



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
CURSO DE PÓS GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL
CAMPUS II - CAMPINA GRANDE

Dissertação de Mestrado

**ESTUDO DO POTENCIAL PRODUTIVO DO CAPIM
ELEFANTE SOB DIFERENTES LÂMINAS COM ÁGUA
RESIDUÁRIA TRATADA**

BLAKE CHARLES DINIZ MARQUES

CAMPINA GRANDE

Dezembro de 2004



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
Pós-Graduação em Engenharia Civil
ÁREA DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL

Dissertação de Mestrado

ESTUDO DO POTENCIAL PRODUTIVO DO CAPIM ELEFANTE SOB DIFERENTES LÂMINAS COM ÁGUA RESIDUÁRIA TRATADA

Mestrando:

Blake Charles Diniz Marques

Orientadores:

Prfa. Dra. Annemarie König

Prof. Dr. Hans Raj Gheyi

**Dezembro de 2004
Campina Grande – PB**

BLAKE CHARLES DINIZ MARQUES

**ESTUDO DO POTENCIAL PRODUTIVO DO CAPIM
ELEFANTE SOB DIFERENTES LÂMINAS COM ÁGUA
RESIDUÁRIA TRATADA**

Dezembro de 2004
Campina Grande – PB

ESTUDO DO POTENCIAL PRODUTIVO DO CAPIM ELEFANTE SOB DIFERENTES LÂMINAS COM ÁGUA RESIDUÁRIA TRATADA

BLAKE CHARLES DINIZ MARQUES

Orientadores:

Dra. Annemarie Köning

Prof. Hans Raj Gheyi – D. Sc.

Dissertação submetida ao curso de Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental da Universidade Federal de Campina Grande, em cumprimento às exigências requeridas para a obtenção do título de Mestre em Engenharia (M.Eng.), Área de concentração: Recursos Hídricos, Sub-Área: Engenharia Sanitária e Ambiental.

Dezembro de 2004
Campina Grande – PB

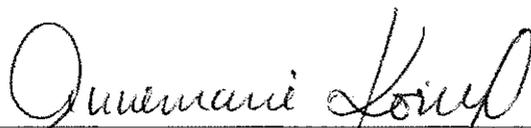
12/12/04
628.341(013)
22/11/04

RECEBIDO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
12/12/04

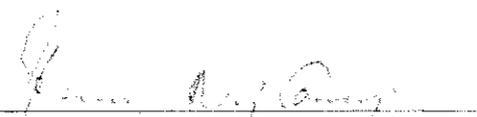
ESTUDO DO POTENCIAL PRODUTIVO DO CAPIM ELEFANTE SOB DIFERENTES LÂMINAS COM ÁGUA RESIDUÁRIA TRATADA

BLAKE CHARLES DINIZ MARQUES

BANCA EXAMINADORA:



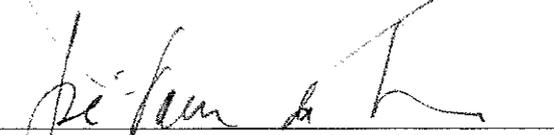
Prof^a Dra. Annemarie König - UAEC
Orientadora



Prof. Dr. Hans Raj Gheyi - UAEA
Orientador



Prof^a Dra. Beatriz Susana Ovruski de Ceballos - UAEC
Examinadora interna



Prof. Dr. José Tavares de Sousa - UFPB
Examinador externo

Dezembro de 2004
Campina Grande – PB

DEDICATÓRIA

- A Deus por ter me dado força e perseverança para superar as barreiras que surgiram ao longo dessa caminhada.
- À minha mãe (Bernadete) por sua luta, dedicação e toda confiança a mim depositada.
- Às minhas irmãs, sobrinhos e amigos por dividirem comigo mais uma conquista.
- À minha noiva e companheira (Kadja) pela constante presença e incentivo em todos os momentos.

AGRADECIMENTOS

- À professora e orientadora Annemarie pelo estímulo e paciência durante todo esse período.
- Ao professor Hans Raj e a professora Beatriz Susana pela ajuda e orientação.
- A todo o pessoal do departamento: Cristina, Valmária, Thais, Edy e Alves.
- Aos meus amigos e colegas do mestrado.
- A FUNASA – FUNDAÇÃO NACIONAL DE SAÚDE pelo suporte financeiro e pesquisa.
- A CAGEPA (Companhia de Água e Esgotos da Paraíba).
- Ao CNPq – Conselho Nacional de desenvolvimento Científico e Tecnológico pela bolsa.
- A todos os meus amigos pelo o apoio e incentivo que me deram.

SUMÁRIO

RESUMO	10
ABSTRACT	11
INTRODUÇÃO	12
1 REVISÃO DE LITERATURA	14
1.1 Usos da Água	14
1.2 Conceito de Reúso	15
1.3 Reúso para Fins Agrícolas	17
1.4 Qualidade da Água para Reúso Agrícola	18
1.5 Aspectos Sanitários do Reúso	18
1.5.1 Agentes Patogênicos nas Águas Residuárias	18
1.6 Padrões Sanitários da OMS	21
1.7 Padrões Mundiais	25
1.8 Outros Critérios de Qualidade para o Uso de Águas Residuárias na Agricultura	26
1.8.1 Salinidade	26
1.8.2 Nutrientes	28
1.8.2.1 Nitrogênio	29
1.8.2.2 Fósforo	29
1.8.2.3 Potássio	30
1.8.3 Seleção do Método de Irrigação	30
1.8.4 Metais Pesados	31
1.9 Sistemas de Tratamento	32
1.10 Aspectos Jurídicos do Reúso	33
1.11 Aspectos Econômicos do Reúso	33
1.12 Experiências de Reúso	34
1.13 Potencial Produtivo de Culturas Irrigadas com Águas Residuárias	36
1.14 O Capim Elefante	36

2 MATERIAIS E MÉTODOS	39
2.1 Localização do Experimento.....	39
2.2 Estação de Tratamento de Esgoto – ETE.....	40
2.3 Instalação do Experimento.....	42
2.4 Procedimentos de Plantio do Capim Elefante (<i>Pennisetum purpureum</i>).....	43
2.5 Sistema de Irrigação.....	44
2.6 Coleta e Análise da Água Residuária e de Abastecimento Utilizadas na Irrigação.....	46
2.7 Coleta e Análise do Solo.....	46
2.8 Colheita e Análise no Capim Elefante.....	47
2.9 Macro Nutriente (NPK).....	49
2.10 Proteína Bruta e Matéria Seca.....	49
2.11 Tratamento Estatístico.....	49
3 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	51
3.1 Dados Climatológicos.....	51
3.2 Parâmetros Físico-químicos e Microbiológicos da Água de Irrigação.....	52
3.2.1 Avaliação dos Parâmetros Físico-químicos.....	53
3.2.2 Aspectos Sanitários do Efluente.....	54
3.3 Parâmetros Físico-químicos e Microbiológicos do Solo Irigado.....	55
3.3.1 Características de Salinidade do Solo.....	55
3.3.2 Análise Microbiológica do Solo.....	56
3.4 Parâmetros de Crescimento do Capim Elefante (<i>Pennisetum purpureum</i>).....	57
3.4.1 Altura da Planta.....	58
3.4.2 Diâmetro do Colmo.....	59
3.5 Aspectos Produtivos do Capim Elefante.....	60
3.5.1 Produtividade de Matéria Verde.....	60
3.5.2 Teor de Matéria Seca (MS).....	61

3.6 Aspectos Nutritivos do Capim Elefante	62
3.6.1 Teor de Proteína Bruta (PB)	62
3.6.2 Macronutrientes (NPK)	63
3.7 Aspectos Sanitários	66
3.7.1 Análise Microbiológica do Capim	66
CONCLUSÃO	69
REFERÊNCIAS	70

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 – Classificação e utilização do reúso de águas.....	16
Figura 2.1 – Distribuição geográfica do estado da Paraíba	39
Figura 2.2 – Localização da Estação de Tratamento de Esgotos (ETE), na área urbana da cidade de Campina Grande (PB).....	40
Figura 2.3 – Planta baixa da ETE de Campina Grande (PB).....	41
Figura 2.4 – Área cultivada com o capim elefante.....	42
Figura 2.5 – Esquema geral da distribuição das parcelas experimentais	43
Figura 2.6 – Diagrama mostrando as parcelas experimentais, suas dimensões e a distribuição das linhas de plantio e a delimitação da área útil	44
Figura 2.7 – Esquema da localização das parcelas experimentais com os diferentes tratamentos	45
Figura 3.1 – Comparação dos índices pluviométricos do ano de 2003 com a média climática dos últimos 30 anos	51
Figura 3.2 – Precipitação pluviométrica durante o período dos cortes do capim elefante.....	52
Figura 3.3 – Relação de adsorção de sódio (RAS) antes e depois da irrigação.....	55
Figura 3.4 – pH do solo antes e depois da irrigação.....	56
Figura 3.5 – Condutividade elétrica do solo antes e depois da irrigação	56
Figura 3.6 – Contaminação do solo irrigado antes e depois do durante o período experimental	57
Figura 3.7 – Variação da altura do capim durante os três cortes	58
Figura 3.8 – Variação da altura do capim elefante em três idades de corte....	59
Figura 3.9 – Variação média do diâmetro de colmo durante o período referente ao experimento.....	60
Figura 3.10 – Variação média da produtividade de matéria verde durante o período referente ao experimento	61
Figura 3.11 – Variação média do teor de matéria seca durante o período referente ao experimento.....	62
Figura 3.12 – Variação média do teor de proteína bruta durante o período referente ao experimento.....	63
Figura 3.13 – Teor de fósforo no capim elefante	64
Figura 3.14 – Teor de nitrogênio no capim elefante.....	65
Figura 3.15 – Teor de potássio no capim elefante.....	66
Figura 3.16 – Contaminação fecal do capim elefante referente aos três cortes realizados.....	67
Figura 3.17 – Densidade de <i>Escherichia coli</i> no capim elefante referente ao três cortes.....	67
Figura 3.18 – Parcelas mais próximas da lagoa	68

LISTA DE TABELAS

Tabela 1.1 – Fatores ambientais ligados ao decaimento de organismos patogênicos excretados	19
Tabela 1.2 – Riscos sanitários relativos ao uso de excretas e águas residuárias na agricultura	21
Tabela 1.3 – Diretrizes sanitárias da WHO (1989)	23
Tabela 1.4 – Pautas microbiológicas revistas e recomendadas para o uso de águas residuais tratadas na agricultura (a)	24
Tabela 1.5 – Normas mexicanas para o uso de águas residuárias na agricultura	26
Tabela 1.6 – Classificação quanto à salinidade para águas de irrigação	27
Tabela 1.7 – Classificação do solo quanto à salinidade relacionando CE (condutividade elétrica), RAS (relação de absorção de sódio) e pH.....	28
Tabela 1.8 – Áreas irrigadas com águas residuárias no mundo	35
Tabela 1.9 – Comparação da produtividade (ton/ha) de algumas culturas irrigadas com água limpa e água residuária	36
Tabela 2.1 – Valores das lâminas de irrigação	46
Tabela 2.2 – Parâmetros analisados no efluente	48
Tabela 3.1 – Valores médios dos parâmetros físicos, químicos e microbiológicos do efluente final da ETE de Campina Grande utilizado na irrigação do capim elefante no período de 05/02 a 10/11/03	52
Tabela 3.2 – Estimativa da quantidade de nutrientes (NPK) disponibilizada no efluente da ETE durante todo o período de irrigação	54

RESUMO

A pesquisa teve como objetivo avaliar os aspectos produtivos e sanitários do capim elefante (*Pennisetum purpureum*) submetido a diferentes lâminas de irrigação de água residuária doméstica tratada proveniente do efluente final da Estação de Tratamento de Esgotos (ETE) da cidade de Campina Grande – PB (7°13'11"S; 35°52'31"W; 550m acima do nível do mar). A ETE é composta por tratamento primário (grade, caixa de areia e calha Parshall) seguido de duas lagoas projetadas como aeradas que atualmente não estão em funcionamento. O plantio do capim elefante foi realizado em uma área de 1.000m² adjacente às lagoas, em 24 parcelas, distribuídas inteiramente ao acaso, de 20m², submetidas a 5 diferentes lâminas de água residuária (T1 a T5 - efluente final da ETE) e parcelas controle irrigadas com água de abastecimento (TA). O método de irrigação utilizado foi o de inundação, cuja lâmina foi calculada a partir de uma lâmina de referência (T1), tomando por base as condições climáticas da região, as características do solo e da cultura. As demais lâminas (T2, T3, T4 e T5) foram calculadas a partir de acréscimo ou decréscimo dos valores da lâmina de referência. Durante o período experimental (05/02 a 10/11/03) foram realizados três cortes: 13/05 - 05/08 e 10/11/2003. Na água de irrigação foram avaliados as variáveis pH, OD, CE matéria orgânica (DBO, DQO e SS), íons (sódio, potássio, cloretos, cálcio e magnésio), nutrientes (nitrogênio e fósforo) e ovos de helmintos. Os indicadores de contaminação fecal (CF) foram avaliados na água, no solo e na planta. As variáveis estudadas no capim foram: altura (m), diâmetro do colmo (cm), produção de matéria verde (kg), matéria seca (% de MS), proteína bruta (% de PB) e NPK (%). O efluente final da ETE apresentou valores elevados de condutividade elétrica (1642-1686µmho/cm), evidenciando a necessidade do controle da salinidade e cuidados na escolha das culturas irrigadas. No aspecto sanitário, o efluente final da ETE não continha ovos de helmintos se enquadrando nas diretrizes da OMS para irrigação de forrageiras (categoria B), porém com elevadas concentrações de coliformes termotolerantes (1,7-5,8x10⁶UFC/100mL). Para as variáveis analisadas no capim não se observaram diferenças estatísticas significativas ao nível de 5% entre as diferentes lâminas de irrigação utilizadas. A contaminação do solo por coliformes termotolerantes antes e após o plantio (10⁵ - 10⁷NMP/g respectivamente) foi elevada. A contaminação fecal do capim foi elevada tanto para água residuária (1,6x10⁵NMP/g) como para água de abastecimento (8,0x10³ NMP/g) e foi associada a fatores de ordem climática (ventos e chuvas), da proximidade entre as parcelas e dessas com as lagoas. Mesmo assim a água residuária tratada deve se considerada como uma fonte potencial de fertilizantes inorgânicos, de recursos hídricos para regiões semi-áridas mas principalmente como solução ambiental para evitar a degradação de águas superficiais destinados a usos nobres como abastecimento humano.

ABSTRACT

This research aimed the evaluation of productive and sanitary aspects of elephant grass (*Pennisetum purpureum*) submitted to different irrigation depths with domestic wastewater: from the final effluent of Campina Grande city Wastewater Treatment Plant - STP - Paraíba State - Northeast Brazil (7°13'11"S; 35°52'31"W; 550m above the sea level). The STP is formed by primary treatment (grid, degritter and Parshall flume) followed by two projected aerated ponds but now a days not in operation. Elephant grass was planted in a 1.000m² area near to the ponds, in 24 plots of 20m² randomly distributed and submitted to 5 different wastewater depths (T1 to T5 - STP final effluent) and control irrigated with supply water (TA). Flood irrigation was the method used and each sheet was calculated from a reference sheet (T1), according to the local climatic conditions, soil and culture characteristics. The remaining depths (T2, T3, T4 and T5) were calculated by increasing or decreasing reference sheet values. During the experimental period (05/02 to 10/11/03) three cuttings were made: 13/05 - 05/08 and 10/11/2003. Irrigation waters were analysed for pH, DO, EC, organic matter (BOD, COD and SS), ions (sodium, potassium, chlorides, calcium and magnesium), nitrogen and phosphorus and helminths eggs. Fecal contamination indicator (FC) was analysed in water, soil and culture. The variables studied in the grass were: height (m), stem diameter (cm), green matter production (kg), dry matter (% of DM), raw protein (% of PB) and NPK (%). STP final effluent presented high values of electric conductivity (1642-1686µmho/cm), showing the need of salinity control and adequate choice of irrigated cultures. On the sanitary aspect, STP final effluent did not present helminths eggs being adequate according to the WHO guidelines for fodder irrigation (category B), however with high concentrations of thermotolerant coliforms (1,7-5,8x10⁶CFU/100mL). For grass variables significant statistical differences were not observed at the level of 5% among the different irrigation depths used. Soil contamination by thermotolerant coliforms before and after the planting (10⁵ - 10⁷NMP/g respectively) were high. Elephant grass fecal contamination was high: 1,6x10⁵MPN/g for wastewater and 8,0x10⁵ MPN/g for supply water and associated to climatic conditions such winds and rains and due to the proximity of among the experimental plots with the ponds. Even so treated wastewater must be considered as a potential source of inorganic fertilizers, as water resource in semi-arid areas but mainly as a correct environmental solution to avoid superficial water degradation particularly those used for human water supply.

INTRODUÇÃO

A água é um bem finito, essencial à vida de todos os organismos vivos do planeta, sendo fator primordial de desenvolvimento social, industrial e agrícola. O fornecimento de água em quantidade e qualidade que satisfaçam aos diversos usos humanos é um dos grandes desafios da sociedade moderna. O uso cada vez mais diversificado da água requer a implementação de políticas adequadas para gestão dos recursos hídricos acompanhadas de saneamento básico, tratamento de águas e dos esgotos.

Águas residuárias possuem características físicas, químicas e bacteriológicas indesejáveis que transformam rios e corpos d'água em meios de transmissão de doenças. O destino mais adequado para os efluentes domésticos é a estação de tratamento de esgotos (ETE). Dentre os tipos de tratamento de esgoto, um dos mais utilizados no Brasil, principalmente no Nordeste, é o de lagoas de estabilização, por serem de fácil operação, baixo custo de manutenção, satisfatória remoção de microrganismos indicadores de contaminação fecal e patogênico, produzindo também um efluente rico em nutrientes (Silva e Mara, 1979).

Em regiões semi-áridas, como o Nordeste brasileiro, os baixos índices de precipitação pluviométrica condenam a região ao subdesenvolvimento industrial, urbano e agrícola (Hespanhol, 2000). E nesse contexto, o reúso se apresenta como uma alternativa viável para se enfrentar o problema da escassez de água. O reúso significa a reutilização das águas dos esgotos, tratadas ou não, de forma direta ou indireta, decorrente de ações planejadas ou não.

Em vários países, o reúso planejado já faz parte das políticas governamentais (programas de irrigação e gestão de recursos hídricos). No Brasil, o reúso direto ou indireto de esgoto bruto é uma prática comum de agricultores, principalmente daqueles localizados nos cinturões verdes dos grandes centros urbanos, onde se utiliza água contaminada em culturas de subsistência. Sem dúvidas, essas águas precisam de um controle técnico e sanitário. Faz-se necessário o desenvolvimento de sistemas de tratamento e programas de reúso de águas residuárias, visando minimizar os riscos à saúde pública. A forma de tratamento adequado, a escolha do método de irrigação e do tipo de cultura, a proteção dos trabalhadores e principalmente leis e diretrizes sanitárias que regulem essa prática. São imprescindíveis para que o uso das águas residuárias seja um instrumento da gestão sustentável dos recursos hídricos.

O cultivo do capim elefante é comum nas zonas rurais e periferia dos centros urbanos do semi-árido nordestino, principalmente, nos leitos e margens dos rios, canais de drenagem, riachos, vazantes e cabeceiras de açudes, servindo de suporte como volumoso na alimentação do rebanho, durante todo o ano, principalmente nos períodos secos. O capim elefante apresenta boa resistência à seca, alto rendimento de matéria seca e fácil adaptação a diversos solos e climas.

O objetivo geral desse trabalho é avaliar a viabilidade do uso das águas residuárias tratadas visando aumentar a produtividade do capim elefante destinado a consumo animal.

Com relação aos objetivos específicos, pretende-se:

- Analisar comparativamente a produtividade do capim elefante (*Pennisetum purpureum*) irrigado com efluente de ETE e com água de abastecimento sem fertilizante;
- Avaliar a contaminação microbiológica da fitomassa do capim elefante irrigado com água de esgotos tratados e com água de abastecimento;
- Realizar um estudo comparativo das propriedades bromatológicas do capim elefante irrigado com diferentes lâminas de irrigação, com água residuária e com água de abastecimento.

1 REVISÃO DE LITERATURA

1.1 Usos da Água

O Brasil é um país que apresenta fontes hídricas abundantes, porém com situações de distribuição diferente como abundância, no caso das Regiões Norte e Centro Oeste, onde existe maior oferta hídrica e menor densidade demográfica, escassez na Região Nordeste e baixa oferta nas Regiões Sul e Sudeste onde se localiza a maior parte da população urbana e, portanto, exigindo maior demanda (TUCCI, 2001).

Nos grandes centros urbanos, onde se localiza cerca de 80% da população brasileira (IBGE, 2000), além de problemas com o abastecimento de água para o consumo humano, existem graves problemas sanitários, decorrentes dos despejos de cargas de poluentes industriais e domésticos nos rios, açudes e lagos. A maioria dos rios que cortam as cidades brasileiras serve como destino final para os esgotos gerados pela população. A carência de redes de coleta e estações de tratamento de esgotos faz com que esses corpos de água recebam esgotos em vários pontos (poluição difusa) ou ainda nas cidades que possuem rede coletora, mas estão contempladas com estação de tratamento, concentrando assim toda a carga de poluentes em único local.

Em regiões como o semi-árido nordestino os rios não são perenes e com a chegada da estação seca os poucos rios existentes, secam. A política de recursos hídricos implantada nos estados que compõem o Nordeste do Brasil sempre priorizou a construção de reservatórios para o abastecimento da população, sem ter havido a implantação de políticas adequadas de gestão desses recursos. Segundo a Agência Nacional das Águas (ANA, 2002), as bacias hidrográficas vem enfrentando cada vez mais o problema da poluição hídrica em decorrência do desmatamento, da expansão urbana desordenada e do lançamento de esgoto em rios e córregos. Nesse último caso, o saneamento surge como medida essencial para a preservação dos recursos hídricos.

O desenvolvimento econômico traz a necessidade de aumento da oferta de recursos hídricos, para suprir as atividades agrícolas, industriais e atividades domésticas (usos consuntivos), como também as atividades de uso não consuntivo como navegação, piscicultura, hidroeletricidade, recreação. Por outro lado esse desenvolvimento acarreta um incremento da população e conseqüentemente um aumento na demanda de recursos hídricos.

Dentre os usos consuntivos destaca-se a agricultura irrigada que é responsável hoje pela maior fração do consumo de água no Brasil (70% e com previsão para chegar a 80% até o final dessa década). A limitação da disponibilidade da água é responsável pela baixa produção agrícola em várias partes do mundo, bem como o desenvolvimento social e econômico das populações (HESPANHOL, 2003).

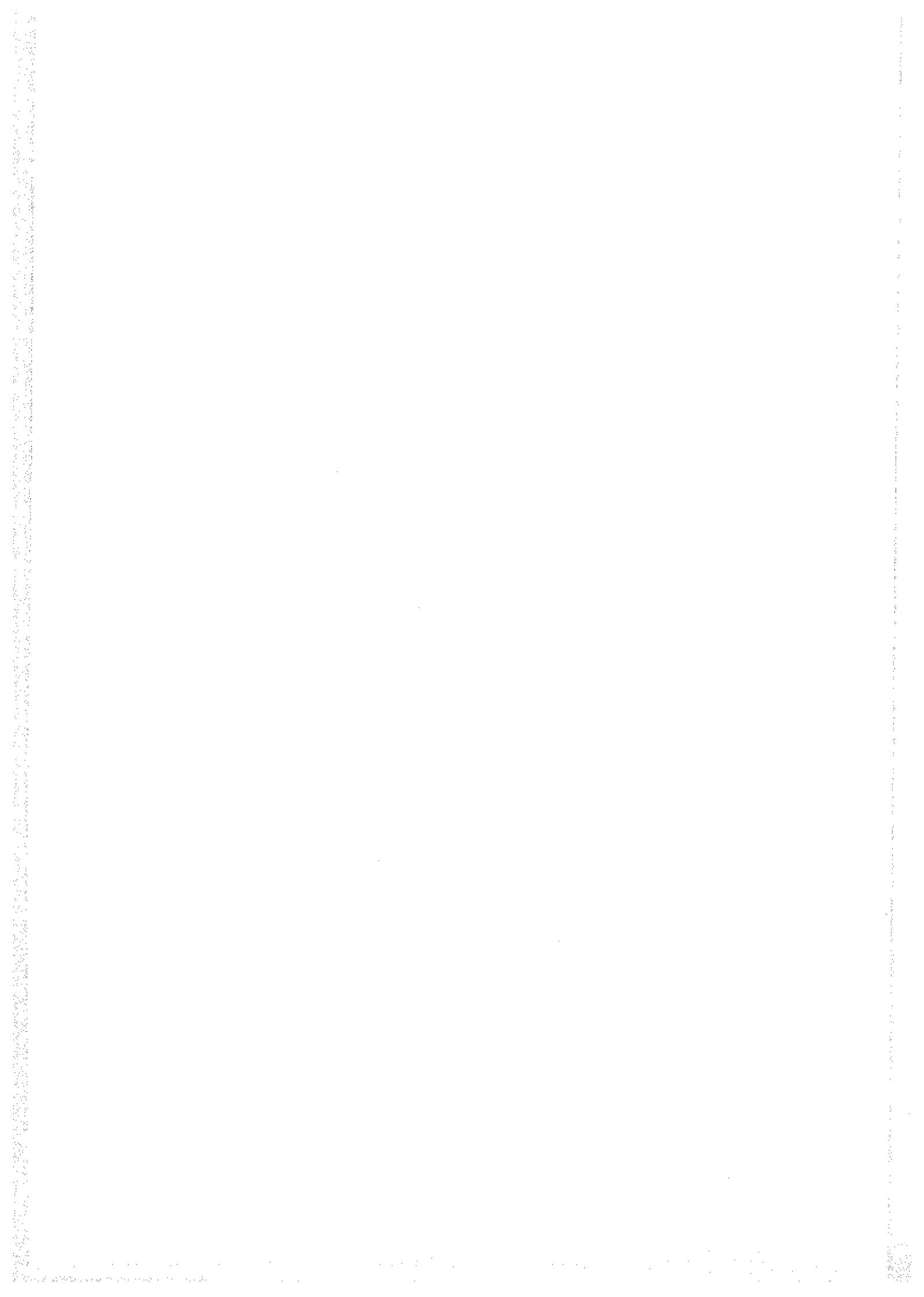
Entre 1900 e 1995, o consumo mundial de água cresceu mais que o dobro da taxa de crescimento da população, com maior elevação nos setores agrícolas, industrial e residencial. Houve um aumento na demanda mundial muito maior que a capacidade de renovação do suprimento através do ciclo hidrológico e conseqüentemente mais pessoas no mundo convivem com a escassez (WMO, 1997).

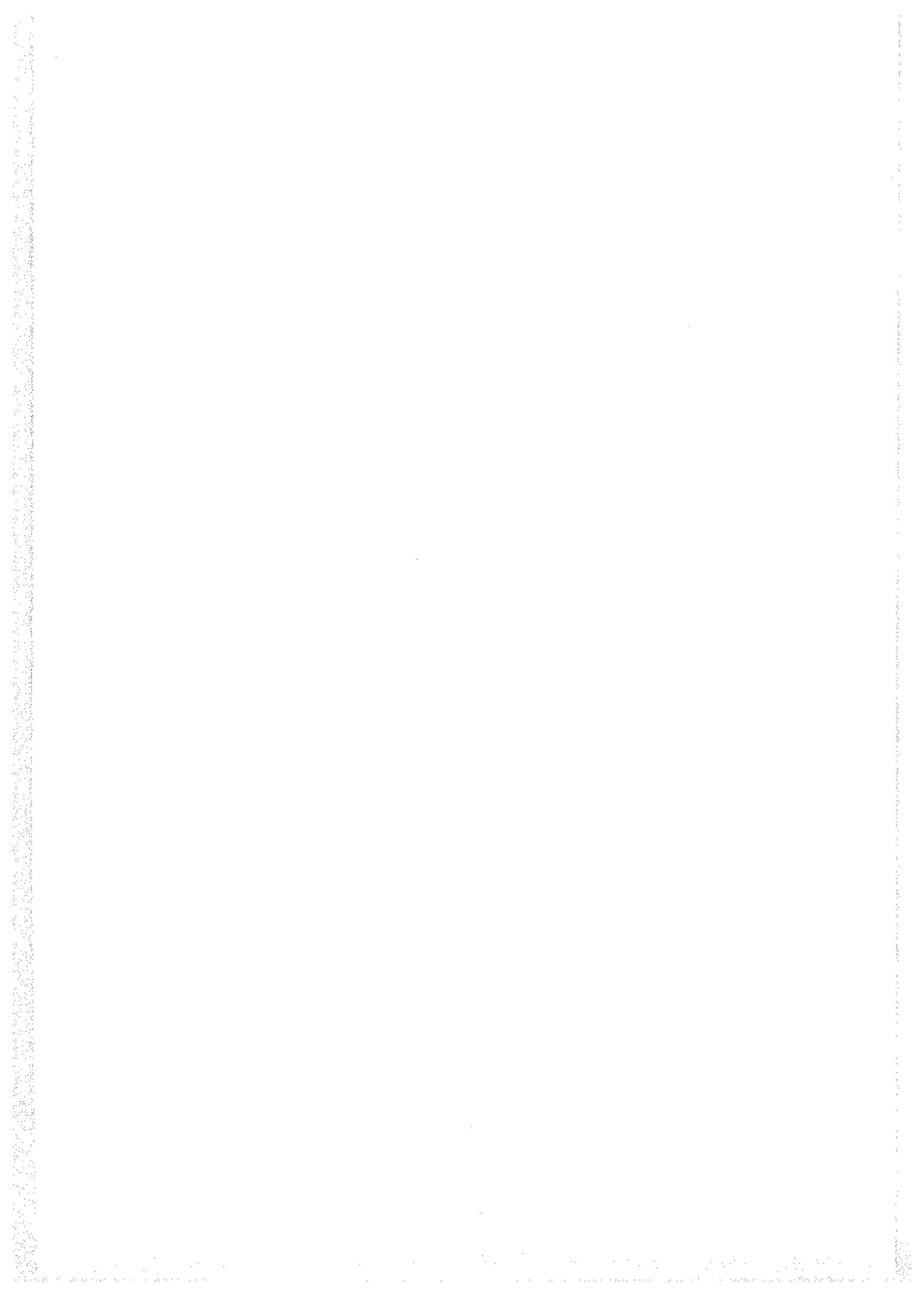
O Brasil vem apresentando nos últimos anos um crescimento significativo no setor agrícola. Da área irrigável adicional para os próximos 50 anos, estimada em mais de 150 milhões de hectares em nível mundial, 11,5% estão no Brasil, possibilitando uma média de incorporação anual de 260 mil hectares irrigados (FAO, 1996b). Esse fato torna importantes os estudos visando o desenvolvimento tecnológico e o uso planejado de uso dos recursos naturais, incluindo alternativas como o reúso de águas com qualidade inferior.

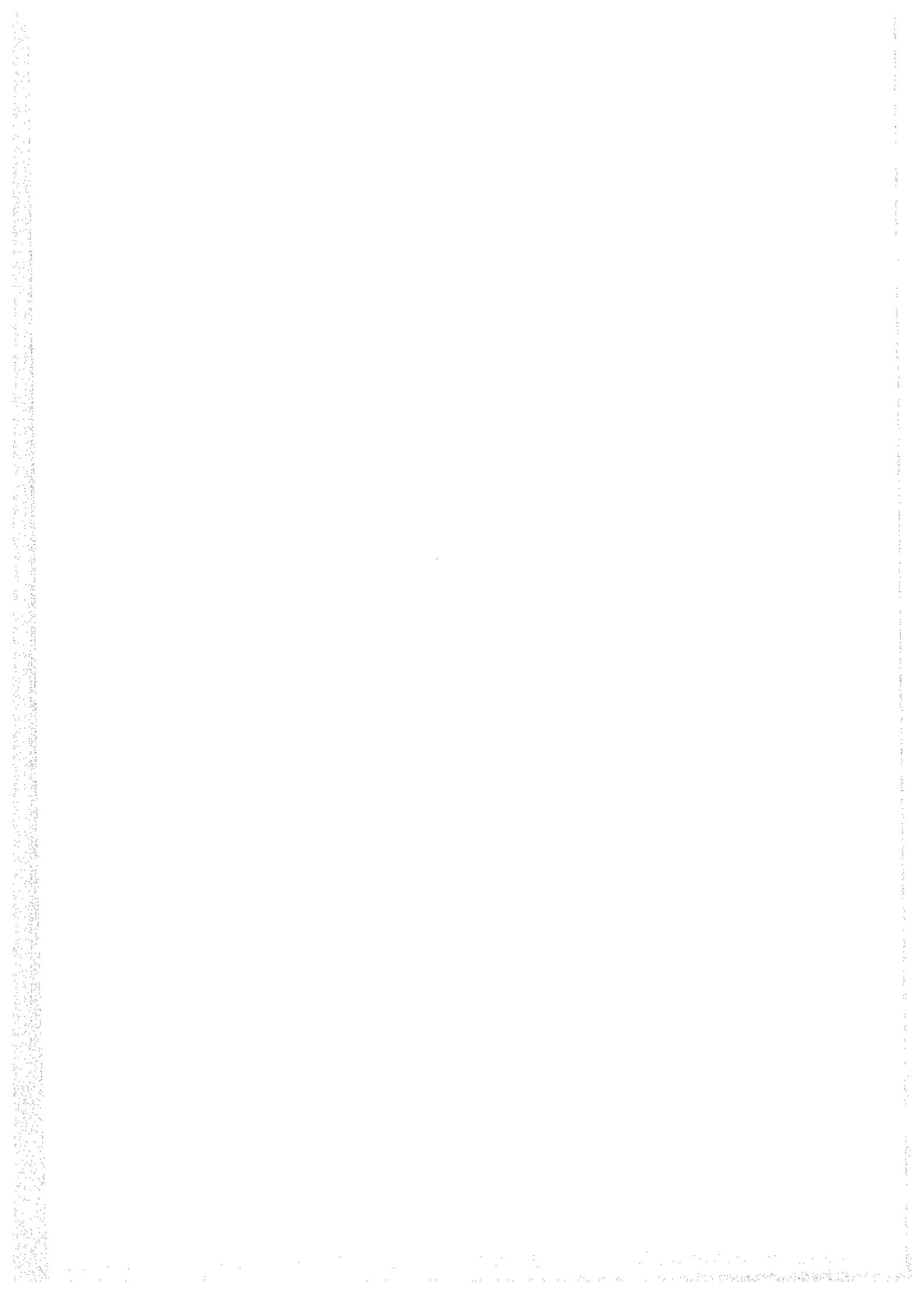
1.2 Conceito de Reúso

O reúso de água vem sendo uma alternativa para enfrentar a escassez de água, tanto na indústria como na agricultura. Significa usar a água previamente utilizada, na mesma ou em outras atividades. A Agenda 21 (1994) dedicou atenção especial ao reúso, recomendando ampliação, divulgação de tecnologias e informações para melhor gestão e projetos. A Organização Mundial da Saúde (WHO, 1973), classifica as formas de reúso em:

- reúso indireto – a água utilizada é despejada no meio aquático, passando pelo processo de autodepuração para ser novamente usada;
- reúso direto – trata-se do uso direto e planejado dessas águas para fins específicos como: irrigação, indústria, recarga do aquífero e uso potável;
- reciclagem interna – é o aproveitamento através do reúso interno da água visando o seu uso original.







Westerhoff (1984) classifica o reúso como potável e não potável, tendo as seguintes subclassificações e finalidades de uso (Figura 1.1).

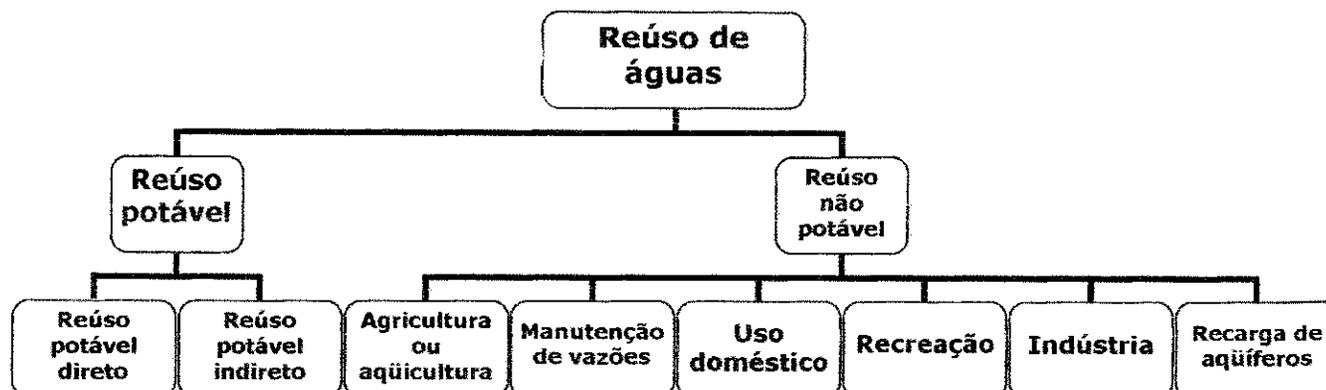


Figura 1.1 – Classificação e utilização do reúso de águas.

Fonte: Adaptado de Westerhoff (1984).

Baseado no diagrama proposto por Westerhoff (1984), define-se o reúso potável como:

- Direto – após tratamento avançado, o efluente doméstico é reutilizado de forma direta no sistema de tratamento de água de abastecimento;
- Indireto – após o tratamento, o efluente é lançado no lençol freático visando diluição e purificação natural e depois é captado e usado como água potável.

Devido à complexidade e os altos custos associados ao tratamento do esgoto para fins potáveis, essa modalidade de reúso torna-se pouco viável, mas ainda é empregada, Namíbia, por exemplo, possui a mais de dez anos um sistema de abastecimento de água constituído por 15% de esgotos tratados e 85% de água tratada e consegue atender aos padrões de potabilidade propostos pela Organização Mundial da Saúde (MANCUSO, 2003).

O reúso não potável é classificado em:

- Reúso não potável na agricultura e aquíicultura – irrigação de plantas e criação de peixes;
- Reúso industrial – refrigeração, caldeiras e uso no processo industrial;
- Reúso para fins recreacionais – irrigação de campos de esportes, parques e áreas de lazer;

- Reúso para manutenção de vazões – regularizar a vazão de cursos d’água visando diluição de cargas potencialmente poluidoras;
- Reúso para fins domésticos – descargas sanitárias, lavagem de pisos, irrigação de pastagens, dessedentação de animais, etc.

O reúso não potável implica em menores riscos para a saúde e maior aceitação pública tem maior viabilidade de execução, mesmo com dificuldades operacionais e elevados custos de implementação (MANCUSO, 2003).

1.3 Reúso para Fins Agrícolas

O uso de esgotos domésticos para irrigação de forma não controlada e não planejada em áreas rurais e urbanas das grandes cidades já é um fato concreto (SOUSA, 2002). Trata-se de uma prática antiga e utilizada em vários países do mundo. O uso dessas águas implica principalmente em um suprimento de recursos hídricos permanentes e adubação do solo, já que nas águas residuárias, há uma grande quantidade de nutrientes que são fundamentais para o desenvolvimento da planta.

A aplicação de água de esgotos na irrigação tem como uma das principais conseqüências um aumento da área cultivada e da produtividade agrícola. É de fundamental importância que haja a implementação de medidas de controle sobre os tipos de culturas, locais e procedimentos utilizados na irrigação com água de reúso. Essas medidas têm por finalidade diminuir os riscos associados tanto a saúde do trabalhador como da população que consumir àquele alimento (CROOK, 1993).

Segundo Hespanhol (1994), o aumento significativo do uso de esgoto para irrigação de culturas deve-se aos seguintes fatores:

- ausência de fontes hídricas alternativas;
- custo elevado de fertilizantes;
- quando tomadas às providências necessárias, o risco a saúde pública e os efeitos sobre o solo são mínimos;
- aceitação por parte da sociedade, da prática do reúso para fins agrícolas;
- reconhecimento dessa prática pelos órgãos gestores de recursos hídricos.

1.4 Qualidade da Água para Reúso Agrícola

A qualidade física, química e bacteriológica da água para reúso é fator primordial para seus usos específicos (HESPANHOL, 2003). Dependendo da sua utilização são considerados vários aspectos como:

- **Proteção à saúde pública** – requer uma avaliação muito criteriosa devida presença de agentes patogênicos nos efluentes domésticos;
- **Legislação aplicada** – leis que vão regulamentar as finalidades, formas e padrões para o reúso;
- **Crítérios técnico-científicos** – controle na eliminação de despejos industriais nos esgotos domésticos e aplicação de sistemas de tratamento adequados para os diversos fins;
- **Método de irrigação** – a escolha do método de irrigação adequado implica em menores riscos para os trabalhadores e consumidores e melhor eficiência de irrigação.

1.5 Aspectos Sanitários do Reúso

1.5.1 Agentes Patogênicos nas Águas Residuárias

A maioria dos critérios de qualidade para a prática do reúso é voltada para a minimização dos riscos à saúde pública, tendo como base preocupações com organismos patogênicos. Há uma grande variedade de organismos causadores de doenças presentes nas águas residuárias domésticas. Esses são excretados por pessoas doentes e ao entrarem em contato, através da água, verduras e alimentos consumidos crus e falta de higiene pessoal, provocam enfermidades como diarreias, febre tifóide, hepatite etc. (LEON, 1999). Segundo Hespagnol (2003), a presença desses organismos no esgoto, solo ou culturas não implica necessariamente na transmissão de doenças, já que existem barreiras protetoras providenciadas por fatores característicos dos microrganismos (dose efetiva, persistência, latência etc), dos hospedeiros (saúde, imunidade, idade, sexo) e dos padrões sanitários em geral. A presença de microrganismos patogênicos nas águas residuárias utilizadas na irrigação caracteriza apenas um risco potencial (BASTOS *et al.* 2003).

Segundo Strauss (1986), os principais fatores ambientais, ligados ao decaimento dos organismos patogênicos, são (Tabela 1.1):

Tabela 1.1 – Fatores ambientais ligados ao decaimento de organismos patogênicos excretados.

Fator ambiental	Efeito sobre o decaimento de patogênicos
Temperatura	Temperatura alta – decaimento acelerado Temperatura baixa – sobrevivência longa
Teor de umidade	Tempo de sobrevivência maior em ambientes úmidos
Nutrientes	Decaimento acelerado na ausência de nutrientes
Competição com outros microrganismos	Sobrevivência maior na ausência de microrganismos competidores
Luz solar (radiação ultravioleta)	Quando exposto à luz solar tem um decaimento acelerado
pH	Bactérias – têm sobrevivência maior a pH neutro ou levemente alcalino Vírus – sobrevivem mais em pH ácidos

Fonte: Beavers & Gardner (1992).

Os principais agentes patogênicos pertencem ao grupo dos vírus, bactérias, protozoários e nematódeos e ocorrem de forma intermitente e em baixas concentrações em águas naturais contaminadas sendo muito difícil à detecção e a sua quantificação (CEBALLOS, 2000). Desta maneira sua detecção é feita de forma indireta, através de microrganismos indicadores de contaminação fecal. Há décadas, os organismos que melhor têm cumprido este papel são as bactérias do grupo coliforme (BASTOS, 1995). A grande importância sanitária das bactérias do grupo coliformes esta na sua presença obrigatória em toda fonte poluída por despejos domésticos que teve contato com excretas, o que não acontece com as bactérias patogênicas intestinais, que somente existem, e em pequeno número, em águas de esgoto procedentes de residências onde existam pessoas doentes ou portadoras. Os principais indicadores de contaminação fecal, usados tradicionalmente, são:

- coliformes totais – grupo de bactérias, em forma de bacilos, gram-negativas, não-esporuladas, aeróbias ou anaeróbias facultativas, oxidases-negativas, que fermentam a lactose com produção de ácido, gás e aldeído dentro de 24-48 horas a 37 °C; atualmente este grupo está em desuso para indicar contaminação fecal.

- coliformes fecais (termotolerantes): bactérias do grupo coliforme que fermentam a lactose com produção de ácido e gás dentro de 24 horas a 44-45 °C, (APHA, 1995).

Estudos e pesquisas epidemiológicos e toxicológicos direcionados ao reúso são raros e de metodologia complexa, principalmente nos países em desenvolvimento, onde ainda há significativo número de ocorrência de doenças de veiculação hídrica devido às carências de saneamento básico, hábitos culturais e higiênicos da população etc. (HESPANHOL, 1994).

Shuval *et al.* (1986) após minuciosa revisão de diversos estudos epidemiológicos envolvendo o uso de águas residuárias na irrigação chegaram as seguintes conclusões:

- evidência de elevado número de infecções endêmicas, por nematódeos intestinais, em consumidores de culturas contaminadas;
- transmissão comprovada de ancilostomatose e ascaridíase em trabalhadores dos campos de irrigação. Principalmente se estes trabalhadores trabalharem descalços e sem nenhuma proteção;
- a cólera e provavelmente a febre tifóide podem ser transmitidas com a irrigação de verduras com água residuária não tratada;
- contaminação do gado que utiliza pastagens irrigadas com águas residuárias com *Cysticercus bovis* (*Taenia saginata*); existe pouca evidencia de risco de contaminação humana, porém no Nordeste do Brasil é freqüente a contaminação, apesar de não ser registrada, no início da infecção é geralmente confundida com a epilepsia;
- não está comprovado que pessoas que residem próximo às áreas de cultivo com águas residuárias e que tenham bons hábitos de higiene, sejam afetadas através do contato direto com o solo e com agricultores;
- a irrigação com águas residuárias, tratadas por aspersão, promove a transmissão de certa quantidade de vírus excretados; porém, sendo pouco comum à ocorrência de enfermidades por esta via.

Ainda com base nesses estudos Shuval *et al.* (1986) observaram que os agentes patogênicos que oferecem maior risco são os nematóides intestinais e bactérias, sendo o risco de infecção por vírus muito pequena (Tabela 1.2).

Tabela 1.2 – Riscos sanitários relativos ao uso de excretas e águas residuárias na agricultura.

Agente patogênico	Frequência de infecção ou enfermidade
▪ NEMATÓIDES	
<i>Ascaris spp</i>	
<i>Trichuris spp</i>	Elevada
<i>Ancilostoma spp</i>	
▪ BACTÉRIAS	
Diarréias bacterianas (Cólera, febre tifóide).	Menor
▪ VIRUS	
Diarréias virais	
Hepatite A	Mínima
▪ TREMATODES E CESTOIDES	
Esquistossomose	De elevada a nula, dependendo do método
Cloroquiasas	de utilização de excretas e condições
Teníases	locais.

Fonte: WHO (1989).

Os padrões sanitários e os limites microbiológicos estabelecidos para o uso de águas residuárias não são fáceis de serem atingidos. Isto fica claro com as várias recomendações e orientações que variam muito em termos mundiais. Os padrões microbiológicos, para o uso de esgotos na irrigação, recomendados pela OMS são tomados como referência em diversos países, ainda que sejam adaptadas as condições locais. Na Califórnia (EUA) a regulamentação é bem mais exigente sendo semelhante ao da água potável. A maioria dos países em desenvolvimento utiliza os padrões recomendados pela OMS, já que para se atingir os padrões californianos é necessário que haja a implementação de tratamentos avançados de custos elevados e que necessitam de controle rigoroso (CROOK, 1993).

1.6 Padrões Sanitários da OMS

A Organização Mundial da Saúde (WHO) publicou, em 1973, um relatório técnico, produzido por especialistas em reúso de água, estabelecendo critérios para proteção da saúde e sistemas de tratamento voltados ao reúso potável e não potável (CROOK, 1993). Os critérios associados ao reúso potável estabelecem, dentre outros, os seguintes padrões:

- Nenhum coliforme fecal em 100 mL;
- Nenhuma partícula de vírus em 1000 mL e
- Nenhum efeito tóxico para humanos.

Nessa mesma ocasião os especialistas concluíram que embora os processos de tratamento pudessem ser aplicados ao reuso potável, havia muita incerteza com relação aos efeitos em longo prazo, no ser humano, dos constituintes químicos presentes nos esgotos. Para as culturas ingeridas cruas foi estabelecido um nível de 100 CF / 100 mL, que podia, na prática ser conseguidos. Em 1985 a OMS promoveu uma reunião de especialistas no assunto com o objetivo de discutir os riscos associados à utilização de águas residuárias tratadas na irrigação. A conclusão foi de que os riscos à saúde eram mínimos e os padrões bacteriológicos do relatório de 1973 eram demasiado restritivos. Outro encontro foi realizado em 1987 em Genebra - Suíça, que resultou em um relatório publicado pela OMS em 1989 (Tabela 1.3). Esse relatório fornece diretrizes sanitárias para o uso de esgoto na agricultura, enquadrando indicadores microbiológicos, tipo de tratamento mais adequado, grupos de risco e culturas (CROOK, 1993).

Baseados em avaliação de estudos epidemiológicos, Blumenthal *et al* (2000) sugerem revisões em alguns tópicos das diretrizes estabelecidas pela OMS (1989) para o uso de esgoto na agricultura. As condutas estabelecidas para a revisão dos padrões da OMS têm como base três pontos:

- medição de organismos indicadores fecais na água residuária,
- avaliação da ocorrência de um número de casos excessivo de enfermidades associadas na população exposta, e.
- aplicação de um risco estimado a partir de um modelo conceitual-estatístico.

No que diz respeito ao limite de ≤ 1000 coliformes fecais/100 mL para irrigação sem restrições, nada indica que seja necessária revisão, porém existem indícios epidemiológicos que o limite estabelecido para os ovos de nematódeos (≤ 1 ovo/L) é inadequado para certas situações ambientais e deveria ser adotado o limite de $\leq 0,1$ ovo/L para essas condições. Para a irrigação restrita, segundo Blumenthal *et all* (2000), há necessidade de estabelecer limites orientativos de exposição às águas de irrigação para proteger os agricultores e suas famílias de infecções gastrintestinais virais e bacterianas. Os limites para coliformes estão diretamente associados ao método de irrigação, a idade dos trabalhadores expostos e ao seu estado

imunológico, que poderão variar de $\leq 10^5$ bactérias coliformes fecais até um limite mais reduzido ($\leq 10^3$) se houver crianças abaixo de 15 anos entre os trabalhadores. O limite orientativo para os ovos de nematóides é de ≤ 1 ovo/l, porém se houver crianças expostas, é recomendado o limite de $\leq 0,1$ ovos/L (BLUMENTHAL *et al*, 2000).

Tabela 1.3 – Diretrizes sanitárias da WHO (1989).

Categoria	Condições de reúso	Grupos de risco	Nematódeos intestinais (nº. de ovos/L)	Coliformes fecais (UFC/100mL)	Sistemas de tratamento adequado para garantir a qualidade microbiológica
A	Culturas ingeridas cruas, campos esportivos, parques públicos.	Operários, consumidores, público.	≤ 1	1000	Lagoas de estabilização em serie ou tratamento equivalente
B	Irrigação de cereais, culturas industriais, forragem, pastos e arvores.	operários	≤ 1	–	Retenção em lagoas de estabilização. (8 ou 10 dias)
C	Irrigação localizada de culturas da categoria B, não havendo exposição de trabalhadores e o público.	Nenhum	–	–	Pré-tratamento (sedimentação primaria)

Ainda segundo Blumenthal *et al* (2000), os dados examinados não indicam que seja necessária elaboração de diretrizes específicas para proteção contra infecções virais e nem tampouco uma diretriz para protozoários parasitas.

O principal objetivo das revisões é informar dos possíveis riscos à saúde dos trabalhadores e consumidores ao usarem água contaminada, para que assim as autoridades sejam pressionadas a fornecer água de qualidade bacteriológica controlada para o uso agrícola. A revisão proposta para as normas de utilização de águas residuárias na agricultura é apresentada na Tabela 1.4.

Tabela 1.4 – Pautas microbiológicas revistas e recomendadas para o uso de águas residuais tratadas na agricultura (a).

Categoria	Finalidades da utilização das águas	Grupo exposto	Técnica de irrigação	Nematóides Intestinais (b) (média aritmética do número de ovos por litro) (c)	Coliformes fecais (média geométrica do número por 0,1 litro) (d)	Tratamento necessário para a água alcançar o padrão exigido de qualidade microbiológica
A	Irrigação sem restrições A1: Vegetais consumidos usualmente crus; campos de esportes; parques públicos (e).	Trabalhadores agrícolas; consumidores; público em geral.	Qualquer	$\leq 0,1$ (f)	≤ 1.000	Série de "lagos de estabilização de dejetos" (LED) bem projetadas, "tanques de tratamento e armazenamento de águas residuais consecutivos" (TTAARC), ou tratamento equivalente (ex. tratamento secundário convencional complementado por lagoas de polimento ou filtração e desinfecção). Retenção em séries de LED incluindo lagoa de maturação; ou em TTAARC, ou tratamento equivalente (ex. tratamento secundário convencional complementado por lagoas de polimento ou filtração).
		B1	(a) Aspensor	≤ 1	≤ 100.000	
B	Irrigação com restrições: Cereais; de cultivos industriais; de cultivos para produção de rações; de pastos; de árvores (g).	B2 como B1	(b) Inundação/sulcos	≤ 1	≤ 1.000	O mesmo da Categoria A
		B3 Trabalhadores, crianças até 15 anos, comunidades próximas.	Qualquer	$\leq 0,1$	≤ 1.000	
C	Irrigação localizada de cultivos incluídos no nível B, se não houver a exposição de trabalhadores agrícolas nem do público.	Nenhum	Gotejamento	Não aplicável	Não aplicável	Pré-tratamento como o requerido pela tecnologia de irrigação, mas nunca menos do que uma fase de sedimentação primária.

(a) Os fatores epidemiológicos, sociais e ambientais locais devem ser levados em consideração e, por conseguinte, as pautas modificadas.

(b) Espécies *Ascaris* e *Trichuris* e *Anquilostomas*; a pauta também tem o propósito de proteger contra os riscos representados pelos protozoários parasitas.

(c) Durante a época de irrigação; se as águas residuais forem tratadas em LED ou TTAARC projetados para alcançar essas quantidades de ovos, então não será necessário o monitoramento rotineiro de qualidade do efluente.

(d) Durante a época de irrigação; as contagens de coliformes fecais deveriam preferentemente ser feitas semanalmente, ou pelo menos mensalmente.

(e) Uma pauta mais rigorosa (≤ 200 coliformes fecais por 100 ml) é apropriada para gramados públicos, tais como os existentes em parques, hotéis etc. com os quais o público pode ter contato direto.

(f) Essa pauta pode ser aumentada para ≤ 1 ovo por litro se (i) as condições forem de calor e baixa umidade, e a superfície de irrigação não estiver sendo utilizada, ou (ii) se o tratamento de águas residuais for complementado com campanhas de quimioterapia antihelmíntica em áreas de reutilização de águas residuais.

(g) No caso de árvores frutíferas, a irrigação deveria cessar duas semanas antes da colheita das frutas, e nenhuma fruta deveria ser recolhida do solo. Não se deveria usar irrigação com aspersiones.

Fonte: Blumenthal *et al* (2000).

1.7 Padrões Mundiais

Embora a Agência de Proteção Ambiental do EUA tenha publicado orientações para o reúso em 1980, não há, nos EUA, critérios e padrões federais regulamentadores (EPA, 1980). Essas regulamentações foram desenvolvidas em âmbito estadual. O estado da Califórnia desenvolveu suas primeiras regulamentações para a prática do reúso em 1918, sendo as mesmas modificadas e expandidas ao longo dos anos (CROOK, 1993). Os padrões vigentes são de 1979 e tem servido de base para outros estados norte-americanos e alguns países. Essas normas regulamentam o padrão de qualidade da água, os processos de tratamento requeridos, os requisitos operacionais e os critérios de confiabilidade no tratamento. Apesar de serem considerados padrões restritivos, há em alguns estados norte-americanos regulamentações muito mais exigentes para o reúso. Na Flórida não é permitido o reúso na irrigação de culturas comestíveis, salvo as que requerem cozimento prévio ou tratamento industrial (CROOK, 1993). O Arizona é o único estado que estabelece padrões para limites de vírus e parasitas para o reúso na agricultura. Dentre esses parâmetros destacam-se:

- coliformes fecais: 2,2 organismos /100 mL;
- turbidez: de 1 NTU;
- 1 vírus entérico/40 mL;
- *Entamoeba histolítica*, *Giárdia lamblia* e *Ascaris lombricóides*: ausência

Alguns dos padrões e regulamentações para o uso de águas residuárias consideram também os aspectos técnicos, econômicos, sociais e culturais do país ou da região se adaptando as características locais.

No Vale do Mezquital, 100 km ao norte da cidade do México existem 82.000 ha de terras irrigadas com água residuária proveniente desse centro urbano. Parte desses efluentes passa por tratamento parcial de sedimentação e, dependendo da época do ano, atingem os níveis sanitários propostos pela OMS (1989) para a irrigação restrita. As normas vigentes para o uso de águas residuárias no México (NOM-001 - ECOL, 1996), foram introduzidas em 1997 e regulamentam toda as formas de destinação de águas residuárias industriais e domésticas no território nacional (Tabela 1.5). O motivo principal da criação dessas normas foi devido ao fato de existirem no país mais de 40 regulamentações diferentes, tornando difícil à execução e controle das mesmas (Blumenthal *et al*, 2000).

Tabela 1.5 – Normas mexicanas para o uso de águas residuárias na agricultura.

Irrigação	Norma de coliformes fecais (CF/100 ml)	Norma de Nematódeos intestinais (ovos/litro)
Restrita	1000 ₍₁₎ -2000 ₍₂₎	5
Não restrita	1000 ₍₁₎ -2000 ₍₂₎	1

Obs: (1) média mensal; (2) média diária.

Fonte: NOM-001 –ECOL (1996).

1.8 Outros Critérios de Qualidade para o Uso de Águas Residuárias na Agricultura

Dentre os parâmetros mais importantes a serem avaliados na qualidade da água de reúso para fins agrícolas estão a salinidade, a concentração de nutrientes e a RAS (Razão de Adsorção de Sódio). Em nível de manejo, deve-se considerar o tipo de cultura e o método de irrigação.

1.8.1 Salinidade

Sais dissolvidos em águas residuárias quando presentes no solo ou na água podem reduzir a disponibilidade de água para planta comprometendo o seu rendimento (AYERS & WESTCOLT, 1991). Os limites de salinidade variam de acordo com o tipo de planta irrigada, algumas plantas são mais sensíveis aos sais e também suscetíveis à toxicidade de certos íons. Segundo Pair *et al.* (1983), citado por Blum (2003), pode-se definir quatro níveis de salinidade para irrigação em função da tolerância das plantas:

- salinidade adequada a plantas sensíveis (0 a 5 ds/m – condutividade elétrica da água de irrigação) – salinidade baixa, podendo ser usada na maioria das plantas, sem que ocorra aumento na salinidade do solo, mesmo sem lixiviação;
- salinidade adequada a plantas moderadamente sensíveis – águas que podem ser usadas com níveis moderados de lixiviação do solo;
- salinidade adequada a plantas moderadamente tolerantes – requer um controle específico da salinidade e deve ser usada em plantas com boa tolerância a sais;
- salinidade adequada a plantas tolerantes – não presta para ser usada em condições normais, sendo usada ocasionalmente sob condições especiais. O solo deve ter uma

boa permeabilidade e drenagem para permitir o arraste dos sais e só deve ser irrigadas plantas com alta tolerância a sais.

Tanji (1990 citado por BLUM, 2003), lista exemplos de plantas nas categorias citadas acima:

- sensíveis: feijão, cenoura, cebola, maçã, cítricos;
- moderadamente sensíveis: milho, amendoim, cana-de-açúcar, alface, batata, tomate;
- moderadamente tolerantes: soja, sorgo, trigo, mamão, aveia, cevada para forragem;
- tolerantes: cevada, algodão, aspargos, jojoba, beterraba.

A salinidade da água é medida através da sua condutividade elétrica, que indica a capacidade da água de conduzir uma corrente elétrica sendo proporcional à concentração de eletrólitos e diretamente relacionada com a concentração de sais dissolvidos (BLUM, 2003). A classificação das águas de irrigação, segundo a literatura australiana, é feita de acordo com o total de sais dissolvidos (Tabela 1.6) (USEPA, 1991).

Tabela 1.6 – Classificação quanto à salinidade para águas de irrigação.

Classe	CE ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	STD (mg/L)	Descrição
1	0 - 270	0 - 175	Pode ser utilizada pela maioria das plantações e de solo sem problemas ligados a salinidade
2	270 - 780	125 - 500	Pode ser utilizada com uma moderada lixiviação e com plantas de moderada tolerância à salinidade
3	780 - 2340	500 - 1500	Exige um controle especial da salinidade e um maior rigor na escolha da cultura a ser irrigada
4	2340 - 5470	1500 - 3500	Os solos devem ser permeáveis e a vegetação selecionada tolerante aos sais
5	> 5470	> 3500	Não apropriada para irrigação, exceto em solos com alta permeabilidade e drenagem e vegetação com alta tolerância aos sais

O Laboratório de Salinidade dos Estados Unidos da América classifica os solos quanto à salinidade em função da condutividade elétrica do extrato da saturação (CE), da percentagem de sódio trocável (PST) ou da relação de absorção de sódio (RAS) e do pH como mostrado na Tabela 1.7:

Tabela 1.7 – Classificação do solo quanto à salinidade relacionando CE (condutividade elétrica), RAS (relação de absorção de sódio) e pH.

SOLO	CE (mmhos/cm)	RAS (%)	pH
NORMAL	< 4	< 13	< 8,5
SALINO	> 4	< 13	< 8,5
SÓDICO	< 4	> 13	< 8,5
SALINO/SÓDICO	> 4	> 13	< 8,5

Fonte: USEPA (1991).

A RAS relaciona as concentrações de Na^+ às concentrações de Ca^{+2} e Mg^{+2} nas águas de irrigação e em extratos de saturação de solos, é calculada a partir da seguinte relação:

$$\text{RAS} = \frac{\text{Na}}{\sqrt{(\text{Ca} + \text{Mg})/2}}$$

O aumento das concentrações de sódio em relação às de cálcio e magnésio aumentam a impermeabilidade do solo reduzindo as taxas de infiltração e como consequência a absorção de água pela planta (BLUM, 2003). A capacidade de infiltração de um solo cresce com o aumento de sua salinidade e decresce com o aumento da razão de adsorção de sódio (RAS) e, ou, decréscimo de sua salinidade. Sendo assim, os dois parâmetros, RAS e salinidade, devem ser analisados conjuntamente para avaliar corretamente os efeitos da água de irrigação na redução da capacidade de infiltração de um solo. a salinidade da água de irrigação, apesar de ser um parâmetro de grande importância, não deve ser considerada isoladamente, pois as condições de contorno locais (como o tipo de cultura a ser irrigada e o tipo de solo) irão influenciar nas condições finais (PAGANINI 1997).

1.8.2 Nutrientes

A irrigação com efluentes sanitários é uma forma de fertirrigação onde os nutrientes são aplicados ao solo através do efluente (BASTOS, 2003). Os teores de macro nutrientes como o nitrogênio, fósforo e potássio presentes no esgoto são suficientes para o desenvolvimento de culturas irrigadas com água residuária, podendo até dispensar o uso de fertilizantes. Segundo Metcalf & Eddy (1991), são encontradas concentrações de fósforo e nitrogênio que variam de 20 a 85 mg/l (nitrogênio total) e de 4 a 15 mg/l (fósforo total).

1.8.2.1 Nitrogênio

O nitrogênio é um elemento importante na síntese de proteínas pelas plantas e nos esgotos pode aparecer de diversas formas, desde nitrogênio orgânico, amônia, até formas mais oxidadas com nitrito e nitrato. No esgoto fresco, esta presente sob forma de proteína e uréia, depois da oxidação biológica feita por bactérias, estas são transformadas em amônia, depois em nitrito e depois em nitrato. A retirada do nitrogênio através da assimilação pela planta esta diretamente ligada à produtividade da mesma, sendo as culturas que apresentam alta produtividade de matéria seca as mais indicadas para remoção de nitrogênio, essa potencialidade é maior em culturas perenes do que em anuais (PAGANINI, 1997). Apesar de ter extrema importância para o desenvolvimento da planta, pode ser um fator limitante na produção de alimentos, porém, altas concentrações de nitrogênio prejudicam a planta. As concentrações aceitáveis situam-se abaixo de 5 mg/l; acima de 30 mg/l podem causar problemas graves como: afetando o sabor (no caso das frutas), diminuição do teor de açúcar, crescimento excessivo da vegetação em detrimento da fruta (CROOK, 1993).

A poluição de aquíferos subterrâneos por nitratos pode ser uma das conseqüências de sistemas de reúso agrícola. Entretanto, se existir uma camada homogênea e profunda capaz de reter nitratos, uma seleção adequada da cultura a ser irrigada e o controle das taxas de aplicação de esgotos no solo reduzem a possibilidade de contaminação (HESPANHOL, 2003).

1.8.2.2 Fósforo

O fósforo é um nutriente muito importante para o desenvolvimento da planta e dos microrganismos, já que faz parte de processos fundamentais do metabolismo dos seres vivos sendo componente essencial dos ácidos nucléicos e dos fosfolipídios. A forma de ortofosfato, que é facilmente absorvido pelos vegetais, entretanto é o macro nutriente primário que menos é absorvido, devido à baixa interação com o solo. O esgoto doméstico é uma fonte importante de fósforo.

O fósforo é um nutriente considerado essencial para um bom estabelecimento de forrageiras visando incrementar o desenvolvimento do sistema radicular e da parte aérea, bem como maior perfilhamento dos capins em formação (WERNER, 1986). Segundo Monteiro (1994), os maiores problemas de fertilidade de solo para a formação das mais variadas

culturas, podem ser principalmente devido ao baixo teor de fósforo disponível e a acidez dos solos.

1.8.2.3 Potássio

O potássio é um elemento com grande mobilidade, tanto no solo quanto nas plantas. É absorvido pelas plantas na forma do cátion K^+ . Ele pode deslocar o sódio pela capacidade de troca catiônica do solo; em contrapartida, é um dos elementos com capacidade de ser deslocado por outros cátions bivalentes ou monovalentes. Muitos minerais, em meio argiloso, têm uma grande capacidade de fixar o potássio por substituição isomórfica. Esse fenômeno é importante ao longo do tempo, com a incorporação do potássio na formação de minerais secundários (PAGANINI, 1997).

1.8.3 Seleção do Método de Irrigação

O principal critério de escolha quanto ao método de irrigação é o da eficiência, entretanto quando se trata de águas residuárias fatores como risco de contaminação dos trabalhadores e dos cultivos, devem ser levados em consideração (LEON, 1999). Segundo Paganini (2003), a irrigação pode ser executada por cinco sistemas distintos de aplicação:

- Irrigação por inundação, que consiste em inundar a área irrigável com o efluente, onde o volume d'água é calculado de acordo com a escolha da vegetação e o tipo de solo. É feito geralmente em terrenos planos ou com baixas declividades, sendo de fácil operacionalização e baixo custo. A principal desvantagem está no risco de contaminação de culturas de pequeno porte e dos tubérculos, por estarem em contato direto com a água;
- Irrigação por aspersão, que utiliza tubos pressurizados e a aplicação do efluente no solo é feita sob a forma de gotas, por aspersores. Mesmo se tratando de um sistema eficiente de irrigação, apresenta desvantagens como: alto custo e, quando manejado inadequadamente, pode veicular organismos patogênicos em aerossóis transportados pelo vento;
- Irrigação por sulcos é feita por gravidade, com canais dimensionados de acordo com o volume do efluente a ser disposto no solo. Apresenta baixo custo de execução e

facilidade de operação. A principal desvantagem é que os trabalhadores têm contato direto com o efluente;

- Irrigação por gotejamento, que utiliza tubos com furos de pequenos diâmetros obtendo-se o gotejamento uniforme em toda sua extensão. Este sistema permite uma redução significativa no consumo de água e apresenta menor risco de contaminação. As principais desvantagens são o custo e os eventuais problemas de entupimento do sistema provocado por sólidos presentes no efluente e a formação de biofilmes microbianos nos furos;
- Irrigação por escoamento à superfície, onde o efluente é lançado na parte superior de um plano inclinado, seja por aspersores ou tubos perfurados, e é transportado através de canais de drenagem até a área irrigável. Esse sistema se apresenta também como método de tratamento de esgoto, utilizando o sistema de depuração solo-planta. Os inconvenientes são os possíveis empoçamentos e conseqüentemente o aparecimento de insetos.

Segundo Nuci *et al* (1978 citado por PAGANINI, 1997), as condições de aplicabilidade do método de irrigação por inundação são mais favoráveis a culturas como gramíneas, principalmente as pastagens, além de cana-de-açúcar e cereais.

1.8.4 Metais Pesados

Para Brega Filho (2003), é de fundamental importância que o reúso para fins agrícolas seja feito exclusivamente com esgoto doméstico ou que os despejos industriais sejam devidamente tratados antes do seu lançamento na rede coletora de águas residuárias domésticas. Isso porque os efluentes industriais podem apresentar características químicas e físicas que podem alterar as propriedades das águas residuárias domésticas provocando efeitos tóxicos em sistemas de tratamentos biológicos. Também leva o perigo à flora e à fauna, comprometendo a cadeia alimentar. Os elementos classificados como metais pesados encontrados nos efluentes industriais apresentam efeitos cancerígenos, mutagênicos, teratogênicos ou alto poder tóxico (METCALF & EDDY, 1991). O acúmulo de metais pesados nas plantas pode comprometer sua morfologia, seu poder nutricional, fisiologia, etc.

1.9 Sistemas de Tratamento

O tratamento dos esgotos para uso agrícola tem por principal objetivo a eliminação de microrganismos patogênicos (LEON, 1999). As lagoas de estabilização são sistema de grande eficiência na remoção de patogênicos. Este tratamento pode promover uma redução de 99,999% (desde 10^8 para menos de 10^5 CF/100ml). Segundo Andrade Neto (1994), sistemas de lagoas de estabilização produzem um efluente de boa qualidade microbiológica e ricos em nutrientes dissolvidos. Lagoas anaeróbias, facultativas e de maturação em série, com tempos de detenção hidráulica variando de 10 a 30 dias, podem atender as diretrizes da OMS (1989) em relação aos coliformes fecais e ovos de helmintos (HESPANHOL, 2003).

As lagoas anaeróbias são reatores onde se dá a estabilização da matéria orgânica do esgoto bruto por processos de digestão anaeróbia, na ausência de oxigênio dissolvido, tendo principalmente bactérias anaeróbias e facultativas como microrganismos envolvidos no processo. Após a sedimentação dos sólidos decantáveis do esgoto bruto ocorre o processo de digestão anaeróbia (hidrólise, acidogênese, acetogênese e metanogênese) que combina os mecanismos da fermentação e da respiração anaeróbia, convertendo a matéria orgânica para produtos orgânicos mais simples e estáveis, como gás carbônico (CO_2), metano (CH_4) e água (van HAANDEL & LETTINGA, 1994).

As lagoas facultativas são formadas por uma camada aeróbia superficial, e uma camada anaeróbia no fundo. As bactérias são as responsáveis pelos processos oxidativos, ou seja, convertem o material orgânico em dióxido de carbono, amônia e fosfatos. As predominantes são as *Pseudomonas* spp., *Flavobacterium* spp. e *Alcaligenes* spp. Como estas lagoas contêm quantidades altas de nutrientes (NH_4^+ e PO_4^{3-}), favorecem condições para o desenvolvimento das algas (KÖNIG, 2000). As algas, devido ao seu metabolismo predominantemente autótrofo, utilizam luz solar para produção de oxigênio através da atividade fotossintética que acaba suprindo as necessidades da respiração aeróbia de toda a biota da lagoa (KÖNIG, 1990).

As lagoas de maturação servem principalmente para a remoção de vírus e bactérias excretados. Essa remoção ocorre pela exposição desses microrganismos a condições adversas como temperatura elevada, radiação ultravioleta, condições aeróbias extremas, redução da concentração de substrato, pH muito alto e o efeito sinérgico de todos esses fatores (CURTIS e MARA, 1994).

A remoção de microrganismo por sedimentação ocorre nas lagoas anaeróbias e se verifica através da decantação dos ovos de helmintos pelo seu próprio peso, da sedimentação

de vírus, bactérias e protozoários aderidos ou adsorvidos às partículas inertes ou orgânicas, ou ainda arrastados pelos sólidos decantáveis. No lodo ocorre decomposição anaeróbia e a ação dos predadores acaba eliminando os microrganismos patogênicos (CEBALLOS, 2000). Já em lagoas facultativas e de maturação os mecanismos de remoção de bactérias fecais são o tempo de detenção hidráulica, a temperatura, o pH elevado (fotossíntese algal) e a alta intensidade luminosa (CURTIS & MARA, 1994).

Os processos de tratamento convencionais muitas vezes requerem um tratamento secundário para que sejam atingindo os padrões sanitários adequados ao uso de água residuária para irrigação. A desinfecção e a filtração são exemplos destes tratamentos. As lagoas de maturação podem ser usadas em sistemas mistos, como por exemplo no pós-tratamento de efluente de reatores UASB, tendo como principal objetivo a remoção de patogênicos e a adequação as normas sanitárias.

1.10 Aspectos Jurídicos do Reúso

O estabelecimento de políticas e diretrizes é sabidamente a forma mais eficaz de gerenciamento de recursos hídricos. Mesmo sem ter, no Brasil, uma legislação específica para o reúso de águas a legislação em vigor indica fundamentos jurídicos e condicionamentos legais para essa prática (FINK *et al*, 2003). Um instrumento legal ligado ao reúso indireto é a classificação de águas e padrões de descarte estabelecido pela Resolução CONAMA nº 20, de 18 de junho de 1986, além do que a própria Política Nacional de Recursos Hídricos oferece diretrizes para a institucionalização do reúso no Brasil em âmbito nacional, estadual ou municipal.

Segundo Hespanhol (2003), há a necessidade no Brasil de os governos estaduais e federais adotarem políticas e estratégias de gestão de recursos hídricos que incluam o reúso de água, para que dessa forma a prática tenha bases legais institucionais.

1.11 Aspectos Econômicos do Reúso

A viabilidade econômica do reúso depende de critérios como custos adicionais e benefícios do empreendimento onde há dependência do tipo de tecnologia utilizada no

No Perú, onde funciona a sede do Centro Pan-americano de Engenharia Sanitária e Ciências do Ambiente (CEPIS-OPS), o tratamento e uso de águas residuárias teve início na década de 1970 com a implantação de sistemas de lagoas de estabilização de San Juan, em Lima (LEON, 1999).

Segundo Bartone & Arlosoroff (1987) citado por (LEON, 1999), até a metade da década de 1980 já havia dois milhões de hectares irrigados com águas residuárias. Na Tabela 1.8 se apresentam as áreas irrigadas em diferentes países.

Tabela 1.8 – Áreas irrigadas com águas residuárias no mundo.

País	Área irrigada (ha)
China	1.330.000
México	250.000
Índia	73.000
Chile	16.000
Estados Unidos	13.500
Kuwait	12.000
Austrália	10.000
Israel	8.800
Tunísia	7.400
Alemanha	6.800
Peru	5.500
Argentina	3.700
Arábia Saudita	2.900
Sudão	2.800
África do Sul	1.800
Bahrein	800
Total	1.745.000

Fonte: Bartone & Arlosoroff (1987).

Algumas experiências no Brasil dentro do programa PROSAB, utilizando águas residuárias tiveram como objetivo avaliar a produtividade agrícola com base na escolha da cultura e do método de irrigação utilizado, apesar de não ter como objetivo a avaliação da qualidade sanitária. As experiências realizadas na Universidade Federal de Campina Grande (mamona, algodão e girassol). Na Universidade Federal de Viçosa foram irrigadas manualmente hortaliças ingeridas cruas com os efluentes da série de três lagoas de estabilização, onde se conseguiu, com o efluente da terceira lagoa de estabilização, hortaliças com qualidade microbiológica que atendiam ao padrão microbiológico para hortaliças estabelecido pela ANVISA (2001). Estes experimentos mostram que a seleção da cultura, o

método de irrigação e o tratamento adequado do efluente utilizado são medidas importantes para diminuição de riscos à saúde pública (BASTOS et al, 2003).

1.13 Potencial Produtivo de Culturas Irrigadas com Águas Residuárias

As culturas irrigadas com águas residuárias apresentam maior produtividade, quando comparadas com a irrigação convencional (LEON, 1999). Alguns resultados de comparação da produtividade (t/ha) de diversas culturas foram obtidos em Tacna no Peru (Tabela 1.9).

Tabela 1.9 – Comparação da produtividade (ton/ha) de algumas culturas irrigadas com água limpa e água residuária.

Cultura	Esgoto bruto	Água limpa
Alfafa	12	10
Milho	5	2
Trigo	3	2
Cebola	4	2
Aveia forrageira	22	12
Tomate	35	18
Pimentão	12	7
Batata	30	12

Fonte: Leon (1999).

O potencial produtivo, capacidade de absorção e a tolerância das culturas com relação aos constituintes do esgoto, fazem com que algumas culturas se adaptem melhor aos projetos de uso de esgoto na agricultura (MIRANDA, 1995). As plantas forrageiras apresentam as características ideais para a irrigação com águas residuárias, sendo até recomendado o uso de efluentes primários na irrigação (METCALF & EDDY, 1991).

As forrageiras e gramíneas são culturas de elevada demanda de macronutrientes como nitrogênio e o fósforo, sendo opções de escolha para o tratamento de esgotos por disposição no solo (BASTOS, 2003).

1.14 O Capim Elefante

O capim elefante (*Pennisetum purpureum*) é uma gramínea de origem africana, mais precisamente da África Tropical (atual Zimbábue), descoberta em 1905 (PEREIRA, 1994). É

bastante cultivada em regiões tropicais e subtropicais. Foi introduzido no Brasil em 1920 ganhando destaque pela sua alta produtividade e qualidade nutricional. Os tipos cultivares mais conhecidos são o Napier, Merker, Anão, Cameroon e Roxo. Essa planta apresenta elevado potencial de produção sendo utilizada com sucesso em sistema de corte. As capineiras bem manejadas constituem uma forma racional e econômica de alimentar animais domésticos durante o período de seca, quando há escassez de alimentos.

A qualidade do capim é condicionada pelo seu desenvolvimento fisiológico e pode ser avaliado segundo Ribeiro *et al.* (1999), através de sua composição bromatológica, digestibilidade, consumo e produção animal. Um dos principais fatores que afetam o rendimento dessa forragem é a frequência do corte. Dependendo do intervalo ocorre diminuição do valor nutritivo da forragem produzida. As maiores mudanças no valor nutritivo estão relacionadas à maturação: à medida que a planta amadurece, a produção dos componentes potencialmente digestíveis vão diminuindo, aumentando a quantidade de fibras. Pesquisadores têm demonstrado que ocorrem significáveis mudanças significativas nos teores de proteína bruta (PB) com o aumento do intervalo de corte. Santana *et al.* (1994), verificaram uma tendência de declínio nos teores de PB com o aumento do intervalo entre os cortes. Também Deschamps *et al.* (1998), utilizando a cultivar Empasc-309-Areia, observaram redução do teor de PB, nas folhas e nos colmos, quando o intervalo de corte aumentou de 28 para 42, 56, 84 e 126 dias de crescimento, atingindo os maiores teores aos 28 dias e os menores aos 126 dias. Seguindo a mesma linha de pesquisa Martins *et al.* (1997), verificaram também a influencia da altura do corte em relação ao rendimento da forrageira: destacaram que cortes rente ao solo (0 – 7,5 cm), resultavam em aumentos de até 27% na produtividade em relação aos cortes efetuados aos 17,5 até 25 cm do solo.

As plantas forrageiras têm a capacidade de rebrotar após cada corte ou pastejo. As concentrações das reservas de carboidratos presentes na raiz do vegetal no momento do corte ou pastejo têm influencia direta na intensidade e velocidade da rebrota, devendo-se evitar a alta frequência de corte ou cortes muito baixos, promovendo períodos de descanso necessário para a boa recuperação das plantas (FONSECA *et al.*, 1998).

No Brasil, são comuns pequenos cultivos de capim e vegetais para consumo humano nas zonas rurais e periféricas das cidades que aproveitam a água de rios, riachos, córregos e canais geralmente poluídos com esgoto. Para as cidades do nordeste, onde há escassez de água destinada à irrigação, o reúso planejado seria uma alternativa para pequenos e médios agricultores. Essa prática fornecerá água e nutrientes à população e contribuiria com a qualidade sanitária. Espera-se, por parte das autoridades competentes a definição de uma

política para o reaproveitamento das águas residuárias, visando uma regulamentação do seu uso para diversos fins.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Localização do Experimento

O experimento foi conduzido em uma área adjacente da ETE (Estação de Tratamento de Esgotos), da Companhia de Água e Esgoto da Paraíba (CAGEPA) na cidade de Campina Grande – estado da Paraíba ($7^{\circ}13'11''S$; $35^{\circ}52'31''W$; 550m acima do nível do mar), cidade localizada na micro-região do Agreste da Borborema e distante 120 km da capital João Pessoa (Figura 2.1). O município de Campina Grande conta hoje com aproximadamente 336.681 habitantes sendo 17.843 na zona rural (IBGE, 2000).

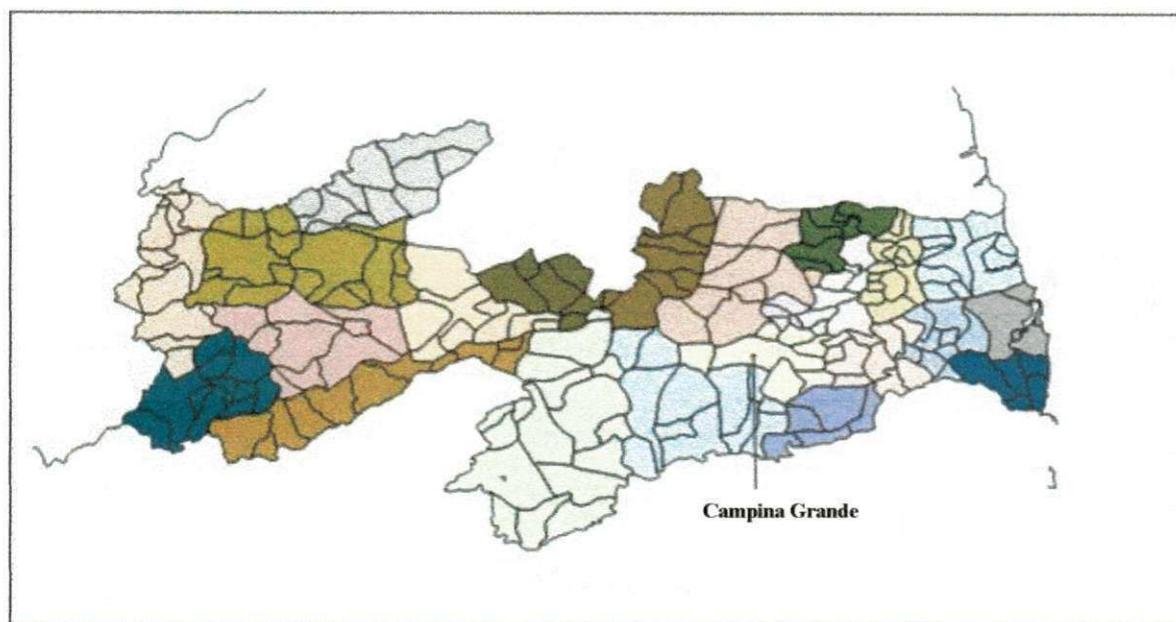


Figura 2.1 – Distribuição geográfica do estado da Paraíba.
Fonte: SEPLAN – Secretaria de Planejamento do Município (1982).

O clima predominante segundo a classificação de Köppen, é do tipo quente e úmido e se caracteriza por apresentar chuvas de outono-inverno e um período de estiagem de 5 a 6 meses. A época chuvosa tem início entre fevereiro ou março, em função da duração da estiagem que pode ser mais ou menos pronunciada, prolongando-se até julho ou agosto sendo os meses de junho e julho os de maior precipitação. O período seco começa em setembro e prolonga-se até fevereiro, sendo mais acentuado no trimestre set-nov sendo novembro sendo o mais seco. A precipitação pluviométrica é aproximadamente de 764 mm anuais. As

temperaturas variam pouco durante o ano e as médias anuais tem valores entre 22°C e 26°C. A umidade relativa é uniforme em toda região, com médias em torno de 80% (LMRS,2004).

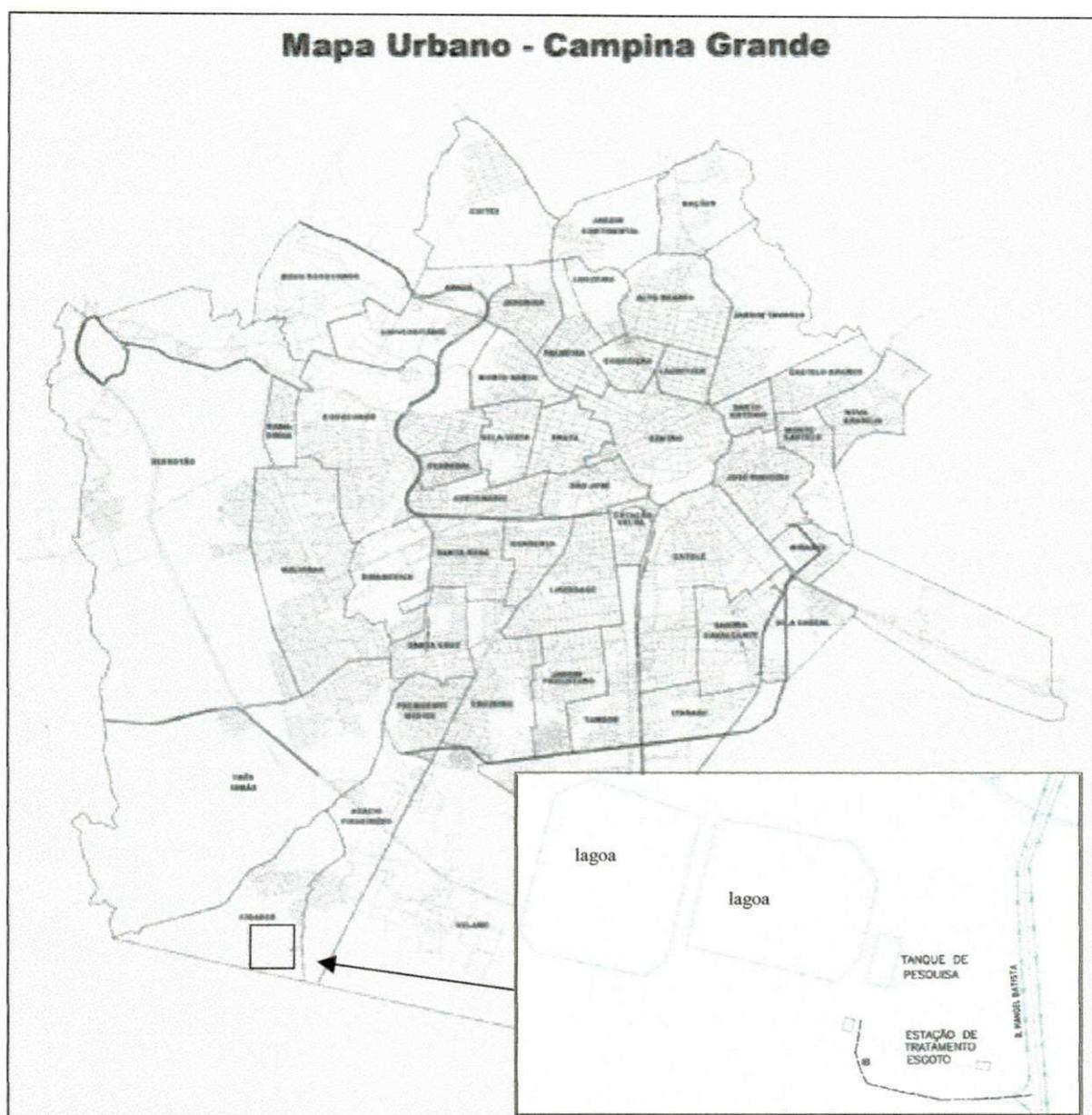


Figura 2.2 – Localização da Estação de Tratamento de Esgotos (ETE), na área urbana da cidade de Campina Grande (PB).

Fonte: SEPLAN (1982).

2.2 Estação de Tratamento de Esgoto – ETE

A ETE de Campina Grande foi projetada na década de 60 do século XX e, na época dimensionada para atender a uma população de até 210.000 habitantes. Como não houve investimento na ampliação e modernização do sistema, o mesmo não tem como atender a

atual demanda por exceder a população do projeto e por não estar funcionando adequadamente. (CAGEPA, 2001). Fica localizada no bairro da Catingueira a aproximadamente 15 km do centro da cidade (Figura 2.2). É constituída de um tratamento primário com grade, caixa de areia e calha Parshall seguido de duas lagoas retangulares em série com aeradores, hoje desativados (Figura 2.3). O sistema é alimentado através de dois interceptores: o de Bodocongó e o da Depuradora, que drenam os esgotos das bacias oeste/leste e nordeste respectivamente. O efluente final é lançado no riacho de Bodocongó.

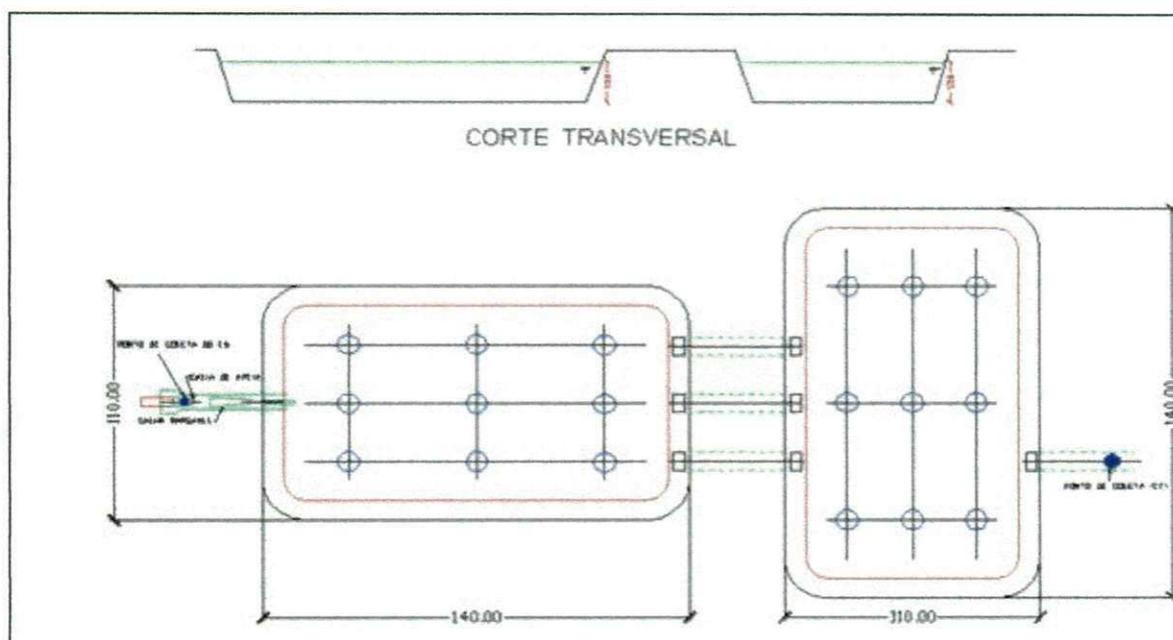


Figura 2.3 – Planta baixa da ETE de Campina Grande (PB).
Fonte: SANESA (1969).

2.3 Instalação do Experimento

O experimento foi montado em uma área de 1.000 m² adjacente às lagoas (Figura 2.4).

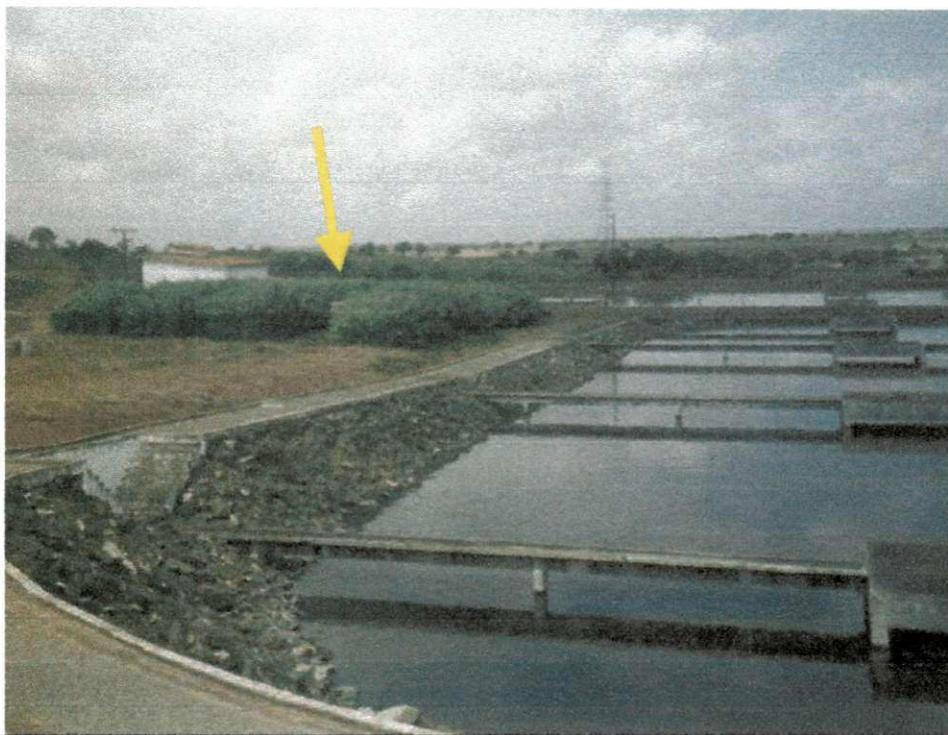


Figura 2.4 – Área cultivada com o capim elefante.

Antes da delimitação das parcelas o solo foi arado e a área foi dividida em parcelas experimentais de 5x4m separadas por 1m entre si e numeradas de 1 a 24 (Figura 2.5). A Figura 2.5 mostra a numeração das parcelas experimentais (1 a 24) e de bordadura (B1 a B8), localização dos tanques com água de abastecimento e da tubulação que conduzia a água residuária a partir da bomba desde o efluente final da ETE. As parcelas externas (B1 a B8) foram usadas como proteção visando minimizar os efeitos do vento. As parcelas de números 4, 8, 12, 16, 20 e 24 ficaram afastadas 4m das demais em virtude de um pequeno declive do terreno.

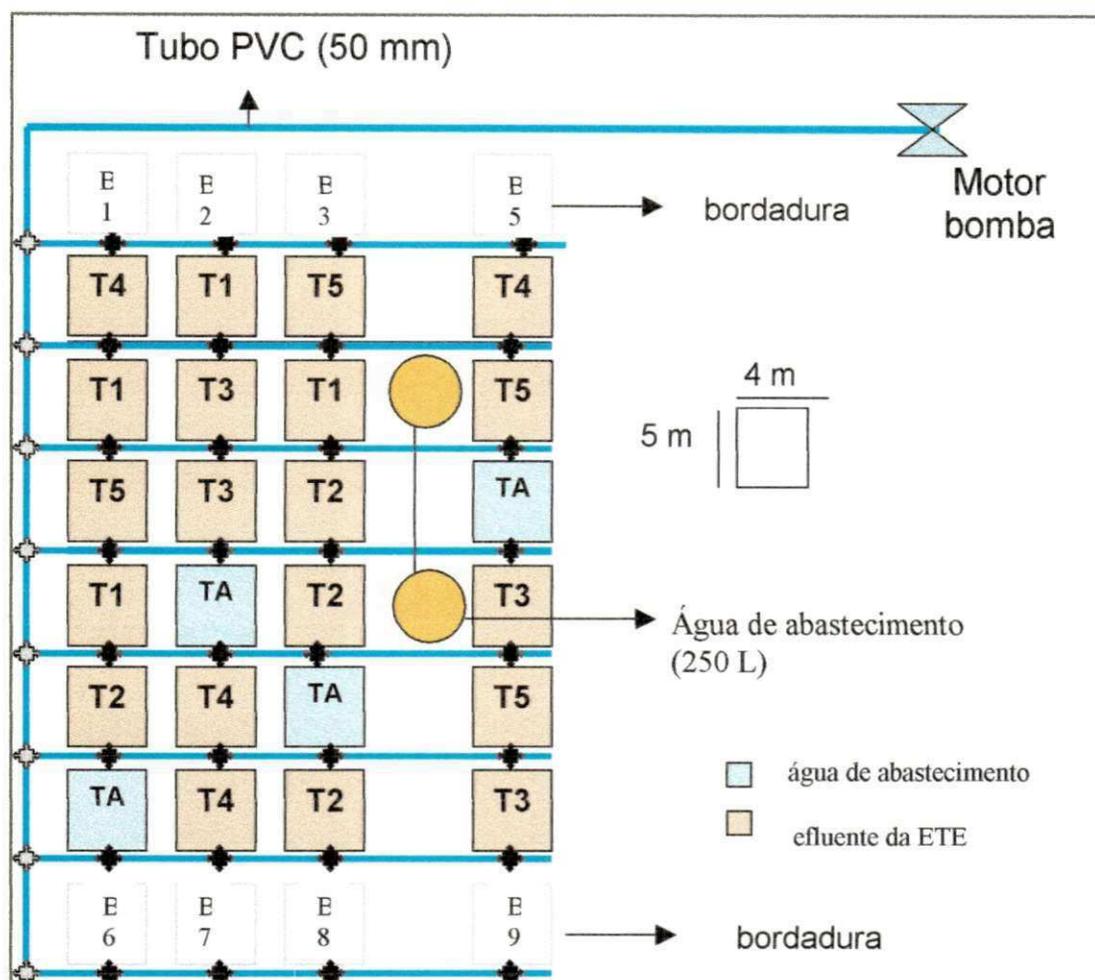


Figura 2.5 – Esquema geral da distribuição das parcelas experimentais.

O sistema de irrigação era composto de um motor bomba (1CV) localizada junto à 2ª lagoa de estabilização ligada a um comando elétrico responsável pelo acionamento da mesma. Duas caixas d'água de 250 L armazenavam a água de abastecimento que era distribuída através de tubos PVC de 20 mm de diâmetro (feita por gravidade). Uma rede de tubos PVC de 50 mm irrigava as parcelas correspondentes com o efluente da ETE, seguindo a disposição mostrada na Figura 2.5.

2.4 Procedimentos de Plantio do Capim Elefante (*Pennisetum purpureum*)

O capim utilizado no plantio foi adquirido de agricultores da vizinhança. O material foi preparado retirando-se as folhas dos colmos, pré-selecionados, e cortando-os em estacas 10 cm de maneira que ficassem 4 gemas em cada uma. Em cada parcela foram feitas 20 covas distribuídas em 4 linhas distanciadas 1m entre si (Figura 2.6). As estacas foram plantadas de

forma manual, enterrando-as até 10cm de profundidade. Durante todo o experimento a área foi devidamente monitorada visando o controle de ervas daninhas, fungos e insetos.

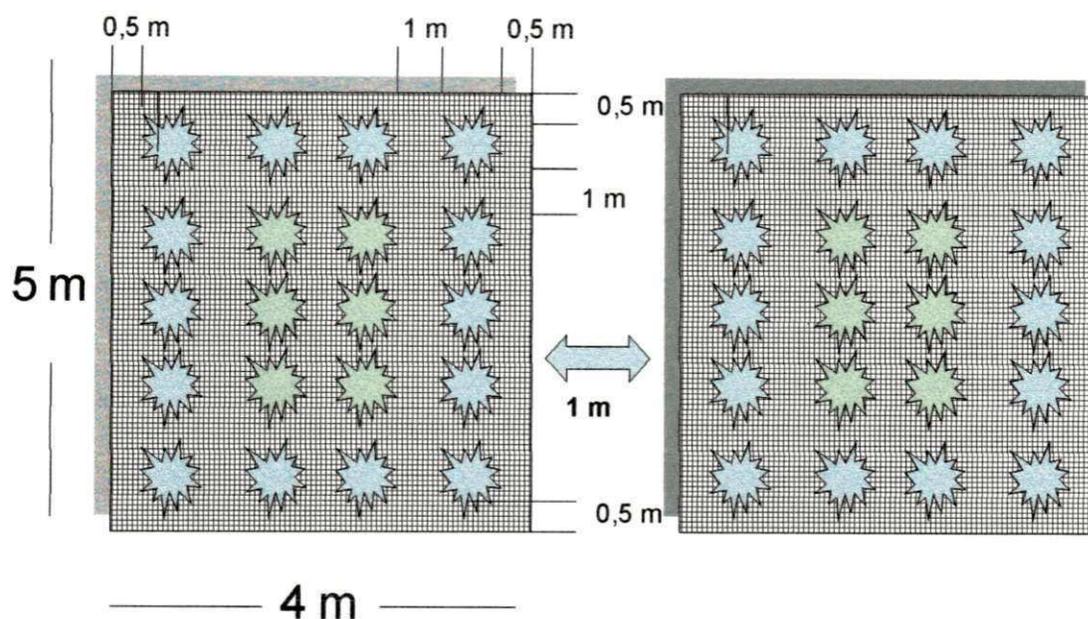


Figura 2.6 – Diagrama mostrando as parcelas experimentais, suas dimensões e a distribuição das linhas de plantio e a delimitação da área útil.

2.5 Sistema de Irrigação

O experimento consistiu na aplicação de 5 lâminas de irrigação (T1 a T5) com água residuária tratada com 4 repetições totalizando 20 parcelas, mais 4 parcelas (TA) irrigadas com água de abastecimento sem cloro, como testemunha. A Figura 2.7 mostra a distribuição das parcelas T1 a T5 e TA, após a distribuição aleatória das parcelas e dos tratamentos.

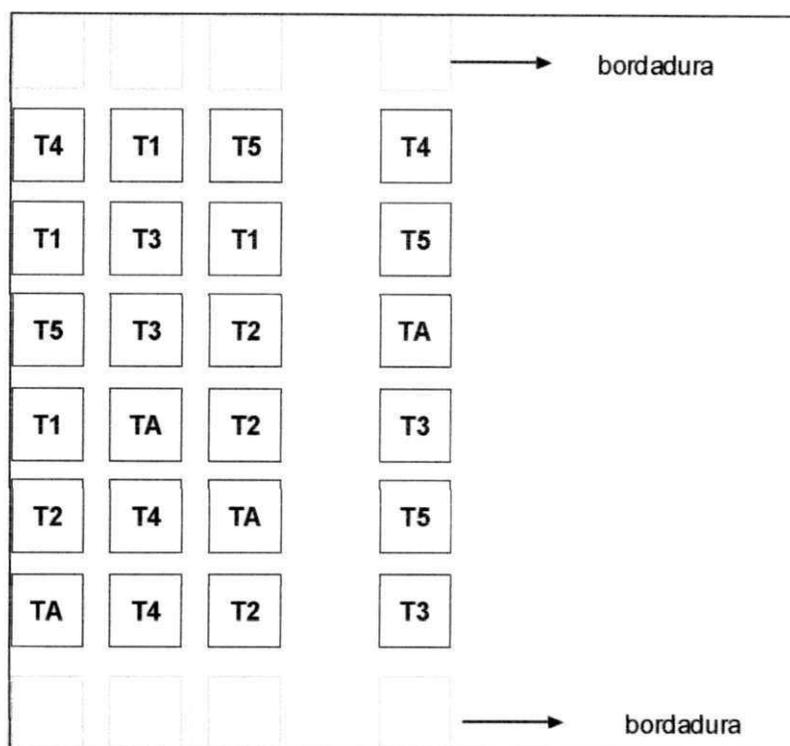


Figura 2.7 – Esquema da localização das parcelas experimentais com os diferentes tratamentos.

O método de irrigação utilizado foi o de inundação. O cálculo da lâmina de água foi feito tomando por base a capacidade de armazenamento do solo, condições climáticas e a cultura:

$$L = V - P_c + E_{Tc} \quad (\text{eq. 3.1})$$

Onde:

- L = Lâmina d'água (mm);
- V = volume d'água disponível no solo (mm);
- P_c = precipitação pluvial efetiva (mm);
- E_{Tc} = evapotranspiração da cultura (mm).

Como o objetivo principal da irrigação é de atender as necessidades hídricas da planta e na literatura consultada não foi encontrado dados sobre a necessidade hídrica do capim elefante, foi calculada uma lâmina de referência (T1) utilizando dados do milho como cultura equivalente e as quatro demais lâminas foram estimadas acrescentando e decrescendo (visando compensar a evaporação e/ou as chuvas ocorridas no período do experimento) valores da lâmina de referência (Tabela 2.1), esses valores de acréscimo/decrécimo foram baseados na

interpolação de dados referentes às variações nos índices de evaporação e pluviosidade (fornecidos pelo LMRS) ocorridos nos últimos 5 anos na região.

Tabela 2.1 – Valores das lâminas de irrigação.

TRATAMENTO	T3	T2	T1	T4	T5	AGUA CAGEPA
lâmina d'água diária (mm)	5,1	6,1	7,33	8,8	9,89	7,33
Acréscimo/decréscimo em relação a lamina T1 (%)	-30%	-18%	0	+20%	+35%	0

A irrigação, por meio de inundação, era feita diariamente no período da manhã (07:00 as 10:00 horas).

2.6 Coleta e Análise da Água Residuária e de Abastecimento Utilizadas na Irrigação

As águas utilizadas na irrigação foram submetidas à análise laboratorial com a finalidade de averiguar sua qualidade físico-química e microbiológica (Tabela 2.2). As coletas eram feitas mensalmente nos horários entre 7:00 e 11:00h, com auxílio de um balde e logo após transferidas para garrafas tipo PET (análises físico-químicas) e um frasco de vidro âmbar esterilizado de 1L (análise microbiológica). As amostras eram encaminhadas para o Laboratório de Saneamento da Unidade Acadêmica de Engenharia Civil da UFCG – Universidade Federal de Campina Grande – Campina Grande (PB), onde foram analisados os seguintes parâmetros:

2.7 Coleta e Análise do Solo

No início do experimento (antes da primeira irrigação) e após o 3º corte do capim, foram coletadas as amostras de solo das 24 parcelas. De cada parcela foram retirada duas amostras com aproximadamente 2kg, correspondente às profundidades de 0 – 20cm e 20 – 40cm, perfazendo um total de 48 amostras. Essas amostras foram colocadas em sacos plásticos e encaminhadas para os ensaios físico-químicos. Para esses ensaios (química e

fertilidade do solo) utilizou-se das 48 amostras coletadas 1 amostra composta correspondente a cada tipo de tratamento, dando um total de 12 amostras compostas. Esses ensaios foram realizados no Laboratório de Solos do Departamento do CCA – Areia *Campus II* da UFPB.

Para as análises microbiológicas do solo foram coletadas (no período da manhã) 48 amostras de solo (0 – 20 cm e 20 – 40 cm) em sacos plásticos devidamente etiquetados e levados ao Laboratório da Área de Engenharia Sanitária e Ambiental (AESA) da Unidade Acadêmica de Engenharia Civil (DEC) do Campus I da UFCG. Os ensaios microbiológicos foram realizados segundo a técnica utilizada foi a Técnica Padrão de Tubos Múltiplos (APHA, 1995):

- Foram pesados 25g de cada uma das amostras compostas do solo em se adicionaram 225 mL de líquido de diluição, obteve-se assim a diluição 10^{-1} ;
- Diluições decimais sucessivas permitiram chegar até a diluição 10^{-7} ;
- Foram inoculadas alíquotas com as diluições entre 10^{-1} e 10^{-7} em 6 séries com 25 tubos cada uma e incubadas a 35 -37 °C por 24 – 48 horas;
- Decorrido o período de incubação, procedia-se à primeira leitura, verificando presença de turbidez e a produção ou não de gás;
- Havendo crescimento bacteriano, turbidez e produção de gás, considerava-se a leitura presuntiva positiva para bactérias coliformes;
- Os tubos que apresentavam leitura presuntiva negativa após 24 horas, voltavam a estufa por mais 24 horas e novamente observados após esse período;
- A partir de cada um dos tubos positivos em caldo lactosado se fazia à transferência de uma ou duas alças bacteriológicas para tubos contendo meio EC (DIFCO) com tubos de Durham invertido. A incubação era realizada em uma estufa a 44,5°C por 24 horas. Eram considerados tubos positivos aqueles que após 24 horas apresentavam crescimento bacteriano (turbidez) e produção de gás, confirmando a presença de coliforme fecal. Os tubos negativos (sem turbidez e produção de gás) eram desprezados.

2.8 Colheita e Análise no Capim Elefante

Foram realizados três cortes do capim durante o experimento: nos meses de maio (13/05/2003), agosto (05/08/2003) e novembro (10/11/2003).

Antes do corte foram realizadas medidas da altura (utilizando uma trena) e do diâmetro do colmo (utilizando um paquímetro) em amostras de plantas da área útil escolhidas ao acaso e anotando os dados em tabela própria. Para o corte manual do capim e sua pesagem, foi destinada uma área adjacente ao plantio que foi devidamente limpa e colocada uma lona preta de 20 m² para evitar o acúmulo do solo no material vegetal e uma balança Filizola (30 kg). O processo de corte foi feito de forma manual a aproximadamente 10 cm do solo, utilizando-se facões. Inicialmente foram cortadas as plantas correspondentes às bordaduras das parcelas, estas então foram pesadas e descartadas. Para as plantas da parte central depois de pesadas, eram separadas amostras homogêneas, onde eram colocadas em sacolas de plásticos (para os ensaios microbiológicos) e em sacos de papel previamente perfurados (ensaios físico-químicos).

As 24 amostras de capim destinada aos ensaios físico-químicos (sacos de papel), após o corte, foram pesadas e submetidas ao procedimento de secagem a 65°C durante 24 horas em uma estufa de recirculação interna. Após o processo de secagem as amostras foram novamente pesadas e encaminhadas para os ensaios bromatológicos e de macro nutrientes.

Das 24 amostras destinadas aos ensaios microbiológicos (sacolas plásticas) foram feitas seis amostras compostas, correspondente a cada lâmina de tratamento e depois levadas para o Laboratório da Área de Engenharia Sanitária e Ambiental (AESA) da Unidade Acadêmica de Engenharia Civil (DEC) da UFCG, segundo a técnica utilizada foi a Técnica Padrão de Tubos Múltiplos (APHA, 1995), descrita no item 2.7. Todo o procedimento foi repetido para o 2º e o 3º corte.

Tabela 2.2 – Parâmetros analisados no efluente.

PARÂMETRO	UNIDADES	MÉTODO	REFERÊNCIA
Temperatura	°C	Termômetro de filamento de mercúrio marca INCOTERM, com escala externa de temperatura variando de 10°C a 60°C	APHA et al.(1995)
pH		Potenciométrico, utilizando o pH-metro, marca ORION RESEARCH, mod. AS 210, com precisão de 10 ⁻² unidades de pH.	
Condutividade elétrica	µmho/cm	Resistência elétrica utilizando o condutivímetro marca ANALYSER, mod. 600.	
Sódio	mgNa/L	Fotométrico, utilizando fotômetro de chama, marca ANALYSER, modelo 910 NR	
Potássio	mgK/L	Fotométrico, com fotômetro de chama, marca ANALYSER, modelo 910 NR	
Oxigênio Dissolvido	mg/L	Titulométrico de Winkler, modificação azida	
Cloretos	mgCl/L	Argentométrico	
DBO ₅	mgO ₂	Frascos padrões de DBO, 5 dias, 20°	
DQO	mgO ₂	Refluxação fechada do dicromato de potássio; utilizando o bloco de digestão PRI-BLOCK DB-3H	Alabaster Mills (1989)

Continuação Tabela 2.2 – Parâmetros analisados no efluente.

PARÂMETRO	UNIDADES	MÉTODO	REFERÊNCIA
Sólidos Totais	mg/L	Gravimétrico, utilizando cápsulas de porcelana e balança analítica marca OHAUS- As200 (precisão de 10^{-4} g)	APHA et al.(1995)
Sólidos Suspensos	mg/L	Método gravimétrico, utilizando papéis de filtro em fibra de vidro (GF/C - Whatman) e balança analítica marca Sartorius	APHA et al.(1995)
Amônia	mgNH ₃ N/L	Método direto de Nessler	APHA et al.(1995)
Fósforo total	mgP/L	Espectrofotométrico do ácido ascórbico com pré digestão pelo persulfato de amônio e leituras em espectrofotômetro à 880 nm, marca COLEMAN SP, modelo 395-D (Digital UV- VIS)	APHA et al.(1995)
Ortofósforo solúvel	mgP/L	Espectrofotométrico (ácido ascórbico) e leituras em espectrofotômetro à 880 nm, marca COLEMAN SP, modelo 395-D (Digital UV- VIS).	(APHA, 1989)
Coliformes Termotolerantes	UFC/100mL	Membrana filtrante (filtros de éster de celulose com poros de 0,45 µm), utilizando meio mFC da Difco, incubados a 44,5°C durante 24 horas	APHA et al.(1995) APHA et al.(1995)
Helmintos	Ovos/ L	Sedimentação (24h) e identificação em microscópio óptico, marca NIKON.	WHO (1989) e Konig et al (2001)

2.9 Macro Nutriente (NPK)

Os ensaios de macronutrientes (NPK) foram realizados na biomassa seca da parte aérea do capim, e foram feitos no Laboratório da Unidade Acadêmica de Engenharia Agrícola da UFCG. Este ensaio foi realizado nas 72 amostras correspondente aos 3 cortes segundo as metodologias descritas por Silva (1999).

2.10 Proteína Bruta e Matéria Seca

Os ensaios de proteína bruta e matéria seca foram realizados no Laboratório do Departamento de Nutrição Animal do *Campus II* da UFPB na cidade de Areia – PB. Estes ensaios foram determinados pelo método gravimétrico e método Kjeldahl segundo metodologias descritas por Silva (1990).

2.11 Tratamento Estatístico

Os parâmetros altura da planta, diâmetro do colmo, produtividade em matéria verde, NPK, proteína bruta (PB) e matéria seca (MS) foram submetidos à análise de variância

segundo delineamento estatístico para experimentos inteiramente ao acaso, utilizando os programa Excel e o Statistica.

3 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

3.1 Dados Climatológicos

As precipitações pluviométricas mensais ocorridas no período experimental (fev a nov/03) e o valor médio mensal correspondente à série histórica de 30 anos (LMRS, 2003) são mostrados na Figura 3.1. Em 2003, as precipitações foram bastante irregulares em relação à média histórica destacando-se os meses de fev, mar e jun com valores acima da média. No período do experimento destacaram-se os meses de abril, maio e julho cujo volume de chuvas foi muito abaixo da média (cerca de 72,75; 42,96 e 29,37% respectivamente). Esta variabilidade se reflete em relação à média histórica: o volume acumulado no ano de 2003, de 613,50 mm, foi inferior em 23,57% à média histórica (802,7 mm), evidenciando falta de chuvas. Essa situação foi sentida pela agricultura em especial nas pequenas propriedades rurais que tem exclusivamente as chuvas, como fontes hídricas para serem bem sucedidas. Na região de Campina Grande, o período chuvoso inicia-se em fevereiro-março e se estende até agosto-setembro, restringindo a produção agrícola em seis meses do ano, comprometendo a sobrevivência do nordestino nas áreas rurais.

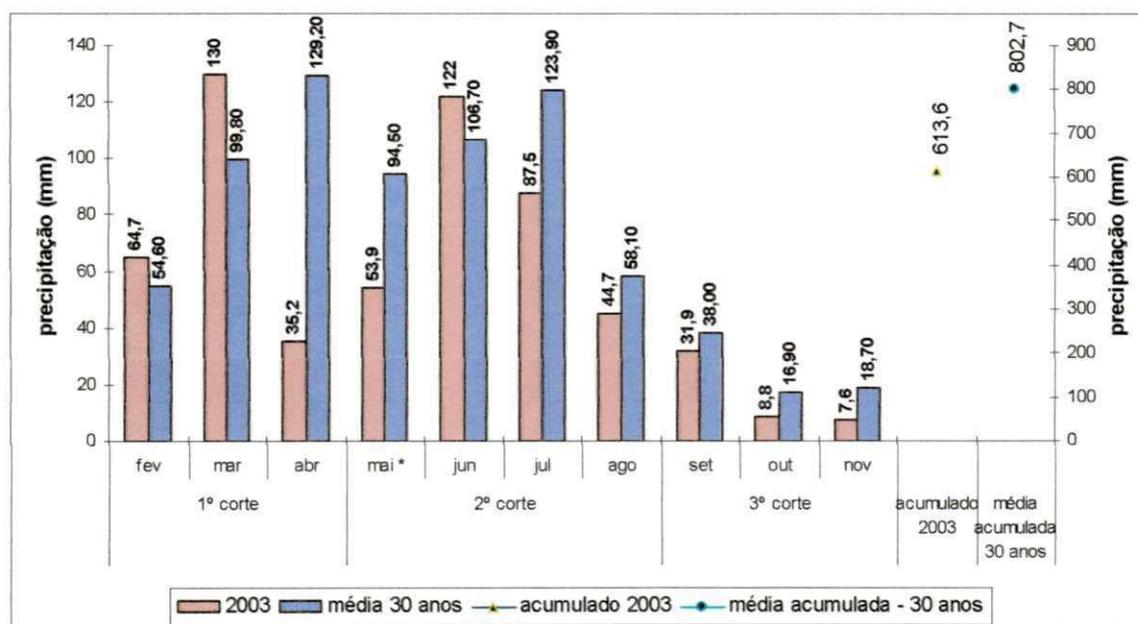


Figura 3.1 – Comparação dos índices pluviométricos do ano de 2003 com a média climática dos últimos 30 anos. Fonte: LRMS (2003). * o mês de maio também faz parte do período do 1º corte (13/05)

Durante os três ciclos de cultivo do capim, o primeiro e o segundo estiveram submetidos a 229,9 e 308,1 mm de precipitação, enquanto que o terceiro foi aquele que recebeu menor quantidade de chuvas (48,3 mm) (Figura 3.2).

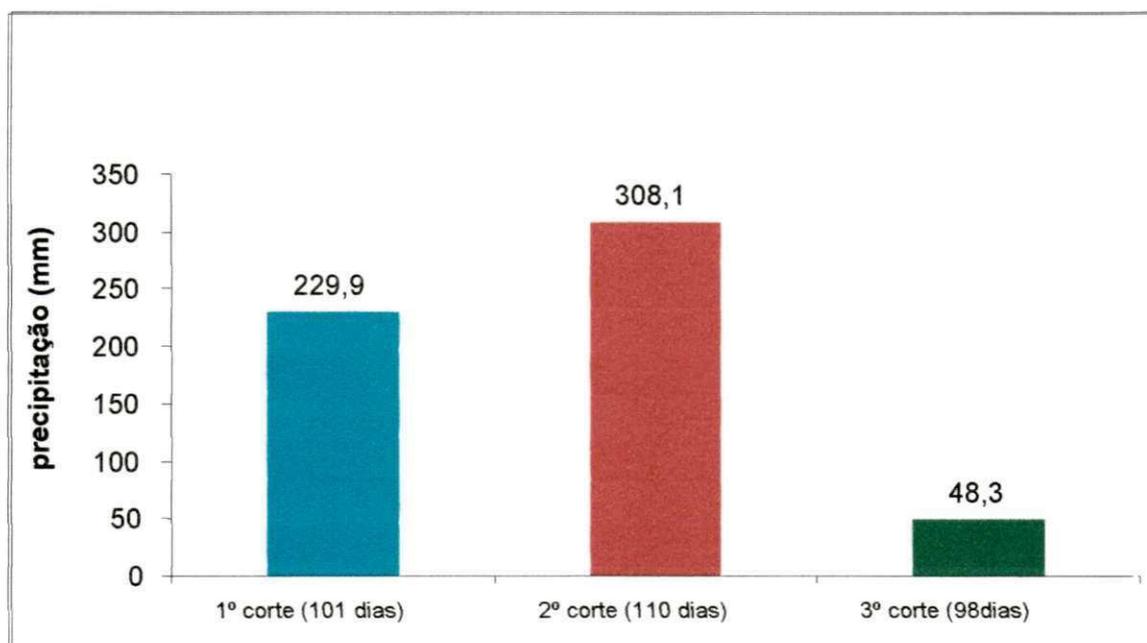


Figura 3.2 – Precipitação pluviométrica durante o período dos cortes do capim elefante.

3.2 Parâmetros Físico-químicos e Microbiológicos da Água de Irrigação

Os valores médios dos parâmetros físicos, químicos e microbiológicos da água residuária tratada utilizada na irrigação no período de 05/02 a 10/11/03, estão apresentados na Tabela 3.1.

Tabela 3.1 – Valores médios dos parâmetros físicos, químicos e microbiológicos do efluente final da ETE de Campina Grande utilizado na irrigação do capim elefante no período de 05/02 a 10/11/03.

PARÂMETROS	Período 1º corte	Período 2º corte	Período 3º corte
PH	7,05	7,05	7,05
C.E. ($\mu\text{mho/cm}$)	1654	1642	1686
Cálcio (mg/L)	28	17	18
Magnésio (mg/L)	35	36	38
Cloretos (mgCl-/L)	274	456	274
Bicarbonato (mg/L)	410	420	480
Sódio (mgNa/L)	123	104	90,5

Continuação da Tabela 3.1 – Valores médios dos parâmetros físicos, químicos e microbiológicos do efluente final da ETE de Campina Grande utilizado na irrigação do capim elefante no período de 05/02 a 10/11/03.

PARÂMETROS	Período 1º corte	Período 2º corte	Período 3º corte
Potássio (mgK/L)	35	28	37
OD (mg/L)	1,3	1,6	2
DBO (mg/L)	48	35	64
DQO (mg/L)	608	560	623
Amônia (mgNH ₃ -N/L)	48,5	52	46
Fósforo Total (mgP/L)	6	5,8	5,3
OrtoP-Solúvel (mgP/L)	4,2	3,6	3,1
C.F.(UFC/100mL)	2,30E+06	5,80E+06	1,70E+06
Helmintos (ovos/L)	0	0	0

3.2.1 Avaliação dos Parâmetros Físico-químicos

O valor médio do pH no efluente final da ETE durante o período experimental foi de 7,05 e inserido na faixa entre 6,5 e 8,4 considerada por PAGANINI, (1997) como adequados para irrigação, não permitindo disponibilização de íons tóxicos como o cloreto, o sódio e o boro para a planta.

Os valores médios da condutividade elétrica do efluente final variaram em torno de 1650 μ S/cm sem grandes oscilações no período experimental. porém este é um valor elevado para uma água de irrigação havendo a necessidade do controle da salinidade e cuidados na escolha das culturas irrigadas (AYRES & WESCOT, 1991). Segundo RICHARDS *et al.* (1977), esses valores estão inseridos na faixa de alto risco de salinidade (750 – 225 μ S/cm). Os íons que mais contribuíram para a elevada C.E. foram cloreto (274 – 456mg/L), bicarbonato (410 – 480mg/L) e sódio (203 – 230mg/L), reforçando algumas observações de que a utilização de águas residuárias na irrigação de culturas pode se transformar em uma fertirrigação salina (BASTOS, 2003).

O efluente final da ETE continha pouco oxigênio dissolvido (1,3 – 2,0mg/L). entretanto, superior ao limite padrão estabelecido para irrigação de forrageiras em Israel, que é de 0,5mg/L.

O efluente final apresentou DBO entre 35 e 64mg/L (provavelmente devido a presença de algas encontradas no efluente final), e DQO entre 560 e 623 mg/L, indicando elevados valores de matéria orgânica (biológica e quimicamente degradável).

As concentrações médias, mínimas e máximas de amônia (46,0 e 52,0 mg/L), fósforo total (5,3 – 6,0 mg/L) e ortofosfato solúvel (3,1 e 4,2 mg/L) foram elevadas, evidenciando a riqueza nutricional dos efluentes da ETE. Esses dados mostram, através de um exercício teórico proposto por BASTOS (2003) e considerado uma duração média de 100 dias a cada ciclo do capim, a quantidade estimada de nutrientes (NPK) que foram disponibilizados durante todo o processo de irrigação nas diferentes lâminas de tratamento (Tabela 4.2). Quando estes efluentes são lançados nos corpos receptores, sem um tratamento terciário para remoção de nutrientes, propiciam condições adequadas para o desencadeamento do processo de eutrofização, particularmente na região Nordeste onde os rios são intermitentes na época de baixa precipitação pluviométrica, que aliada à falta de saneamento básico das regiões urbanas, transforma-os em escoadouros dos esgotos domésticos inviabilizando os usos mais nobres das águas superficiais.

Tabela 3.2 – Estimativa da quantidade de nutrientes (NPK) disponibilizada no efluente da ETE durante todo o período de irrigação.

Tratamentos	N (kg/ha)	P (kg/ha)	K (kg/ha)
T1	321	37	219
T2	268	31	183
T3	224	26	153
T4	387	45	264
T5	435	51	297

3.2.2 Aspectos Sanitários do Efluente

O efluente final mostrou qualidade microbiológica inferior e inadequado para irrigação irrestrita, com valores médios de coliformes termotolerantes na ordem de 10^6 UFC/100mL, não se adequando aos padrões recomendados pela OMS (WHO, 1989) para esse tipo de uso, que é ≤ 1.000 UFC/100 mL (Figura 4.4). A mesma recomendação ressalta que efluentes de ETE's com altas concentrações de coliformes termotolerantes podem ser utilizados na irrigação de culturas classe B (irrigação de culturas cerealíferas, industriais, forrageiras, pastos e árvores) pois não aponta para nenhuma restrição para os coliformes fecais mas limita o uso caso o efluente contenha ≤ 1 ovo de nematóides intestinais/litro. No entanto, o sistema de tratamento foi capaz de remover totalmente os ovos de helmintos presentes no esgoto bruto afluente (média de 12 ovos/L), indicando boa capacidade para os sistemas de lagoas de estabilização na remoção de ovos de nematóides intestinais. Essa eficiência se associa aos

tempos de detenção, que segundo a OMS (WHO, 1989) devem estar entre 8 e 10 dias. A eficiência na remoção destes organismos esta diretamente ligada à sedimentação dos ovos nos reatores (CEBALLOS, 2000). Os valores médios elevados de coliformes termotolerantes encontrados na água de irrigação utilizada em cada um dos ciclos de cultivo de capim elefante neste estudo, evidenciaram risco potencial para a saúde dos envolvidos na utilização das águas residuárias e reforça a necessidade do controle técnico-sanitário rígido com a adoção de sistemas de tratamento modernos que garantam a remoção dos microrganismos, assim como reduzindo os riscos de exposição, particularmente para os trabalhadores diretamente envolvidos.

3.3 Parâmetros Físico-químicos e Microbiológicos do Solo Irrigado

3.3.1 Características de Salinidade do Solo

Nas Figuras 3.3 a 3.5 estão os valores de RAS, pH e condutividade elétrica (CE) observada em seis amostras compostas de solo correspondente às parcelas dos seis tratamentos utilizados. Observou-se claramente um acréscimo nos valores de RAS em todas as amostras (de 0 a 20cm e de 20 a 40 cm) tendo o maior valor (4,6) ocorrido na parcela T3 (20 – 40 cm) e o menor (1,3) em TA (0 – 20 cm). Segundo o Laboratório de Salinidade dos Estados Unidos da América (Tabela 2.6 - Water Resources Technical Publication, 1978), de acordo com os valores da RAS (<13), de pH (<8,5) e condutividade elétrica (<4), podemos classificar o solo quanto à salinidade como normal.

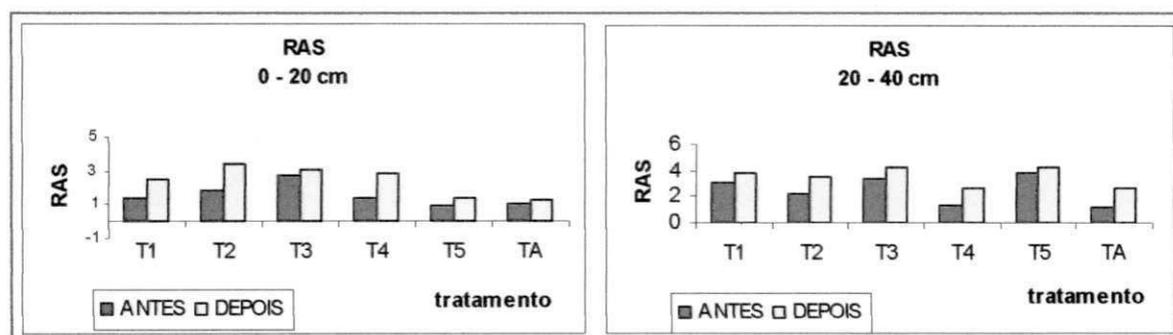


Figura 3.3 – Relação de adsorção de sódio (RAS) antes e depois da irrigação.

O pH apresentou valores mais baixos depois da irrigação (Figura 4.7) em todas as amostras analisadas. A diminuição do pH ocorre provavelmente por causa da decomposição de matéria orgânica no solo elevando assim o índice de acidez.

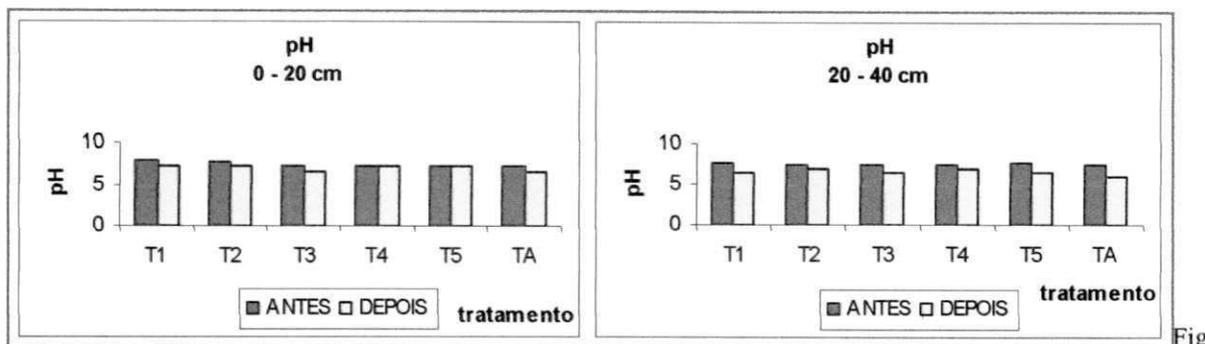


Figura 3.4 – pH do solo antes e depois da irrigação.

Independente do tipo de tratamento, verificou-se um aumento nos valores de condutividade elétrica, tendo ocorrido o maior valor em T2 (2,65 dsm-1 25°), sendo considerado baixo para culturas tolerantes a sais.

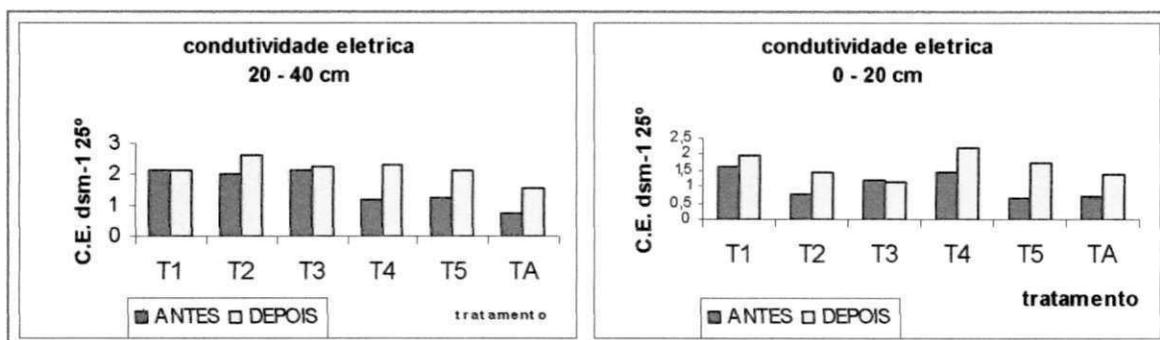


Figura 3.5 – Condutividade elétrica do solo antes e depois da irrigação.

3.3.2 Análise Microbiológica do Solo

O solo onde o experimento foi conduzido já apresentava, antes do início do experimento elevada contaminação fecal, com 10^5 NMP/g de coliformes termotolerantes (Figura 3.6) e 10^3 NMP/g de *Escherichia coli*. Após o último corte do capim elefante, os resultados finais mostraram que houve um aumento de duas unidades logarítmicas para ambos indicadores de contaminação fecal, independente do tipo de água utilizada na irrigação (abastecimento e residuária tratada) e do volume aplicado (lâminas de irrigação). A elevada

contaminação inicial do solo foi associada à sua proximidade da área experimental com as lagoas de estabilização, que não excedia os 5 metros, como também das condições do solo, que podem ter favorecido a sobrevivência desses microrganismos, como a elevada umidade do solo, garantida ou pelas chuvas (1º ciclo) ou pela irrigação e da presença da matéria orgânica oriunda da água residuária. Além desses fatores, esses microrganismos sobrevivem por mais tempo no solo, devido à umidade elevada, presença de matéria orgânica, que na superfície exposta das plantas, onde ficam mais susceptíveis aos raios solares (LEON & CAVALLINI, 1999). Segundo a OMS (WHO, 1989), o período de sobrevivência de bactérias termotolerantes (CF) no solo pode chegar a 70 dias e comumente menos de 20 dias. Um outro fator que pode ter contribuído para a elevada contaminação do solo, independente das lâminas aplicadas, foi à reduzida dimensão das parcelas (4x5 m) com somente 1m de distancia entre elas, o que, provavelmente permitiu certa a mobilidade das bactérias através dos interstícios úmidos do solo.

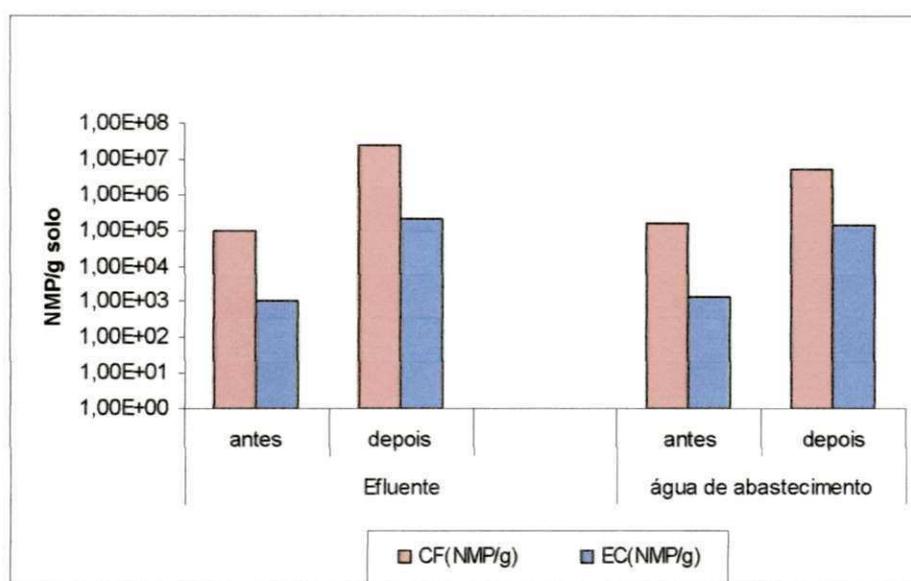


Figura 3.6 – Contaminação do solo irrigado antes e depois do durante o período experimental.

3.4 Parâmetros de Crescimento do Capim Elefante (*Pennisetum purpureum*)

A análise de variância a 5% mostrou a ausência de significância entre os valores obtidos para a altura das plantas nos três ciclos de cultivo, independente da lâmina de irrigação aplicada.

3.4.1 Altura da Planta

A Figura 3.7 mostra um aumento médio gradativo na altura da planta (exceto para T4, onde os valores observados no 1º corte são maiores que os demais) desde o 1º até o 3º corte, com os maiores valores no 3º corte nos tratamentos T4 (8,8mm) e T5 (9,89mm). As plantas atingiram uma altura de 3,40 e 3,30m respectivamente (valores pontuais) com valores médios de 3,13 e 3,26 metros, respectivamente. Esses valores foram associados à idade do capim que, sob condições de precipitação natural tendem, segundo Andrade (1993), tornarem-se mais alto à medida que aumenta a idade. No experimento, o terceiro corte recebeu menor precipitação pluviométrica, com a água de chuva, sendo substituída via irrigação, indicando uma boa alternativa de utilização da água residuária para irrigação e ainda contribuindo com redução dos impactos ambientais caso as águas residuárias fossem lançadas no ambiente. Independente da análise de variância, os tratamentos que receberam as maiores lâminas foram aqueles que produziram plantas com maior altura uma vez que o conteúdo de nutrientes da água residuária era elevado (Tabela 3.2).

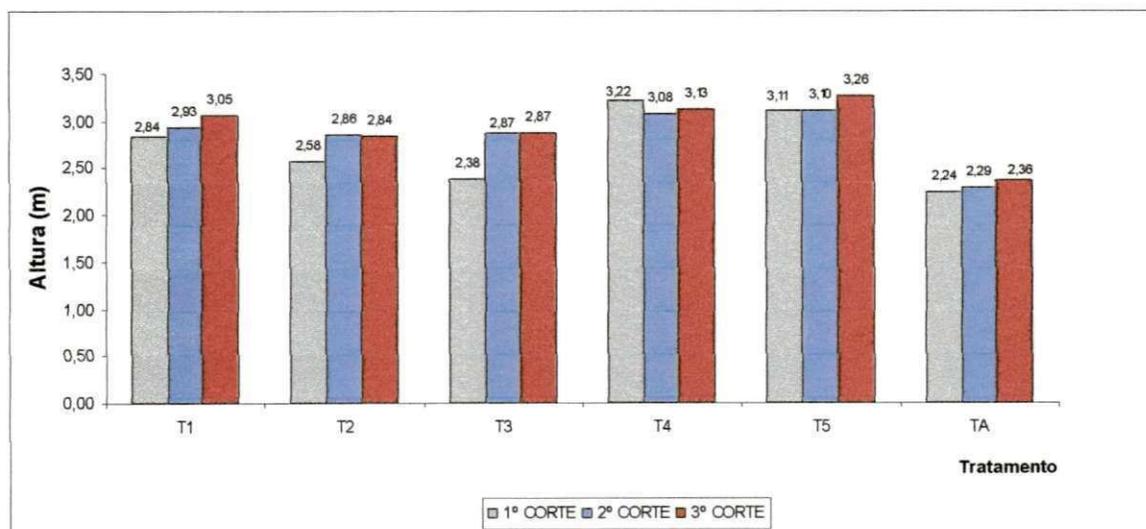


Figura 3.7 – Variação da altura do capim durante os três cortes.

O modelo quadrático ($R^2 = 1$) foi o que melhor se ajustou à variação da altura com os intervalos de corte, indicando um incremento na altura à medida que aumentou a idade do corte (Figura 3.8).

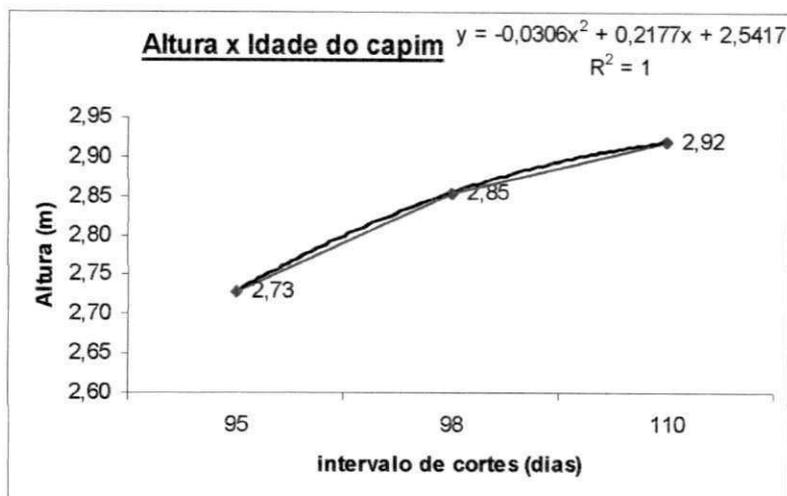


Figura 3.8 – Variação da altura do capim elefante em três idades de corte.

3.4.2 Diâmetro do Colmo

Os maiores valores (pontuais) de diâmetro do colmo (Figura 3.9) foram observados no 1º corte, nos tratamentos T1 (1,95 cm) e T5 (1,92 cm) e os menores em TA (1,44 cm) no 3º corte. Houve diminuição no diâmetro entre o 1º e o 2º corte e uma estabilização dos valores no 3º corte, todos independentes do tipo de água (abastecimento e residuária) e do valor da lâmina aplicada. Essa diminuição do diâmetro do colmo durante o experimento está relacionada ao fato do capim elefante ser uma planta cespitosa, ou seja que cresce em touceiras (PRIMAVESI, 1993) e também devido ao aumento do número de perfílios à medida que cortes sucessivos ocorrem, ocasionando uma diminuição nos diâmetros. Estes resultados estão de acordo com os estudos realizados por Nascimento (1997), que trabalhou com a cultivar Roxo e verificou redução na percentagem de folhas e aumento na percentagem de colmos de cultivares desse tipo de capim, com o aumento da idade das plantas.

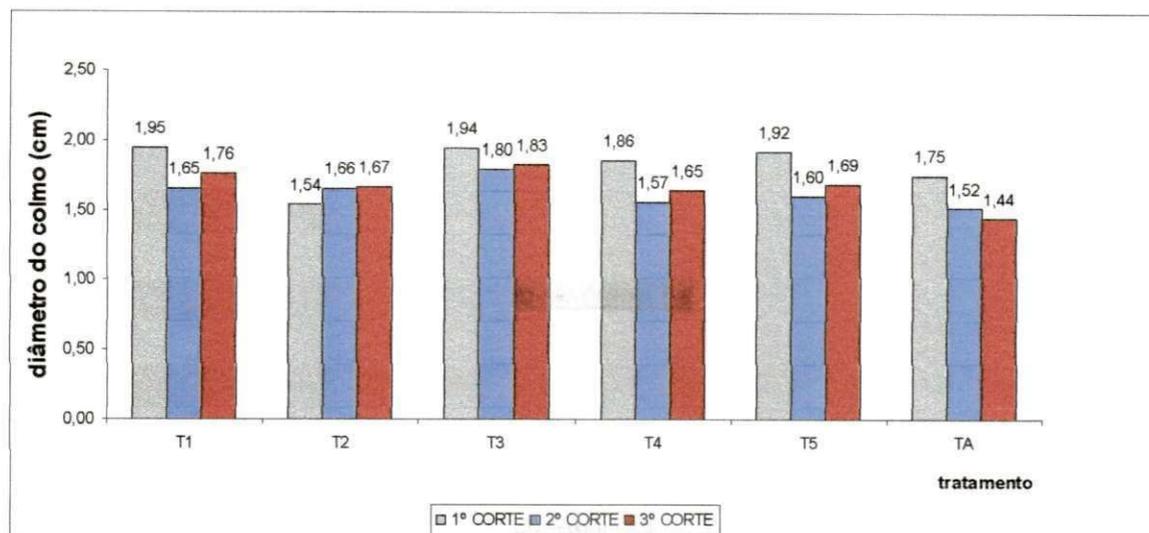


Figura 3.9 – Variação média do diâmetro de colmo durante o período referente ao experimento.

3.5 Aspectos Produtivos do Capim Elefante

A análise de variância não mostrou diferenças significativas (em nível de 5%) na biomassa produzida em nenhum dos cortes realizados.

3.5.1 Produtividade de Matéria Verde

A produtividade de matéria verde (Figura 3.10), expressa em t/ha, foi maior no 3º corte, quando as plantas se desenvolveram sob condições de menor precipitação pluviométrica e maior irrigação durante os 98 dias do ciclo de crescimento. Essa maior produtividade neste último ciclo foi independente do tratamento utilizado (lâmina de irrigação), e se destacou em relação ao tratamento que recebeu irrigação com água de abastecimento (TA). Comparando-se as produtividades para o 3º corte nos tratamentos T1 (água residuária) e TA (água de abastecimento) os quais receberam a mesma lâmina de 7,33mm, nota-se os maiores valores para T1 (com 36,7 ton/há), um incremento de 27,79 % em relação à TA, evidenciando a vantagem da utilização da água residuária como recurso hídrico disponível na irrigação de forrageiras. Dentre as 5 lâminas utilizadas, comparando-se a produtividade no 3º corte, entre a menor (T3 – 5,1mm) e a maior T5 (9,89mm) observa-se também um aumento de 12,74%.

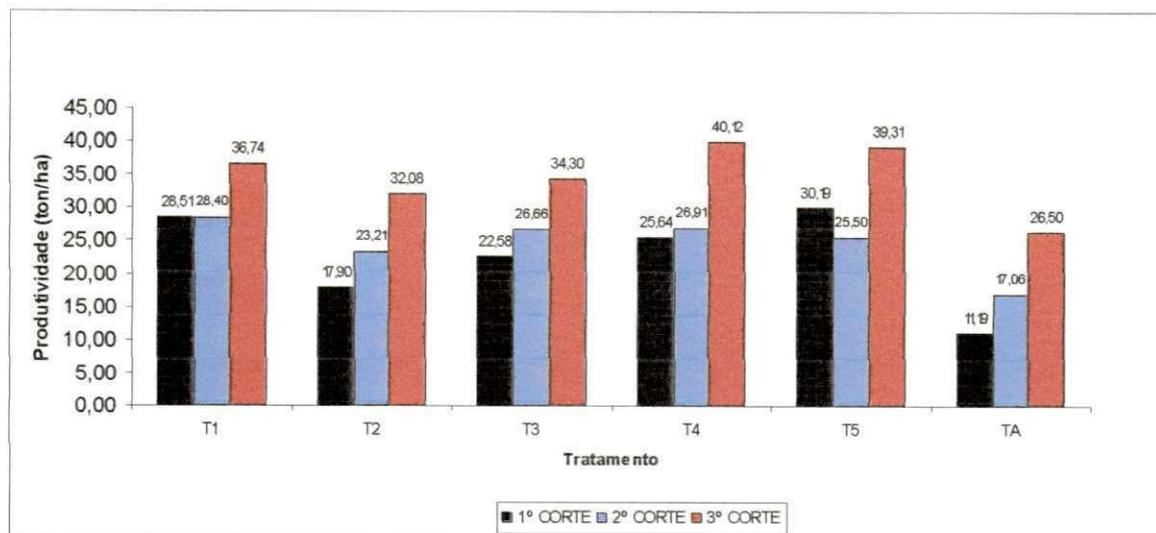


Figura 3.10 – Variação média da produtividade de matéria verde durante o período referente ao experimento.

3.5.2 Teor de Matéria Seca (MS)

Os teores de matéria seca foram maiores nas amostras oriundas do 2º corte (Figura 4.11) destacando-se o tratamento TA (água de abastecimento) com o maior valor pontual de 60,28 % e médio (44,61 %) e esse sendo bem próximo ao valor médio para o tratamento T3 (5,1mm). No 3º corte, período de menor precipitação pluviométrica, os maiores valores médios de MS foram de 26,66 e 23,94% nos tratamentos T5 (9,89mm) e T4 (8,8mm), as quais corresponderam às maiores lâminas. O período de 3 meses para o terceiro ciclo se caracterizou como bastante típico de verão, com baixa precipitação pluviométrica e elevada insolação e correspondeu a aquele onde o capim se desenvolveu sob condições de irrigação. O aumento do teor de matéria seca está relacionado com a quantidade de água e com o intervalo de corte do capim (BLEASDALE,1977). Concordando com os valores que ocorreram neste experimento, pois a precipitação no período do 2º corte foi de 308,1mm e o intervalo de corte foi de 110 dias. Segundo Andrade e Gomide (1971), o intervalo de corte é fator importante para a variação da composição química da forragem. As maiores produções de MS com os maiores intervalos entre os cortes também foram observadas por Gonzalez et al. (1998) e Mendonça et al. (1993) estudando a cultivar Cameroon, sob condições de sequeiro. Segundo Bleasdale (1977), as perdas respiratórias determinadas pelo aumento dos tecidos não fotossintetizantes se igualam com os ganhos fotossintéticos e as plantas atingem o máximo do rendimento e não assimilam mais líquido. Durante o 2º corte se observou nas parcelas

irrigadas com água de abastecimento (TA) certa quantidade de folhas mortas e amareladas, evidenciando aumento dos tecidos não fotossintetizantes.

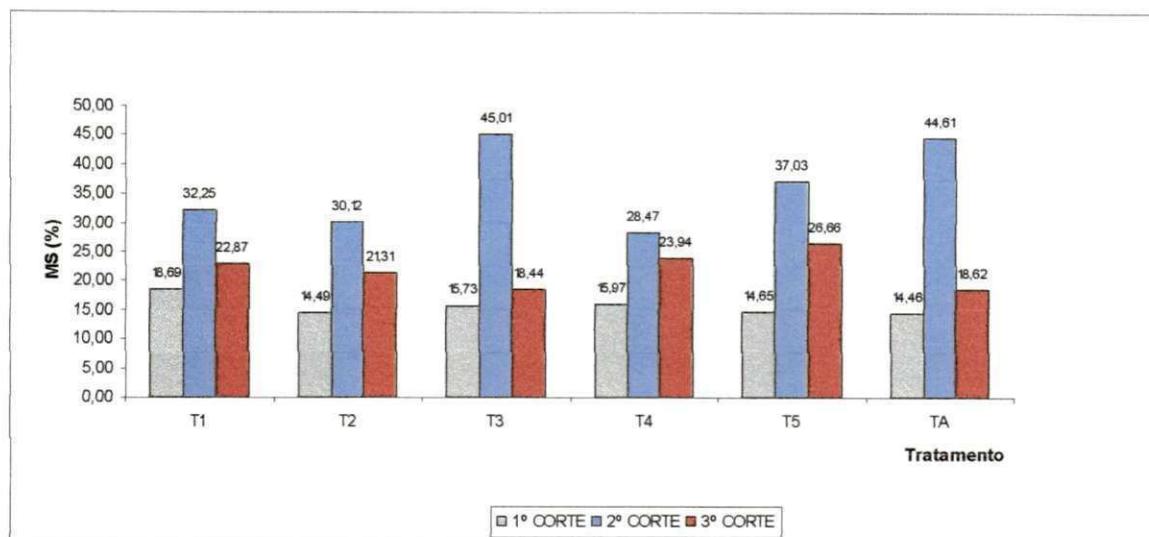


Figura 3.11 – Variação média do teor de matéria seca durante o período referente ao experimento.

3.6 Aspectos Nutritivos do Capim Elefante

A análise de variância não mostrou diferença significativa (em nível de 5%) em nenhum dos cortes realizados.

3.6.1 Teor de Proteína Bruta (PB)

Os teores de proteína bruta (Figura 3.12) foram maiores nas amostras oriundas do 1º corte, com valores médios entre 9,90 % (T3) e 7,91 % (T5). Nos demais cortes os teores de proteína bruta diminuíram até 5,83 % (TA). Com o desenvolvimento da planta, elevam-se os teores de matéria seca (MS) mas em contrapartida deciram os teores de proteína bruta. Segundo PASSOS (1994), a maturação das folhas e a diminuição da relação folha/colmo representa uma diminuição do teor de proteína bruta. De fato alguns valores devem ter sido comprometidos pela preparação da amostra para o ensaio de proteína bruta, já que no preparo destas os colmos e as folhas foram misturadas sem proporção exata. Para as amostras do 1º corte, principalmente nas parcelas irrigadas com água de abastecimento, houve uma proporção maior de folhas do que de colmos, o que provavelmente aumentou a relação

folha/colmo como conseqüentemente aumento do teor de PB. No entanto, os valores obtidos para os três cortes sob as 5 lâminas de irrigação com água residuária e uma de água de abastecimento, estão dentro do limite de potencial produtivo de 7%, considerado o mínimo suficiente para atender as necessidades de proteína do animal (ANDRADE, 1993), com exceção somente para as lâminas T1 e TA no 3º corte que não atingiram esse percentual.

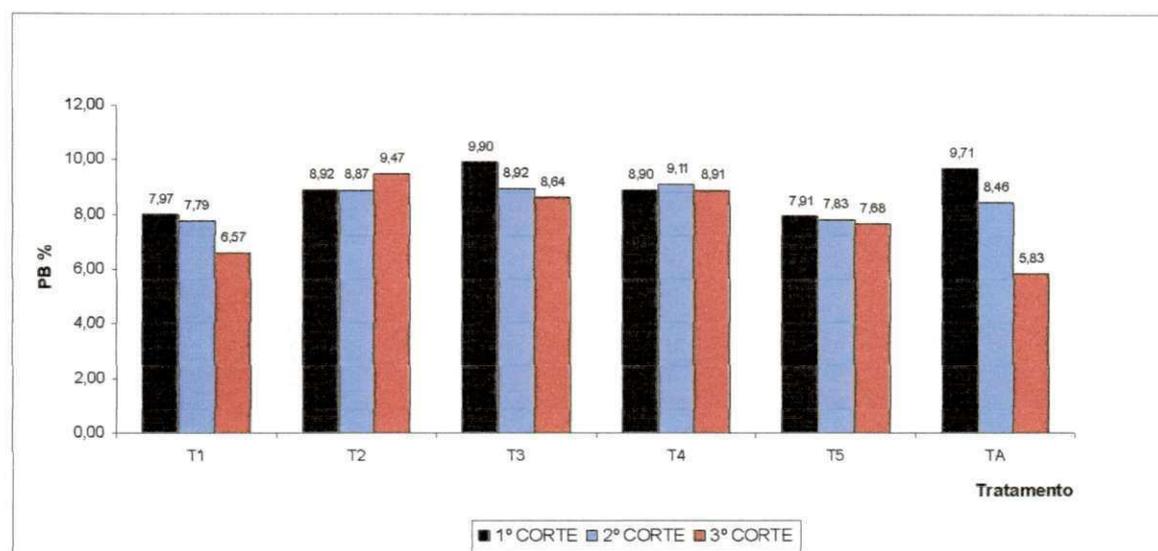


Figura 3.12 – Variação média do teor de proteína bruta durante o período referente ao experimento.

Durante o período do 3º corte ocorreu o menor índice de chuvas (48,3 mm) sendo a água de chuva substituída pela de irrigação, observou-se então uma diminuição nos teores de PB referentes a esse período, discordando de valores observados por Botrel (1986), que avaliou o efeito da irrigação na produção de PB em sete cultivares do capim elefante, obtendo aumento substancial desse parâmetro.

3.6.2 Macronutrientes (NPK)

O crescimento de forrageiras e gramíneas apresenta elevada demanda de macronutrientes, sendo uma boa opção para a escolha de culturas com irrigação de esgoto no solo (Bevilacqua, 2003).

As análises de variância dos valores de nitrogênio, fósforo e potássio não mostraram diferenças significativas (a nível de 5%) para nenhum dos tratamentos utilizados nos três cortes realizados.

A Figura 3.13 mostra a média dos valores de fósforo observadas nos três cortes do capim elefante com os respectivos tratamentos. Observou-se que durante o período do 3º corte os menores valores (0,07 e 0,03 dag/kg) foram os das parcelas irrigadas com água de abastecimento (TA) e os maiores aos tratamentos T5 e T4 (maiores lâminas). Durante o período do 3º corte ocorreu o menor índice pluviométrico (apenas 48,3 mm), havendo quase que total substituição da água da chuva pela irrigação. Os valores observados durante o 2º corte foram bem superiores aos demais, destacando os valores referentes ao tratamento T4 (0,24 dag/kg de média e 0,26 dag/kg de valor máximo).

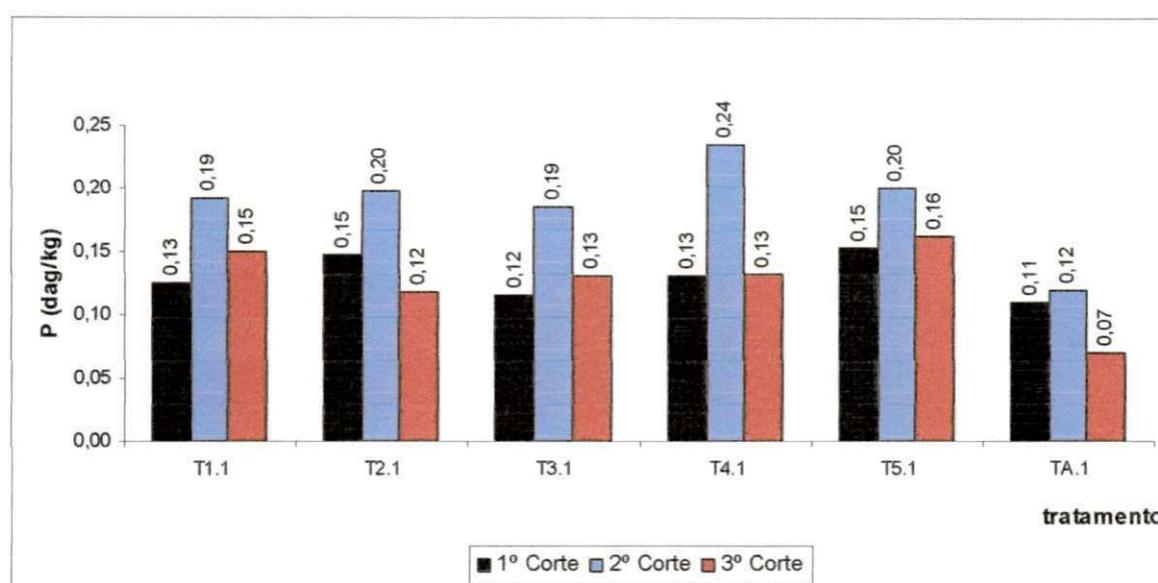


Figura 3.13 – Teor de fósforo no capim elefante.

Os valores obtidos nos períodos dos três cortes do capim elefante apresentaram um comportamento semelhante aos dados de produção de matéria seca, tendo os maiores valores observados no período do 2º corte referentes aos tratamentos T4 e T5 (2,28 e 2,02 dag/kg respectivamente), isto indica um comportamento que segundo Bastos (2003), a demanda de nitrogênio pelas plantas não apresenta uniformidade em seu período de desenvolvimento, onde a fase inicial e final não apresenta alta necessidade desse nutriente, sendo a mesma suprida pelas frações existentes no solo.

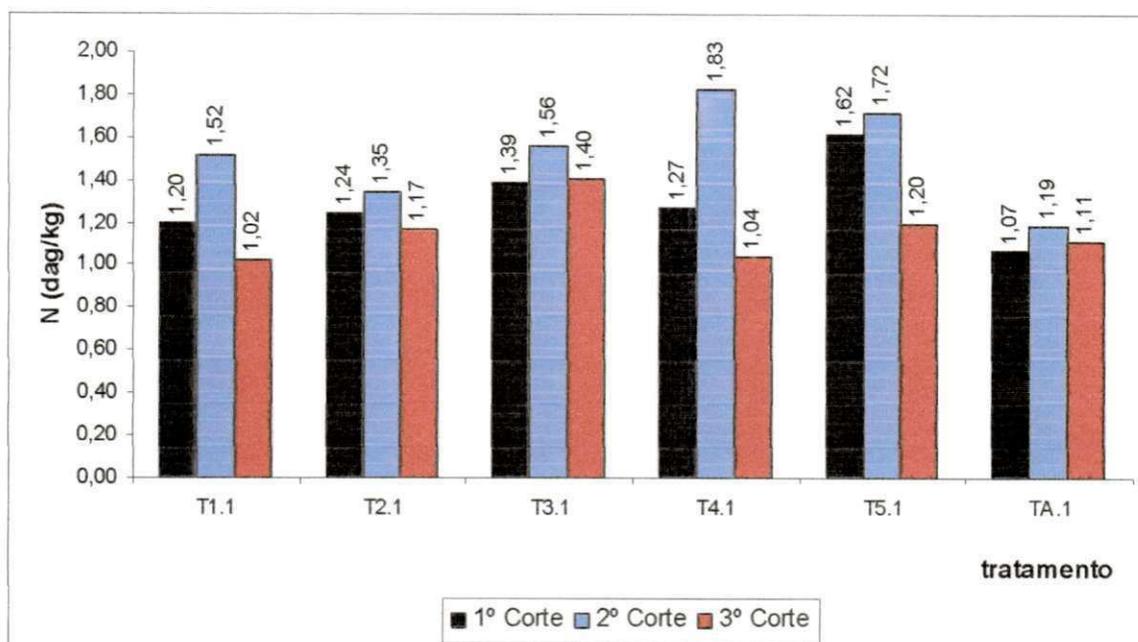


Figura 3.14 – Teor de nitrogênio no capim elefante.

O potássio é um elemento dinâmico e com grande mobilidade, tanto no solo quanto nas plantas. Ele pode deslocar o sódio pela capacidade de troca catiônica do solo; em contrapartida, é um dos elementos com capacidade de ser deslocado por outros cátions bivalentes ou monovalentes. Muitos minerais, em meio argiloso, têm uma grande capacidade de fixar o potássio por substituição isomórfica. Esse fenômeno é importante ao longo do tempo, com a incorporação do potássio na formação de minerais secundários (PAGANINI, 1997).

Os valores observados na Figura 3.15 mostram que houve maior assimilação do nutriente, pela planta, no período do 1º corte, sendo os maiores valores (4,12 e 4,3 dag/kg) observados nos tratamentos T4 e T5 respectivamente. Apesar dos valores do 2º e do 3º corte terem apresentados valores menores, vale destacar que o comportamento é semelhante em todos os cortes, ou seja, os maiores valores foram das lâminas T4 e T5, e os menores correspondentes às lâminas T2 (menor lâmina) e TA (água de abastecimento), entretanto não se observou, nos tratamentos no mesmo período de corte, uma grande diferença entre os valores das lâminas tratadas com água residuária em relação as que foram irrigadas com água de abastecimento. Segundo Malavolta (1989), os teores (%) de macronutrientes adequados para o capim elefante são: N = 1,80; P = 0,12 e K = 1,5. Os teores de fósforo, nitrogênio e potássio indicam o poder nutricional da água residuária utilizada.

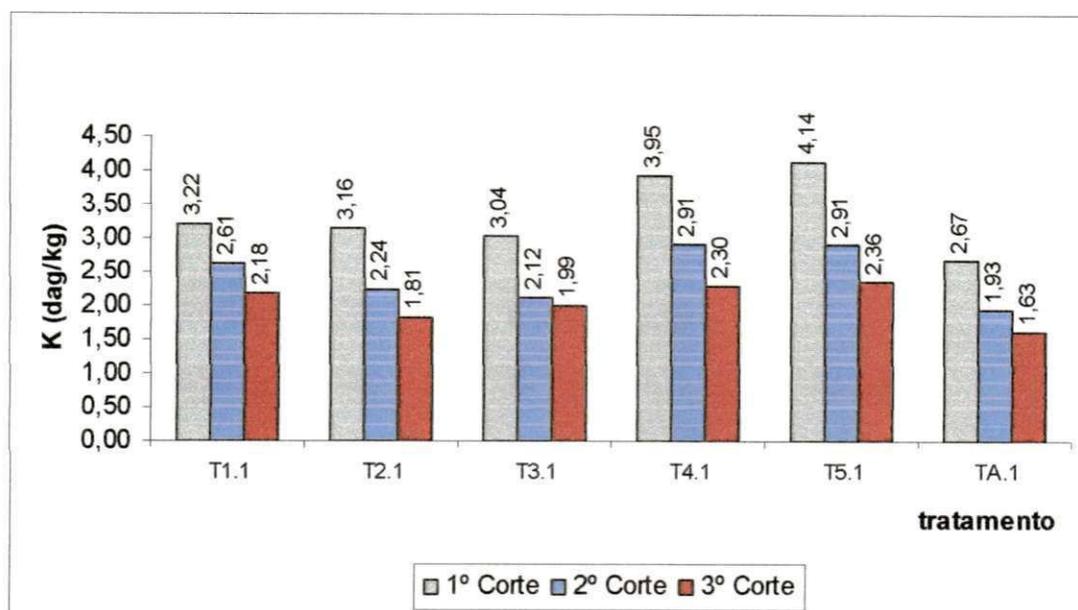


Figura 3.15 – Teor de potássio no capim elefante.

3.7 Aspectos Sanitários

3.7.1 Análise Microbiológica do Capim

A contaminação fecal do capim elefante (*Pennisetum purpureum*) foi elevada em todos os tratamentos experimentais (Figura 3.16) e cortes com valores médios oscilando entre $8,0 \times 10^3$ NMP/g no 3º corte em T1 (lâmina de 7,33mm) e $1,6 \times 10^5$ NMP/g no 1º corte em T4 (8,8mm) e T5 (9,89mm). A contaminação do capim por coliformes termotolerantes no tratamento que recebeu água de abastecimento TA (7,33mm) foi menor que aquelas que receberam água residuária e variou entre $1,6 \times 10^0$ NMP/g no 1º corte até $4,70 \times 10^2$ NMP/g no 2º corte. A análise microbiológica do capim mostrou que Apesar de o método de irrigação utilizado (inundação) não ter proporcionado um contato do efluente com a parte aérea da planta nem produzir aerossóis a maior contaminação observada foi no 1º corte e foi associada a fatores de ordem climática. Nele houve maior incidência de chuvas que, na região muitas vezes são acompanhadas por ventos que carregam aerossóis, que contém bactérias e outros microrganismos e são gerados pela turbulência dos ventos na superfície das lagoas. A intensidade e direção dos ventos se encarregaram de dispersar esses aerossóis até a superfície do capim e devido principalmente à proximidade das parcelas experimentais com as unidades de tratamento. É preciso destacar que algumas parcelas dos tratamentos T3, T4, T5 e TA

estavam localizadas num bloco bem próximo a lagoa de estabilização (Figura 3.17), o que pode ter contribuído para uma maior contaminação.

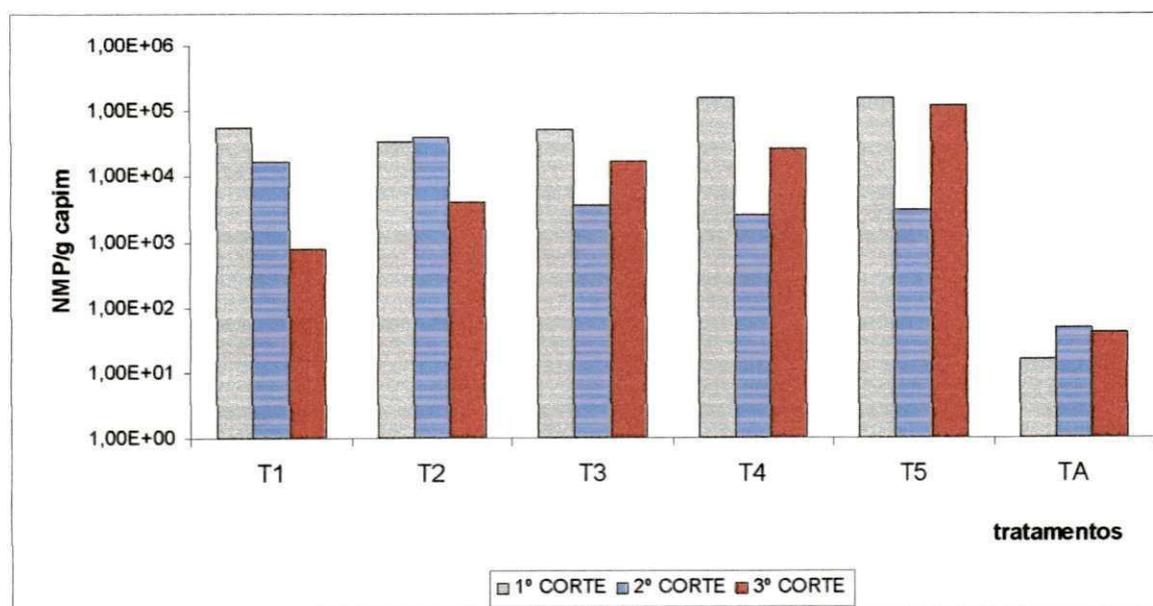


Figura 3.16 – Contaminação fecal do capim elefante referente aos três cortes realizados.

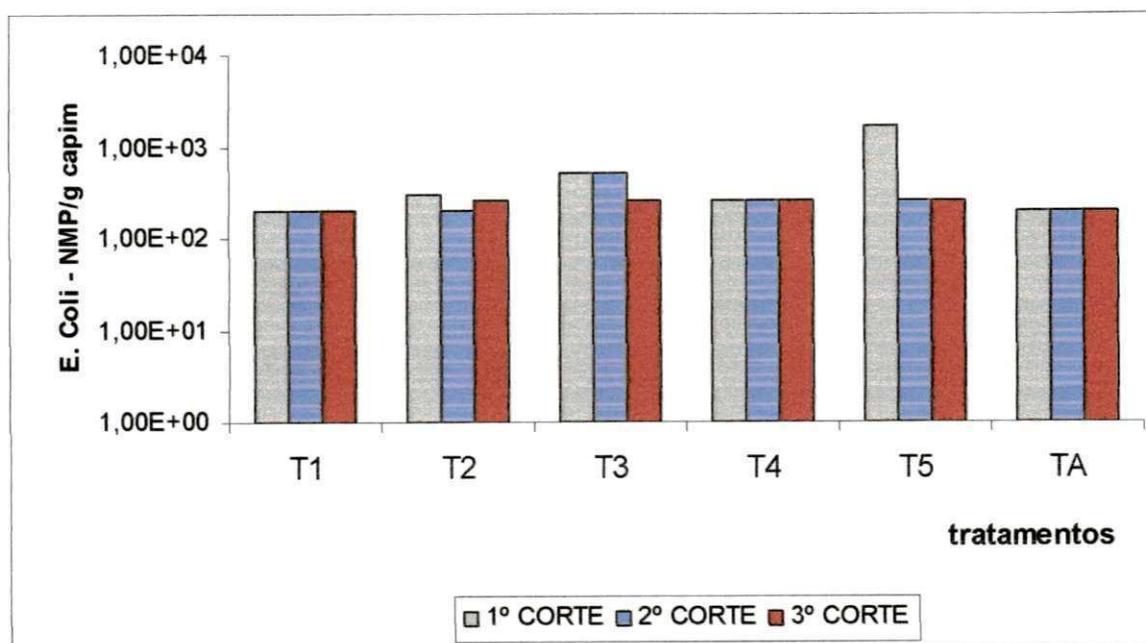


Figura 3.17 – Densidade de *Escherichia coli* no capim elefante referente ao três cortes.

A análise microbiológica do capim mostrou uma densidade de *Escherichia coli* de 10^2 a 10^3 NMP/g (Figura 3.17), concordando com valores encontrados por Bastos (2003) na UNV (Universidade Federal de Viçosa) que obteve valores de densidade de 10^2 NMP/g na

Brachiaria irrigada com efluente do sistema reator anaeróbio-biofiltro, utilizando irrigação por aspersão. É importante ainda destacar que os maiores valores ($5,6 \times 10^3$ NMP/g) ocorreram nas amostras referente a parcelas irrigadas com a lâmina T5, que além de ser a maior lâmina (9,89 mm), estavam mais próximas da lagoa de estabilização, como mostra a Figura 3.18.

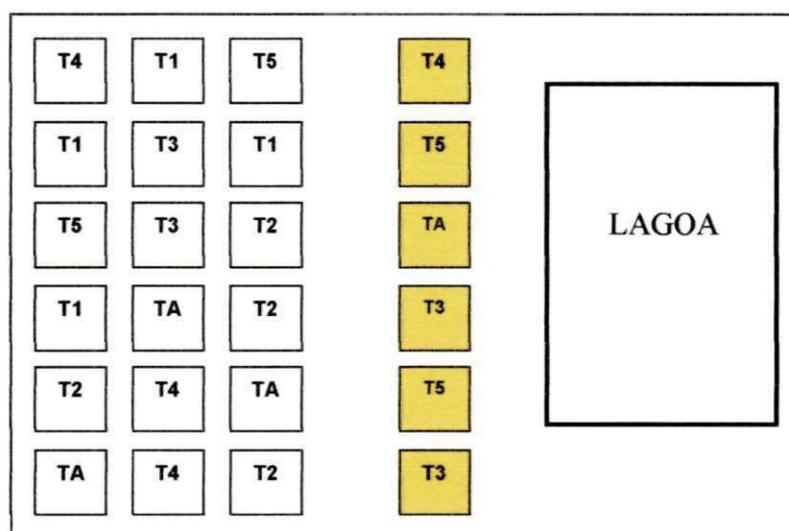


Figura 3.18 – Parcelas mais próximas da lagoa.

CONCLUSÕES

Independente de não ter ocorrido diferença significativa na análise de variância, os valores médios de produtividade do capim elefante, referentes ao período do 3º corte (período em que ocorreu a menor precipitação pluviométrica) irrigados com efluente da ETE, tiveram um incremento em relação às parcelas irrigadas com água de abastecimento, demonstrando a viabilidade do uso de efluente tratado na irrigação de forrageiras, principalmente na época de escassez de chuvas.

O limite de potencial produtivo de 7% de proteína bruta, considerado o mínimo suficiente para atender as necessidades de proteína do animal, foi atendido, com exceção somente para as lâminas T1 e TA no 3º corte que não atingiram esse percentual.

A elevada contaminação do solo irrigado não pôde ser associada à qualidade bacteriológica do efluente utilizado, já que o mesmo se mostrou contaminado antes de se iniciar a irrigação.

A localização da área experimental, próxima às lagoas de estabilização, e a proximidade entre as parcelas contribuíram de forma decisiva para a elevada contaminação por coliformes termotolerantes, tanto no capim elefante quanto no solo.

A contaminação fecal do capim elefante (*Pennisetum purpureum*) foi elevada em todos os tratamentos experimentais.

Os valores médios elevados de coliformes termotolerantes encontrados na água de irrigação utilizada em cada um dos ciclos de cultivo de capim elefante neste estudo, evidenciaram risco potencial para a saúde dos envolvidos na utilização das águas residuárias e reforça a necessidade do controle técnico-sanitário rígido com a adoção de sistemas de tratamento modernos que garantam a remoção dos microrganismos, assim como reduzindo os riscos de exposição, particularmente para os trabalhadores diretamente envolvidos.

BIBLIOGRAFIA

AGENDA 21. Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento. Brasília (DF), Senado Federal, Sub-secretaria de Edições Técnicas, 1997, 598p.

ALABASTER, G. P.; MILLS, S. W. (1989). A practical guide to the monitoring of waste stabilisation pond performace. ODA. Research on wate stabilisation ponds in Kenya.

ANA - Agência Nacional de Águas. "A evolução da gestão dos recursos hídricos no Brasil" Ed. comemorativa do Dia Mundial da Água. 64 p. Brasília, 2002.

ANDRADE, I. F. Efeito da época de vedação na produção e valor nutritivo do capim elefante (*Pennisetum purpureum*, Shcum) vc Mineirão. Revista da Sociedade Brasileira de Zootecnia, 22(1): 53-63.

ANDRADE, I. F.; GOMIDE, J. A. Curva de crescimento e valor nutritivo de capim elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.) "A-146 Taiwan". *Ceres*, Viçosa, v. 18, n. 100, p. 431-447, nov./dez. 1971.

ANDRADE NETO, C. O. (1994). Relatório Final, Pesquisa referente à experiência brasileira relativa a sistemas de baixo custo para tratamento de águas residuárias, Vol. 1. Brasília: CEF.

APHA, AWWA, WEF. Standard methods for the examination of water and wastewater. 19.ed. Washington, DC: APHA, 1995.

APHA, AWWA, WEF. Standard methods for the examination of water and wastewater. 17.ed. Washington, DC: APHA, 1989.

AYERS, R. S., WESTCOT, D. W. (1991). A Qualidade da Água na Agricultura. Trad. H. R. Gheyi e J.F. de Medeiros. Campina Grande: UFPb. (Tradução de: Water Quality for Agriculture).

BARTONE, C.; ARLOSOROFF, S. Irrigation reuse of pond effluents in developing countries. *Water Science and Technology*, v. 19, n.12p.189-297, 1987.

BASTOS, R. K. X.; ANDRADE NETO, C. O.; BEVILACQUA, P. D.; Von SPELING, M. **Utilização de esgotos tratados em irrigação – Aspectos sanitários**. In: Utilização de esgotos tratados em fertirrigação, hidroponia e piscicultura/ Rafael Kopschitz Xavier Bastos (coordenador). – Rio de Janeiro : ABES, Rima, 2003. 267 p. : il. Projeto PROSAB.

BASTOS, R. K. X., PERIN, C. Qualidade de águas superficiais para irrigação. Uma avaliação dos padrões vigentes e do emprego de organismos indicadores de contaminação. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 18, 1995. Salvador-BA. *Anais...*1995, Rio de Janeiro-RJ: ABES (em disquete).

BLEASDALE, J. K. A. Fisiologia Vegetal. São Paulo: EPU, ed. Universidade de São Paulo, 1977.

BEAVERS, P. D. & GARDNER, E. A. Prediction of virus transport through soils. Water Res., 38: 530-5, 1992.

BOTREL, M. A.; ALVIM, M. J.; MARTINS, C. E. Avaliação e seleção de cultivares de capim elefante (*Pennisetum purpureum Schum*) para pastejo. Revista da Sociedade Brasileira de Zootecnia. 23(5): 754-762.

BLUM, C. R. J., Crêterios e padroes de qualidade da  gua. In: MANCUSO, P.C.S.; Santos, H.F. dos (eds.) Reuso de  guas. , SP: Manole, 2003, p-125 - 174.

BLUMENTHAL, U. J.; PEASY, A.; RUIZ-PALACIOS, G. and MARA, D. D. (2000). Guidelines for wastewater reuse in agriculture and aquaculture: recommended revisions based on new research evidence. WELL Study, Task no 68, Part 1. LSHTM and WEDC, UK.

BLUMENTHAL, U. J.; MARA, D. D.; PEASEY, A.; PALACIOS, G. R.; STOOT, R. Guidelines for microbiological quality of treated wastewater used in agriculture: recommendations for revising WHO guidelines. Bulletin of the World Health Organization, 2000, p. 1104-1116.

CAGEPA (2003) - Dados sobre a ETE de Campina Grande. Comunica o pessoal.

CEBALLOS, B. S. O. (2000). Eliminación de microorganismo por medio del tratamiento de las aguas residuales. Sistemas de lagunas de estabilización. In: Cómo utilizar aguas residuales tratadas en sistemas de regadío. Capitulo 4. Colombia: Editorial Nomos S.A.

CEBALLOS, B. S. O. de, Microbiologia sanit ria y ambiental. In: MENDONÇA, S.R. Sistemas de lagunas de estabilizacion: Como utilizar aguas residuales tratadas em sistemas de regadío. Bogotá – Venezuela: McGRAW –HILL Interamericana, 2000, p.68-106.

CROOK, J. Cr terios de Qualidade da água para Reuso. Tradu o de Hilton Felicio dos Santos. Revista DAE (São Paulo, Brasil), No. 174, Vol. 53, nov/dez 1993.

CURTIS, T. P.; MARA, D. D. (1994). The effect of sunlight on mechanisms for the die-off of faecal coliform bacterial in waste stabilization ponds. Research monograf n 1. University of Leeds.

DESCHAMPS, C.; FAVARETTO, N. Efeito do lodo de esgoto complementado com fertilizante mineral na produtividade e desenvolvimento da cultura do feijoeiro e do girassol. Revista Técnica da Sanepar (Sanare), v. 08, n. 08, p. 33 – 38, Janeiro a Junho, 1997.

FAO. Situación de la seguridad alimentaria en América Latina y el Caribe. www.fao.org/efs/spanish/LAR96-4.HTM. 1996b.

FINK, D. R. A legisla o de reuso de  gua. In: MANCUSO, P.C.S.; SANTOS, H.F. dos (eds.) Reuso de  gua. , SP: Manole, 2003, p-261- 289.

FONSECA, D. M.; SALGADO, L. T.; QUEIROZ, D. S.; COSER, A. C.; MARTINS, C. E.; BONJOUR, S. C. de M. Produ o de leite em pastagem de capim-elefante sob diferentes períodos de ocupa o dos piquetes. R. SOC. BRAS. ZOOTE., V. 27, n. 5, p. 848-856, 1998.

HESPANHOL, I.; PROST, A. M. E. (1994). WHO Guidelines and National Standards for Reuse and Water Quality. *Eater Research*, 28(1): 119-124.

HESPANHOL, I. Potencial de reuso no Brasil: agricultura, indústria, município e recarga de aquíferos. In: MANCUSO, P.C.S.; SANTOS, H.F. dos (eds.) Reuso de águas. Barueri, SP: Manole, 2003, p-37-96.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Síntese de Indicadores Sociais – Estudos e Pesquisas (informação demográfica e socioeconômica, n.5). Rio de Janeiro: IBGE, 2000.

KÖNIG, A. (1990). Biologia das lagoas : algas. In: Lagoas de Estabilização e Aeradas Mecanicamente : Novos Conceitos. Capítulo 2. Editora Universitária. UFPB, pp. 58-88.

KÖNIG, A. (2000). Biología de las Lagunas de Estabilización : algas. Sistemas de Lagunas de Estabilización. In: Cómo utilizar aguas residuales tratadas en sistemas de regadío. Capítulo 2. Colombia. Editorial Nomos S.A.

KONIG, A. (2001). O tempo de decantação influenciando no aumento do número de ovos de helmintos em amostras de esgoto bruto. *Anais do 21º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental- ABES*. João Pessoa. PB.

LÉON, S. G. Tratamento e uso de águas residuárias. G. Leon s., J. Moscoso Cavallini; tradução de H.R. Gheyi, A. König, B.S.O. Ceballos, F.A.V. Damasceno. Campina Grande, UFPB, 1999. xvi, 110 p.: il, 29,7 cm.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; Oliveira, S. Avaliação do estado nutricional das planta\; princípios e aplicações. Piracicaba: Associação para pesquisa da Potassa e do Fosfato. 1989.210p.

MARTINS, C. E.; COSER, A. C.; SALVATI, J. A.; DERESZ, F.; MOTA, D. F.; OLIVEIRA, J. P.; FERREIRA, H. V.; MOTEIRO, J. B. N. Influência de diferentes sistemas de corte sobre o perfilhamento e a produção de matéria seca de capim elefante (*Pennisetum purpureum Schum*). In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 34, Juiz de Fora, 1997. *Anais...Juiz de Fora: SBZ*, v.2, 1997. p. 111-113.

MENDONÇA, J. F. B.; ROCHA, G. P.; OLIVEIRA, J. P. et al. Composição química e rendimento do cpaim-elefante (*Pennisetum purpureum Schum*) cv. Cameroon. In: Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Zootecnia, 20, Pelotas, 1983. *Anais... Pelotas: SBZ*, 1983. p. 318.

METCALF, L.; EDDY, H. P. (1991). Wastewater Engineering: Treatment Disposal and Reuse. 3.ed. New York: McGraw-Hill. 1335p.

MIRANDA, T. L. G.. Reúso de efluente de esgotos domésticos na irrigação de alface (*Lactuca sativa*). Porto Alegre: UFRS, 1995. (Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil).

NASCIMENTO, I. L. S. Comportamento produtivo e qualitativo do capim elefante (*Pennisetum purpureum*, Schum) vc Roxo Areia: CCA/UFPB, 1997. 47p. Dissertação (Graduação em Zootecnia). UFPB, 1997.

NOM-001-ECOL-96. 1998. Que establece los limites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales y bienes nacionales. México: Diario Oficial de la Federación.

NUCCI, N. L. R. *et al.* Tratamento de esgotos municipais por disposição no solo e sua aplicabilidade no Estado de São Paulo, Fundação Prefeito Faria Lima, 1978.

PAGANINI, W. S. Reúso de água na agricultura. In: MANCUSO, P.C.S.; Santos, H.F. dos (eds.) Reuso de águas. , SP: Manole, 2003, p-339- 401.

PAIR, C. H. *et al.* Irrigation. 5. ed. Virginia, The Irrigation Association, 1983.

PASSOS, L. P. Estado do conhecimento sobre a fisiologia do capim elefante. In: Simpósio Sobre capim elefante, 2, Juiz de Fora, 1994. Anais... Juiz de Fora: EMBRAPA/CNPGL, 1994. P. 12-43.

PEREIRA, A. V. Germoplasma e diversidade genética do capim-elefante. Origem e Citogenética. In: SIMPOSIO SOBRE CAPIM-ELEFANTE. 2. Juiz de Fora-Mg, 1994. Anais...Coronel Pacheco MG. EMBRAPA/CNPGL.1994. P. 1-11.

PRIMAVESI, A. Manejo ecológico do solo: A agricultura em regiões tropicais. 9.ed. São Paulo: Nobel.

RIBEIRO, K. G.; GOMIDE, J. A.; PACIULLO, D. S. C. Adubação nitrogenada do capim-elefante cv. Mott.2. Valor nutritivo ao atingir 80 e 120 cm de altura. R. Soc. Brás. Zootec. V. 28, n.6, p. 1194-1202. 1999.

SANTANA, J. P.; PEREIRA, J. M.; RUIZ, M. A. M. Avaliação de cultivares de capim elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.) no Sudoeste da Bahia. II. Agrossistema Itapetinga. R. Soc. Brás. Zootec., v. 23,n. 4, p.507-517, 1994.

SANTOS, H. F. A escassez e o reúso de água em âmbito mundial. In: Mancuso, P.C.S.; SANTOS, H. F. dos (eds.) Reuso de águas. Barueri , SP: Manole, 2003, p-1-18.

SEPLAN (2003) – Secretaria de Planejamento de Campina Grande-PB. Dados sobre o município de Campina Grande-PB – Informação pessoal.

SHUVAL, H. I., ADIN, A.; FATTAL, B.; RAWITZ, E.; YEKUTIEL, P. (1996). Wastewater Irrigation in Developing Countries: Health Effects and Solutions. Washington: The World Bank.

SHUVAL, H. I.; ADIN, A.; FATTAL, B.; RAWITZ, E.; YEKUTIEL, P. Wastewater irrigation in developing countries: Health effects and technical solutions. Washington DC: The World Bank. Technical Paper n. 51, 1986.

SILVA, S. A.; MARA, D. D. (1979). Tratamentos Biológicos de Águas Residuárias Lagoas de Estabilização. Rio de Janeiro : ABES, 140p.

SILVA, D. J. Análise de alimentos (métodos químicos e biológicos). 2 ed. Viçosa: UFV, Impr. Univ., 1990.165p.

SOUSA, J. T. Tratamento e utilização de esgotos domésticos na agricultura / José Tavares de Sousa, Valderi Duarte Leite. – Campina Grande: EDUEP, 2002. 103 p.

STRAUSS, M. (1986). Health Aspects of Nightsoil and Sludge Use in Agriculture and sludge Use in Agriculture and aquaculture – Part II. Pathogen Survival. Report nº 04/85. Duebendorf, International Reference Centre for Waste Disposal, 1-87.

TANJI, K. K. (Ed.) Agricultural Salinity Assessment and Management. Nova York, American Society of Civil Engineers, 1990.

TUCCI, C. E. M. Gestão da água no Brasil– Brasília : UNESCO, 2001.156p.

USEPA. Drinking Water regulations and Health Advisories. Office of Water, U.S. Environmental Protection Agency, Washington, 1991.

VAN HAANDEL, A. C.; LETTINGA, G. (1994). Tratamento Anaeróbio de Esgotos em Regiões de Clima Quente. Campina Grande- PB,198p.

WERNER, J. C. 1986. Adubação de pastagens. 2.ed. Nova Odessa: Instituto de Zootecnia, 49p.

WESTERHOFF, G. P. Un update of research needs for water reuse. In: WATER REUSE SYMPOSIUM, 3º Proceedings. San Diego, Califórnia, 1984.

WHO (1973). Reuse of Effluents: Methods of Wastewater Treatment and Health Safeguards. WHO Technical Report Series No 517, World Health Organization, Geneva, Switzerland.

WHO 1989. Health guidelines for the safe use of wastewater in agriculture and aquaculture. Technical Report Series 778. Geneva: World Health Organization.

World Meteorological Organization – WMO (1997). "Comprehensive Assessment of the Freshwater Resources of the World". WMO, Geneva.