco baixo – vírus entéricos.

Segundo Pescod (1992), em termos de risco à saúde, o efluente tratado com uma alta qualidade microbiológica é necessário para a irrigação de certas culturas, especialmente culturas ingeridas cruas, mas um efluente de baixa qualidade é aceitável para outras culturas selecionadas, onde não há exposição pública.

León e Cavallini (1996) afirmam que os períodos de sobrevivência dos organismos patogênicos dependem da espécie de microrganismo e dos fatores climáticos e ambientais. Neste aspecto, a literatura reporta uma grande variação de tais períodos.

Segundo Bastos e Mara (1993) *apud* Santiago (1999), o risco real de uma pessoa ser contaminada é uma combinação de uma série de fatores, como:

- Dose infectiva;
- Patogenicidade;
- Suscetibilidade e grau de imunidade do hospedeiro;
- Grau de exposição humana aos focos de transmissão.

Shahalam (1989) afirma que, antes da decisão do reuso do esgoto ser tomada, os seguintes fatores devem ser considerados:

- Proximidade de habitação do local do reuso e formas possíveis de contato humano;

- Possibilidade de ingestão humana de aerossóis de esgoto;
- Possibilidade de exposição direta ao esgoto, da pele de trabalhadores;
- Tipo de tratamento necessário para alcançar um padrão de aceitabilidade para o reúso do esgoto;
- Status sócio-econômico da provável população a ser exposta;
- Duração e frequência esperada de contato humano com o esgoto;
- Complexidade, custo e segurança associada com o reúso do esgoto;
- Aceitação pública.

A educação ambiental, tanto para agricultores como para o público consumidor, pode ajudar a minimizar os riscos de saúde associados à irrigação com esgotos. Os agricultores devem estar conscientes de todos os riscos potenciais possíveis. Eles também se beneficiariam com o conhecimento de higiene básica – precauções relacionadas – podendo evitar infecções e prevenir o espalhamento de doenças gastrointestinais em sua família (WILLIAMS, 2003).

Segundo Mancuso e Santos (2003), a primeira consideração que deve ser feita em caso de reúso de água é com a presença de microrganismos patogênicos. Mais exatamente, trata-se de garantir que esses microrganismos não estejam presentes na água em densidades que representem um risco significativo para a saúde dos usuários. As formas de controle vão desde a aplicação de processos de tratamento eficazes até o monitoramento da qualidade da água, por meio de análises periódicas.

3.4.1 Qualidade da Água para Reúso em Irrigação

Um dos principais enfoques a ser dado à qualidade da água de reúso é o uso pretendido, pois a qualidade varia com a destinação dada ao efluente. Os critérios gerais de qualidade no planejamento do sistema de reúso são: saúde pública, aceitação dos usuários, preservação do meio ambiente, qualidade da fonte de água e adequação da qualidade ao uso pretendido (BLUM, 2003).

No caso do reúso em irrigação, por exemplo, é necessário que sejam considerados: manejo adequado da água e do solo; e uso de técnicas de irrigação apropriadas, destacando-se os sistemas localizados de aplicação da água (por exemplo, por gotejamento, irrigação sub-superficial ou por microaspersão), evitando-se a aspersão convencional, a qual pode resultar na dispersão de aerossóis para áreas adjacentes.

Como medida de proteção à saúde, no reúso em irrigação, a Organização Mundial da Saúde (WHO, 2006) recomenda:

- Restrição a algumas culturas;
- Técnicas adequadas de aplicação do esgoto;
- Morte dos patógenos entre a última irrigação e o consumo;
- Medidas de preparação dos alimentos (lavagem, desinfecção, retirada da casca; cozimento);
- Controle da exposição humana;
- Tratamento do esgoto.

A água para irrigação deve obedecer a determinados critérios que visem à preservação da qualidade das culturas e dos níveis de produção, a preservação do solo agrícola e à proteção da saúde do consumidor.

Vários países têm adotado critérios de qualidade para a utilização de esgotos tratados na irrigação. Como exemplos, são apresentados, na Tabela 3.4, os critérios do órgão de controle ambiental dos Estados Unidos – U.S.Environmental Protection Agency (USEPA).

A Organização Mundial da Saúde, em 1989, estabeleceu diretrizes para o uso de esgotos na agricultura, conforme indicado na Tabela 3.5 (WHO, 1989).

TABELA 3.4 Critérios de qualidade microbiológica recomendada pela USEPA, em 1992, para a utilização de águas residuárias na agricultura.

Tipo de irrigação e cultura	Processo de tratamento	Qualidade do efluente
Culturas alimentícias não processadas comercialmente ¹ Irrigação superficial ou por aspersão de qualquer cultura, incluindo culturas a serem consumidas cruas.	Secundário + filtração + desinfecção	DBO ≤ 10 mg/L Turbidez ≤ 2 UNT ² Cloro residual ≥ 1 mg/L ³ Coliformes fecais ND Organismos patogênicos ND
Culturas alimentícias processadas comercialmente ¹ Irrigação superficial de pomares e vinhedos.	Secundário + desinfecção ⁴	DBO ≤ 30 mg/L SS ≤ 30 mg/L Cloro residual ≥ 1 mg/L ³ Colif. fecais ≤ 200/100 mL ⁴
Culturas não alimentícias Pastagens para rebanhos de leite ⁵ , forrageiras, cereais, fibras e grãos.	Secundário + desinfecção	DBO ≤ 30 mg/L SS ≤ 30 mg/L Cloro residual ≥ 1 mg/L Colif. fecais ≤ 200/100 mL
Irrigação de campos de esporte, parques, jardins e cemitérios.	Secundário + filtração + desinfecção	DBO ≤ 10 mg/L Turbidez ≤ 2 UNT ² Cloro residual ≥ 1 mg/L Coliformes fecais ND Organismos patogênicos ND

FONTE: USEPA(1992) *apud* BASTOS (2003)

¹ Culturas alimentícias processadas comercialmente são aquelas que recebem processamento físico ou químico, prévio à comercialização, suficiente para a destruição de patógenos.

² Turbidez pré-desinfecção, média diária; nenhuma amostra > 5 UNT.

³ Cloro residual livre após tempo de contato mínimo de 30 minutos; residuais ou tempo de contato mais elevados podem ser necessários para a garantia de intativação de vírus e parasitas.

⁴ Média móvel de sete dias; nenhuma amostra > 800 CF/100mL; lagoas de estabilização podem alcançar o critério de qualidade sem a necessidade de desinfecção.

⁵ O consumo das culturas irrigadas não deve ser permitido antes de 15 dias após a irrigação; desinfecção mais rigorosa (≤ 14 CF/100mL) se o período de 15 dias não for observado.

TABELA 3.5. Diretrizes microbiológicas recomendadas pela WHO, em 1989, para uso de esgotos na agricultura (*).

Cat.	Condição de reúso	Grupos de risco	Nematodos intestinais ¹ (n° ovos/litro) ²	Coliformes fecais (N°/100ml) ³	Sistema de tratamento recomendado para atingir a qualidade microbiológica
A	Irrigação de culturas a serem ingeridas cruas, campos esportivos, parques públicos.	Operários, consumidores e público	≤ 1	≤ 1.000	Lagoas de estabilização em série ou tratamento equivalente
B	Irrigação de cereais, culturas industriais, forragens, pastos e árvores ⁵ .	Operários	≤ 1	n.a	Retenção em lagoas de estabilização por 8 a 10 dias ou remoção equivalente de helmintos e coliformes fecais
C	Irrigação localizada de culturas da categoria B, se não ocorrer exposição de trabalhadores e do público.	Nenhum	n.a.	n.a.	Pré-tratamento requerido pela técnica de irrigação aplicada, mas não menos do que tratamento primário.

FONTE (WHO, 1989)

(*) Em casos específicos, fatores epidemiológicos, sócio-culturais ou ambientais devem ser levados em consideração e essas diretrizes modificadas de acordo.

n. a. - Não aplicável

(1) - *Ascaris*, *Trichuris*, *Necator americanus* e *Ancilostomus duodenalis*

(2) - Média aritmética durante o período de irrigação

(3) - Média geométrica durante o período de irrigação

(4) - Um valor diretriz mais restritivo (200 coliformes fecais por 100 ml) é apropriado para gramados públicos, tais como os de hotéis, com os quais o público tenha contato direto.

(5) - No caso de árvores frutíferas, a irrigação deve cessar duas semanas antes dos frutos serem colhidos, e frutos não devem ser colhidos do chão. Irrigação por sistemas de aspersores não deve ser utilizada.

De acordo com a WHO (1989), é necessário atualizar as diretrizes para levar em consideração evidências científicas sobre patógenos, produtos químicos e outros fatores, incluindo as mudanças nas características da população, as alterações nas práticas de saneamento, a existência de melhores métodos para avaliação de riscos, os problemas sociais e de equidade, e as práticas socioculturais. Segundo a WHO (1989), há necessidade de proceder a uma revisão na avaliação de riscos e nos dados epidemiológicos.

Esta nova visão envolve a avaliação de riscos à saúde prioritariamente à colocação de objetivos a serem alcançados para a saúde, definindo ações básicas de controle e avaliando os impactos dessas medidas nas condições da saúde pública.

Esta nova forma é flexível e permite aos países levar em consideração os riscos associados à saúde que podem resultar da exposição a micróbios pela água de beber ou por contato com águas na recreação ou no trabalho. É importante que os riscos à saúde resultantes do uso de esgotos sanitários na agricultura sejam considerados no contexto da situação do nível geral de doenças dentro de uma dada população.

3.5 O Uso de Esgotos Sanitários Tratados na Agricultura

Durante as duas últimas décadas, o uso de esgotos para irrigação de culturas aumentou significativamente, em razão dos seguintes fatores:

- Dificuldade crescente de identificar fontes alternativas de águas para irrigação;
- Custo elevado de fertilizantes;
- A segurança de que os riscos de saúde pública e de impactos sobre o solo são mínimos, se as precauções adequadas forem devidamente tomadas;
- Os custos elevados dos sistemas de tratamento, necessários para descargas de efluentes nos corpos receptores;
- A aceitação sócio-cultural da prática do reúso na agricultura;

- Reconhecimento, pelos órgãos gestores de recursos hídricos, do valor implícito da prática.

Segundo Hespanhol (2002), a demanda atual para o setor agrícola brasileiro representa 70% do volume total captado, com forte tendência de chegar a 80% até o final desta década. Assim, diante do significado que essas grandes vazões representam, em termos de gestão de nossos recursos hídricos, é de extrema importância que se atribua prioridade para institucionalizar, promover e regulamentar o reúso para fins agrícolas, em âmbito nacional.

TABELA 3.6 – Principais exemplos de utilização de esgotos sanitários na agricultura.

PAÍS	ÁREA IRRIGADA (ha)
Argentina	37.000
Austrália	10.000
Alemanha	28.000
África do Sul	1.800
Arábia Saudita	4.400
Bahrain	800
Chile	16.000
China	1.330.000
Estados Unidos	14.000
Índia	73.000
Israel	10.000
Kuwait	12.000
México	250.000
Peru	4.300
Sudão	2.800
Tunísia	7.300

Fonte: BASTOS (2003)

A aplicação de esgotos no solo é uma forma efetiva de controle da poluição e uma alternativa viável para aumentar a disponibilidade hídrica em regiões áridas e semi-áridas. Os maiores benefícios dessa forma de reúso são os associados aos aspectos econômicos, ambientais e de saúde pública.

3.5.1 Efeitos Positivos

Estudos efetuados em diversos países demonstraram que a produtividade agrícola aumenta significativamente em sistemas de irrigação com esgotos adequadamente administrados.

Sistemas de reúso de águas para fins agrícolas adequadamente planejados e administrados, proporcionam melhorias ambientais e melhorias de condições de saúde, entre as quais:

- Minimização das descargas de esgotos em corpos de água;
- Preservação dos recursos subterrâneos, principalmente em áreas onde a utilização excessiva de aquíferos provoca intrusão de cunha salina ou recalque de terrenos;
- Conservação do solo, pela acumulação de húmus, e aumento da resistência à erosão;
- Aumento da concentração de matéria orgânica do solo, possibilitando maior retenção de água;
- Aumento da produção de alimentos, principalmente em áreas carentes, elevando, desta forma, os níveis de saúde, qualidade de vida e condições sociais de populações associadas aos esquemas de reúso.

3.5.2 Efeitos Negativos

Projetos cujos sistemas sejam operacionalmente inadequados e deficientes podem provocar efeitos graves como, por exemplo, a poluição por nitratos nos aquíferos subterrâneos utilizados para abastecimento de água.

A assimilação de nitrogênio pelas culturas diminui a possibilidade de contaminação por nitrato, mas isso depende das taxas de assimilação pelas plantas e das taxas de aplicação de esgotos no solo.

O acúmulo de contaminantes químicos no solo é outro efeito negativo que pode ocorrer. Dependendo das características dos esgotos, a prática de irrigação por longos períodos pode levar à acumulação de compostos tóxicos, orgânicos e inorgânicos e ao aumento significativo de salinidade em camadas insaturadas.

A fim de evitar efeitos indesejáveis, a irrigação deve ser efetuada com esgotos de origem predominantemente doméstica. A necessidade de um sistema adequado de drenagem também deve ser considerada, visando minimizar o processo de salinização de solos irrigados com esgotos. Da mesma forma, a aplicação de esgotos por períodos longos pode levar à criação de habitats propícios à proliferação de vetores transmissores de doenças, tais como mosquitos e algumas espécies de caramujos. Neste caso, devem ser empregadas técnicas integradas de controle de vetores, para proteger os grupos de risco correspondentes.

3.5.3 Planejamento de Sistemas de Reúso de Água para fins Agrícolas

No setor agrícola, o uso de esgotos constitui um importante elemento das políticas e estratégias de gestão de recursos hídricos. Muitos países, situados em regiões áridas e semi-áridas, tais como os do Norte da África e do Oriente Médio, consideram esgotos e águas de baixa qualidade como parte integrante

de seus recursos hídricos nacionais, equacionando a sua utilização junto aos sistemas locais de gestão, urbanos e rurais. Somente uma política criteriosa de reúso pode transformar a problemática poluidora e agressiva dos esgotos em um recurso econômico e ambientalmente seguro.

No Brasil, é recomendável que os governos estaduais e federal iniciem processos de gestão para estabelecer bases políticas legais e institucionais para o reúso de água, tanto em relação aos aspectos associados diretamente ao uso de efluentes como aos planos estaduais ou nacionais de recursos hídricos. Linhas de responsabilidade e princípios de alocação de custos devem ser estabelecidas entre os diversos setores envolvidos, ou seja, entre as empresas responsáveis pela coleta e tratamento de esgotos, os usuários que se beneficiarão com o sistema de reúso e o Estado, ao qual compete o suprimento adequado de água e a proteção do meio ambiente e da saúde pública.

Para assegurar a sustentabilidade, deve ser dada atenção adequada aos aspectos organizacionais, institucionais e socioculturais do reúso.

As medidas de controle governamentais sobre sistemas de reúso agrícola somente serão efetivas se, previamente, tiver sido feita uma escolha cuidadosa das áreas e dos tipos de culturas que podem ser irrigadas com esgotos.

A maior segurança contra riscos de saúde e impactos ambientais adversos é alcançada pela imposição da seleção e restrição de culturas em áreas não abertas ao acesso do público.

Geralmente, os procedimentos adotados na preparação de planos para irrigação com esgotos são similares àqueles utilizados para a maioria das formas de planejamento da utilização de recursos hídricos, ou seja, devem estar compatibilizados com oportunidades, características de demanda locais e principais dimensões físicas, econômicas e sociais da área de projeto.

3.5.4 Aspectos Legais e Regulatórios

O uso de esgotos, principalmente para a irrigação de culturas, é associado a dois aspectos: estabelecimento para um status legal para os esgotos e delimitação de um regime para sua utilização.

De acordo com a WHO (1990) *apud* Hespanhol (2002a), o delineamento de um regime legal para o uso de esgotos deve considerar os seguintes aspectos:

- A definição do que é esgoto;
- A quem pertence os esgotos;
- Um sistema de licenciamento para uso de esgotos;
- Proteção de outros usuários que possam ser adversamente afetados pela diminuição de vazões de retorno aos mananciais que utilizam;
- Restrições, visando a proteção do meio ambiente e da saúde pública, com relação ao uso planejada para os esgotos, condições de tratamento e qualidade final dos esgotos, e condições para localização de estações de tratamento de esgotos;
- Alocação de custos e estabelecimento de tarifas para os esgotos;
- Mecanismos de aplicação legais e regulamentos;
- Disposição de lodos gerados nos sistemas de tratamento;

- Delegação de poderes a uma instituição, ou criação de uma nova instituição, ou elaboração de arranjos institucionais para gestão dos sistemas de reúso;
- Interface entre o sistema legal estabelecido para reúso e o regime legal para a gestão de recursos hídricos, principalmente no que concerne à legislação sobre água e controle da poluição ambiental, e à legislação relativa ao abastecimento de água e coleta de esgotos, incluindo as instituições responsáveis.

3.5.5 Aspectos Econômicos e Financeiros

A avaliação econômica dos projetos de reúso deve ser baseada em custos incrementais e em benefícios proporcionados pelo empreendimento. Uma metodologia adotada em diversos projetos é a de ajustar os custos marginais e os benefícios ao valor presente, a uma taxa de desconto real e projetar o sistema de maneira que a relação benefício/custo seja superior à unidade. Outra possibilidade é determinar a taxa interna de retorno do projeto e verificar se ela é competitiva.

A avaliação financeira pode ser efetuada, por comparação, com um dos seguintes possíveis cenários, cada um dos quais configurados com diferentes custos e benefícios:

- Ausência de agricultura;
- Agricultura sem irrigação (apenas com água de chuva);
- Irrigação com água de fonte alternativa, sem aplicação de fertilizantes;
- Irrigação com água de fonte alternativa, com aplicação de fertilizantes.

3.6 Importância das Culturas de Forrageiras

O Brasil apresenta condições favoráveis para a produção de gramíneas forrageiras de elevado potencial produtivo e dentre elas vêm se destacando gramíneas do gênero *Panicum*, tanto no estabelecimento de novas áreas como em substituição de algumas forrageiras de menor potencial produtivo e em sistemas mais intensificados. Mas, independente da espécie, a produção das gramíneas é afetada pela falta de chuva (LAVEZZO, 1985).

A importância das pastagens na produção de bovinos no Brasil é inquestionável. Estima-se que 75% da superfície utilizada pela agricultura sejam ocupadas por pastagens, o que corresponde a aproximadamente 20% da área de todo país (FARIA *et al.*, 1996). Além do aspecto físico, as plantas forrageiras são importantes pelo papel que desempenham na alimentação dos bovinos, uma vez que 88% da carne produzida no país advém de rebanhos mantidos exclusivamente a pasto (ARRUDA, 1997).

O valor nutritivo de uma pastagem depende basicamente da composição química desta, da quantidade de nutrientes ingeridos pelo animal e da digestibilidade de tais animais (SILVA, 1996).

Apesar do grande potencial das espécies de forrageiras tropicais, a produção de forragem, o valor nutritivo e a qualidade da forragem produzida, as taxas de lotação praticadas, o desempenho e a produtividade animal apresentados pela agropecuária brasileira são bastante inferiores aos níveis possíveis de serem obtidos, tanto do ponto de vista biológico como do ponto de vista operacional. Pesquisas que visam identificar os pontos de estrangulamento destes sistemas de produção têm potencial para embasar o aumento da eficiência e da viabilidade do processo produtivo, já que o pasto é a forma mais econômica de alimentação animal.

3.6.1 Características da Cultura do Capim Tanzânia

Os capins da espécie *Panicum maximum* sempre despertaram muito interesse entre pesquisadores e pecuaristas, provavelmente devido à alta produtividade e valor nutritivo da forragem produzida. Há diferenças morfológicas entre cultivares de *Panicum maximum*, como a altura das plantas, o tamanho das lâminas foliares, o comprimento e a espessura dos colmos, e a pilosidade dos nós e bainhas. Existem também diferenças no tamanho, na coloração e na densidade das panículas, assim como no perfilhamento e na taxa de crescimento desses cultivares (ALCÂNTARA e BUFARAH, 1988).

O *Panicum maximum* é originário da África tropical e foi introduzido nas Américas provavelmente no fim do Século XVIII, acidentalmente, por meio de navios escravos vindos do oeste do continente Africano. Daí se espalhou devido a sua alta produtividade e boa persistência (JANK, 1994).

O capim Tanzânia foi coletado na Tanzânia pelo *Institut Français de Reserche Scientifique Pour Develloppement en Coopération*, e lançado no Brasil, em 1990, pela Embrapa Gado de Corte, após estudos de competição com outros cultivares. Trata-se de uma planta cespitosa, que atinge cerca de 1,30 metros de altura quando em crescimento livre e folhas decumbentes que chegam a ter 2,60cm de largura. Os colmos são levemente arroxeados e as lâminas e bainhas não possuem pilosidade ou cerosidade. As inflorescências contêm espiguetas arroxeadas e sem pilosidade (JANK e COSTA, 1990).

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Localização da Região do Projeto

A pesquisa foi realizada em Aquiraz, Ceará, cuja localização geográfica está indicada na Tabela 4.1.

TABELA 4.1 – Localização geográfica.

Região	Nordeste
Estado	Ceará
Latitude (S)	-3° 54' 05"
Longitude (W)	-38° 23' 28"
Área	482,8Km ²
Distância de Fortaleza	24,7 km

Fonte: IBGE/IPLANCE - Projeto Gráfico Municipal

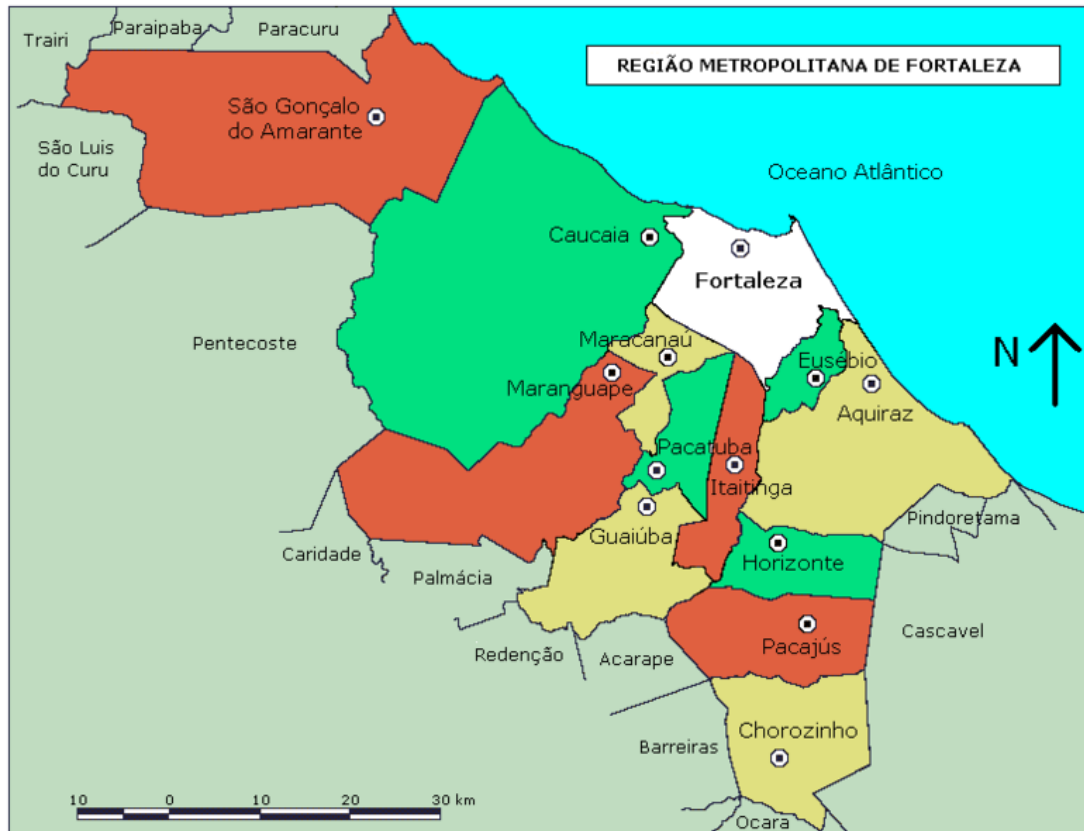
A Figura 4.1 mostra a localização de Aquiraz no Estado do Ceará.



Fonte: <http://www.aquiraz.ce.gov.br/mapas.asp>, 2007.

FIGURA 4.1 – Localização geográfica do Município de Aquiraz no Estado do Ceará.

A Figura 4.2 indica a localização do município de Aquiraz na Região Metropolitana de Fortaleza.



Fonte: http://pt.wikipedia.org/wiki/Imagem:RMF_Atualmente.PNG, 2007.

FIGURA 4.2 – Localização geográfica do Município de Aquiraz na Região Metropolitana de Fortaleza.

4.2 Características Gerais da Área

Os trabalhos foram realizados em área anexa à estação de tratamento de esgotos da Cidade de Aquiraz, na Região Metropolitana de Fortaleza, de propriedade da Companhia de Água e Esgoto do Ceará – CAGECE.

Para essa área, foi desenvolvido, pela CAGECE e o Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental da Universidade Federal do Ceará, o projeto do Centro de Pesquisa sobre Tratamento de Esgoto e Reúso de Águas Residuárias.

Neste Centro de Pesquisa foram executados os trabalhos e coletados os dados necessários para o desenvolvimento desta pesquisa sobre a utilização de efluentes tratados na irrigação do Capim Tanzânia, utilizando efluentes de lagoas de estabilização em série.

4.3 Características da Estação de Tratamento de Esgotos

4.3.1 Estação de Tratamento de Esgoto de Aquiraz

O sistema de esgotamento sanitário da cidade de Aquiraz foi projetado para atender uma população final de 37.978 habitantes, com uma vazão final de 103,48 L/s,

A estação de tratamento de esgoto é composta de um tratamento preliminar, que é formado por Calha Parshall, gradeamento e caixa de areia; faz parte também da estação, um tratamento secundário com dois módulos de lagoas de estabilização em série. Cada módulo é constituído por uma lagoa anaeróbia, uma facultativa e duas de maturação, sendo o efluente final lançado no rio Pacoti (Ver Figuras 4.3 e 4.4).



FIGURA 4.3 – Lagoas anaeróbia e facultativa da ETE de Aquiraz, Ceará, 2006.



FIGURA 4.4 – Lagoa de maturação da ETE de Aquiraz, Ceará, 2006.

A Tabela 4.2 mostra as dimensões das lagoas de estabilização da ETE de Aquiraz, fonte do esgoto captado utilizado na irrigação da cultura do Capim Tanzânia.

TABELA 4.2 – Dimensões das lagoas de estabilização da ETE de Aquiraz, Ceará.

Lagoa	Profundidade (m)	Dimensões do fundo (m)
Anaeróbia	3,00	86,70 x 40,70
Facultativa	1,50	192,70 x 95,50
Maturação A	1,50	154,00 x 72,00
Maturação B	1,50	153,70 x 71,70

4.3.2 Captação

A irrigação da área de plantio do capim Tanzânia foi feita com esgoto tratado e água de poço por meio de microaspersores, o esgoto tratado era captado na lagoa de maturação da ETE de Aquiraz (Figura 4.5).

O esgoto tratado e a água eram bombeados da última lagoa de maturação da estação de tratamento de Aquiraz e do poço, respectivamente, até a área de pesquisa, onde eram armazenados em dois reservatórios com capacidade cada de 10.000 litros (Figura 4.6). Antes dos reservatórios foram instalados dois filtros para evitar entupimento dos microaspersores, devido à alta concentração de sólidos.



FIGURA 4.5 – Captação de esgoto tratado na lagoa de maturação. Aquiraz, Ceará, 2006.



FIGURA 4.6 – Reservatórios de água e de esgoto tratado da área de pesquisa. Aquiraz, Ceará, 2006.

4.3.3 Análises Realizadas na Água e no Esgoto Tratado

Á água e o esgoto tratado foram analisados periodicamente durante o desenvolvimento desta e de outras pesquisas no Centro de Pesquisa de Aquiraz. Amostras da água e do esgoto tratado foram analisadas no Laboratório de Saneamento da Universidade Federal do Ceará (UFC). As análises realizadas seguiram a metodologia aplicada pelo *Standart Methods* (APHA, 1995).

Diversos parâmetros físico-químicos e microbiológicos foram analisados. Os parâmetros determinados foram os seguintes:

- pH – foi determinado a partir de um pHmetro da marca Analion, modelo PM602.

- Condutividade elétrica – determinada usando um condutivímetro da marca Analion, modelo C702.
- Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO₅) – determinada pela diferença entre o oxigênio dissolvido (OD) inicial e o oxigênio dissolvido (OD) final de amostra incubada durante cinco dias a 20°C, usando o método dos tubos padrões.
- Demanda Química de Oxigênio (DQO) – determinada pelo método colorimétrico com dicromato de potássio, usando espectrofotômetro.
- Amônia – determinada a partir do método de destilação, titulada com H₂SO₄.
- Alcalinidade – determinada usando o método potenciométrico.
- Cloretos – foi determinado utilizando-se o método de Mohr.
- Sódio – determinado pelo método da espectrometria.
- Cálcio e magnésio – determinados usando titulação com EDTA.
- Fósforo Total – determinado pelo método colorimétrico do ácido ascórbico, através de espectrofotômetro.
- *E. coli* – determinou-se utilizando o método Cromogênico Colilert.
- Ovos de Helminthos – determinados pelo método Bailanger Modificado.

4.4 Desenvolvimento da Pesquisa sobre o Capim Tanzânia

4.4.1 Determinação dos Tratamentos Aplicados e da Área de Plantio

4.4.1.1 Tratamentos aplicados

Foram executados quatro blocos de 4,50 x 5,00 metros, sendo que cada bloco foi dividido em sub-blocos, nos quais foram aplicados três tratamentos diferentes, com irrigação de esgoto e dosagens diferenciadas de fertilizante. Foi executado isoladamente um bloco de 3,20 x 5,00 metros com irrigação de água de poço para servir de testemunho para posteriores análises comparativas entre os tratamentos aplicados (Ver Figura 4.7).

Tratamentos Aplicados:

- T1 – irrigação com água de poço
- T2 – irrigação com esgoto
- T3 – irrigação com esgoto + adubação recomendada
- T4 – irrigação com esgoto + $\frac{1}{2}$ adubação recomendada

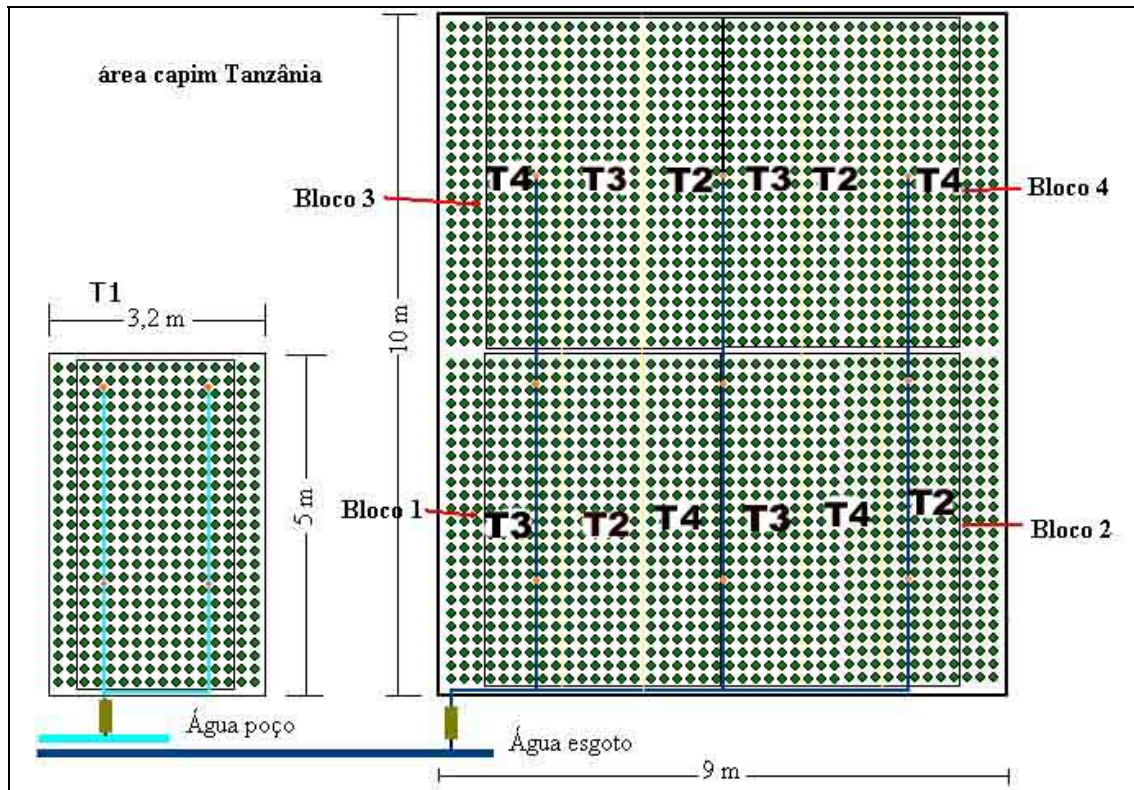


FIGURA 4.7 – Croqui da área de plantio do Capim Tanzânia e tratamentos aplicados. Aquiraz, Ceará, 2006.

Legenda:

T1 – irrigação com água

T2B1 – irrigação com esgoto tratado, Bloco 1

T2B2 – irrigação com esgoto tratado, Bloco 2

T2B3 – irrigação com esgoto tratado, Bloco 3

T2B4 – irrigação com esgoto tratado, Bloco 4

T3B1 – irrigação com esgoto + adubação recomendada, Bloco 1

T3B2 – irrigação com esgoto + adubação recomendada, Bloco 2

T3B3 – irrigação com esgoto + adubação recomendada, Bloco 3

T3B4 – irrigação com esgoto + adubação recomendada, Bloco 4

T4B1 – irrigação com esgoto + $\frac{1}{2}$ adubação recomendada, Bloco 1

T4B2 – irrigação com esgoto + $\frac{1}{2}$ adubação recomendada, Bloco 2

T4B3 – irrigação com esgoto + $\frac{1}{2}$ adubação recomendada, Bloco 3

T4B4 – irrigação com esgoto + $\frac{1}{2}$ adubação recomendada, Bloco 4

4.4.1.2 Área de plantio e desenvolvimento do Capim Tanzânia

O plantio das mudas foi feito com espaçamentos de 0,20 m. A irrigação foi executada através de microaspersores dispostos em suportes com cerca de 0,50 m de altura. Durante o desenvolvimento da pesquisa, a irrigação da área era realizada duas vezes ao dia, uma nas primeiras horas, ao amanhecer, por volta das sete horas e, a segunda ao final do dia, em torno das 16 horas.

A figura 4.8 mostra a disposição das mudas do capim Tanzânia na área de plantio e o sistema de irrigação aplicado através de microaspersores.



FIGURA 4.8 – Área de plantio e microaspersores utilizados na irrigação. Aquiraz, Ceará, 2006.

Na figura 4.9 pode-se observar o desenvolvimento do capim Tanzânia nos módulos com irrigação através de esgoto e aplicação de diferentes dosagens de fertilizante.



FIGURA 4.9 – Módulos com irrigação de esgoto e aplicação de fertilizante. Aquiraz, Ceará, 2006.

A área de plantio do capim Tanzânia utilizada para irrigação com água de poço é exibida na figura 4.10.



FIGURA 4.10 – Módulo com irrigação de água de poço. Aquiraz, Ceará, 2006.

4.4.2 Análises Realizadas

4.4.2.1 Análises químico-bromatológicas

A primeira análise foi desenvolvida buscando determinar as possíveis diferenças entre os quatro tipos de tratamentos aplicados em relação ao nível de produtividade alcançado por cada um, levando-se em consideração parâmetros como matéria seca (MS), proteína bruta (PB), extrato etéreo (EE), resíduo mineral (RM), fibras em detergente ácido (FDA) e fibras em detergente neutro (FDN).

O capim Tanzânia desenvolveu-se por cerca de três meses antes de qualquer coleta de amostra da cultura ter ocorrida. Inicialmente, foi feita a aplicação de adubo orgânico em toda a área. Posteriormente, foram feitas adubações químicas periódicas nas áreas dos tratamentos T3 (adubação completa) e T4 (metade da adubação).

A primeira coleta foi realizada com cerca de três meses do plantio do capim Tanzânia; já para a retirada da segunda e da terceira amostras, houve um espaçamento de 21 dias, para dar tempo ao devido desenvolvimento da cultura. Em cada coleta foram retirados três ramos do capim Tanzânia de cada tratamento aplicado em todos os blocos e, em seguida, armazenados em sacolas plásticas devidamente identificadas. No laboratório de Zootecnia da Universidade Federal do Ceará (UFC) as sacolas foram armazenadas em freezer para posterior desenvolvimento das análises.

Após a realização de cada coleta de amostras do capim Tanzânia, toda a área de plantio era regularizada através do corte, de forma que toda a cultura ficasse com uma altura homogênea, em torno de 15 cm, para uma melhor confiabilidade dos dados coletados na hora de fazerem-se análises comparativas.

4.4.2.1.1 Metodologia aplicada nas análises químico-bromatológicas

As análises químico-bromatológicas da matéria seca (MS), proteína bruta (PB), extrato etéreo (EE) e resíduo mineral (RM) seguiram a metodologia descrita pela *Association of Official Analytical Chemists – AOAC* (1990) e os teores de fibra em detergente ácido (FDA) e fibra em detergente neutro (FDN) foram obtidos por intermédio do método de Van Soest, descrito por SILVA e QUEIROZ (2002).

As figuras 4.11 e 4.12 mostram a área de plantio sendo regularizada por corte manual.



FIGURA 4.11 – Início do corte do capim na área de plantio, após coleta das amostras. Aquiraz, Ceará, 2006.



FIGURA 4.12 – Área de plantio sendo regularizada. Aquiraz, Ceará, 2006.

4.4.2.2 Análises microbiológicas

Na segunda fase de análises buscou-se determinar a presença de microrganismos patogênicos, especificamente coliformes fecais e *salmonella*, na folhagem.

Neste segundo momento da pesquisa para determinação de microrganismos patogênicos, foram coletadas apenas amostras dos tratamentos irrigados com esgotos, exclusivamente de um mesmo módulo.

No período entre o primeiro e o segundo experimento foi novamente realizado um corte para homogeneizar a altura do capim Tanzânia na área de plantio e, em seguida, toda a área passou por uma nova adubação. Após o decorrer de cerca de um mês se deu início ao segundo experimento.

Antes de se iniciar a coleta das amostras, para minimizar a influência do ambiente externo nos resultados obtidos nas análises, foi construída uma estrutura em tubos PVC, coberta por lona plástica para proteger a área da pesquisa. Assim foi possível evitar a influência de águas da chuva, que poderiam agir de modo a lavar as folhas da cultura e, com isso, modificar as quantidades de microorganismos encontradas nas análises no capim Tanzânia. A estrutura construída pode ser observada nas Figuras 4.13 e 4.14. Observe-se que quando não estava chovendo a coberta era removida. No período de coleta das amostras (agosto de 2006), a precipitação pluviométrica foi desprezível na região.



FIGURA 4.13 – Estrutura em PVC para proteção da área, da ação das chuvas. Aquiraz, Ceará, 2006.



FIGURA 4.14 – Estrutura montada com a lona plástica. Aquiraz, Ceará, 2006.

O desenvolvimento dos trabalhos de campo da pesquisa estendeu-se por duas semanas, tendo-se coletados quatro grupos de amostras, sendo que cada grupo possuía três amostras, ou seja, uma amostra de cada tipo de tratamento irrigado com esgoto. As amostras tinham um peso em torno de 800g. Cada grupo de amostras foi obtido em períodos diferentes, no espaço de duas semanas, da seguinte forma:

- 1ª coleta – primeiro dia
- 2ª coleta – quinto dia após o primeiro
- 3ª coleta – décimo dia após o primeiro
- 4ª coleta – décimo quarto dia após o primeiro

As coletas foram feitas no mês de agosto de 2006. As amostras coletadas aleatoriamente eram compostas por três ramos de cada tratamento irrigado com esgoto e, logo após, eram armazenadas em sacos plásticos para em seguida serem levados para o laboratório. O período de duas semanas para coletas das amostras do capim Tanzânia foi determinado com base em outras pesquisas desenvolvidas, nas quais recomendam a colheita de alimentos irrigados com esgoto tratado apenas depois de decorridos 15 dias da interrupção da irrigação.

Após a primeira coleta das amostras, a irrigação da área de plantio foi paralisada. Deste modo, com o decorrer das análises posteriores e de posse dos resultados das análises, foi possível determinar o decaimento da presença de microrganismos patogênicos, ao longo do tempo, na cultura do capim Tanzânia.

4.4.2.2.1 Metodologia aplicada nas análises microbiológicas

A metodologia aplicada no desenvolvimento das análises microbiológicas do capim Tanzânia foi a da *AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (APHA, 1995)*.

a. Determinação da presença de coliformes fecais

Nas análises microbiológicas de coliformes fecais foi utilizada a técnica de tubos múltiplos, conforme o *Standard Methods*.

Para a determinação dos coliformes fecais, inicialmente preparou-se três diluições de amostras do capim Tanzânia. Para a primeira diluição, 10^{-1} , utilizou-se amostra com 25g de capim homogeneizada por dois minutos em liquidificador, contendo 225mL de água peptonada estéril. A partir desta diluição foram preparadas diluições de até 10^{-3} .

Através de uma pipeta de 10mL, inocularam-se três tubos de Caldo Lauril Sulfato Triptose (LST) por diluição, adicionando-se 1,0 mL da diluição por tubo com 10 mL de LST. Os tubos com produção de gás foram transferidos para tubos de caldo *E. coli* (EC). Incubou-se em banho-maria a 45°C, por 24 horas e, observou-se o crescimento com produção de gás. Confirmada a presença de coliformes fecais, determinou-se o Número Mais Provável (NMP)/g em uma tabela de NMP adequada às diluições inoculadas (SILVA, 1997).

b. Determinação da presença de *Salmonella*

Antes da determinação da presença de *Salmonella*, foi feita uma homogeneização das amostras e seu pré-enriquecimento. Para o pré-enriquecimento em caldo lactosado, recomendado pela APHA, objetiva-se a recuperação de células injuriadas, conseguida incubando-se a amostra em condições não seletivas, por pelo menos 18 horas a 35°C. Após a incubação, procede-se ao enriquecimento em caldo seletivo, que objetiva inibir a multiplicação da microbiota acompanhante e promover a elevação do número de células de *Salmonella* sp., incubando-se a amostra pré-enriquecida em caldo seletivo por 18 a 24 horas. É recomendada a utilização de dois diferentes meios de enriquecimento, porque a resistência de *Salmonella* aos agentes seletivos possui variação. Os meios comumente utilizados são os caldos tetrionato e o seletivo cistina. Então é feito o plaqueamento seletivo diferencial, que objetiva promover o desenvolvimento seletivo preferencial de colônias de *Salmonella*. Recomenda-se que o plaqueamento diferencial seja feito em mais de um tipo de meio de cultura. A APHA recomenda o Ágar Bismuto Sulfito (BS), o Ágar Entérico de Hectoen (HE) e o Ágar Xilose Lisina Desoxicolato (XLD). A etapa de confirmação objetiva verificar se as colônias típicas obtidas nas placas são mesmo colônias de *Salmonella*, por meio de provas bioquímicas e sorológicas. Inicialmente as colônias são submetidas aos testes de descarboxilação da lisina, fermentação da lactose e/ou sacarose e produção H₂S, no Ágar Lisina Ferro e Ágar Tríplice Açúcar Ferro, que permitem

eliminar das etapas subseqüentes, boa parte das colônias de não *Salmonella*. Culturas características nesses meios devem ser submetidas ao teste sorológico somático polivalente, podendo ser eliminadas das etapas subseqüentes todas aquelas com resultado negativo. Culturas com teste positivo ou duvidoso devem ser submetidas a uma bateria de testes bioquímicos adicionais, para confirmação definitiva da identidade (SILVA, 1997).

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 Características da Água do Poço e do Efluente da ETE

Observando-se os resultados das análises dos principais parâmetros físico-químicos e microbiológicos da água e do efluente da lagoa de estabilização de Aquiraz (Tabela 5.1) utilizados na irrigação da cultura do capim Tanzânia, pode-se avaliar a qualidade da água e do esgoto tratado para que sejam mantidas as qualidades do solo para uma continua produtividade e para minimizar efeitos negativos sobre o meio ambiente, além de avaliar também os aspectos microbiológicos importantes para determinar-se a possível utilização do capim Tanzânia como base de alimento para animais.

TABELA 5.1 - Valores médios dos principais parâmetros físico-químicos e microbiológicos da água e do efluente da última lagoa de estabilização. Aquiraz, CE, 2006.

Parâmetros	Água	Esgoto Tratado
DBO ₅ dias (mg O ₂ L ⁻¹)	17	60
DQO (mg O ₂ L ⁻¹)	56	215
Sódio (mg Na ⁺ L ⁻¹)	35	89
Cálcio (mgCa ⁺² L ⁻¹)	5,5	16,1
Magnésio (mgMg ⁺² L ⁻¹)	8,1	15,4
pH	6,8	8,2
Alcalinidade (mgCaCO ₃ L ⁻¹)	27	150
Condutividade (µScm ⁻¹)	286	781
Cloretos (mg Cl ⁻ L ⁻¹)	40	67
Amônia (mg NH ₃ L ⁻¹)	0,2	5,3
Fósforo total (mg P L ⁻¹)	0	3,4
E. coli (NMP (100mL) ⁻¹)	2,6 x 10 ²	7,6 x 10 ²
Ovos de helmintos (ovos L ⁻¹)	0	< 1

Os valores médios encontrados de DBO na água e no esgoto tratado foram, 17 e 60 $\text{mgO}_2\text{L}^{-1}$, respectivamente. De acordo com a USEPA (1992), o valor médio encontrado para a água encontra-se dentro dos padrões aceitáveis; já para o esgoto tratado, os níveis encontrados estão acima do valor aceitável de 30 $\text{mgO}_2\text{L}^{-1}$ para irrigação. Os padrões utilizados pela USEPA são bastante rígidos. Logo, para determinados cultivos de culturas e utilização, esses padrões podem ser desconsiderados, já que pesquisas com valores semelhantes aos encontrados para DBO no esgoto tratado, mostram que os riscos a saúde dos operários no manejo da irrigação e os riscos na alimentação de animais com forrageiras irrigadas com esgotos tratados são desprezíveis.

Levando em consideração os valores recomendados pela USEPA e WHO para os níveis de DQO presente na água e esgoto tratado utilizados na irrigação, nas análises realizadas para determinação da DQO foram encontrados níveis relativamente baixos, para água e esgoto tratado utilizados na irrigação do capim Tanzânia, 56 e 215 $\text{mgO}_2\text{L}^{-1}$, respectivamente.

Os valores encontrados de pH foram menores na água (6,8) do que no esgoto tratado (8,2). O pH do esgoto mostrou-se ser mais básico. O pH é um índice que caracteriza o grau de acidez ou alcalinidade de um ambiente. No caso das águas de irrigação, o pH normal deve ficar entre 6,5 e 8,4. As águas com pH anormal podem causar desequilíbrios de nutrição ou conter íons tóxicos e podem comprometer o equipamento de irrigação, ocasionando a deterioração do mesmo (Ayers e Westcot, 1991). Logo, o pH encontrado tanto na água como no esgoto tratado utilizados na irrigação encontram-se dentro na normalidade, evitando-se assim algum tipo de prejuízo para o solo e no desenvolvimento da cultura.

A condutividade elétrica é um dos principais parâmetros na determinação dos níveis de sais no solo. A salinidade do solo, determinada através de níveis elevados de condutividade elétrica, contribui para um desenvolvimento prejudicial da cultura. Segundo Ayers e Westcot (1991), os valores normais de

condutividade elétrica em água de irrigação estão entre 0 - 300 μ S/cm. De acordo com Reichardt (1990), o risco de salinidade é baixo quando a condutividade for menor que 750 μ S/cm e médio quando variar de 750 - 1500 μ S/cm.

Os valores médios encontrados nas análises foram de 286 μ S/cm para a água e de 781 μ S/cm no esgoto tratado. Logo, pode-se avaliar que a água encontra-se dentro dos padrões normais aceitáveis para seu uso e, o esgoto tratado possui um nível ligeiramente elevado, com isso podendo acarretar problemas de salinização a médio e longo prazo, caso medidas para minimizar este problema não sejam tomadas.

O sódio, cálcio e magnésio são analisados conjuntamente por meio da relação conhecida como RAS (razão de adsorção de sódio). Assim, pode-se avaliar os efeitos dessa relação sobre a qualidade da água de irrigação.

Segundo Ayers e Westcot (1991), os valores normais do RAS para água de irrigação se encontram entre 0-15. Após as análises e cálculos, o RAS encontrado para a água foi de 3,1 e, para o esgoto tratado foi encontrado um RAS de 5,3. Logo, pode-se concluir que o RAS encontra-se dentro da normalidade.

De acordo com a USEPA (1999) e Crook (1993) apud Mancuso e Santos (2003), concentrações de até 99 mg.Cl.L⁻¹ de cloretos na água de irrigação não acarretam nenhum efeito negativo à cultura. Acima deste valor, podem causar alguns problemas como diminuição da taxa de crescimento e, em concentrações ainda maiores, queimaduras nas folhas.

Os valores encontrados de cloretos durante as análises estão dentro da normalidade. Para a água e esgoto tratado foram encontradas as concentrações de 40 e 67 mgCl.L⁻¹, respectivamente.

Segundo Ayers e Westcot (1991), os valores normais para concentração de amônia em águas para irrigação estão entre 0-5 mgNH₃ L⁻¹. Os valores médios encontrados nas análises de presença de amônia para a água e o esgoto tratado foram 0,2 e 5,3 mgNH₃ L⁻¹, respectivamente. Logo, a água encontra-se dentro dos padrões aceitáveis. Apesar da concentração de amônia no esgoto ter ficado um pouco acima, esta pequena variação não acarreta prejuízos para a cultura, já que a presença de amônia em esgotos domésticos é baixa.

Os valores médios de fósforo encontrados nas análises para a água e esgoto tratado foram de 0 e 3,4 mgPL⁻¹, respectivamente. De acordo com Ayers e Westcot (1991), os valores normais para concentração de fósforo em águas para irrigação estão entre 0-2 mgPL⁻¹. Esse nível elevado de fósforo no esgoto tratado é devido a substâncias presentes no esgoto doméstico. Apesar dos níveis de fósforo no esgoto encontrar-se acima dos valores normalmente encontrados em águas para irrigação, essa concentração acentuada não prejudica o desenvolvimento do capim Tanzânia, e sim, contribuindo beneficemente para a nutrição das plantas, fato este já comprovado em pesquisas.

De acordo com WHO (1989) e WHO (2006) Tabela 3.5, os valores encontrados para *E. coli* e ovos de helmintos nas análises da água e do esgoto tratado estão dentro dos padrões aceitáveis para irrigação de culturas forrageiras. De acordo com a Tabela 3.5, não existem restrições de concentração para coliformes fecais e, para os valores de ovos de helmintos, devem ser menor ou igual a um, ou seja, os valores encontrados nas análises encontram-se dentro das margens aceitáveis para irrigação de forrageiras. Logo, a cultura não apresenta riscos sanitários para o manejo e consumo de animais.

5.2 Análises Microbiológicas do Capim Tanzânia

As análises microbiológicas foram realizadas para determinação da quantidade de coliformes fecais e, para determinar a presença de *Salmonella* no capim Tanzânia. A Tabela 5.2 mostra os resultados obtidos das análises sobre os quatro grupos de amostras coletadas ao longo do período de análises.

TABELA 5.2 – Resultado das análises microbiológicas do capim Tanzânia. Aquiraz, Ceará, 2006.

ÁREAS DE COLETA DE AMOSTRAS	COLIFORMES a 45°C(NMP/g)	PESQUISA DE <i>Salmonella</i> sp/25g
ESGOTO + ADUBAÇÃO (1ª coleta)	93	PRESENÇA
ESGOTO + 1/2ADUBAÇÃO (1ª coleta)	75	PRESENÇA
ESGOTO (1ª coleta)	15	PRESENÇA
ESGOTO + ADUBAÇÃO (2ª coleta)	93	PRESENÇA
ESGOTO + 1/2ADUBAÇÃO (2ª coleta)	<3	PRESENÇA
ESGOTO (2ª coleta)	4	AUSÊNCIA
ESGOTO + ADUBAÇÃO (3ª coleta)	<3	AUSÊNCIA
ESGOTO + 1/2ADUBAÇÃO (3ª coleta)	<3	AUSÊNCIA
ESGOTO (3ª coleta)	<3	AUSÊNCIA
ESGOTO + ADUBAÇÃO (4ª coleta)	<3	AUSÊNCIA
ESGOTO + 1/2ADUBAÇÃO (4ª coleta)	<3	AUSÊNCIA
ESGOTO (4ª coleta)	<3	AUSÊNCIA

Nas amostras analisadas para determinar a presença de *Salmonella*, nas duas primeiras coletas realizadas, no primeiro e quinto dia, respectivamente, foi detectada presença da bactéria *Salmonella*. Nas amostras das duas últimas coletas, realizadas no décimo e décimo quarto dia, não foi detectada presença

da bactéria *Salmonella*. Logo, pode-se concluir que após alguns dias da interrupção da irrigação com esgoto tratado, o capim Tanzânia não apresentou riscos de contaminação em relação à *Salmonella*. A ausência de *Salmonella* ocorreu devido a fatores característicos da região nordeste como a forte ação de desinfecção que possui o sol, conseqüente da incidência solar que ocorre durante boa parte do ano. Em regiões com clima mais ameno, a resistência da presença da bactéria *Salmonella* pode ser mais acentuada.

Os resultados obtidos nas análises para determinação da quantidade de coliformes fecais foram também bastante satisfatórios, tendo sido encontrados níveis baixos desde a primeira coleta. A Figura 5.1 mostra o decaimento da quantidade de coliformes fecais, de acordo com o tipo de tratamento aplicado, ao longo do período das coletas. Observa-se que após 10 dias de interrupção da irrigação, as quantidades de coliformes fecais encontradas nas amostras foram mínimas.

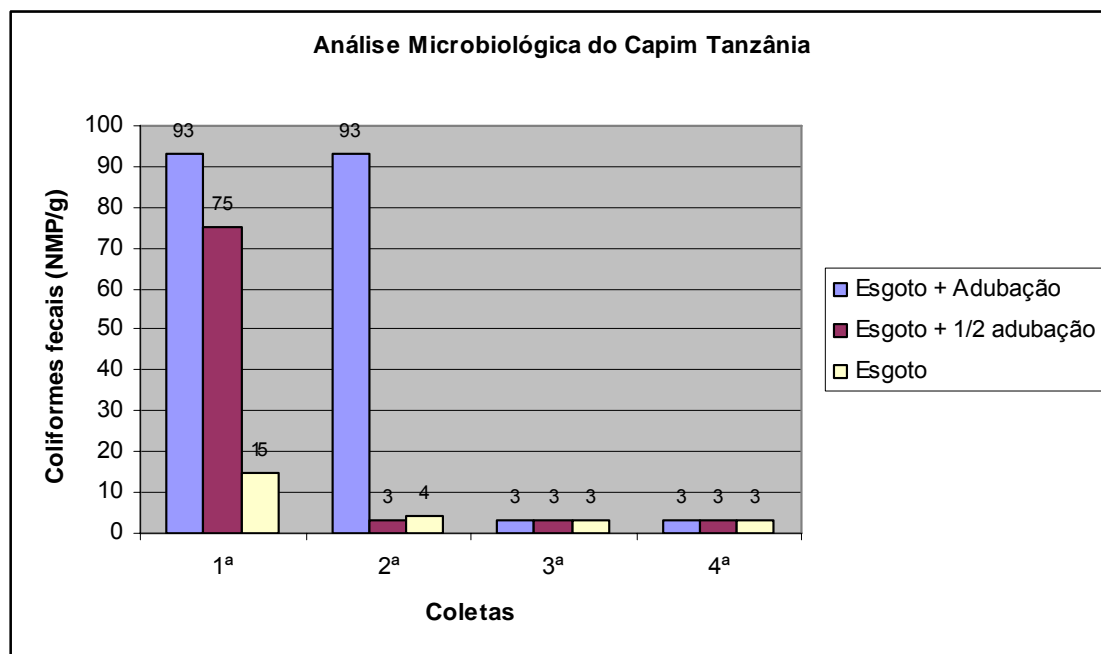


FIGURA 5.1 – Decaimento da quantidade de coliformes fecais no Capim Tanzânia.

As quantidades de coliformes fecais e *Salmonella* encontradas nas análises desenvolvidas durante a pesquisa estão dentro dos níveis aceitáveis para a

maior segurança dos operários no manejo da cultura do capim Tanzânia e para sua utilização na alimentação de animais, de acordo com as diretrizes microbiológicas recomendadas pela USEPA (1992), WHO (1989) e WHO (2006). Segundo Sandri (2003), estudos realizados em várias partes do mundo mostraram que os riscos à saúde, associados ao uso de águas residuárias são mínimos e que determinados padrões de restrição relativos a bactérias, muitas vezes, são muito restritivos.

Com base nos dados analisados, a irrigação do capim Tanzânia com esgoto tratado não apresentou riscos à saúde do agricultor. De acordo com os níveis de coliformes fecais e *Salmonella* encontrados, não há restrições quanto ao uso do capim como fonte alimentar para animais. Logo, pode-se concluir que o método de tratamento de esgotos usando lagoas de estabilização em série, pode apresentar um esgoto com níveis microbiológicos dentro dos padrões aceitáveis, podendo assim ser utilizado na irrigação da cultura de capim Tanzânia e de outras forrageiras.

5.3 Análises Químico-Bromatológicas do Capim Tanzânia

Os resultados obtidos nas análises químico-bromatológicas aplicadas ao capim Tanzânia, para determinação da porcentagem de matéria seca (MS), proteína bruta (PB), extrato etéreo (EE), resíduo mineral (RM), fibras em detergente ácido (FDA) e fibras em detergente neutro (FDN) são mostrados nas Tabelas 5.3, 5.4 e 5.5. De posse destes dados, para uma melhor comparação dos resultados obtidos entre os quatro tratamentos aplicados ao capim Tanzânia, foram construídos gráficos para cada parâmetro, onde é possível uma melhor visualização do comportamento ao longo das três coletas realizadas.

TABELA 5.3 – Resultados das análises químico-bromatológicas da 1ª coleta. Aquiraz, Ceará, 2006.

1ª Coleta	Amostras	MS (%)	PB (%)	EE (%)	RM (%)	FDA(%)	FDN(%)
	T1	90,63	10,59	2,32	10,15	41,77	69,36
T2B1	91,55	11,65	2,24	10,95	41,20	67,72	
T2B2	94,13	10,07	2,56	10,68	40,83	69,66	
T2B3	93,80	12,12	2,24	8,50	40,05	68,99	
T2B4	93,25	11,05	2,18	8,39	40,75	70,78	
T3B1	94,30	7,43	2,19	9,36	39,08	69,53	
T3B2	93,25	10,34	2,57	11,55	38,45	67,41	
T3B3	94,20	9,57	2,13	9,24	38,22	67,79	
T3B4	93,48	9,07	2,07	9,20	38,51	69,84	
T4B1	94,25	13,04	2,40	12,60	40,92	67,75	
T4B2	93,95	9,41	2,17	11,44	40,60	68,27	
T4B3	94,95	9,70	2,17	8,06	39,42	70,11	
T4B4	93,58	9,63	2,38	11,03	41,68	67,78	

Legenda:

T1 – irrigação com água

T2B1 – irrigação com esgoto tratado, Bloco 1

T2B2 – irrigação com esgoto tratado, Bloco 2

T2B3 – irrigação com esgoto tratado, Bloco 3

T2B4 – irrigação com esgoto tratado, Bloco 4

T3B1 – irrigação com esgoto + adubação recomendada, Bloco 1
 T3B2 – irrigação com esgoto + adubação recomendada, Bloco 2
 T3B3 – irrigação com esgoto + adubação recomendada, Bloco 3
 T3B4 – irrigação com esgoto + adubação recomendada, Bloco 4
 T4B1 – irrigação com esgoto + ½ adubação recomendada, Bloco 1
 T4B2 – irrigação com esgoto + ½ adubação recomendada, Bloco 2
 T4B3 – irrigação com esgoto + ½ adubação recomendada, Bloco 3
 T4B4 – irrigação com esgoto + ½ adubação recomendada, Bloco 4

TABELA 5.4 - Resultados das análises químico-bromatológicas da 2ª coleta. Aquiraz, Ceará, 2006.

2ª Coleta	Amostras	MS (%)	PB (%)	EE (%)	RM (%)	FDA(%)	FDN(%)
	T1	93,03	13,33	2,44	7,74	35,78	69,72
	T2B1	94,35	14,59	2,47	10,17	36,04	68,89
	T2B2	93,55	14,32	2,67	9,14	35,73	70,09
	T2B3	93,58	12,18	2,31	6,87	33,89	65,80
	T2B4	94,03	15,69	2,20	7,76	35,40	68,52
	T3B1	93,60	12,65	2,53	8,52	36,94	68,68
	T3B2	94,63	12,91	2,50	8,53	36,84	68,84
	T3B3	93,50	10,04	2,35	6,79	34,84	69,06
	T3B4	93,73	11,18	2,24	7,07	36,89	68,74
	T4B1	94,20	13,73	2,40	10,03	38,37	68,09
	T4B2	94,05	12,21	2,51	8,51	37,52	67,75
	T4B3	94,08	12,40	2,48	7,25	35,99	70,30
	T4B4	93,58	13,54	2,58	6,68	35,57	73,12

Legenda:

T1 – irrigação com água

T2B1 – irrigação com esgoto tratado, Bloco 1

T2B2 – irrigação com esgoto tratado, Bloco 2

T2B3 – irrigação com esgoto tratado, Bloco 3

T2B4 – irrigação com esgoto tratado, Bloco 4

T3B1 – irrigação com esgoto + adubação recomendada, Bloco 1

T3B2 – irrigação com esgoto + adubação recomendada, Bloco 2

T3B3 – irrigação com esgoto + adubação recomendada, Bloco 3

T3B4 – irrigação com esgoto + adubação recomendada, Bloco 4

T4B1 – irrigação com esgoto + ½ adubação recomendada, Bloco 1

T4B2 – irrigação com esgoto + ½ adubação recomendada, Bloco 2

T4B3 – irrigação com esgoto + ½ adubação recomendada, Bloco 3

T4B4 – irrigação com esgoto + ½ adubação recomendada, Bloco 4

TABELA 5.5 - Resultados das análises químico-bromatológicas da 3ª coleta. Aquiraz, Ceará, 2006.

3ª Coleta	Amostras	MS (%)	PB (%)	EE (%)	RM (%)	FDA(%)	FDN(%)
	T1	92,38	10,75	2,03	6,63	41,76	76,86
	T2B1	92,93	9,41	2,94	9,82	41,51	75,17
	T2B2	93,63	9,35	2,49	9,32	38,60	73,54
	T2B3	93,43	9,75	2,39	7,92	39,45	74,31
	T2B4	93,23	9,09	2,50	7,62	39,38	74,01
	T3B1	93,68	10,12	2,35	7,05	41,18	70,91
	T3B2	94,03	9,79	2,41	8,59	41,63	73,08
	T3B3	93,53	9,16	2,42	6,26	41,85	76,98
	T3B4	93,20	8,70	2,19	7,00	40,62	75,26
	T4B1	93,73	9,72	2,70	9,44	40,70	74,84
	T4B2	93,60	8,27	2,03	8,12	41,06	75,70
	T4B3	93,78	9,61	2,20	7,36	38,85	76,47
	T4B4	93,05	9,60	2,29	7,25	40,99	75,23

Legenda:

T1 – irrigação com água

T2B1 – irrigação com esgoto tratado, Bloco 1

T2B2 – irrigação com esgoto tratado, Bloco 2

T2B3 – irrigação com esgoto tratado, Bloco 3

T2B4 – irrigação com esgoto tratado, Bloco 4

T3B1 – irrigação com esgoto + adubação recomendada, Bloco 1

T3B2 – irrigação com esgoto + adubação recomendada, Bloco 2

T3B3 – irrigação com esgoto + adubação recomendada, Bloco 3

T3B4 – irrigação com esgoto + adubação recomendada, Bloco 4

T4B1 – irrigação com esgoto + ½ adubação recomendada, Bloco 1

T4B2 – irrigação com esgoto + ½ adubação recomendada, Bloco 2

T4B3 – irrigação com esgoto + ½ adubação recomendada, Bloco 3

T4B4 – irrigação com esgoto + ½ adubação recomendada, Bloco 4

O consumo de matéria seca (MS) das pastagens está diretamente ligado ao desempenho dos animais, porque determina a quantidade de nutrientes ingeridos, os quais são necessários para atender as exigências de manutenção e produção animal (GOMIDE, 1993).

A porcentagem de matéria seca (MS) na planta é determinante para uma melhor ingestão de nutrientes. Assim, uma planta com maior quantidade de matéria seca (MS) está ligada a um maior potencial energético. O maior consumo de matéria seca (MS) contribui para um melhor ganho de peso do animal. A Figura 5.2 mostra o comportamento da porcentagem de matéria seca (MS) presente no capim Tanzânia para os quatro tratamentos aplicados durante as três coletas realizadas. Constatou-se que nos tratamentos irrigados com esgoto, principalmente para os que foram adubados, os níveis de matéria seca (MS) presentes no capim são ligeiramente superiores aos obtidos com o capim irrigado com água de poço. Logo, a irrigação com esgoto apresenta uma maior produção de forragem e, conseqüentemente, proporciona um melhor potencial energético ao capim Tanzânia e a outras forrageiras.

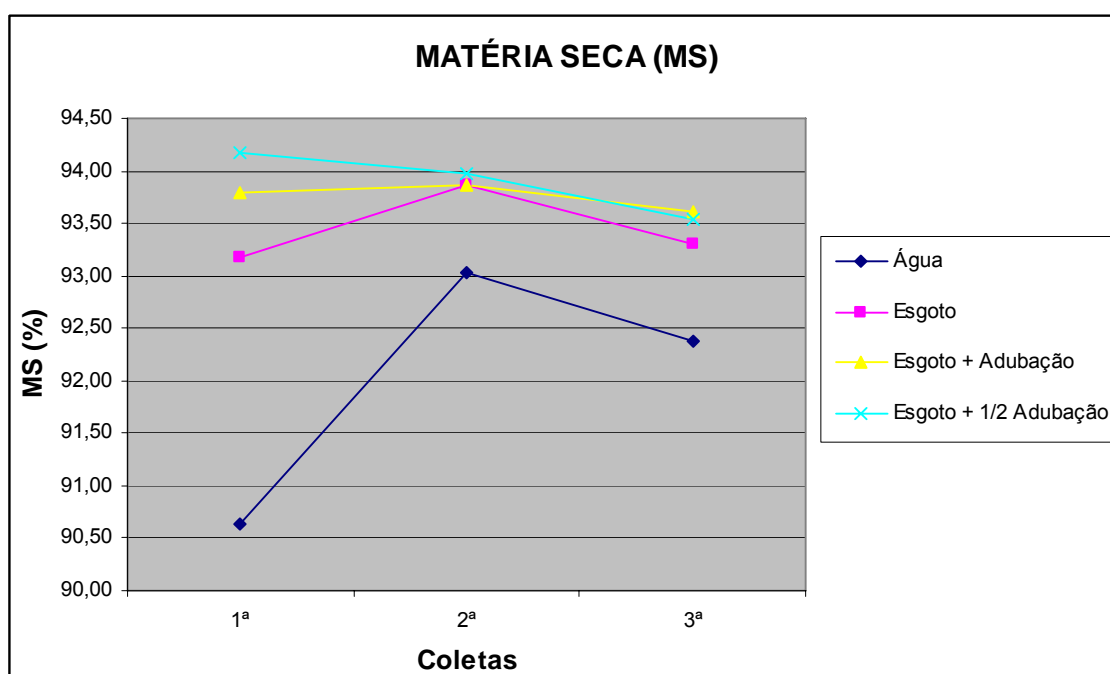


FIGURA 5.2 – Porcentagem de Matéria Seca (MS) presente no capim Tanzânia. Aquiraz, Ceará, 2006.

Nas análises para determinação do teor de proteína bruta (PB) presente no capim Tanzânia, foi observado um aumento do seu teor no primeiro momento e, em seguida, uma tendência de queda nas amostras da última coleta, para os quatro tratamentos aplicados (Figura 5.3).

Segundo Van Soest (1994), concentrações de proteína bruta (PB) acima de 7% não são bem correlacionadas com o consumo, porém, abaixo desse nível, ocorre decréscimo na ingestão pelos animais. Considerando que é recomendado de 8,5% a 10,7% de proteína bruta (PB) na matéria seca, para manutenção e ganho de peso para bovinos (NRC, 1996), os valores encontrados de proteína bruta (PB) presente no capim Tanzânia nas análises para os quatro tratamentos aplicados, foram satisfatórios para obter-se bom desempenho dos animais.

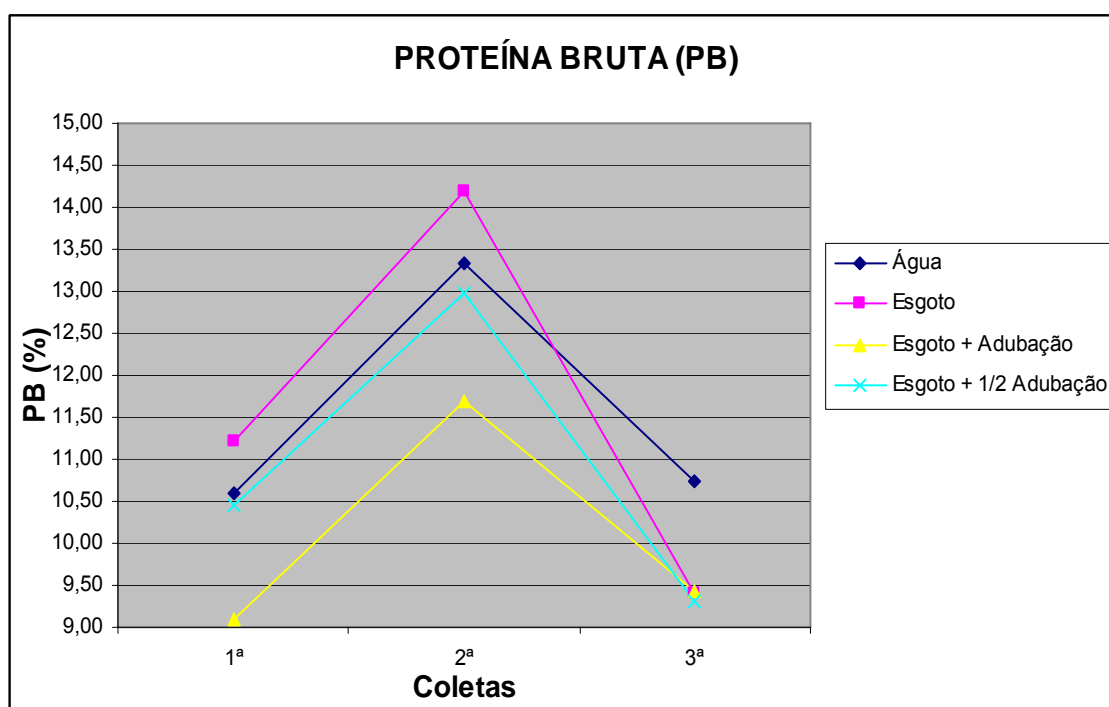


FIGURA 5.3 - Teor de proteína bruta (PB) presente na matéria seca (MS) do capim Tanzânia. Aquiraz, Ceará, 2006.

O extrato etéreo é definido como sendo a soma de todas as substâncias extraídas pelo éter, sendo essas substâncias os ácidos graxos livres, o

colesterol, a lecitina, a clorofila, os álcoois voláteis, os óleos voláteis e as resinas. Segundo Palmquist (1994), o nível máximo de extrato etéreo (EE) admitido para alimentação de ruminantes é de 5% na matéria seca (MS) e 2% é o nível mínimo.

Os resultados das análises para os teores de extrato etéreo (EE) na matéria seca (MS) do capim Tanzânia (Figura 5.4), indicaram que as amostras coletadas que foram irrigadas com esgoto apresentaram um nível mais satisfatório, mantendo-se em valores aceitáveis até a terceira coleta, enquanto que as amostras irrigadas com água apresentaram um decaimento acentuado dos teores de extrato etéreo (EE) presentes no capim Tanzânia.

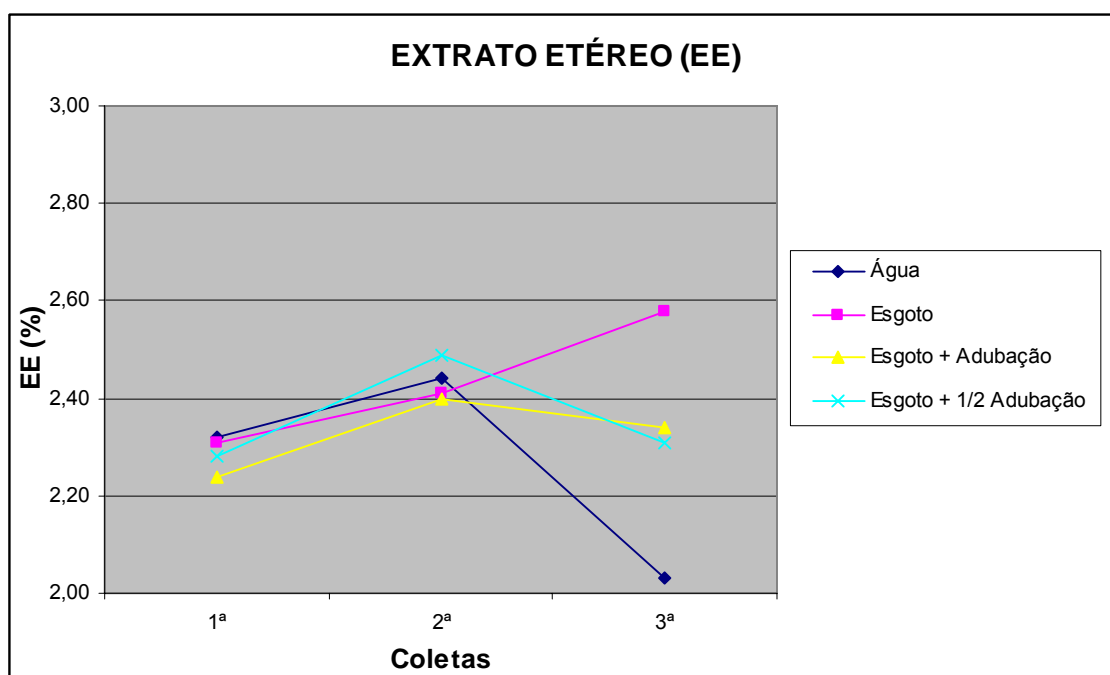


FIGURA 5.4 – Teor de Extrato Etéreo (EE) na matéria seca (MS) do capim Tanzânia. Aquiraz, Ceará, 2006.

A Figura 5.5 mostra os resultados obtidos para os teores de resíduo mineral (RM), nas análises das amostras do capim Tanzânia para os quatro tratamentos aplicados ao longo das três coletas. O resíduo mineral engloba o cálcio, manganês, potássio, zinco, enxofre e ferro. Constatou-se que, no

tratamento irrigado com esgoto, os níveis de resíduo mineral mantiveram-se mais estáveis com o passar das coletas, provavelmente devido à composição de nutrientes presentes nos esgotos domésticos. De acordo com a NRC (1996), os resultados encontrados em todas as amostras possuem níveis aceitáveis para a alimentação de animais, contudo, os tratamentos irrigados com esgoto são ligeiramente melhores. Os teores de resíduo mineral encontrados nas análises são semelhantes aos de 7,84%, determinados por PEREIRA *et al* (1996), e de 10%, por LINHARES *et al* (2005).

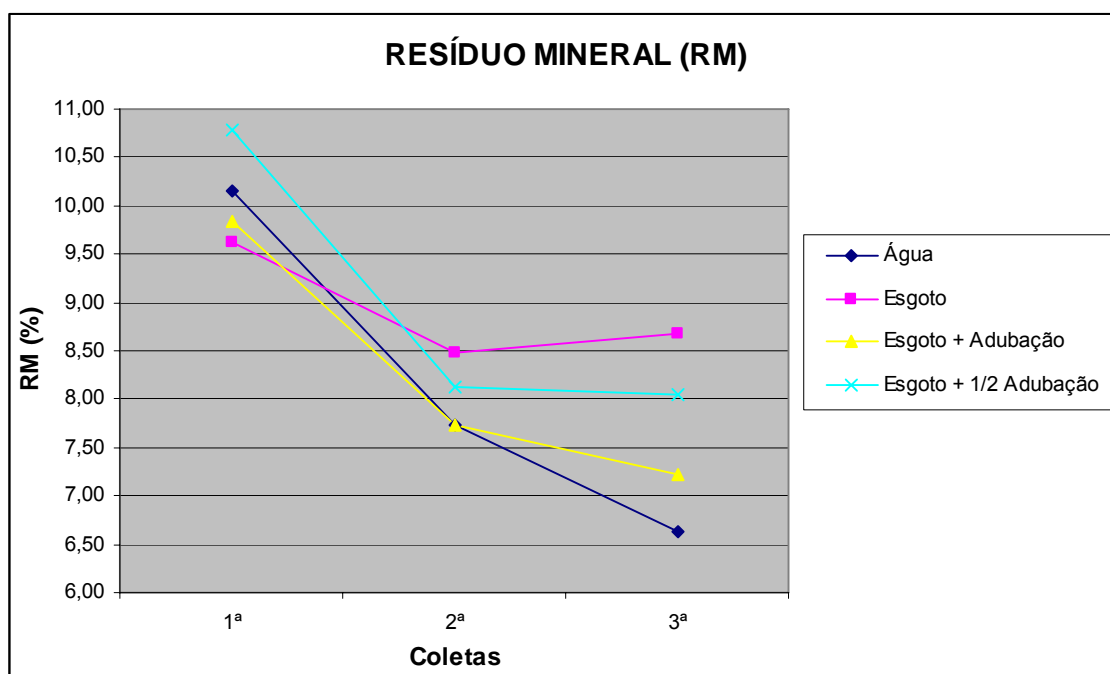


FIGURA 5.5 – Teor de Resíduo Mineral (RM) na matéria seca (MS) do capim Tanzânia. Aquiraz, Ceará, 2006.

As fibras em detergente ácido (FDA) englobam a celulose e lignina, dando informações, respectivamente, sobre o consumo e a digestibilidade. Barbosa e Euclides (1997), estudando o valor nutritivo de três espécies de *Panicum maximum*, entre essas o capim Tanzânia, obtiveram teor médio de FDA de 38,2% na matéria seca (MS). A concentração de FDA correlaciona-se linear e negativamente com a digestibilidade da matéria seca (MS) da forragem (VAN SOEST, 1994).

A Figura 5.6 mostra a concentração de FDA nas amostras analisadas ao longo das três coletas para os tratamentos aplicados. No primeiro momento houve uma queda nas concentrações de FDA, mas, em seguida, ocorreu uma tendência de crescimento do FDA em todos os tratamentos aplicados, em maior grau para a irrigação com água. Os valores encontrados nas análises são semelhantes aos determinados em outras pesquisas. Logo, verifica-se que ao longo das coletas as concentrações de FDA tendem a aumentar, contribuindo para uma menor digestibilidade da matéria seca (MS).

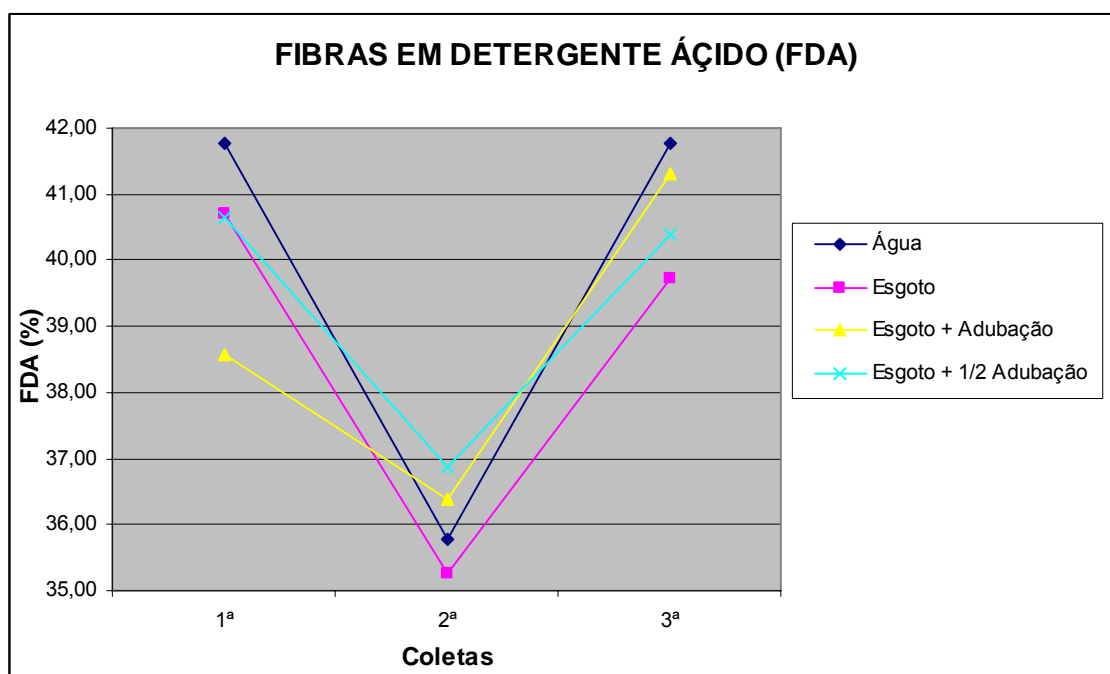


FIGURA 5.6 – Concentrações de fibras em detergente ácido (FDA) na matéria seca (MS) do capim Tanzânia. Aquiraz, Ceará, 2006.

As fibras em detergente neutro (FDN) incluem a proteína insolúvel, a hemicelulose, a lignina e a celulose, que influenciam no grau de digestibilidade da planta. Madsen *et al.* (1997) assumem que a ingestão potencial de forragem está relacionada com a fibra em detergente neutro (FDN) presente na forragem. Van Soest (1994) afirmou que valores acima de 55 a 60% de FDN na matéria seca limitam o consumo de forragem. Barbosa e Euclides (1997), estudando o valor nutritivo de três espécies de *Panicum maximum*, entre essas

o capim Tanzânia, obtiveram teor médio de FDA de 72,9% na matéria seca (MS).

Os resultados das concentrações de FDN para as amostras analisadas dos quatro tratamentos aplicados são semelhantes aos encontrados por outros pesquisadores, mas encontram-se acima dos níveis ideais para um maior aproveitamento no consumo da forragem pelos animais. Verificou-se uma maior tendência de crescimento das concentrações de FDN ao longo das coletas e, em maior grau, no tratamento irrigado com água de poço (Figura 5.7).

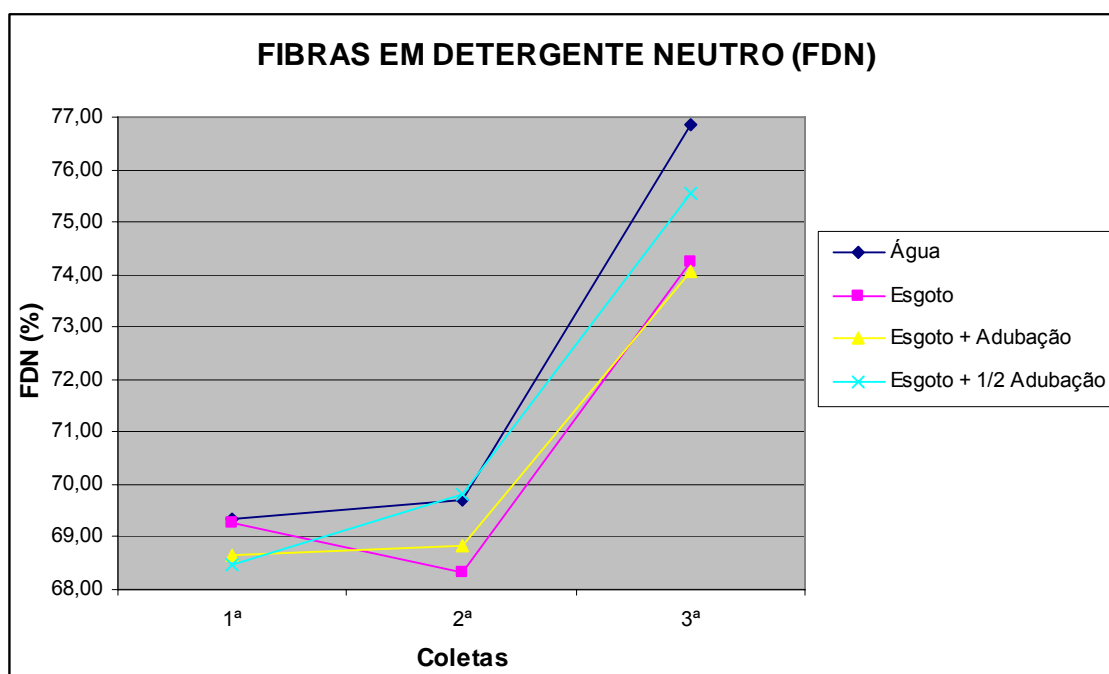


FIGURA 5.7 – Concentrações de fibras em detergente neutro (FDN) na matéria seca (MS) do capim Tanzânia. Aquiraz, Ceará, 2006.

6 CONCLUSÕES

Os resultados obtidos nas análises realizadas no esgoto tratado utilizado na irrigação do capim Tanzânia mostraram que a qualidade do efluente tratado em lagoas de estabilização estava dentro dos padrões aceitáveis para irrigação de forrageiras, não influenciando de maneira danosa no desenvolvimento do capim Tanzânia.

Com base nas análises microbiológicas realizadas no efluente, conclui-se que são insignificantes os riscos de contaminação, por organismos patogênicos, dos operários, no manejo da capim Tanzânia.

As análises microbiológicas desenvolvidas nas amostras do capim Tanzânia coletadas para diferentes períodos, indicaram, desde a primeira coleta, uma qualidade satisfatória do capim Tanzânia. Entre os tratamentos aplicados, o T3 (irrigação com esgoto + adubação) foi o que apresentou o menor grau de decaimento da presença de microorganismos patogênicos no capim Tanzânia, e o tratamento T2 (irrigação com esgoto) apresentou níveis melhores, entre os tratamentos aplicados para as análises microbiológicas. Logo, verificou-se uma tendência de maior resistência dos microorganismos patogênicos nas amostras de capim Tanzânia coletadas nos tratamentos aplicados com maior nível de adubação. A partir da terceira coleta, ocorrida no 10º dia após a interrupção da irrigação, o capim Tanzânia apresentou níveis de contaminação por coliformes insignificantes e, ausência total por *Salmonella*. Logo, os riscos de manejo por parte do agricultor são desprezíveis e, para a alimentação de animais, o capim Tanzânia também se encontrou dentro dos níveis aceitáveis.

Os resultados encontrados nas análises químico-bromatológicas para os parâmetros matéria seca (MS), proteína bruta (PB), extrato etéreo (EE), resíduo mineral (RM), fibras em detergente ácido (FDA) e fibras em detergente neutro (FDN), apresentaram, para o capim Tanzânia, níveis de concentração satisfatórios para todos os tratamentos aplicados.

Ao longo das três coletas realizadas, as análises mostraram uma tendência, em todos os tratamentos aplicados, de queda nas qualidades nutritivas e de digestibilidade do capim Tanzânia, devida, principalmente, à quantidade de cortes já realizada na área de plantio durante as coletas.

Entre os tratamentos aplicados na irrigação do capim Tanzânia, o T2 (irrigação com esgoto) apresentou uma tendência de melhor qualidade do capim Tanzânia em todos os parâmetros analisados. Portanto, os tratamentos que receberam adubação não foram superiores aos outros, indicando uma qualidade de nutrientes já satisfatórias na composição do efluente utilizado na irrigação, contribuindo, assim, para um bom desenvolvimento do capim Tanzânia.

7 RECOMENDAÇÕES

Recomenda-se que sejam realizadas outras pesquisas no sentido de:

Avaliar os níveis de contaminação do solo e da cultura por metais pesados, verificando possíveis impactos ambientais.

Comparar a influência de diferentes métodos de irrigação com esgoto tratado sobre os aspectos sanitários e agronômicos no desenvolvimento do capim Tanzânia.

Avaliar o uso de esgotos tratados na irrigação de outras espécies de capim.

Avaliar a influência da irrigação com esgoto tratado sobre o aumento da salinidade do solo e as consequências para o desenvolvimento das culturas.

Estudar os impactos sociais e econômicos sobre a população, devido à utilização de esgotos tratados na irrigação.

Avaliar a utilização de esgoto tratados a partir de outros métodos de tratamentos de esgotos e verificar o mais adequado para irrigação de capim Tanzânia.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALCÂNTARA, P. B.; BUFARAH, G. **Plantas Forrageiras: Gramíneas e leguminosas**. São Paulo: Nobel, 1988. 126p.

APHA – American Public Health Association. **Standart Methods for the examination of water and waste water**. 19 ed. Washington D. C. APHA – AWWA – WPCF. 1995.

ARRUDA, Z. J. **A pecuária bovina de corte no Brasil e resultados econômicos de sistemas alternativos de produção**. In: SIMPÓSIO SOBRE PECUÁRIA DE CORTE, 4, Piracicaba, 1997. Anais. Piracicaba: FEALQ, 1997.

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS – AOAC. **Official Methods of Analysis**. 15 ed. Washington, D. C., 1990.1117p.

AYERS, R. S.; WESTCOT, D. W. **A qualidade da água na agricultura**. Tradução de H. R. Gheyi; J. F. Medeiros; F. A. V. Damasceno. Campina Grande: UFPB, 1991, 218p.

BARBOSA, R. A.; EUCLIDES, V. P. B. **Valores nutritivos de três ecotipos de *Panicum maximum***. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 34., 1997, Juiz de Fora. **Anais...** Juiz de Fora: SBZ, 1997.

BASTOS, R. K. X. **Utilização de Esgotos Tratados em Fertirrigação, Hidroponia e Piscicultura**. PROSAB 3. Rio de Janeiro. ABES, 2003.

BERNARDO, S. **Manual de irrigação**. 6ed. Viçosa: Imprensa Universitária, 1995. 657p.

BLUM, J. R. C. **Critérios e padrões de qualidade da água**. In: MANCUSO, P. C. S. & SANTOS, H. F. dos. **Reúso de Água**. São Paulo: Manole, 2003.

BREGA FILHO, Darcy; MANCUSO, Pedro C. S. **Conceito de reúso de água.** In: MANCUSO, Pedro C. S.; SANTOS, Hilton F. **Reúso de água.** São Paulo: Universidade de São Paulo/Faculdade de Saúde Pública: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2002.

CETESB. **Operação e Manutenção de Lagoas Anaeróbias e Facultativas.** Companhia de tecnologia de Saneamento Ambiental, São Paulo, 1989.

FARIA, V. P.; PEDREIRA, C. G. S.; SANTOS, F. A. P. **Evolução do uso de pastagens para bovinos.** In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DA PASTAGEM, 13. Piracicaba, 1996. Anais. Piracicaba: FEALQ, 1996.

GOMIDE, J. **A Produção de leite em regime de pasto.** *R. Soc. Brasileira de Zootecnia.*, 22(4):591-613. 1993

HESPANHOL, I. **Água e saneamento básico: uma visão realista.** In: REBOUÇAS, Aldo da Cunha; BRAGA, Benedito; TUNDISI, José Galizia (Orgs). **Águas doces no Brasil: capital ecológica, uso e conservação.** São Paulo: Escrituras Editora, 1999.

HESPANHOL, I. **Esgotos como Recurso Hídrico. Parte I: Dimensões Políticas, Institucionais, Legais, Econômico-financeiras e Sócio-culturais.** Engenharia, São Paulo: Instituto de Engenharia de São Paulo, v. 55, n. 523, 1997.

HESPANHOL, I. **Potencial de reúso de água no Brasil: agricultura, indústria, município e recarga de aquíferos.** In: MANCUSO, Pedro C. S.; SANTOS, Hilton F. **Reúso de água.** São Paulo: Universidade de São Paulo/Faculdade de Saúde Pública: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2002a.

HESPAHOL, I. **Potencial de reúso de água no Brasil. Agricultura. Indústria. Municipais. Recarga de Aquíferos.** Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 7, n. 4, 2002b.

IPLANCE. **Instituto de Pesquisa e Informação do Estado do Ceará.** Fortaleza, CE, 2004. <<http://www.iplance.ce.gov.br>>. Acesso em: 08 de maio de 2007.

ISA - INSTITUTO SOCIOAMBIENTAL. **Almanaque Brasil Socioambiental.** <www.socioambiental.org>. Março, 2005. Acesso em: 09 de abril de 2007.

JANK, L. **Potencial do gênero *Panicum*.** In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE FORRAGENS E PASTAGENS, Campinas, 1994.

JANK, L.; COSTA, J. C. G. **Avaliação, seleção e lançamento de novas cultivares de gramíneas da espécie *Panicum maximum*.** In: ENCONTRO SOBRE PRODUÇÃO DE SEMENTES DE PLANTAS FORRAGEIRAS, São José do Rio Preto, 1990.

JORDÃO, E. P.; PESSOA, C. A. **Tratamento de Esgotos Domésticos.** 4^a edição – Rio de Janeiro: ABES, 2005.

KANDIAH, A. **The Use of Wastewater for Irrigation,** apresentado em WHO/FAO UNCHS/UNEP Workshop on Health, Agriculture and Environment Aspects of the Use of Wastewater. Harare, Zimbabwe, 31 outubro a 4 novembro, WHO, Geneva, 1994.

LAVEZZO, W. **Silagem do capim Elefante.** Inf. Agropecuária. Belo Horizonte, MG, v. 11, p. 50 – 57, 1985.

LAVRADOR FILHO, J. **Contribuição para o entendimento do reúso planejado de água e algumas considerações sobre suas possibilidades**

no Brasil. São Paulo. 198p. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica de São Paulo/USP, 1987.

LEÓN, G. S.; CAVALLINI, J. M. **Curso de tratamiento y uso de águas residuales**. Lima: OPS/CEPIS, 1996.

LINHARES, P. C. F. **Inclusão de jitirana na composição químico-bromatológica de silagem de milho**. Mossoró-RN, v.18, n.2, p.117-122, abr./jun. 2005

MADSEN, J., HAVELPLUND, T., WEISBJERG, M.R. **Appropriate methods for evaluation of tropical feeds for ruminants**. *Anim. Feed Sci. Technol.*, 69(1-3):53-66. 1997.

MANCUSO, P. C. S.; SANTOS H. F. **Reúso de Águas**. São Paulo. Faculdade de Saúde Pública/USP, 2003.

MOTA, F. S. B.; SANTAELLA, S. T. **Utilização de Esgoto Tratado em Irrigação**. Propostas para o Estado do Ceará. In: SIMPÓSIO DE RECURSO HÍDRICOS DO NORDESTE. Anais. Fortaleza: ABRH, 1994. 479p.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL. **Nutrient requirements of Domestic Animals**. Number 4. Nutrients requeriments of beef cattle. 5 ed. Washington, DC.: National academy of Science: 1996.

PALMQUIST, D.L. The role of dietary fats in efficiency of ruminants. Conference: regulating lipids metabolism to increase productive efficiency. **Journal of Nutrition**, v.124, p.1377S-1382S, 1994.

PELEGRINI, R.; ZORATTO, A. C. **Lagos Facultativas**. III Fórum de Estudos Contábeis, 2003.

PEREIRA, O. G.; GARCIA, R.; FILHO, S. C. V.; LOUDES, E. G.; NEIVA, J. N. M.; QUEIROZ, J. H. Valor nutritivo da cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.) sob diferentes formas, com ovinos. **Revista da Sociedade Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 25, n.1, p. 58-71, 1996.

PESCOD, M. B. The Urban Water Cycle. **Wastewater use in agriculture outlook on agriculture**. V. 21, n.4, p. 263-270. 1992.

PESCOD, M. B. Alternative Health Control Measures for Municipal Wastewater Use in Agriculture. In: **Wastewater reclamation and reuse workshop**. Athens: sept., 1993. 17p.

REICHARDT, K. **A água em sistemas agrícolas**. São Paulo. Ed. Manole, 1990.

SANDRI, D. **Irrigação da cultura da alface com água residuária tratada com leite cultivado com macrófita**. Tese: Engenharia Agrícola, área de concentração em Água e Solo. Universidade Estadual de Campinas, SP, 2003.

SANTIAGO, R. G. **Avaliação da qualidade do efluente final do sistema de lagoas de estabilização do SIDI, visando ao uso na agricultura**. Dissertação (Mestrado em Saneamento Ambiental) - Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental. Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 1999.

SHAHALAM, A. B. M. **Wastewater Effluent vs. Safety in its Reuse: State-of-the-Art**. The Journal of Environmental Sciences, p. 35-42, sept./oct., 1989.

SILVA, D. J.; QUEIROZ, A. C. **Análise de Alimentos: métodos químicos e biológicos**. 3 ed. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, MG. 2002. 235p.

SILVA, E. A.; RIBEIRO, T. R.; PEREIRA, J. C.; QUEIROZ, A. C. **Avaliação da qualidade de uma pastagem natural utilizando novilhos fistulados no**

esôfago e o corte manual. Reunião da Sociedade Brasileira de Zootecnia. Anais. Fortaleza, CE. 1996.

SILVA, N.; JUNQUEIRA, V.C.A.; SILVEIRA, N.F.A. **Manual de Métodos de Análise Microbiológica de Alimentos.** São Paulo: Livraria Varela, 1997.

SILVEIRA, Pedro Marques; STONE, Luis Fernando; **Manejo da irrigação do feijoeiro** - uso do tensiometro e avaliação do desempenho do pivo central. Brasília: EMBRAPA/SPI, 1994.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **Guidelines for water reuse.** Technical Report N° EPA/625/R-92/004. Washington, DC: USEPA, 1992.

VAN SOEST, P. J. **Nutritional ecology of the ruminant.** New York: Cornell University, 1994.

VON SPERLING, M. V. **Introdução à Qualidade das Águas e ao Tratamento de Esgotos.** Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental. Universidade Federal de Minas Gerais, 1995.

VON SPERLING, M. V. **Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias** – Volume 3 – Lagoas de Estabilização. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental. Universidade Federal de Minas Gerais, 1996.

VON SPERLING, M. V. **Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias** – Volume 3, 2ª Edição – Lagoas de Estabilização. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental. Universidade Federal de Minas Gerais, 2002.

WESTERHOFF, G. P. **An update of research needs for water reuse.** In: WATER REUSE SYMPOSIUM, 1984. Proceedings. San Diego, Ca., USA, v. 1. p. 1731 – 1742, 1984.

WILLIAMS, S. Water Policy Briefing. **International Water Management Institute.** 2003.

WHO. Guidelines for the safe use of wastewater, excreta and grey water. Volume 2. **Wastewater use in agriculture.** Geneva: World Health Organization, 2006.

WHO. **Health guidelines for the use of wastewater in agriculture and aquaculture.** Geneva: World Health Organization. Technical Report Series n° 776, 1989.