



**UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA**  
**CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA - CAMPUS II**  
**COPEAG - COORD. DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENG. AGRÍCOLA**



# **PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA**

**CAMPINA GRANDE  
PARAÍBA**



**UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA**  
**PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO**  
**CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA**  
**COORDENAÇÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA**



**DISSERTAÇÃO**  
**ÁREA DE CONCENTRAÇÃO EM IRRIGAÇÃO E DRENAGEM**

**AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE UM SISTEMA DE  
IRRIGAÇÃO LOCALIZADA UTILIZANDO ÁGUAS RESIDUÁRIAS**

**CLÁUDIA GERMANA DA FONSECA SANTOS**

**Campina Grande - Paraíba**  
**ABRIL - 2002**

**AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE UM SISTEMA DE  
IRRIGAÇÃO LOCALIZADA UTILIZANDO  
ÁGUA RESIDUÁRIA**

**Cláudia Germana da Fonseca Santos**  
**Engenheira Civil**

**AValiação DO DESEMPENHO DE UM SISTEMA DE  
IRRIGAÇÃO LOCALIZADA UTILIZANDO ÁGUA  
RESIDUÁRIA**

Dissertação apresentada ao curso de Mestrado  
em Engenharia Agrícola da Universidade  
Federal da Paraíba - UFPB, em cumprimento  
às exigências para obtenção do grau de Mestre

**ORIENTADORES: Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Vera Lúcia Antunes de Lima**  
**Prof<sup>º</sup> Dr<sup>º</sup> Adrianus C. van Haandel**  
**Eng<sup>º</sup>. Dr. José de Arimatéia de Matos**

**Campina Grande – Paraíba**  
**Abril-2002**



Santos, Cláudia Germana da Fonseca  
S237a Avaliação do desempenho de um sistema de irrigação  
localizada utilizando águas residuárias / Cláudia Germana da  
Fonseca Santos.- Campina Grande: UFPB, 2002.  
74p.: il.  
Inclui Bibliografia.  
Dissertação (mestrado)UFPB / DEAg  
1.Águas Residuárias – Irrigação, 2.Microaspersores, 3.Reator  
UASB I. Título

CDU: 628.381



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA  
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA

COPEAG - PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA

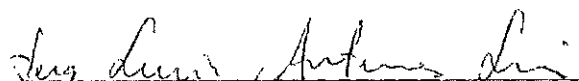
PARECER FINAL DO JULGAMENTO DA DISSERTAÇÃO DO MESTRANDO

CLÁUDIA GERMANA DA FONSECA SANTOS

Título: "Avaliação do Desempenho de um Sistema de Irrigação Localizada utilizando Águas Residuárias".

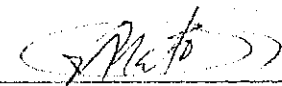
BANCA EXAMINADORA

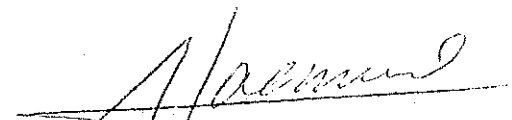
PARECER

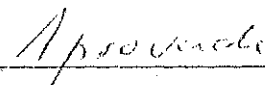
  
Dra. Vera Lúcia Antunes de Lima-Orientadora

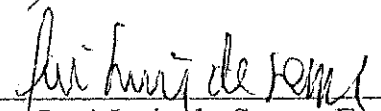
APROVADO

  
Dr. José de Arimatéa Matos-Orientador

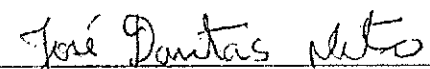
  
APROVADO

  
Dr. Adrianus Cornelius V. Haandel-Orientador

  
APROVADO

  
Dr. José Luis de Souza-Examinador

APROVADO

  
Dr. José Dantas Neto-Examinador

APROVADO

ABRIL - 2002

Muitas vezes as pessoas são egocêntricas, ilógicas e  
insensatas.

Perdoe-as assim mesmo.

Se você é um vencedor, terá alguns falsos amigos e alguns  
inimigos verdadeiros.

Vença assim mesmo.

Se você é honesto e franco as pessoas podem enganá-lo.

Seja honesto assim mesmo.

O que você levou anos para construir, alguém pode destruir de  
uma hora para outra.

Construa assim mesmo.

Se você tem Paz, é Feliz, as pessoas podem sentir inveja.

Seja Feliz assim mesmo.

Dê ao mundo o melhor de você, mas isso pode nunca ser o  
bastante.

Dê o melhor de você assim mesmo.

Veja você que no final das contas, é entre você e Deus.

Nunca será entre você e as outras pessoas.

MADRE TEREZA DE CALCUTÁ

## SUMÁRIO

<b>LISTA DE FIGURAS</b>	i
<b>LISTA DE TABELAS</b>	iii
<b>RESUMO</b>	vi
<b>ABSTRACT</b>	v
<b>1.0 INTRODUÇÃO</b>	1
1.1 Objetivo Geral	2
1.2 Objetivos Específicos	3
<b>2.0 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b>	4
2.1 Considerações Gerais	4
2.2 Qualidade da Água para Irrigação	5
2.2.1 Qualidade da água quanto a salinização	6
2.2.2 Aspectos sanitários do uso de águas residuárias na irrigação	9
2.2.3 Vantagens e limitações do uso de águas residuárias	13
2.3 Digestão Anacróbia	15
2.3.1 Reator Anaeróbio de Fluxo Ascendente e Manta de Lodo	15
2.3.2 Sistema UASB -Lagoa de Polimento	17
2.4 Uso de Efluentes na Irrigação Localizada	20
2.5 Componentes de um sistema de irrigação localizada	20
2.6 Hidráulica dos Emissores	24
2.6.1 Padrão de Distribuição de Água	24
2.6.2 Vazão x pressão	25
2.6.3 Coeficiente de Variação de Fabricação	26
2.7 Obstrução nos Sistemas de Irrigação Localizada	27
2.7.1 Sensibilidade às Obstruções	28
<b>3.0 MATERIAL E MÉTODOS</b>	32
3.1 Caracterização do Ambiente Experimental	32
3.2 Metodologia do Experimento	33
3.3 Parâmetros Analisados e Métodos Analíticos	36
3.3.1 Parâmetros Hidráulicos	36
3.3.2 Parâmetros Físico-químicos	37
3.3.3 Parâmetros Biológicos	40



3.3.4	Delineamento Experimental	42
<b>4.0</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b>	<b>45</b>
4.1	Parâmetros hidráulicos	45
4.1.1	Coefficiente de Variação de Fabricação	45
4.1.2	Coefficiente de Uso	45
4.1.3	Relação vazão x pressão	46
4.2	Parâmetros físico-químicos e biológicos	49
4.2.1	PH	49
4.2.2	Alcalinidade	49
4.2.3	Condutividade elétrica	50
4.2.4	Turbidez	52
4.2.5	Clorofila "a"	53
4.2.6	Sólidos totais	53
4.2.7	Sólidos suspensos	55
4.2.8	Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO <sub>5</sub> )	57
4.2.9	Demanda Química de Oxigênio (DQO)	58
4.2.10	Diversidade de Algas	59
<b>5.0</b>	<b>CONCLUSÕES</b>	<b>63</b>
<b>6.0</b>	<b>RECOMENDAÇÕES</b>	<b>64</b>
<b>7.0</b>	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>65</b>

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por TUDO.

A JESUS, “aquele que está do meu lado em qualquer caminhada”.

Ao meu pai, pela educação maravilhosa que ofereceu a mim e às minhas irmãs e pelo apoio e incentivo quando decidi escolher este caminho.

À minha mãe Sia pelo simples fato de ser Maravilhosa.

A professora Vera Lúcia Antunes de Lima, pela orientação deste trabalho.

Ao professor Adrianus C. van Haandel, por colocar o laboratório do Programa de Saneamento Ambiental (PROSAB) à disposição para realização deste experimento e pela valiosa contribuição na área sanitária.

Aos senhores Romário e Edil pela montagem do experimento.

A Nélia, Adriana Valéria e Karina pela ajuda nas análises sanitárias.

A todos os professores da área de Irrigação e Drenagem pelos conhecimentos transmitidos.

A ANA (Agência Nacional das Águas) e a FINEP (Financiamento Nacional de Estudos e Projetos).

À todos, que de alguma forma contribuíram na elaboração desta dissertação.

*À minha maravilhosa mãe (Sia), pelo seu  
AMOR INCONDICIONAL e ao meu pai (José),  
“meu querido, meu velho, meu amigo”,*

*DEDICO.*

**LISTA DE FIGURAS**

<b>FIGURA 1</b> - Esboço do reator UASB	16
<b>FIGURA 2</b> - Microaspersor utilizado no sistema experimental	33
<b>FIGURA 3</b> - Bancada de testes onde foi feita a caracterização hidráulica dos emissores	34
<b>FIGURA 4</b> - Sistema experimental montado em campo	35
<b>FIGURA 5</b> - Filtros de areia e filtros de tela utilizados no experimento	35
<b>FIGURA 6</b> - Layout do sistema experimental montado em campo	44
<b>FIGURA 7</b> - Curva de vazão versus pressão dos emissores novos e após usados com água residuária tratada	47
<b>FIGURA 8</b> - Variação do pH da água do reator UASB e da lagoa de polimento antes e após a filtração	49
<b>FIGURA 9</b> - Alcalinidade ( $\text{mg CaCO}_3 \text{ L}^{-1}$ ) da água residuária do reator UASB e da lagoa de polimento antes e após a filtração	50
<b>FIGURA 10</b> - Condutividade elétrica da água residuária do reator UASB e da lagoa de polimento antes e após a filtração	51
<b>FIGURA 11</b> - Turbidez da água residuária do reator UASB e da lagoa de polimento antes e após a filtração	52
<b>FIGURA 12</b> - Clorofila "a" ( $\mu\text{g L}^{-1}$ ) das águas residuárias tratada utilizada no sistema de irrigação	53
<b>FIGURA 13</b> - Sólidos Totais da lagoa de polimento e do UASB antes e após a filtração depois de 1,5 h de irrigação	55
<b>FIGURA 14</b> - Sólidos Totais da lagoa de polimento e do UASB antes e após a filtração depois de 3,0 h de irrigação	55
<b>FIGURA 15</b> - Sólidos Suspensos da lagoa de polimento e do UASB antes e após a filtração depois de 1,5 h de irrigação	57
<b>FIGURA 16</b> - Sólidos Suspensos da lagoa de polimento e do UASB antes e após a filtração depois de 3,0 h de irrigação	57
<b>FIGURA 17</b> - Algas com maior frequência na água do UASB	61
<b>FIGURA 18</b> - Algas com maior frequência na água do UASB (T2)	61

<b>FIGURA 19</b> - Algas com maior frequência na Lagoa de Polimento	61
<b>FIGURA 20</b> - Algas com maior frequência na Lagoa de Polimento (T3)	61
<b>FIGURA 21</b> - Algas com maior frequência na Lagoa de Polimento (T4)	61

**LISTA DE TABELAS**

<b>TABELA 1</b> - Classificação da água para irrigação quanto ao risco de salinidade	8
<b>TABELA 2</b> - Diretrizes recomendadas para a qualidade microbiológica das águas residuárias utilizadas na agricultura	13
<b>TABELA 3</b> - Avaliação dos vários métodos de irrigação quanto ao uso de água residuária tratada	15
<b>TABELA 4</b> - Classificação dos emissores quanto ao risco de obstrução	29
<b>TABELA 5</b> - Qualidade da água quanto ao potencial de obstruções em sistemas de irrigação localizada	30
<b>TABELA 6</b> - Elementos físicos, químicos e biológicos que provocam obstrução nos sistemas e irrigação localizada	31
<b>TABELA 7</b> - Valores médios de vazão, desvio padrão e coeficiente de variação de fabricação dos microaspersores novos para cada pressão ensaiada	45
<b>TABELA 8</b> - Valores médios de pressão, vazão média, desvio padrão e coeficiente de variação dos microaspersores usados	46
<b>TABELA 9</b> - Análise estatística dos microaspersores novos e usados	48
<b>TABELA 10</b> - Valores médios da vazão dos emissores e seus respectivos dos tratamentos	48
<b>TABELA 11</b> - Análise estatística dos sólidos totais para os tratamentos utilizados no sistema	53
<b>TABELA 12</b> - Valores médios dos sólidos totais para os tratamentos estudados	54
<b>TABELA 13</b> - Análise estatística dos sólidos suspensos para os tratamentos utilizados no sistema	56
<b>TABELA 14</b> - Valores médios dos sólidos suspensos para os tratamentos estudados	56
<b>TABELA 15</b> - Análise estatística da DBO <sub>5</sub> para os tratamentos utilizados no sistema	58
<b>TABELA 16</b> - Valores médios da DBO <sub>5</sub> para os tratamentos estudados	58
<b>TABELA 17</b> - Análise estatística da DQO para os tratamentos utilizados no sistema	59
<b>TABELA 18</b> - Valores médios da DQO para os tratamentos	59
<b>TABELA 19</b> - Freqüência de algas identificadas nas amostras das águas residuárias	62

## RESUMO

Neste trabalho, avaliou-se o desempenho de um sistema experimental de irrigação localizada do tipo microaspersão utilizando quatro tratamentos: T1- água de abastecimento, T2- água residuária tratada proveniente de um reator anaeróbio UASB usando filtro de areia e filtro de tela, T3- água residuária tratada de uma lagoa de polimento usando filtro de areia e filtro de tela e T4- água residuária tratada de uma lagoa de polimento usando filtro de disco. O sistema experimental foi montado nas dependências do PROSAB (Programa de Saneamento Básico), localizado na cidade de Campina Grande-PB. Os testes visaram a determinação dos seguintes parâmetros: coeficiente de variação de fabricação, coeficiente de uso e equação de vazão versus pressão. Foram analisados os seguintes parâmetros físico-químicos e biológicos: pH, demanda bioquímica de oxigênio (DBO), demanda química de oxigênio (DQO), sólidos totais, sólidos suspensos, condutividade elétrica, turbidez, alcalinidade, clorofila "a" e algas. O desempenho do sistema foi avaliado com base nas taxas de redução dos parâmetros sólidos totais, sólidos suspensos, DBO, DQO e quantificação e identificação de algas. A vazão média dos emissores para uma pressão nominal de 150kPa com o tratamento T1 foi de 57,5 Lh<sup>-1</sup> e após os tratamentos T2, T3 e T4 a vazão média decresceu para 54,67 Lh<sup>-1</sup>. Os resultados mostraram que com o uso de águas residuárias houve uma pequena redução na vazão dos emissores e um aumento considerável no coeficiente de variação causando uma redução na uniformidade de emissão de água. Constatou-se que com o uso de filtros de areia, filtros de tela e filtros de disco a redução no teor de matéria orgânica e algas foi muito pequena.

## ABSTRACT

In this research, the performance of the experimental system of irrigation located type microsprinkler using four treatments : T1 - water supplies, T2 - wastewater treated from UASB anaerobic reactor using sand filter and screen filter, T3 - wastewater treated from polishing pond using sand filter and screen filter and T4- - wastewater treated from polishing pond using disk filter. The experimental system was built at PROSAB (Programa de Saneamento Básico), in Campina Grande City, Stat of Paraíba. The tests sought the determination of the following parameters: manufacturer's coefficient of variation, coefficient of use and discharge pressure head equation. That were evaluated the following parameters physicochemical and biological: pH, biochemical oxygen demand (BOD), chemical oxygen demand (COD), total solids (TS), suspended solids (SS), electrical conductivity (EC), turbidity, alcalinity, chlorophyll a and algae. Its performance system was evaluated upon the ratios of reduction from parameters: total solids, suspended solids, BOD, COD and quantification and identification of algae. The average emitter discharge for a working pressure of 150kPa with the treatment T1 was 57,5 Lh<sup>-1</sup> and after the treatments T2, T3 and T4 the average emitter discharge decreased for 54,67 Lh<sup>-1</sup>. The results showed that the use of wastewater caused a small reduction in the emitter discharge rate and a increase in the coefficient of variation showed one reduction in the emission uniformity. It was verified that with the use of sand filter, screen filter and disk filter caused small reduction in the content organic matter and algae.



## 1 - INTRODUÇÃO

A quantidade de água existente na natureza é finita e sua disponibilidade diminui gradativamente devido ao crescimento populacional, à expansão das fronteiras agrícolas e a degradação do meio ambiente. Sendo a água um recurso indispensável à vida, é de fundamental importância a discussão das relações entre o homem e a água, uma vez que a sobrevivência das gerações futuras depende diretamente das decisões que hoje estão sendo tomadas.

Com o crescimento populacional, a humanidade se vê compelida a usar a maior quantidade possível de solo agricultável, o que vem impulsionando o uso da irrigação, não só para complementar as necessidades hídricas das regiões úmidas, como para tornar produtivas as áreas áridas e semi-áridas do globo, que constituem cerca de 55% de sua área continental total. Atualmente, mais de 50% da população mundial depende de produtos irrigados (Werneck *et al.*, 1999).

A utilização das águas residuárias elimina uma fonte potencial de contaminação das águas subterrâneas ou superficiais e mantém a sua qualidade e quantidade para outros fins. A demanda de águas de boa qualidade para fins não potáveis tem criado, nos países com economia altamente desenvolvida a necessidade de se reutilizar as águas de esgotos; assim, muitos dos países em desenvolvimento estão enfrentando situações semelhantes, especialmente nas regiões áridas e semi-áridas, nas quais a disponibilidade limitada de água constitui obstáculo importante ao seu desenvolvimento.

A questão da escassez de recursos hídricos não existe só no Brasil, é um problema de importância mundial. Muitos países padecem com a falta de água potável, tanto para o consumo humano, como para irrigação e outros fins. Surge, então, a necessidade de criar alternativas para preservar em quantidade e qualidade os recursos hídricos existentes no mundo, substituindo o uso de água potável em atividades em que possa ser usada água de qualidade inferior, geralmente, efluentes secundários.

Em decorrência deste aumento de consumo, a utilização de águas de qualidade inferior na irrigação, tornou-se imprescindível. Desta forma, os mananciais de água de boa qualidade podem ser preservados para usos mais nobres. Nesse contexto, os

esgotos domésticos constituem-se em um volume de água considerável, disponível diariamente, numa região onde ocorre grande escassez de água (Ayers & Westcot, 1991).

A agricultura utiliza maior quantidade de água e pode tolerar águas de qualidade inferior que a indústria e o uso doméstico. É inevitável, portanto, que exista crescente tendência para se encontrar, na agricultura, a solução dos problemas relacionados à eliminação de efluentes.

Efluentes de águas residuárias domésticas podem ser uma fonte para a produção agrícola. Como a água doce é limitada para fins domésticos durante os anos de seca em regiões semi-áridas, esta alternativa é particularmente valiosa. Considerando os nutrientes requerido pelas plantas e fertilidade do solo, a água residuária permite economia de custo para valores de nutrientes de água residuária tratada (Ayers, 1999).

Na irrigação localizada o método é relativamente recente e tem recebido pouca atenção para uso com água reciclada. Entretanto, do ponto de vista da saúde pública, semelhantes sistemas são considerados ideais, pois eles são totalmente fechados e evitam problemas para saúde dos trabalhadores.

A relutância por parte de engenheiros projetistas para aplicar efluentes de águas residuárias em irrigação localizada é devido a falta de informações nas fontes especializadas e de um critério racional para projetos e operação de sistemas. Considerando que no Brasil, no meio científico existe pouca ou quase nenhuma informação sobre uso de águas residuárias na de irrigação, esta pesquisa propõe avaliar o comportamento de um sistema de irrigação localizada tipo microaspersão utilizando água residuária tratada por um reator anaeróbico UASB e por uma lagoa de polimento.

### **1.1 - Objetivo Geral**

Este trabalho teve como objetivo principal estudar o efeito de águas residuárias tratadas sobre equipamentos de sistema de irrigação localizada tipo microaspersão.

## 1.2 - Objetivos Específicos

- 1) Parametrização hidráulica dos microaspersores novos;
- 2) Caracterização físico-química e biológica da água residuária para os diferentes tratamentos antes e após a filtração do cabeçal de controle;
- 3) Avaliar o grau de entupimentos, obstruções e desgaste dos emissores e filtros a medida que o sistema operou com a água residuária tratada;
- 4) Caracterização hidráulica dos microaspersores após serem usados com água residuária tratada;
- 5) Quantificar e identificar as algas na água residuária para os diferentes tratamentos ao longo do experimento;
- 6) Avaliar a influência que o tipo de água causará aos emissores resultando em informações úteis para o estabelecimento de estratégias de projeto.

## 2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 - Considerações Gerais

Há poucas regiões do mundo ainda livres dos problemas da perda de fontes potenciais de água doce, da degradação da qualidade da água e poluição das fontes de superfície e subterrâneas. Os problemas mais graves que afetam a qualidade da água de rios e lagos decorrem, em ordem variável de importância, segundo as diferentes situações, de esgotos domésticos tratados de forma inadequada, controles inadequados dos efluentes industriais, perda e destruição das bacias de captação, localização errônea de unidades industriais, desmatamento, agricultura migratória sem controle e práticas agrícolas deficientes (Peixinho & Leal, 1996).

Quase todos os usos que o homem faz da água resultam na produção de resíduos, os quais são novamente incorporados aos recursos hídricos, causando a sua poluição. A poluição orgânica das águas superficiais aumenta a concentração de carboidratos, lipídeos e açúcares nos corpos receptores. Esses compostos orgânicos, ao serem degradados pelos organismos decompositores, principalmente bactérias e fungos, liberam ácidos fracos e sais minerais, entre os quais há compostos de nitrogênio e fósforo. No meio rural, as águas do escoamento podem carrear para os recursos hídricos matéria orgânica (folhas, dejetos de animais), sólidos inorgânicos, pesticidas, fertilizantes e compostos químicos (Mota, 1995).

Segundo Lotti (1981) no passado, o problema de gestão de águas residuárias e reuso de efluentes foi guarnecido por países com economia altamente desenvolvida, resultando numa demanda crescente por uma boa qualidade de água para uso doméstico e industrial. Muitos países em desenvolvimento estão revestidos de uma situação similar, especialmente em regiões áridas e semi áridas, onde a disponibilidade de água é severamente limitada.

Assim, as possibilidades de uso da água estão diminuindo em várias regiões do mundo, ao passo que a demanda por água limpa e sadia está aumentando devido ao crescimento populacional e ao desenvolvimento econômico. Um primeiro passo seria

diminuir a poluição na tentativa de restabelecer a qualidade da água e com isto tornar o recurso reutilizável (Kemper, 1997).

O reuso da água na irrigação é uma alternativa que vem se mostrando viável pelas seguintes razões: em áreas onde as culturas mais necessitam de irrigação a água é, via de regra, escassa; a agricultura irrigada requer grandes volumes de água, que representam a maior demanda de água nas regiões secas; as plantas podem ser beneficiadas não somente pela água mas também, dentro de certos limites pelos materiais dissolvidos nos efluentes, tais como matéria orgânica, nitrogênio, fósforo, potássio e micronutrientes (Pescod, 1992).

## 2.2 - Qualidade da Água para Irrigação

A agricultura irrigada é a atividade humana que demanda maior quantidade total de água. Em termos mundiais estima-se que esse uso responda por cerca de 80% das derivações de água; no Brasil, esse valor supera os 60%. Muito embora a irrigação venha sendo praticada há vários milênios, a qualidade da água só começou a ter importância a partir do início do século XX (Werneck *et al.*, 1999).

A agricultura irrigada depende tanto da quantidade como da qualidade da água; no entanto, o aspecto da qualidade tem sido desprezado devido ao fato de que, no passado, em geral as fontes de água, eram abundantes, de boa qualidade e de fácil utilização; esta situação, todavia, está se alterando em muitos lugares. O uso intensivo de praticamente todas as águas de boa qualidade implica que, tanto nos projetos novos como nos antigos que requerem águas adicionais, tem-se que recorrer às águas de qualidade inferior. Para evitar problemas conseqüentes, deve existir planejamento efetivo que assegure melhor uso possível das águas, de acordo com sua qualidade. A qualidade da água reflete a sua adaptabilidade para determinado uso, isto é, se suas características físicas, químicas e biológicas são adequadas a necessidade do usuário (Lima, 1998).

Sob o ponto de vista da agricultura entre as características mais importantes em relação ao rendimento e qualidade das culturas, manutenção da produtividade do solo e proteção do meio ambiente, destacam-se a concentração total de sais solúveis, a concentração relativa de sódio e pH.

De acordo com Miranda (1995) a principal vantagem da utilização de águas residuárias na irrigação reside na recuperação de um recurso da maior importância na agricultura – a água. Além disso, os constituintes das águas residuárias, ou pelo menos sua maioria, são produtos que podem aumentar a fertilidade dos solos por conter nutrientes essenciais a vida das plantas. Por outro lado, melhoram também a aptidão agrícola dos solos, devido a matéria orgânica que lhes adicionam com a conseqüente formação de húmus. A reutilização de águas residuárias oferece ainda vantagens do ponto de vista da proteção do ambiente na medida em que proporciona a redução ou mesmo a eliminação da poluição dos meios hídricos habitualmente receptores dos efluentes. Paralelamente dá-se a recarga dos aquíferos, beneficiados com a melhoria de qualidade da água derivada da depuração proporcionada aos efluentes através da percolação no solo.

Usos específicos podem ter diferentes requisitos de qualidade; assim, uma água pode ser considerada de melhor qualidade, se produzir melhores resultados, ou causar menos problemas; por exemplo: uma água de rio que pode ser considerada de boa qualidade para determinado sistema de irrigação mas pode, por sua carga de sedimentos, ser inaceitável para uso urbano, sem antes ser tratada para extrair tais sedimentos (Ayers & Westcot, 1991).

### **2.2.1 - Qualidade da água quanto a salinização**

As águas que se destinam irrigação devem ser avaliadas principalmente sob três aspectos de sua matriz iônica: salinidade, sodicidade e toxicidade de íons, variáveis fundamentais na determinação agronômica das mesmas (Holanda & Amorim, 1997).

A qualidade da água para irrigação nem sempre é definida com perfeição. Muitas vezes, sob o título de qualidade de água, refere-se à sua salinidade, com relação à quantidade total de sólidos dissolvidos, expressa em  $\text{mg L}^{-1}$ , ppm ou por meio de sua condutividade elétrica  $\text{dS m}^{-1}$  (deciSiemens por metro). Porém, para que se possa fazer correta interpretação da qualidade da água para irrigação, os parâmetros analisados devem estar relacionados com seus efeitos no solo, na cultura e no manejo da irrigação, os quais serão necessários para controlar ou compensar os problemas relacionados com a qualidade da água (Bernardo, 1995).

A qualidade da água de irrigação pode variar significativamente, segundo o tipo e a quantidade de sais dissolvidos. Os sais encontram-se em quantidades relativamente pequenas, porém significativas, e têm sua origem na dissolução ou intemperização das rochas e solos, incluindo a dissolução lenta do calcário, do gesso e de outros minerais, além de serem transportados pelas águas de irrigação e depositados no solo, onde se acumulam a medida em que a água se evapora ou é consumida pelas culturas. A medida em que a qualidade da água piora, o controle da salinidade torna-se mais difícil; portanto, a proporção em que a salinidade aumenta, deve-se tomar maior cuidado em lixiviar os sais da zona radicular, antes que alcancem concentrações perigosas e provoquem perdas (Ayers, 1999).

A salinidade pode ser expressa sob modos distintos, dependendo do método e objetivo de medição. As medidas mais usadas para expressar a quantidade de sais solúveis na água são: a condutividade elétrica (CEa), os sólidos dissolvidos totais (SDT), a concentração total de cátions solúveis (TCS) e concentração total de ânions solúveis (TAS). Por razões de conveniência analítica e por apresentar uma adequada precisão, a condutividade elétrica é uma medida amplamente usada como indicador de salinidade (Pescod, 1992).

Segundo Rhoades *et al.* (1992), a condutividade elétrica da água de irrigação (CEa), apresenta as seguintes relações com outros parâmetros de salinidade:

- ◆  $SDT (mg L^{-1}) \cong CEa \times 640 (0,1 < CEa < 5,0 dS m^{-1})$ .
- ◆  $SDT (mg L^{-1}) \cong CEa \times 800 (CEa > 5,0 dS m^{-1})$
- ◆ Soma de cátions ou ânions ( $mmol_e L^{-1}$ )  $\cong CEa \times 10 (0,1 < CEa < 5,0 dS m^{-1})$
- ◆ Força iônica ( $mol L^{-1}$ )  $\cong CEa \times 0,0127$
- ◆ Pressão osmótica (kPa)  $\cong CEa \times 0,40 \cdot 10^{-2} (3 < CEa < 30 dS m^{-1})$ .
- ◆ Logarítmico dos sais solúveis totais ( $mmol_e L^{-1}$ ) equivale a aproximadamente  $0,990 + 1,055 \log CEa$

Numa avaliação qualitativa, as águas se dividem em quatro classes de salinidade, à medida que aumenta a concentração de sais e conseqüentemente sua condutividade elétrica, recebendo denominações sucessivas de C1, C2, C3 e C4 com limites apresentados por Richards (1954) e, por conveniência, também adotados como

índices de salinidade por Frenkel (1984), apresentamos também a classificação de Ayers & Westcot (1991), conforme mostra a Tabela 1, com as seguintes interpretações:

C<sub>1</sub>- água de baixa salinidade. Pode ser usada para irrigação da maioria das culturas, em quase todos os tipos de solos, com muita pouca probabilidade de que se desenvolvam problemas de salinidade. Se necessário alguma lixiviação de sais, esta é conseguida em condições normais de irrigação, exceto em solos de muita baixa permeabilidade.

C<sub>2</sub>- água de média salinidade. Pode ser usada sempre e quando houver uma lixiviação moderada de sais. Em quase todos os casos se adequam ao cultivo de plantas moderadamente tolerante aos sais, sem necessidade de práticas especiais de controle de salinidade.

C<sub>3</sub>- água de alta salinidade. Não pode ser usada em solos com drenagem deficiente. Mesmo com drenagem adequada pode ser necessário práticas especiais de controle da salinidade, devendo, portanto, ser utilizada na irrigação de espécies de vegetais de alta tolerância aos sais. Os riscos apresentados por esta classe de água podem ser amenizados quando do emprego do método de irrigação localizada mantendo o solo continuamente úmido.

C<sub>4</sub>- água de muita salinidade. Não é propícia para irrigação sob condições normais, porém pode ser usada ocasionalmente, em circunstâncias muito especiais. Os solos devem ser permeáveis, a drenagem adequada, devendo ser aplicada água em excesso para se obter uma boa lixiviação de sais e, mesmo assim devem ser explorados com culturas altamente tolerantes aos sais.

Tabela 1-Classificação da água para irrigação quanto ao risco de salinidade

Classe de Salinidade	Richards (1954) UCCC1		Risco de Salinidade	Ayers & Westcot (1991)	
	Faixas de CEa (dS m <sup>-1</sup> )			Faixa de CEa: (dS m <sup>-1</sup> )	Problemas de Salinidade
C1	<0,25	<0,75	Baixo	<0,7	nenhum
C2	0,25-0,75	0,75-1,50	Médio	0,7-3,0	moderado
C3	0,75-2,25	1,50-3,00	Alto	>3,0	severo
C4	>2,25	>3,00	Muito Alto	-	-

Fonte: Frenkel (1984) citado por Richards (1954).



### 2.2.2 - Aspectos sanitários do uso de águas residuárias na irrigação

O destino final de qualquer efluente urbano é o encaminhamento a um corpo de água ou infiltrações no solo. Em consequência desse lançamento, aparece a possibilidade de virem a ser gerados certos inconvenientes, como por exemplo, poluição orgânica, contaminação e eutrofização. A saúde pública pode ser ameaçada pela contaminação das águas de abastecimento, dos balneários e dos gêneros alimentícios. Numerosas doenças, como por exemplo: o cólera, a febre tifóide, a disenteria e a hepatite infecciosa podem ser disseminados por veiculação hídrica; é possível que as águas de um rio se tornem impróprias para o uso agrícola ou abastecimento público. A finalidade do tratamento dos despejos é manter os corpos de água livres de inconvenientes desse gênero. As substâncias dos esgotos podem ser integralmente recuperadas pela irrigação agrícola em grande escala, pois, de acordo com as regras do cultivo do solo, são necessárias áreas extensas para o aproveitamento eficiente do nitrogênio contido nas águas servidas.

As águas residuárias domésticas contêm microorganismos patogênicos excretados pelas pessoas doentes, que provocam enfermidades entéricas, como as diarreias, tifo, hepatite etc. Esses agentes são vírus, bactérias, protozoários e helmintos que, geralmente, estão presentes em concentrações elevadas nessas águas e são transmitidos por verdura e outros alimentos consumidos crus, manipulação inadequada de alimentos e pela falta de higiene pessoal. Para que se evite o contágio de homens e animais pelos ovos de vermes e pelos germes patogênicos, recomenda-se a delimitação das faixas de segurança junto às comunidades, às rodovias importantes, às estradas de ferro, aos pomares e às hortas. As pastagens ou plantações de forragem não devem ser irrigadas durante um período de no mínimo uma semana antes da ocupação ou da colheita. As batatas para uso alimentar não podem ser irrigadas após a floração (Imhoff & Imhoff, 1986).

No Brasil ainda não existem padrões elaborados especificamente para regularizar a utilização de águas residuárias em irrigação agrícola. Entretanto, podem ser empregadas as normas de classificação de água para usos múltiplos proposta pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA, 1986) e da Organização Mundial da Saúde (OMS).

Um Grupo de Especialistas da OMS em aproveitamento de efluentes reconheceu que as normas extremamente restritas fixadas na Califórnia não encontravam evidências epidemiológicas e recomendou novos padrões sobre qualidade microbiológica da água utilizada na irrigação irrestrita de verduras consumidas cozidas. Segundo esta, o número de coliformes totais não pode ser maior que 100 CF (100 mL)<sup>-1</sup>, representando uma liberação com relação à medida anterior. Os especialistas concluíram que era necessário estabelecer-se uma base epidemiológica mais sólida para os padrões microbiológicos sobre a irrigação com águas residuárias e recomendaram que o assunto seja estudado plenamente.

Com base nas evidências epidemiológicas, recomenda-se um padrão bacteriológico de uma média geométrica de 1000 CF (100 mL)<sup>-1</sup> de água para irrigação irrestrita de qualquer cultura, o que é considerado tecnologicamente viável. Segundo Ayers & Westcot (1991) os especialistas da OMS chegaram à conclusão de que compõem o único grupo exposto, já que são poucas ou nulas as provas de que esses trabalhadores estão expostos ao risco de infecção por bactérias nas águas residuárias empregadas para qualquer fim.

Shuval *et al.* (1986) analisaram estudos epidemiológicos disponíveis sobre o uso de águas residuárias na agricultura e chegaram às seguintes conclusões:

- ◆ a irrigação de cultivos com águas residuárias sem tratamento provoca nos consumidores e nos agricultores um número elevado de infecções endêmicas por nematóides intestinais;
- ◆ a irrigação de cultivos com águas residuárias tratadas causa poucas infecções intestinais por nematóides aos agricultores e consumidores dos produtos;
- ◆ a cólera e a febre tifóide podem ser transmitidas com a irrigação de verduras com águas residuárias sem o tratamento prévio;
- ◆ a irrigação de forrageiras com águas residuárias sem tratamento pode infectar o gado, com *Cystecercus bovis* (o estado larval da *Taenia saginata* do gado bovino); embora existam provas de um risco real apenas para a infecção humana;
- ◆ existem provas limitadas de que nas comunidades com bons hábitos higiênicos a saúde dos habitantes próximos às áreas irrigadas com águas residuárias sem tratamento, pode ser afetada pelo contato direto com o solo ou pelo contato com os agricultores;

◆ a irrigação com águas tratadas por aspersão pode disseminar limitada quantidade de vírus e de bactérias, porém não foi detectado risco real de transmissão de enfermidade por esta via. Apesar disso, recomenda-se que não se deve irrigar por aspersão a uma distância menor que 50 a 100 m das casas ou vias públicas.

Para o uso de águas residuárias na agricultura é requisito fundamental a informação sobre as características do efluente que se utilizará e da área a ser irrigada. Os três componentes básicos que devem combinar-se são:

- ◆ os tipos de cultivo;
- ◆ os métodos de irrigação;
- ◆ as práticas de manejo.

Em relação as águas de irrigação, a Resolução CONAMA nº20,18/06/1986, classifica as águas, no território nacional segundo o uso preponderante que pretende-se dar à água. Nessas resoluções, as águas para irrigação estão incluídos nas classe 1, 2 e 3, descritas abaixo:

#### Classe 1

As águas destinadas a irrigação de hortaliças que são consumidas cruas e de plantas frutíferas que se desenvolvem rentes ao solo e que sejam ingeridas cruas, sem a remoção de casca e película, não devem ser poluídas por excrementos humanos, ressaltando-se a necessidade de inspeções sanitárias periódicas. Para os demais usos esta água, não deverá ter valor superior ao limite de 200 coliformes fecais por 100 mL em 80% ou mais de pelo menos 5 amostras mensais colhidas em qualquer mês; no caso de não haver na região meios disponíveis para o exame de coliformes fecais o índice limite será de 1000 coliformes fecais por 100 mL em 80% ou mais de pelo menos 5 amostras mensais colhidas em qualquer mês.

#### Classe 2

As águas usadas na irrigação de hortaliças ou plantas frutíferas, em geral, não deverão exceder um limite de 1000 coliformes fecais por 100 mL em 80% ou mais de pelo menos 5 amostras mensais colhidas em qualquer mês; no caso de não haver recursos disponíveis, na região, para o exame de coliformes fecais, o índice limite será de até 5000

coliformes totais por 100 mL em 80% ou mais de pelo menos 5 amostras mensais colhidas em qualquer mês.

### Classe 3

As águas desta classe são usadas apenas na irrigação de culturas arbóreas, cerealíferas e forrageiras para o número de coliformes fecais até 4000 por 100 mL em 80% ou mais de pelo menos 5 amostras mensais colhidas em qualquer mês; e no caso de não haver, na região, meios disponíveis para o exame de coliformes fecais, o índice limite será de 20000 coliformes totais por 100 mL em 80% ou mais de pelo menos 5 amostras mensais colhidas em qualquer mês.

Essa classificação estabelece um limite tolerável de contaminação de hortaliças e nas águas de irrigação, minimizando o perigo da transmissão de doenças entéricas para a população. A Tabela 2 apresenta as diretrizes recomendadas para a qualidade microbiológica quanto ao uso de águas residuárias na irrigação.

**Tabela 2-Diretrizes recomendadas para a qualidade microbiológica das águas residuárias utilizadas na agricultura**

Categoria	Condições de reuso	Grupo Exposto	Nematóides intestinais (c) (média aritmética n° de ovos L <sup>-1</sup> ) (d)	Coliformes fecais (média geométrica por 100 mL <sup>-1</sup> ) (d)	Trat. necessário p/ atingir a qualidade microbiológica exigida
A	Irrigação de culturas prováveis de serem consumidas cruas, Campos desportivos, Jardins públicos (e)	Trabalhadores, Consumidores, Público	≤1	≤1.000 (d)	Lagoas de estabilização em série projetadas p/ a qualidade microbiológica requerida.
B	Irrigação de culturas De cereais, industriais, forrageiras e pastos e árvores (f)	Trabalhadores	<1	Nenhum padrão recomendado	Detenção de lagoas de estabilização por 8 a 10 dias ou remoção equivalente de helmintos e col. fecais.
C	Irrigação localizada de culturas na Categoria B, não ocorrendo a exposição de trabalhadores e do público.	Nenhum	Não aplicável	Não aplicável	Tratamento prévio segundo necessidade da tecnologia de irrigação, porém não menos que sedimentação primária

(a) Fonte: modificada de WHO (1989).

(b) Em casos específicos as orientações devem ser modificadas em função de levantamento epidemiológicos locais, fatores sócio culturais e ambientais.

(c) Espécies de *Ascaris*, *Trichuris* e lombrigas.

(d) Enquanto durar o período de irrigação.

(e) Para gramados públicos é recomendável uma orientação mais restrita (menos do que 200 coliformes fecais por 100ml, como por exemplo para gramados de hotéis, um dos casos em que o público pode vir a ter contato direto.

(f) No caso de árvores frutíferas a irrigação deve cessar duas semanas antes da fruta ser colhida e nenhuma fruta deve ser apanhada do chão. A irrigação por aspersão não deve ser empregada.

### 2.2.3 - Vantagens e limitações do uso de águas residuárias

A irrigação com águas residuárias está aumentando, notadamente nos últimos anos, devido:

- ◆ à disponibilidade permanente de água residuária;
- ◆ ao aporte de grande quantidade de nutrientes;
- ◆ ao aumento do rendimento dos cultivos;
- ◆ à melhoria da qualidade dos solos (estrutura);
- ◆ à ampliação da fronteira agrícola.

As áreas agrícolas próximas às cidades, além de abastecerem com alimentos, também contribuem para a recarga do aquífero, para oxigenação do ambiente urbano e para manter um nível mais ou menos estável de precipitação.

Mesmo quando essas importantes vantagens justificam amplamente o uso das águas residuárias na agricultura, existem várias restrições ou riscos potenciais que devem ser considerados, dentre os quais se destacam:

- ◆ a contaminação microbiológica dos produtos;
- ◆ a bioacumulação de elementos tóxicos;
- ◆ a salinização e impermeabilização do solo;
- ◆ desequilíbrio de nutrientes no solo.

No entanto, existem diversas estratégias de manejo agrícola que podem reduzir significativamente esses riscos potenciais.

A reutilização de águas residuárias oferece ainda vantagens do ponto de vista da proteção do ambiente na medida em que proporciona a redução ou mesmo a eliminação da poluição dos meios hídricos habitualmente receptores dos efluentes. Paralelamente dá-se a recarga dos aquíferos, beneficiados com a melhoria de qualidade da água derivada da depuração proporcionada aos efluentes através da percolação no solo (Miranda, 1995). A Tabela 3 mostra os vários métodos de irrigação quanto ao uso de água residuária tratada.

**Tabela 3 - Avaliação dos vários métodos de irrigação quanto ao uso de água residuária tratada**

Parâmetros de Avaliação	Irrigação por Sulcos	Irrigação por Bacias	Irrigação por Aspersão	Irrigação Localizada
1 Molhamento de folhas e conseqüentes danos as folhas resultando em pobreza no rendimento.	Não há injúria foliar quanto as culturas plantadas sobre cumes	Algumas folhas inferiores podem ser afetadas mas o prejuízo não é tão sério quanto a redução do rendimento.	Podem ocorrer severos danos as folhas resultando em significativa perda no rendimento	Não ocorre prejuízo foliar debaixo deste sistema de irrigação
2 Com repetidas aplicações há acumulação de sais na zona radicular	Tendência de acúmulo de sais no cume podendo causar danos a cultura	Movimento de sais verticalmente para baixo e provavelmente não acúmulo de sais na zona radicular	Há movimento de sais abaixo da zona radicular e não são provavelmente para acúmulo de sais	Movimento de sais ao longo da direção radial do movimento da água. Os sais retidos na cunha são entre os pontos dos gotejadores
3 Capacidade para manter a energia potencial da água no solo	Plantas podem ser sujeitas ao stresse hídrico entre irrigações	Plantas podem ser sujeitas ao stresse hídrico entre irrigações.	Impossibilidade para manter a energia potencial da água no solo dentro da vala na época de crescimento	Possibilidade para manter a energia potencial da água no solo dentro da vala na época do crescimento e para minimizar o efeito da salinidade
4 Sustentabilidade para manejar brackish água residuária sem significativa perda do rendimento	Com boa gestão e drenagem aceitáveis rendimentos são possíveis	Mercado para intermediário. Eficiente prática de irrigação e drenagem podem produzir aceitáveis níveis de rendimento.	Pobreza para mercado. Muitas culturas sofrem danos as folhas e perda no rendimento.	Excelente e Boa. Quase todas as culturas podem crescer com mínima redução no rendimento.

Fonte: Kandiah (1990) citado por Pescod (1992).

## 2.3 - Digestão Anaeróbia

### 2.3.1 - Reator Anaeróbio de Fluxo Ascendente e Manta de Lodo

O Digestor Anaeróbio de Fluxo Ascendente (UASB) é o sistema mais usado de tratamento anaeróbio de esgoto a taxa elevada. O dispositivo mais característico do reator UASB é o separador de fases. Este separador é colocado no reator e o divide em

uma parte inferior ou zona de digestão, onde há um leito (manta) de lodo responsável pela digestão anaeróbia, e uma parte superior ou zona de sedimentação.

A água residuária entra no reator e segue uma trajetória ascendente, passando pela zona de digestão, atravessando uma abertura existente no separador de fases e entrando para a zona de sedimentação. Quando a água residuária entra no reator, há uma mistura do material orgânico nela presente com o lodo anaeróbio presente na zona de digestão, havendo então digestão anaeróbia o que resulta na produção de biogás e no crescimento do lodo. O líquido escoar na direção ascendente e passa pelas aberturas que existem no separador de fases para a parte superior do reator. Devido a formação do separador de fases, a área disponível para o escoamento ascensional do líquido na parte superior aumenta na medida em que o líquido se aproxima da superfície de água. Correspondentemente, a velocidade do líquido tende a diminuir. Desse modo, flocos de lodo que são arrastados e passam pelas aberturas no separador de fases para a parte superior do reator, encontrarão uma zona tranqüila. Nessa zona é possível que a velocidade de sedimentação de uma partícula se torne maior que a velocidade de arraste pelo líquido numa determinada altura. Neste caso, a partícula acabará sendo depositada sobre a superfície inclinada do separador de fases. As bolhas de biogás que se formam na zona de digestão, sobem na fase líquida até encontrarem uma interface líquido-gás, presente abaixo do separador de fases. Nesta interface as bolhas se desprendem, formando uma fase gasosa (van Haandel & Lettinga, 1994).

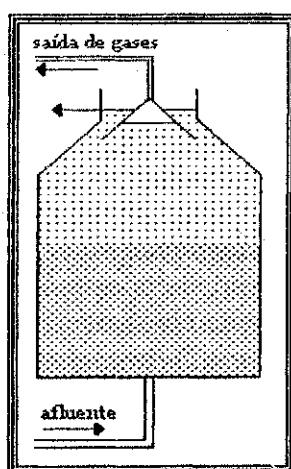


Figura 1- Esboço do reator UASB



### 2.3.2 - Sistema UASB - Lagoa de Polimento

O pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios através de lagoas de polimento tem sido uma forma usual no Brasil, ainda que poucos relatos tenham sido feitos. A utilização de lagoas como unidades finais do sistema de tratamento objetiva dar polimento a qualquer tipo de efluente, visando principalmente a melhoria da qualidade higiênica mas, paralelamente também a redução da Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) e Sólidos Totais Suspensos (STS) do efluente anaeróbio.

As lagoas de polimento são reatores dimensionados levando em conta critérios que favorecem o decaimento dos organismos patogênicos, que vivem no intestino humano ou de animais. Fora do habitat tendem a morrer sendo que fatores que aceleram são: temperatura, radiação solar, compostos tóxicos, competitividade de espécies e pH.

Em se tratando da utilização de lagoas de maturação como unidade de pós-tratamento, citam-se os efeitos letais sobre os organismos patogênicos dos raios ultravioletas, elevados valores de pH (acima de 8,50) e elevada concentração de oxigênio dissolvido (Chernicharo & van Haandel, 2001).

A digestão anaeróbia pode ser considerada como um ecossistema onde diversos grupos de microrganismos trabalham interativamente na conversão da matéria orgânica complexa em metano, gás carbônico, água, gás sulfídrico e amônia, além de novas células bacterianas.

Os microrganismos que participam do processo de decomposição anaeróbia podem ser divididos em três importantes grupos de bactérias, com comportamentos fisiológicos distintos:

- ◆ primeiro grupo é composto de bactérias hidrolíticas;
- ◆ segundo grupo é formado pelas bactérias acetogênicas;
- ◆ os produtos finais do segundo grupo são os substratos essenciais para o terceiro grupo, que por sua vez constitui dois diferentes grupos de bactérias metanogênicas.

A digestão anaeróbia é particularmente suscetível a condições ambientais, uma vez que o processo requer uma interação das bactérias de fermentação ácida e

metanogênica. Dessa forma, o sucesso do processo depende de um balanço delicado do sistema ecológico. Embora o processo de digestão anaeróbia seja simplificada considerada como duas fases, este pode ser subdividido em quatro fases principais, como a seguir (Chernicharo, 1997).

#### ◆ **Hidrólise**

Uma vez que as bactérias não são capazes de assimilar a matéria orgânica particulada, a primeira fase no processo de degradação anaeróbia consiste na hidrólise de materiais particulados complexos (polímeros), em materiais dissolvidos mais simples (moléculas menores), que são solúveis. Esta conversão de materiais particulados em materiais dissolvidos é conseguida através da ação de exoenzimas excretadas pelas bactérias fermentativas hidrolíticas (Chernicharo, 1997).

#### ◆ **Acidogênese**

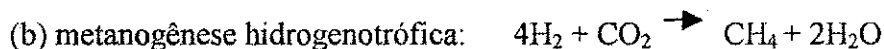
Os compostos dissolvidos, gerados no processo da hidrólise ou liquefação, são adsorvidos nas células das bactérias acidogênicas e convertidas em substâncias orgânicas simples como ácidos graxos voláteis (AGV), álcoois, ácido láctico e compostos minerais como  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2$ ,  $\text{NH}_3$ ,  $\text{H}_2\text{S}$  etc. A fermentação acidogênica é realizada por um grupo diversificado de bactérias, das quais a maioria é anaeróbia obrigatória. Entretanto, algumas espécies são facultativas e podem metabolizar o material orgânico pela via oxidativa. Isto é importante nos sistemas de tratamento anaeróbio de esgoto, porque o oxigênio dissolvido eventualmente presente poderia se tornar uma substância tóxica, se não fosse removido pela acidogênese facultativa (van Haandel & Lettinga, 1994).

#### ◆ **Acetogênese**

As bactérias acetogênicas são responsáveis pela oxidação dos produtos gerados na fase acidogênica em substrato apropriado para as bactérias metanogênicas. Dessa forma, as bactérias acetogênicas fazem parte de um grupo metabólico intermediário, que produz substrato para as metanogênicas. Os produtos gerados pelas bactérias acetogênicas são o hidrogênio e o acetano (Chernicharo, 1997).

### ◆ Metanogênese

A metanogênese, em geral, é o passo que limita a velocidade do processo de digestão como um todo, embora a temperatura abaixo dos 20 °C a hidrólise possa se tornar limitante. Metano é produzido pelas bactéria acetotróficas a partir da redução de ácido acético ou pelas bactérias hidrogenotróficas a partir da redução de dióxido de carbono. Tem-se as seguintes reações catabólicas:



As bactérias que produzem metano a partir de hidrogênio crescem mais rapidamente que aquelas que usam ácido acético, de modo que as metanogênicas acetotróficas geralmente limitam a taxa de transformação de material orgânico complexo presente no esgoto para biogás.

Os diferentes grupos de bactérias que transformam o material orgânico afluyente têm todos atividade catabólica. Desse modo, paralelo à liberação de diferentes produtos de fermentação, há a formação de novas células, dando origem a quatro populações bacterianas no digestor anaeróbio. Por conveniência, muitas vezes os três primeiros processos juntos são chamados de fermentação ácida, que deve ser completada com a fermentação metanogênica (van Haandel & Lettinga, 1994).

Com isto, diversos países são forçados a praticar a reciclagem da água que utilizam diariamente, surgindo assim o reuso de águas residuárias. No Brasil, a prática do reuso de águas residuária é ainda pequena, podendo no futuro próximo ser difundida em virtude das necessidades de água. O aproveitamento das águas residuárias, principalmente para a irrigação, além de constituir uma valiosa fonte, economizando água de boa qualidade que pode ser usada para outros fins, evita que os esgotos sejam lançados indiscriminadamente em corpos aquáticos.

A utilização de efluentes urbanos na irrigação está se tornando essencial para atender ao aumento da demanda de produção de alimentos e, além disso, este reuso de água pode tornar-se um importante componente das estratégias de manejo usadas para manter a produtividade dos sistemas agrícolas existentes, enquanto preserva os recursos

hídricos, uma vez que a grande maioria desses efluentes são depositados em rios e córregos com pouco ou nenhum tratamento prévio poluindo o solo e águas tanto superficiais quanto as subsuperficiais, podendo ainda atingir depósitos subterrâneos por percolação profunda, com conseqüências imprevisíveis para o homem.

#### **2.4 - Uso de Efluentes na Irrigação**

A prática da irrigação, em muitas situações, é a única maneira de garantir a produção agrícola com segurança, principalmente em regiões tropicais de clima quente e seco, como é o caso do semi-árido do Nordeste brasileiro, onde ocorre déficit hídrico na maior parte do ano.

No Brasil, existem poucos registros sobre a utilização de efluentes domésticos para irrigação. Entretanto, isto não significa que não ocorra e, de forma indiscriminada, haja visto que a maioria dos municípios brasileiros (92%), não dispõem de qualquer tipo de tratamento de esgotos (Cabes, 1994). Contudo, esta irrigação deve ser feita de maneira criteriosa, para evitar riscos à cultura, ao meio ambiente, aos trabalhadores agrícolas e aos consumidores.

Reutilizar águas residuárias na irrigação constitui uma prática que oferece vantagens, mas também apresenta inconvenientes, cuja compensação compete aos técnicos implementar, na medida dos conhecimentos disponíveis dos fatores condicionantes da interação água residuária solo-planta.

#### **2.5 - Componentes de um Sistema de Irrigação Localizada**

A utilização de sistemas de irrigação mais eficientes é uma busca constante na agricultura irrigada, pois existe uma tendência irreversível de aumento no custo da energia e de redução da disponibilidade hídrica nos mananciais. Faremos uma abordagem dos principais componentes de um sistema de irrigação localizada. Em geral, os sistemas de irrigação localizada são fixos e constituídos das seguintes partes:

- ◆ cabeçal de controle;
- ◆ linha principal;
- ◆ linha terciária;
- ◆ linha lateral;
- ◆ emissores.

◆ **Cabeçal de Controle:** o cabeçal de controle juntamente com os emissores constituem as principais partes de um sistema de irrigação localizada. Sua composição pode variar muito segundo os casos. Por exemplo, há instalações em que os fertilizantes se aplicam no próprio cabeçal mas que em outras aplicações se realizam na origem das unidades de irrigação. Com frequência os sistemas de irrigação localizada apresentam alguns problemas que estão relacionados geralmente com as obstruções dos emissores e uma solução típica consiste na filtragem, porém há situações em que a filtragem deve completar-se com um tratamento periódico de água. Tal é o caso, por exemplo, da presença de algas que não são retidas pelos filtros e que podem obstruir alguns emissores de passagem muito estreita. A solução para este problema consiste no tratamento da água com oxidantes como o hipoclorito de sódio. Outro caso em que é necessário é a aplicação de ácidos para eliminar os precipitados calcáreos. A aplicação destes tratamentos se pode fazer de formas muito diversas. Quando a água é bombeada desde o depósito, se pode ingerir o produto químico no próprio depósito, ou incorporá-lo lentamente por meio de um emissor (Pizarro, 1996). O entupimento dos emissores (microaspersor ou gotejador) é um dos principais problemas que encontramos na irrigação localizada. Os principais agentes causadores do entupimento dos emissores são partículas sólidas minerais, partículas orgânicas e precipitações (Bernardo, 1995). O cabeçal de controle é constituído por:

◆ **Filtro de areia:** os filtros de areia são geralmente usados para reter as algas e as partículas de maiores diâmetros, ficando para o filtro de tela a função de reter as partículas de menor diâmetro. O filtro de areia consiste em um cilindro contendo camadas de cascalho e de areia. O cascalho e a areia devem ser bem lavados. Estes materiais podem ser substituídos por materiais de origem vulcânica ou sintética. (Bernardo, 1995). A limpeza se realiza invertendo o sentido da circulação da água. Convém instalar sempre um mínimo de dois filtros, com o objetivo de que a limpeza por circulação inversa de um filtro se utilize com água previamente filtrada por outro. Quando os filtros de areia estão limpos provocam

uma perda de carga da ordem de 10 a 20 kPa, dependendo do tipo de areia e da velocidade média da água. A medida que as partículas vão se sedimentando, a perda de carga aumenta e quando alcança um valor da ordem de 40 a 60 kPa se deve proceder a sua limpeza por meio da inversão de fluxo (retrolavagem). Para conhecer o momento em que a limpeza é necessária se deve medir a pressão antes e depois do filtro. Para isto é conveniente instalar tomadas para manômetro de conexão rápida e utilizar o mesmo manômetro para as leituras antes e depois, com o objetivo de que a descalibração dos manômetros não afete a diferença de leituras. A velocidade de limpeza deve ser da ordem de 40 m h<sup>-1</sup>, o que se regula acionando as correspondentes válvulas. Se a limpeza se realiza com água não filtrada previamente se corre o risco de que se acumulem impurezas na interface água-areia de água abaixo, de maneira que o filtro ao funcionar novamente, essas impurezas se transportam na rede de irrigação (Pizarro, 1996).

♦ **Filtro de tela ou de disco:** os filtros de tela são simples e proporcionam um eficiente método de filtragem. Eles têm em geral, uma forma cilíndrica, e são constituídos de um recipiente de plástico ou de metal não corrosivo e de um cesto móvel (geralmente do mesmo material) o qual é revestido por uma tela. O diâmetro dos orifícios e a superfície total da tela, determinam a eficiência desses filtros de tela. É comum usar telas com número de malha 120 ( $\phi = 0,14$  mm). De igual modo como os filtros de areia, os filtros de tela ou disco provocam uma perda de carga que cresce a medida que aumenta a sedimentação na superfície do elemento filtrante. Quando está limpo a perda de carga é da ordem de 10 a 30 kPa, dados que devem ser fornecidos pelos fabricantes. Quando a perda de carga alcança um valor da ordem de 40 a 60 kPa, há que proceder sua limpeza. Quando se permite maiores perdas de carga do filtro perde a sua eficácia e pode chegar a romper a malha (Bernardo, 1995).

♦ **Injetor de fertilizante:** a fertilização, ou seja, a aplicação de fertilizantes, através da irrigação, é uma parte integral do sistema de irrigação localizada. Ela é uma das maneiras mais eficientes e econômicas de aplicar fertilizantes às plantas, principalmente em regiões de climas áridos e semi-áridos. Pois em se aplicando os fertilizantes em menor quantidade por vez, mas com frequência é possível manter um nível uniforme de nutrientes no solo durante o ciclo vegetativo da cultura, o que aumentará a eficiência de uso dos nutrientes pela plantas e, em conseqüência, aumentará a sua produtividade (Bernardo, 1995).

- ♦ **Linha Principal:** consiste na tubulação que conduz a água a ser distribuída pela linha de microaspersores e está diretamente ligada à bomba.
  
- ♦ **Linha Terciária:** é a tubulação que alimenta diretamente as linhas laterais. Geralmente no início de cada terciária se coloca um regulador de pressão, que algumas vezes é automático e outras consiste simplesmente em uma válvula de comporta seguida de um manômetro (Pizarro, 1996)
  
- ♦ **Linha Lateral:** as linhas laterais são as linhas nas quais estão instalados os emissores que aplicam água junto às plantas. As linhas laterais devem ser dispostas em nível, são constituídas de tubos de polietileno flexível com diâmetro, variando de 12 a 32 mm. As linhas laterais são espaçadas ao longo das derivações com distâncias preestabelecidas, normalmente determinadas em função do espaçamento entre as plantas (Bernardo, 1995).
  
- ♦ **Emissores:** os emissores são dispositivos instalados nas laterais com a função de controlar a saída d'água para o solo. A denominação de emissor é função do tipo de irrigação localizada. A maioria dos emissores trabalham a uma pressão próxima a 100 kPa, ainda que os de alta vazão podem chegar a 200 kPa, e as mangueiras de exudação trabalham entre 10 e 30 kPa.

Conforme Pizarro (1996) denomina-se de microaspersores a todos os emissores que pulverizam água. A diferença fundamental com os demais emissores de irrigação localizada é que nos microaspersores a água uma vez pulverizada se distribui pela área até distâncias variáveis, e alcança o solo molhando uma superfície considerável. Os microaspersores trabalham normalmente a pressões de 100 a 200 kPa, o raio de alcance é da ordem de 1 a 3 m e a vazão de 20 a 150 Lh<sup>-1</sup>.

## 2.6- Hidráulica dos Emissores

### 2.6.1 - Padrão de distribuição de água

O conhecimento da área molhada, raio de alcance efetivo e uniformidade de precipitação dos emissores são de primordial importância para o dimensionamento de um sistema de irrigação e para um manejo racional de água. Quando adequadamente dimensionado e operado, os sistemas de irrigação localizada revelam elevados níveis de uniformidade de distribuição e eficiência de aplicação.

De acordo com Heinemann (1997), a uniformidade de distribuição de água e a eficiência da irrigação, se caracteriza pela quantidade de água necessária ao desenvolvimento e ao rendimento de uma determinada cultura. A uniformidade de distribuição de água pode ser afetada por fatores climáticos e operacionais; os fatores climáticos são evaporação, temperatura do ar, umidade relativa e velocidade do vento. Os fatores operacionais são aqueles relacionados a causas hidráulicas.

A baixa uniformidade de distribuição de água pode ser atribuída a muitas causas. Para efeito de avaliação de sistemas já instalados Bralts & Kesner (1983) agrupam as causas em duas classes:

- a) causas hidráulicas - todas aquelas que afetam a pressão de operação dos emissores, podendo ser oriundas de um projeto hidráulicamente mal concebido, da falta de reguladores de pressão ou desajustes desses reguladores, elevada perda de carga, elevado desnível geométrico etc.
- b) baixa uniformidade dos emissores - decorrente do alto coeficiente de variação de fabricação e/ou da obstrução dos emissores.

De acordo com Solomon (1979), um dos fatores mais importantes, quando se aplica água às plantas através de sistemas localizados, é a sua uniformidade de distribuição de água, a qual é função da interação dos diversos componentes do sistema de forma global e principalmente, a uniformidade de operação da subunidade de irrigação. Acrescenta ainda que os principais fatores que afetam a uniformidade de distribuição de água numa subunidade são, pôr ordem de importância:



- ◆ entupimentos;
- ◆ número de emissores por planta;
- ◆ coeficiente de variação de fabricação;
- ◆ coeficiente exponencial de vazão do emissor;
- ◆ sensibilidade do emissor às variações de temperatura e pressão;
- ◆ relação entre perda de carga na terciária e lateral.

### 2.6.2 - Vazão x Pressão

Segundo Keller & Karmeli (1975) o fluxo de emissores usados em irrigação localizada, em geral é caracterizado por uma função potencial, onde a vazão relaciona-se diretamente com a carga hidráulica atuante na entrada do emissor, sendo representada pela seguinte equação:

$$q = k_d h^x \quad (1)$$

onde :

q - vazão do emissor, L h<sup>-1</sup>;

K<sub>d</sub> - constante de proporcionalidade que caracteriza cada emissor;

h - pressão hidráulica a entrada da água no emissor, kPa;

x - expoente de emissão, parâmetro que caracteriza o fluxo de um emissor como uma função da pressão de operação.

Segundo Bralts *et al.* (1982), a constante de proporcionalidade “K<sub>d</sub>” inclui fatores relacionados a fabricação do emissor, tais como coeficiente de vazão e área da seção transversal do orifício do emissor. Qualquer variação na vazão do emissor, devido efeitos hidráulicos, e representada pelo coeficiente “K<sub>d</sub>”. Assumem ainda que a pressão “h” e o expoente “x” são constantes para um tipo específico de emissor.

Para Keller & Karmeli (1974) o expoente “x” caracteriza o regime de fluxo de modo que :

0 < x < 0,5 - O regime de escoamento varia de turbulento a totalmente turbulento, e a

vazão sofre menos influência da variação de pressão.

$0,5 < x < 1,0$  - O regime de escoamento varia de instável a laminar, verificando-se maior influência da variação de pressão sobre vazão.

De acordo com Azevedo (1986), para  $x$  igual a 1,0, a variação da vazão esta na mesma proporção da pressão, o que caracteriza fluxo laminar indesejável pela facilidade de deposição de materiais em suspensão. Para  $x$  igual a zero, o emissor assume a condição de autocompensante, ideal por permitir que se tenha grandes variações de cargas nas laterais por perda na tubulação e/ou desnível do terreno. De onde se conclui que, quando mais o valor de  $x$  se aproxima de zero, melhor será o emissor, do ponto de vista hidráulico.

### 2.6.3 - Coeficiente de Variação de Fabricação

É impossível fabricar-se um conjunto de emissores com um mesmo coeficiente de descarga,  $k_d$ , da função potencial. Para quantificar variações na vazão do emissor devido aos processos de fabricação Solomon (1979) recomenda o coeficiente de variação de fabricação (CVF) desenvolvido por Keller & Karmeli (1975). Neste contexto, o CVF pode ser definido pela razão entre o desvio padrão do emissor e sua média, cuja equação é a seguinte:

$$CV = \frac{\delta}{q_m} \quad (2)$$

sendo:

$$\delta = \frac{\sqrt{\sum (q_i - q_m)^2}}{n - 1}$$

onde:

$\delta$  - desvio padrão,  $L h^{-1}$ ;

$q_i$  - vazão de cada emissor obtida em laboratório,  $L h^{-1}$ ;

$q_m$  – vazão média dos emissores testados,  $L h^{-1}$ ;

$\eta$  - número de emissores ensaiados;

## 2.7 - Obstrução nos Sistemas de Irrigação Localizada

Os sistemas de irrigação localizada estão projetados para aplicar a água lentamente através de pequenas aberturas, que constituem os emissores de água. Estes emissores podem ser obstruídos por sedimentos, substâncias químicas e organismos biológicos, contidos frequentemente nas águas de irrigação (Pizarro, 1996). Um fator importante na qualidade da água de irrigação é seu teor de sais, mas estes não contribuem para o entupimento, a menos que íons dissolvidos interajam com outros para formar precipitados ou promover o desenvolvimento de lodos. As precipitações mais frequentes são as de carbonatos e sulfatos de cálcio, e de ferro e manganês. Precipitação de carbonato de cálcio é comum em regiões áridas com águas ricas em cálcio e bicarbonatos (Abreu *et al.*, 1987).

O entupimento químico tem sido considerado como o problema mais difícil de ser controlado. Uma recomendação para prevenção desse tipo de entupimento seria reduzir o pH da água, através da injeção de ácido, a valores que inibam a precipitação (Hills *et al.*, 1989)

O entupimento biológico não se torna um problema grave quando a água está livre de carbono orgânico. Entretanto, em águas contendo sedimentos orgânicos associados ao ferro ou ao sulfato de hidrogênio, o grau de obstrução biológica pode tornar-se bastante acentuado. Filamentos de algas podem entupir emissores. O principal dano desses organismos é na formação de uma matriz gelatinosa, na tubulação e nos emissores, que serve como base para o desenvolvimento de lodos bacteriais (Gilbert & Ford, 1986).

A remoção de partículas sólidas da água de irrigação depende da qualidade dessa água e dos parâmetros físicos do sistema de filtragem. Quando utilizam-se águas residuárias, a performance dos sistemas de filtragem é, normalmente, avaliada baseando-se na taxa de remoção de sólidos totais suspensos e/ou na turbidez da água. Através de uma análise da distribuição do tamanho das partículas pode-se definir um melhor opção de filtros e suas condições de operação. Os filtros de tela entopem com muita rapidez e,

segundo os autores acima, removem apenas de 1 a 2% dos sólidos totais suspensos (Adin & Elimelech, 1989).

### 2.7.1 - Sensibilidade às obstruções

O risco de obstrução de um emissor depende do diâmetro mínimo de passagem e da velocidade da água. Adin & Sacks (1991) estudando as causas de entupimento em três emissores, utilizando águas residuárias, concluíram que: (1) o entupimento é causado principalmente pelos sólidos em suspensão, no entanto o processo de entupimento é iniciado por material orgânico; (2) o grau de entupimento é mais afetado pelo tamanho das partículas sólidas que pela densidade dessas na água; (3) o armazenamento de sedimentos nos emissores inicia-se com a deposição de lodos amorfos aos quais outras partículas se aderem; (4) a composição química do sedimento no emissor modifica-se com a estação do ano; (5) o potencial de entupimento pode diminuir através de modificações na configuração interna do emissor e por um tratamento químico da água com oxidante e floculantes. A filtração granular tem papel importante na prevenção do entupimento em virtude dela promover a remoção de partículas com diferentes formas. Porém, medidas adicionais para a redução do entupimento devem ser tomadas, tais como; eficiente retrolavagem dos filtros: limpeza periódica das linhas e instalação de longas laterais quando a topografia permitir.

Kafshgiri (1979) observou, num estudo utilizando efluentes de águas residuárias, que a redução na vazão do emissor variou não linearmente com o grau de entupimento. Seus dados indicaram que graus de entupimento de 10% e de 50% corresponderam, respectivamente, à redução na vazão de 20% e 75%. Acreditava-se que a geometria da obstrução tenha efeito nas variações de vazão.

Gilbert *et al.* (1979) estudaram dois anos o entupimento em oito tipos de emissores para diferentes tratamentos de água, incluindo filtração com filtros de tela e de areia com adição de hipoclorito de ácido. Cinco dos oito emissores requereram filtros de tela (200mesh) e de areia, mais tratamento químico para prevenir entupimento físico e manter vazões superiores a 70% da vazão de projeto. Três emissores continuaram a operar com vazões superiores a 80% da vazão de projeto apenas com filtro de tela (50 mesh).

Na Tabela 4 é apresentada uma classificação que agrupa os emissores quanto ao risco de obstrução:

**Tabela 4 - Classificação dos emissores quanto ao risco de obstrução**

Diâmetro mínimo (mm)	Sensibilidade a obstrução
≤ 0,7	Alta
0,7-1,5	Média
>1,5	Baixa

Fonte: Pizarro, 1996.

Quanto maior é a velocidade menor é o risco de sedimentação : por tal razão se prefere um regime turbulento a laminar. Se considera que acima de  $4,5 \text{ m s}^{-1}$  diminui o risco de obstruções por sedimentos.

Há outros fatores que afetam as obstruções. Um deles é o caminho mais ou menos tortuoso da água no interior do emissor, os pontos onde a trajetória muda bruscamente são mais propensos a formação de depósitos. Outro fator negativo é a presença de materiais que deixam passar luz, o que favorece o desenvolvimento de algas microscópicas que passam por qualquer filtro. Para águas de irrigação a literatura cita restrições nas concentrações de sólidos apenas em relação aos problemas de obstrução das tubulações e emissores quando se pratica irrigação localizada

Existem alguns emissores a que os fabricantes denominam autolimpantes que dispõem de mecanismos para eliminar as partículas que produzem obstruções. Estes mecanismos possuem em geral algum elemento elástico que com a ação da pressão da água se deforma deixando sair a partícula. A Tabela 5 mostra o potencial de obstrução em sistemas de irrigação localizada quanto a qualidade da água.

**Tabela 5 - Qualidade da água quanto ao potencial de obstruções em sistemas de irrigação localizada**

Problema Potencial	Unidade	Grau de Restrição para Uso		
		Nenhum	Ligeira e Moderada	Severa
Físicos				
Sólidos Suspensos	mg L <sup>-1</sup>	< 50	50-100	> 100
Químicos				
pH		< 7,0	7,0-8,0	> 8,0
Sólidos Dissolvidos	mg L <sup>-1</sup>	< 500	500-2000	> 2000

Fonte: modificada de Nakayama (1982) citado por Ayers & Westcot (1991).

Tanto os filtros de areia rápidos como os lentos podem obstruir-se com algas; porém no lento, as algas e outros microorganismos aquáticos podem desempenhar um papel útil no processo de purificação. Formam uma capa solta e limosa na superfície da areia, que atua por si mesma como filtro. As algas desta capa liberam oxigênio durante a fotossíntese, e o oxigênio por sua vez, é utilizado pelas bactérias saprófitas aeróbias, fungos e protozoários que se implantam no filtro em sua superfície, o que permite a decomposição ou estabilização da matéria orgânica presente na água impura.

Os emissores podem ser obstruídos por sedimentos, substâncias químicas e organismos biológicos, contidos freqüentemente nas águas de irrigação. A Tabela 6 apresenta o resumo desses elementos.

Não se sabe bem porque certas algas são mais eficazes que outras quanto a reduzir a corrente de água do filtro. Desde logo é fundamental sua capacidade para multiplicar-se em grande número.

As diatomáceas se encontram durante todas as estações do ano e são por muito o grupo mais importante entre os organismos que obstruem os filtros. A parede rígida das diatomáceas é composta de silício e não se decompõe, por conseguinte, ainda quando as diatomáceas morrem rapidamente na superfície do filtro, sua parede sílica subsiste e obstruem os poros de areia.

**Tabela 6** - Elementos físicos, químicos e biológicos que provocam obstrução nos sistemas de irrigação localizada

Físicos ( Sólidos em Suspensão )	Químicos ( Precipitação )	Biológicos ( Bactérias e Algas )
1. Areia 2. Limo 3. Argila  4. Matéria orgânica	1. Carbonatos de Ca e Mg 2. Sulfato de Ca 3. Metais pesados: óxidos, hidróxidos, carbonatos, silicatos e sulfetos.  4. Fertilizantes (a) Ferro (b) Amônia líquida (c) Fé, Cu, Zn e Mn	1. Filamentos 2. Lodo 3. Depósitos microbianos a) Fosfatos b) Enxofre c) Manganês 4. Bactérias 5. Organismos aquáticos a) Ovos de caracóis b) Larvas

Fonte: Bucks *et al.* (1979)

A maior parte dos microorganismos aquáticos que chegam nos filtros de areia rápidos são geralmente detidos em uma capa superior de 1,5 cm. Assim sucede especialmente quando os organismos são abundantes na água. Muito poucos organismos penetram mais profundamente na camada do filtro e outros se desintegram rapidamente ao ficar em contato com a areia. Quanto mais prolongada é a jornada de filtração, maior é a porcentagem de microorganismos que penetram mais além da capa superior de 1,5cm.

O problema das algas e dos filtros de areia incluem também a passagem de certas algas, através de ambas classes de filtros, até a água purificada. Certo número das mesmas algas que fecham os filtros outras vezes tem dificuldade para atravessá-los. Entre as algas que passam através dos filtros rápidos se encontram *Synedra* e *Oscillatoria* e as que atravessam filtros lentos, *Chlamydomonas*, *Euglena*, *Navícula*, *Nitzschia*, *Phacus* e *Trachelomonas*. A facilidade com que as algas penetram dependem de vários fatores, dos quais os principais são a rapidez da corrente, o tamanho das partículas de areia utilizada e da classe dos microorganismos. As algas e flagelados muito pequenas penetram com maior facilidade que outros. Quando a penetração é lenta, podem passar algumas horas antes que as algas alcancem o deságüe. As freqüentes retrolavagens, ainda quando o filtro não está fechado eliminam as algas e reduzem o número das que chegam na água filtrada (Palmer, 1969).

### 3. - MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 - Caracterização do Ambiente Experimental

Este trabalho foi realizado em três etapas. A primeira e a terceira etapa foram realizadas no Laboratório de Irrigação e Drenagem do Departamento de Engenharia Agrícola CCT/UFPB. A segunda etapa consistiu na montagem do experimento na área experimental do laboratório do PROSAB pertencente ao Departamento de Engenharia Civil.

A seguir é feita uma indicação do material utilizado no experimento :

A) Emissores:

Fabricante : Carborundum

Nome: Microaspersor MF II

Vazão Nominal: 54 Lh<sup>-1</sup>

B) Painel de controle de vazão e pressão aparelhado com:

-registro de gaveta;

-rotâmetros;

C) Bancada de testes composta por:

-regulador de pressão;

-cronômetro;

-manômetro digital;

-balança eletrônica digital;

D) Sistema experimental montado em campo composto por dois cabeçais de controle contendo:

-regulador de pressão;

-manômetro digital;

-filtros de areia;

-filtros de tela;

-filtro de disco.



### 3.2 - Metodologia do Experimento

◆ **Primeira etapa:** Foram selecionados ao acaso 20 microaspersores novos num lote de 1000, levados ao laboratório localizado no LEID (Laboratório de Engenharia de Irrigação e Drenagem) do DEAg (Departamento de Engenharia Agrícola) que foram instalados numa bancada de testes com filtro de tela, regulador de pressão e manômetro digital. Os testes foram realizados em duas baterias de 10 emissores para cada ensaio. Os emissores foram submetidos as pressões de 50, 100, 150, 200 e 250 kPa coletando-se a água por meio de baldes e pesando-se em balança eletrônica que, em seguida foram convertidos em volume, e posteriormente em vazões. As vazões consideradas foram constituídas da média aritmética de três repetições. Com os resultados obtidos das vazões, calculou-se a vazão média, o desvio padrão e o Coeficiente de Variação de Fabricação (CVF), para cada pressão ensaiada. A Figuras 1 apresenta o modelo de emissor utilizado no experimento e a Figura 2 apresenta uma visão geral da bancada onde foram realizados os testes.

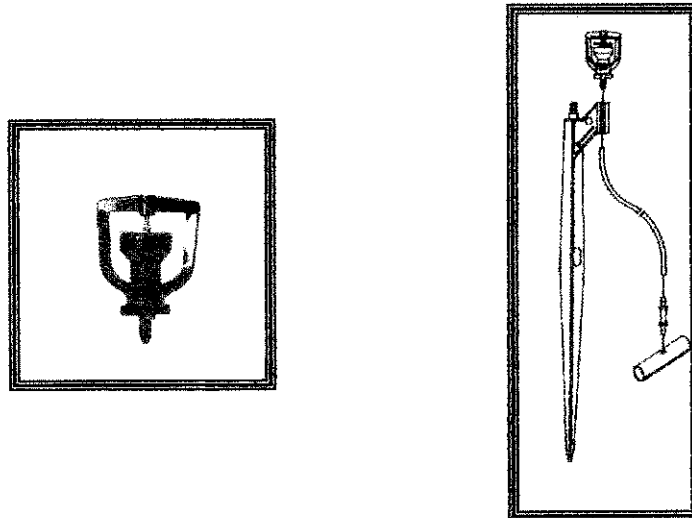
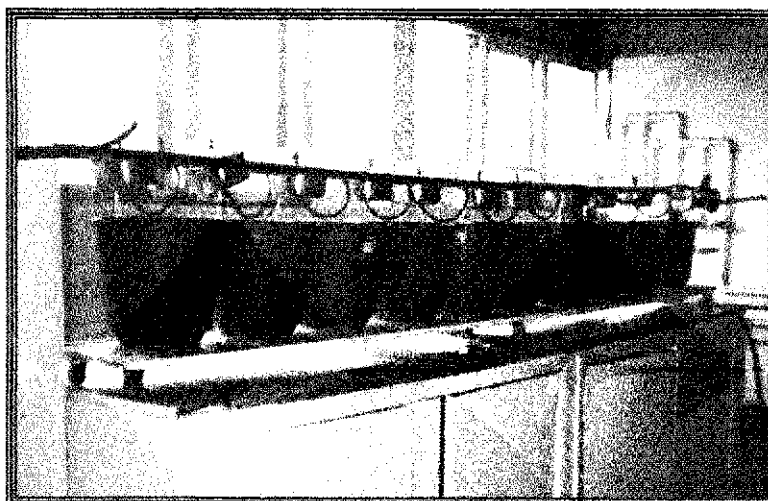


Figura 2 - Microaspersor utilizado no sistema experimental



**Figura 3** - Bancada de testes onde foi feita a caracterização hidráulica dos emissores

♦ **Segunda etapa:** O sistema experimental de irrigação por microaspersão foi constituído de seis linhas laterais com três microaspersores em cada lateral espaçados 1,0 m, um cabeçal de controle com dois filtros de areia, dois filtros de tela e um filtro de disco e dois manômetros digitais. Foram utilizados quatro tratamentos para avaliar os microaspersores: (T1) com água de abastecimento, (T2) com água residuária proveniente de um reator anaeróbio UASB utilizando filtro de areia e filtro de tela, (T3) com água da lagoa de polimento utilizando filtro de areia e filtro de tela e o tratamento (T4) com água da lagoa de polimento utilizando filtro de disco. O sistema era acionado por dois conjuntos motobombas.

O tempo de funcionamento diário do sistema de irrigação foi de 4,5 h. O período de amostragem para as análises biológicas e físico-químicas da água residuária foi iniciado em julho de 2001 e concluído em dezembro do mesmo ano. As coletas foram realizadas a partir do tempo de operação de 300 h a cada 50 h até completar 750 h de funcionamento. As amostras de água para análise foi feita na fonte e após a filtragem do cabeçal de controle. A limpeza dos filtros de tela e disco foram feitas duas vezes por semana. Para testar a eficiência dos filtros com essa qualidade de água, a coleta das amostras para a análises de sólidos foi dividida em duas fases.

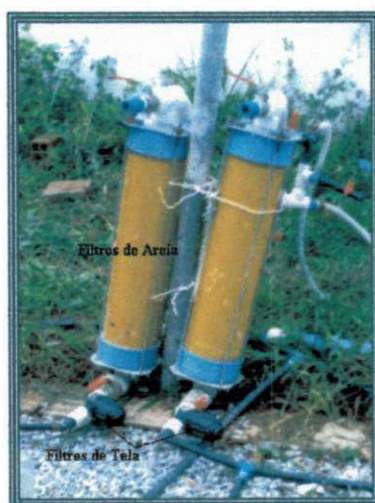
Na primeira fase fazia-se uma limpeza dos filtros de tela com água corrente e retrolavagem com os filtros de areia com duração de 5 min antes de iniciar a irrigação. A coleta para análise de sólidos foi feita após 1,5 h e 3,0 h de funcionamento. Com o tempo

de funcionamento de 650 h retirou-se a areia do filtro do tratamento T3 para a sua limpeza e com o tempo de 700 h foi feita também a limpeza do filtro de areia do tratamento T4. A limpeza foi realizada com água corrente de abastecimento para eliminar a matéria orgânica e o biofilme aderido aos grãos de areia.

Os horários de amostragem foram mantidos ao longo de todo o período experimental que iniciava às 8:00 h. Os procedimentos de coleta e preservação das amostras seguiram as recomendações de APHA *et al.* (1995) com exceção da alcalinidade que seguiu um método desenvolvido pelo PROSAB. A Figura 3 apresenta uma visão geral do sistema experimental montado em campo e a Figura 4 mostra os filtros utilizados.



**Figura 4-** Sistema experimental montado em campo



**Figura 5 -** Filtros de areia e filtros de tela utilizados no experimento

➤ **Terceira Etapa:** A terceira etapa foi realizada com a mesma metodologia da primeira. Consistiu em caracterizar os microaspersores com água de abastecimento quanto ao aspecto hidráulico depois de usá-los com água residuária tratada. Com os resultados obtidos das vazões, calculou-se a vazão média, o desvio padrão e o Coeficiente de Uso, para cada pressão ensaiada com o fim de avaliar o desgaste dos emissores após dois anos de uso.

### 3.2 - Parâmetros Analisados e Métodos Analíticos

#### 3.2.1 - Parâmetros hidráulicos

##### A) Coeficiente de variação de fabricação (CVF)

É indicado para avaliar as diferenças individuais entre os emissores. Segundo Solomon (1979), as variações de fabricação nos emissores podem ter grande influência na uniformidade de aplicação de um sistema de irrigação localizada, não devendo, portanto, ser negligenciadas. O coeficiente de variação de fabricação (CVF) dos emissores foi determinado a partir da equação (2). Os critérios de classificação dos emissores, em função do coeficiente de variação de fabricação, apresentados por Abreu (1987) e Bernuth & Solomon (1986) são os seguintes:

$CV < 0,05$	EXCELENTE
$0,05 < CV < 0,10$	MÉDIO
$0,10 < CV < 0,15$	DEFICIENTE
$CV > 0,15$	INACEITÁVEL

##### B) Relação vazão x pressão

Do ponto de vista prático a vazão média de emissores pode ser considerada um bom parâmetro para avaliar o processo de entupimento, sendo utilizado em todos os trabalhos pertinentes (Ravina *et al.*, 1992). Esta relação foi caracterizada a partir da equação de Keller & Karmeli (1975), em que o fluxo de um emissor é caracterizado por

uma função potencial, onde a vazão relaciona-se diretamente com a carga hidráulica atuante na entrada do emissor. A relação vazão versus pressão foi determinada, a partir da equação 1 de acordo com Keller & Karmeli (1975).

### C) Coeficiente de uso ( $V_u$ )

Para determinação do coeficiente de variação dos emissores após o uso em campo seguiu-se a mesma metodologia citada anteriormente na primeira etapa. O coeficiente de uso ( $V_u$ ) é determinado pela equação:

$$V_u = \frac{S_u}{q_m} \quad (3)$$

onde:

$S_u$  - é o desvio padrão das vazões ( $Lh^{-1}$ ) à pressão de 150 kPa;

$q_m$  - a vazão média ( $Lh^{-1}$ ) dos emissores usados.

## 3.2.2- Parâmetros físico-químicos

### A) Potencial hidrogeniônico (pH)

O pH avalia a condição ácida ou alcalina de uma solução, dada pela concentração ativa do íon hidrogênio [ $H^+$ ] presentes (Sawyer *et al.*, 1994; Ohlweiler, 1974). O pH foi determinado nas amostras de água de irrigação pelo método potenciométrico (APHA, 1995), as medidas de pH foram realizados com um eletrodo, acoplado ao medidor de oxigênio, calibrado com soluções tampões de pH 4 e 7. Este parâmetro auxilia na caracterização das atividades das bactérias e algas na depuração dos esgotos.

### **B) Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO<sub>5</sub>)**

A DBO<sub>5</sub> expressa a quantidade de oxigênio necessário para estabilizar biologicamente a matéria orgânica presente num corpo aquático, em condições aeróbias ao longo de 5 dias à 20 °C (Sawyer *et al.*, 1994). A concentração da matéria biodegradável foi determinada pelo teste dos frascos padrões com incubação a 20 °C durante 5 dias em amostras de água de irrigação. Este método baseia-se na avaliação do oxigênio consumido por microorganismos aeróbios que biodegradam a matéria orgânica presente numa amostra. A concentração de oxigênio dissolvido foi determinada pelo método Winkler com a modificação da azida (APHA, 1995).

### **C) Demanda Química de Oxigênio (DQO)**

A DQO representa a quantidade de oxigênio necessária para a oxidação puramente química da matéria orgânica, presente no esgoto ou no corpo d'água, isto é, para a oxidação da matéria sem o auxílio de microorganismos. Foram realizadas de acordo com as técnicas padrão do (APHA, 1995). O teste mede a quantidade de oxigênio requerida para a oxidação química da matéria orgânica existente em uma amostra. Os esgotos domésticos possuem DQO em torno de 500 mg L<sup>-1</sup>

### **C) Sólidos Totais**

São geralmente denominados de sólidos totais suspensos e dissolvidos. Os sólidos totais suspensos são aqueles que podem ser retidos por um processo de filtração. A fração que transpassar o filtro é a fração de sólidos totais dissolvidos. Geralmente, os sólidos totais são estudados na forma de sólidos totais fixos e voláteis, o primeiro correspondem ao material inorgânico que após um processo de ignição (combustão) fica retido num recipiente, a segunda fração é constituída de material orgânico que se volatiliza ou se decompõe em frações minerais (APHA, 1995).

Os sólidos totais foram determinados pela evaporação de 100mL de amostra em estufa a 105<sup>0</sup>C até peso constante. Os sólidos suspensos eram obtidos através da secagem do material retido em um filtro de fibra de vidro a uma temperatura de 105 °C por

1 hora. Os sólidos totais e suspensos fixos foram obtidos através da calcinação da amostra a 550 °C por aproximadamente 30 minutos. Os sólidos totais e suspensos voláteis foram obtidos através da diferença entre a concentração total e a fração fixa correspondentes. Os sólidos totais voláteis permitem avaliar o teor de sólidos orgânicos existentes nos esgotos. A determinação de sólidos sedimentáveis, totais e suspensos no afluente e efluente permitem avaliar a quantidade de sólidos removidos pelo tratamento.

### **E) Alcalinidade**

A alcalinidade de uma água pode ser definida como a capacidade de neutralizar ácidos. A determinação e o controle da alcalinidade tornam-se importantes no exame de águas superficiais com o objetivo de evitar problemas de corrosão e de incrustação nas tubulações (Sawyer *et al.*, 1994). Segundo Metcalf & Eddy (1991), em águas residuárias a alcalinidade é devida à presença de hidróxidos, carbonatos e bicarbonatos de cálcio, magnésio, sódio, potássio ou amônia. Desses, os mais comuns são os bicarbonatos de cálcio e magnésio. As obstruções causadas pelas precipitações químicas de materiais como o carbonato de cálcio produzem-se gradualmente às altas temperaturas e valores altos de pH formando um precipitado de cor marrom avermelhado. É possível que essa precipitação chegue a obstruir os emissores.

A alcalinidade foi determinada nas águas de irrigação pelo método de titulação de neutralização, usando-se ácido sulfúrico 0,02N como solução titulante, e como soluções indicadoras a fenolftaleína 1,0% e o alaranjado de metila à 2%.

### **F) Condutividade Elétrica**

De acordo com APHA (1995), a condutividade elétrica é uma medida da habilidade que uma solução aquosa tem de transmitir a corrente elétrica. Seu valor depende da concentração total de íons, principalmente inorgânicos. A salinidade de uma água é determinada medindo a sua condutividade elétrica. É a medida resultante da aplicação de uma dada força elétrica, que é diretamente proporcional ao número de íons presentes na solução (Ohlweiler, 1974). Para sua determinação foi utilizado o método eletrométrico, empregando-se um condutivímetro (APHA, 1995).

## **G) Turbidez**

A turbidez de uma amostra é a medida da interferência apresentada por partículas em suspensão à passagem da luz. A turbidez é devida à suspensão na água de argila, lodo, partículas orgânicas, organismos microscópicos e corpos similares. A turbidez nos dá uma noção da aparência da água e serve para se ter uma idéia da eficiência do tratamento sofrido por ela (CETESB, 1973). A determinação da turbidez foi feita pelo método nefelométrico (APHA, 1995).

As análises físico-químicas seguiram as recomendações da Standard Methods (APHA, 1995), com exceção da alcalinidade que seguiu um metodologia desenvolvida pelo laboratório do PROSAB.

### **3.2.3 -Parâmetros biológicos**

#### **A) Clorofila "a"**

A clorofila "a" é o pigmento verde de algas e vegetais, desempenhando um papel fundamental na realização da fotossíntese. A clorofila "a" é uma substância complexa, com estrutura semelhante a da hemoglobina, embora seu núcleo apresente magnésio em vez de ferro. Está presente nas folhas e caule de plantas, algas e cianobactérias. O seu principal papel é o de absorver energia luminosa e transferi-la para o processo de síntese de matéria orgânica a partir de substâncias inorgânica. A determinação de clorofila "a" fornece uma idéia do grau de produtividade ou eutrofização de uma água, por dar indicações bastante precisas sobre a biomassa do fitoplâncton. As algas e outros microorganismo criam impasses no sistema de irrigação localizada pois, o seu desenvolvimento é estimulado pelo elevado teor de nutrientes existentes nas águas residuárias (Branco, 1986).

A determinação foi feita através do método da extração a quente com metanol 100%, seguida pela leitura espectrofotométrica à 665 e 750nm (Jones, 1979).



## B) Identificação e Quantificação de Algas

As algas, embora tendo grande importância para o equilíbrio ecológico do meio aquático, sendo responsáveis por parte do oxigênio presente no líquido (produzido através do processo da fotossíntese), podem acarretar também, alguns problemas, sendo os principais: formação de grande massa orgânica, levando à produção de quantidade excessiva de lodo e à liberação de vários compostos orgânicos, os quais podem ser tóxicos ou produzir sabor e odor desagradáveis; formação de camadas de algas nas superfícies de reservatórios, causando turbidez e dificultando a penetração da luz solar, com a conseqüente redução do oxigênio do meio; entupimento de filtros de areia, em estações de tratamentos de água; aderência às paredes de reservatórios de água e de piscinas; corrosão de estruturas de ferro e de concreto.

De acordo com Ravina *et al.*(1992) águas com alta incidência populacional de algas e bactérias são passíveis de originar cimentação da areia dentro do filtro, resultante da formação de mucilagem, originando caminhos preferenciais e reduzindo, assim, a eficiência de filtragem. A identificação dos gêneros de algas serviu para avaliar o grau de diversidade das mesmas nos efluentes estudados e seu valor como indicador. Um dos principais problemas relacionados aos sistemas de irrigação localizada, refere-se ao potencial de entupimento de emissores utilizados (Keller & Bliesner,1990) tendo como principais causas: o entupimento de origem química, física e biológica. O tratamento de água comumente efetuado em projetos de irrigação localizada inclui apenas a filtração da água utilizada através de filtros de areia, tela ou discos (Gilbert & Ford ,1986).

Para identificação, foram utilizadas volumes de 50ml das amostras (preservadas com 0,5ml de formaldeído 35%). Com o auxílio de uma pipeta de 1ml, uma gota era colocada sobre a lâmina de vidro, coberta por uma lamínula, era observado a uma magnificação de 100-200 vezes num microscópio comum. A identificação foi feita com o auxílio de pranchas de identificação (Araújo,1992).

### 3.2.4- Delineamento Experimental

O delineamento experimental montado em campo foi inteiramente casualizado com três tratamentos e seis repetições como mostra a Figura 5. Os tratamentos utilizados :

- (a) T2 – água do reator UASB passando por um filtro de areia e um filtro de tela
- (b) T3 – água da lagoa de polimento passando por um filtro de areia e um filtro de tela.
- (c) T4 – água da lagoa de polimento passando por um filtro de disco.

Para avaliação do efeito da água residuária na performance dos emissores foi incorporado o tratamento T1 feito em laboratório com água de abastecimento. Esse tratamento foi aplicado aos emissores quando novos e após usados.

As análises estatísticas foram realizadas com o auxílio do programa de estatística Assistat versão 6.2 e foram aplicadas para todas as variáveis hidráulicas e para as variáveis: sólidos totais, sólidos suspensos, DBO<sub>5</sub> e DQO.

Os tratamentos na análise estatística foram assim discriminados:

#### **I) Análise das vazões**

- V1- água limpa e água da lagoa de polimento passando por filtro de areia e filtro de tela;
- V2- água limpa e água da lagoa de polimento passando por filtro de disco;
- V3- água limpa e água do reator UASB passando por filtro de areia e filtro de tela;
- V4- água da lagoa de polimento passando por filtro de areia e filtro de tela;
- V5- água da lagoa de polimento passando por filtro de disco;
- V6- água do reator UASB passando por filtro de areia e filtro de tela.

#### **II) Sólidos Totais**

- ST1- água do UASB na fonte após 1,5 h de irrigação;
- ST2- água do UASB passando por filtro de areia e filtro de tela após 1,5 h de irrigação;
- ST3- água da lagoa de polimento na fonte após 1,5 h de irrigação;

ST4- água da lagoa de polimento passando por filtro de areia e filtro de tela após 1,5 h de irrigação;

ST5- água da lagoa de polimento passando por filtro de disco após 1,5 h de irrigação;

ST6- água do UASB na fonte após 3,0 h de irrigação;

ST7- água do UASB passando por filtro de areia e filtro de tela após 3,0 h de irrigação;

ST8- água da lagoa de polimento após 3,0 h de irrigação;

ST9- água da lagoa de polimento passando por filtro de areia e filtro de tela após 3,0 h de irrigação;

ST10- água da lagoa de polimento passando por filtro de disco após 3,0 h de irrigação.

### **III) Sólidos Suspensos**

SS1- água do UASB na fonte após 1,5 h de irrigação;

SS2- água do UASB passando por filtro de areia e filtro de tela após 1,5 h de irrigação;

SS3- água da lagoa de polimento na fonte após 1,5 h de irrigação;

SS4- água da lagoa de polimento passando por filtro de areia e filtro de tela após 1,5 h de irrigação;

SS5- água da lagoa de polimento passando por filtro de disco após 1,5 h de irrigação;

SS6- água do UASB na fonte após 3,0 h de irrigação;

SS7- água do UASB passando por filtro de areia e filtro de tela após 3,0 h de irrigação;

SS8- água da lagoa de polimento após 3,0 h de irrigação;

SS9- água da lagoa de polimento passando por filtro de areia e filtro de tela após 3,0 h de irrigação;

SS10- água da lagoa de polimento passando por filtro de disco após 3,0 h de irrigação.

### **IV) Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO<sub>5</sub>)**

B1- água do reator UASB na fonte;

B2- água do UASB passando por filtro de areia e filtro de tela;

B3- água da lagoa de polimento na fonte;

B4- água da lagoa de polimento passando por filtro de areia e filtro de tela;

B5- água da lagoa de polimento passando por filtro de disco.

## V) Demanda Química de Oxigênio (DQO)

Q1- água do reator UASB na fonte;

Q2- água do UASB passando por filtro de areia e filtro de tela;

Q3- água da lagoa de polimento na fonte;

Q4- água da lagoa de polimento passando por filtro de areia e filtro de tela;

Q5- água da lagoa de polimento passando por filtro de disco.

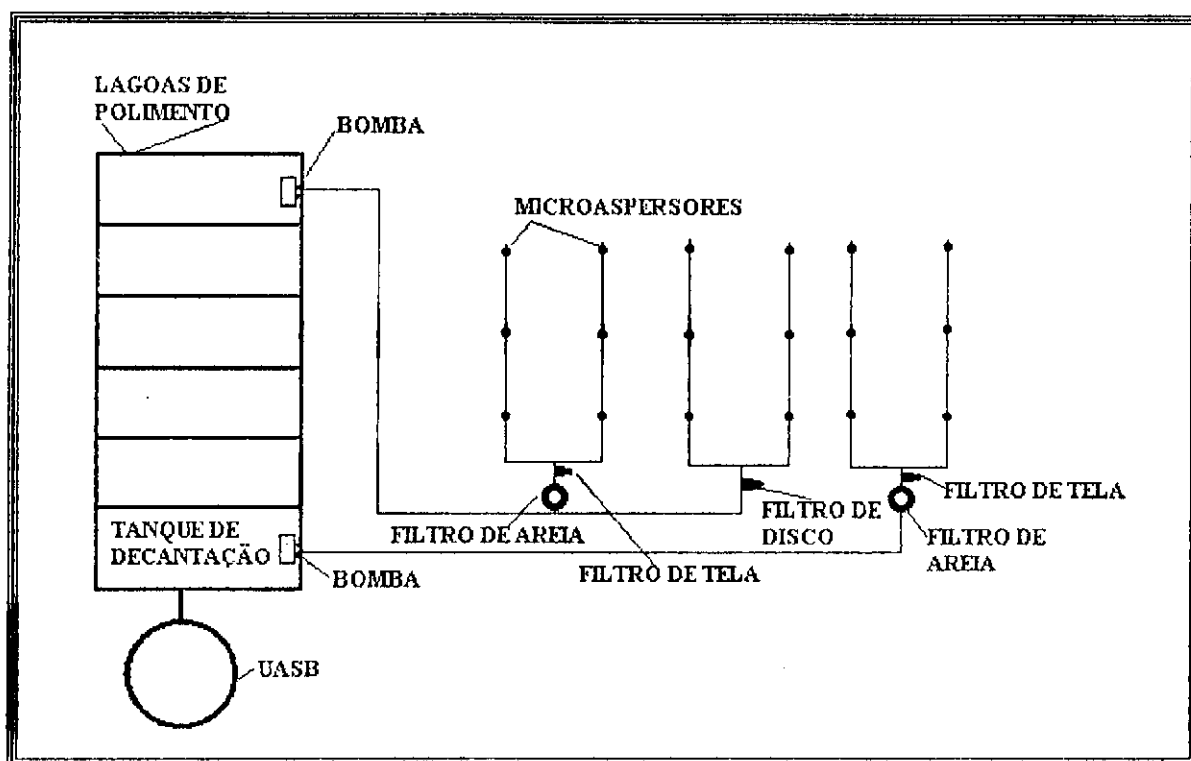


Figura 6- Layout do sistema experimental montado em campo

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Parâmetros hidráulicos

#### 4.1.1 Coeficiente de Variação de Fabricação (CVF)

Com a transformação dos volumes em vazão de cada microaspersor na primeira etapa, obteve-se a vazão média, o desvio padrão e o coeficiente de variação para cada pressão ensaiada. Para uma pressão nominal de 150 kPa recomendada pelo fabricante, a vazão média verificada para os microaspersores novos foi de 57,53 L.h<sup>-1</sup>. Esta vazão média mostrou-se superior à vazão nominal (54 L.h<sup>-1</sup>) em 6,1%. O coeficiente de variação de fabricação médio (CVF) foi de 1,9%, sendo considerado excelente, sob o ponto de vista do processo de fabricação de acordo com a classificação da ASAE (1996). A Tabela 7, apresenta as vazões médias, o desvio padrão e o coeficiente de variação de fabricação para cada pressão ensaiada.

**Tabela 7** – Valores médios de vazão, desvio padrão e coeficiente de variação de fabricação dos microaspersores novos para cada pressão ensaiada.

Pressão(kPa)	Vazão(L h <sup>-1</sup> )	Desvio Padrão (L h <sup>-1</sup> )	CVF(%)
50	33,57	0,83	2,4
100	46,31	1,12	2,4
<b>150</b>	<b>57,53</b>	<b>1,12</b>	<b>1,9</b>
200	66,44	1,32	1,9
250	74,54	1,60	2,1

#### 4.1.2 - Coeficiente de Uso (V<sub>u</sub>)

O coeficiente de variação dos emissores usados foi denominado de coeficiente de uso (V<sub>u</sub>). A Tabela 8, apresenta os resultados dos ensaios realizados em laboratório na terceira etapa com os 18 microaspersores previamente usados em campo durante 750 h com água residuária tratada. A vazão média para uma pressão nominal de 150 kPa desses microaspersores foi de 54,67 Lh<sup>-1</sup> com um desvio padrão de 2,54 Lh<sup>-1</sup>. Esta vazão média foi inferior à dos novos em 4,97%. De acordo com a classificação da ABNT

(1997) os emissores com coeficiente de variação inferior a 10% tem uniformidade boa. Portanto, conforme os resultados obtidos os emissores ainda podem ser considerados com bom desempenho, mesmo depois de usados com água residuária.

Observou-se que a vazão média para os emissores usados com os tratamentos T2, T3 e T4 reduziu pouco em relação a vazão média dos emissores novos e mesmo com o uso equivalente a dois anos, os emissores não proporcionaram grande desgaste. No entanto, o coeficiente de uso aumentou consideravelmente em relação ao coeficiente de variação dos emissores novos para a mesma pressão, acarretando numa desuniformidade na distribuição da água. Este aumento no coeficiente de variação dos emissores usados, além de incorporarem o efeito do processo de fabricação, podem incluir alterações nas seções de escoamento provocadas pelo entupimento parcial e por modificações na rugosidade e nas propriedades físicas das membranas.

**Tabela 8** – Valores médios de pressão, vazão média, desvio padrão e coeficiente de variação dos microaspersores usados.

Pressão (k Pa)	Vazão (L h <sup>-1</sup> )	Desvio Padrão (L h <sup>-1</sup> )	CVF(%)
50	33,52	0,64	1,9
100	45,98	2,44	5,3
<b>150</b>	<b>54,67</b>	<b>2,54</b>	<b>4,6</b>
200	66,10	6,56	9,9
250	66,68	2,86	4,3

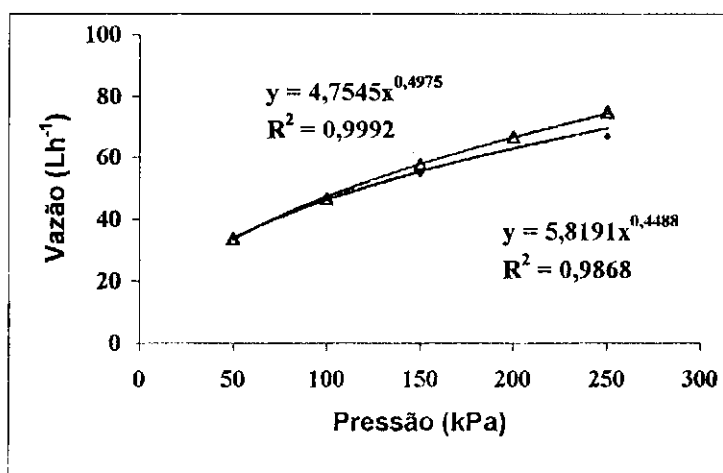
Com o tempo de funcionamento de 650 h do sistema montado em campo, a variação de pressão no cabeçal de controle com o tratamento T3 atingiu valores elevados, chegando até a 82%, devido a entupimentos nos filtros causados pelo excesso de algas presentes na água,

#### 4.1.3 Relação vazão x pressão

A partir dos dados de vazão e pressão da primeira etapa (T1) apresentados na Tabela-7 e da terceira etapa (T2, T3, T4) apresentados na Tabela-8, confeccionou-se a curva característica para os emissores novos e usados com suas respectivas equações.

Pelos valores dos expoentes das equações tanto dos emissores novos como dos emissores usados, segundo Karmeli & Smith (1978), o regime de fluxo do referido emissor é considerado como totalmente turbulento.

A Figura 6 mostra a curva vazão versus pressão para os emissores novos e usados. Constatou-se que houve pouca redução na vazão média em relação aos emissores quando novos. Comparando as vazões médias observamos que foram próximas em quase toda faixa de pressão. Esse fato demonstra que, apesar do uso dos microaspersores com água residuária tratada equivalente a aproximadamente 2 anos de uso para uma cultura como a goiaba numa região como Campina Grande, a vazão média não sofreu alteração.



**Figura 7-** Curva de vazão versus pressão dos emissores novos e após usados com água residuária tratada.

O estudo estatístico da análise da variância das vazões dos microaspersores novos e após usados com água residuária estão apresentados na Tabela 9.

**Tabela 9-** Análise estatística dos microaspersores novos e usados

Fator de Variação	Grau de Liberdade	Soma de Quadrado	Quadrado Médio	F
Tratamentos	5	92,74479	18,54896	4,8751 **
Resíduo	30	114,14584	3,80486	
Total	35	206,89063		

\*\* = significativo ao nível de 1% de probabilidade

Os valores médios dos tratamentos da Tabela 10, demonstram que os microaspersores novos (tratamentos V1, V2 e V3) não apresentaram diferenças estatísticas entre si, como também os microaspersores previamente usados com água residuária (tratamentos V4, V5 e V6). Observa-se também que o tratamento V6 não diferiu estatisticamente do tratamento V3. Pelos valores da análise estatística notou-se que a água do reator UASB, apesar de ser rica em matéria orgânica foi a água que menos acarretou danos aos emissores. Dessa forma, a água do reator UASB (tratamento V2) causou menor obstrução aos microaspersores do que a água da lagoa de polimento (tratamento V4 e V5). Isso ocorreu devido ao fato que água residuária tratada pelo reator UASB, apesar de possuir o teor de matéria orgânica mais elevado do que o da água da lagoa de polimento, não é propícia ao crescimento de uma grande biomassa de algas na passagem do emissor. Os emissores usados com água da lagoa de polimento sofreram maiores danos devido alta incidência populacional de algas interferindo assim na uniformidade de emissão de água.

O entupimento de alguns emissores reduz a vazão total na linha lateral e, desta forma, reduz também a fricção total na linha, que resultará no aumento da vazão daqueles emissores não entupidos (Bralts et al., 1982) afetando duplamente a uniformidade.

**Tabela 10-** Valores médios da vazão dos emissores e seus respectivos dos tratamentos

Médias de tratamentos	
V1	57,7733 a
V2	57,6950 a
V3	57,0950 ab
V4	54,1216 b
V5	53,8183 b
V6	56,0783 ab

*Observação:* Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si.

## 4.2 Parâmetros físico-químicos e biológicos

### 4.2.1 pH

O pH da água residuária da lagoa de polimento na fonte variou entre 7,2-8,5. Com os tratamentos T3 e T4 essa variação foi de 7,8-8,3 e 7,7-8,4, respectivamente.



Para a água do UASB na fonte o pH variou de 7,2 a 7,7. Nota-se pela Figura 7 que o sistema de filtragem pouco influenciou na alteração do pH da água. Os efluentes da filtragem (T2, T3 e T4), segundo Ayers e Westcot (1991) está dentro da faixa do grau de restrição de *ligeira e moderada* para a água do UASB, e para a lagoa de polimento essa restrição ficou entre *ligeira e moderada* a *nenhuma*. A água da lagoa de polimento apresentou um pH maior do que a água do reator UASB, devido ao consumo de  $\text{CO}_2$  pelas algas

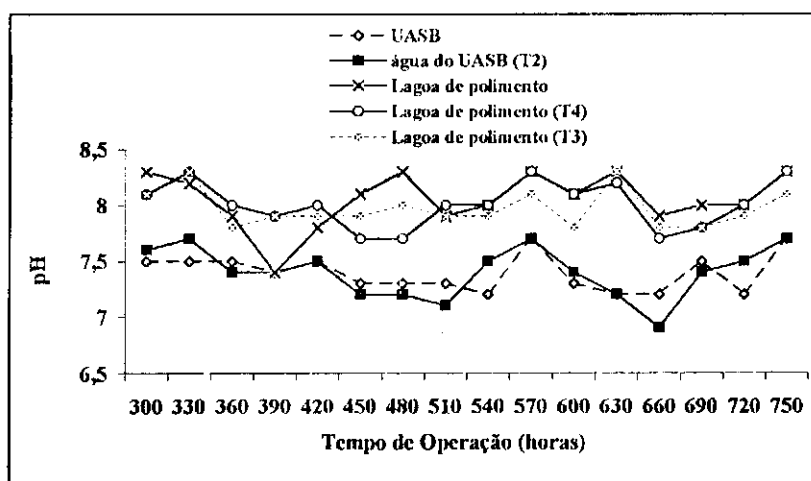


Figura 8- Variação do pH da água do reator UASB e da lagoa de polimento antes e após a filtragem

#### 4.2.2 Alcalinidade

Os valores da alcalinidade encontrados na água residuária da lagoa de polimento manteve-se praticamente constante na ordem de  $308,62 \text{mgCaCO}_3 \text{L}^{-1}$  e com os tratamentos T3 e T4 a alcalinidade foi de  $318,31 \text{mgCaCO}_3 \text{L}^{-1}$  e  $323,125 \text{mgCaCO}_3 \text{L}^{-1}$ , respectivamente. Estes valores estão representados graficamente na Figura 8.

A alcalinidade da água residuária tratada pelo reator UASB apresentou concentrações de  $357,43 \text{mgCaCO}_3 \text{L}^{-1}$  e com o tratamento T2 a concentração da alcalinidade foi de  $356,75 \text{mgCaCO}_3 \text{L}^{-1}$ . De acordo com Silva (1982), os esgotos de Campina Grande apresentam alcalinidade média de  $332 \text{mgCaCO}_3 \text{L}^{-1}$  valor este considerado bastante elevado.

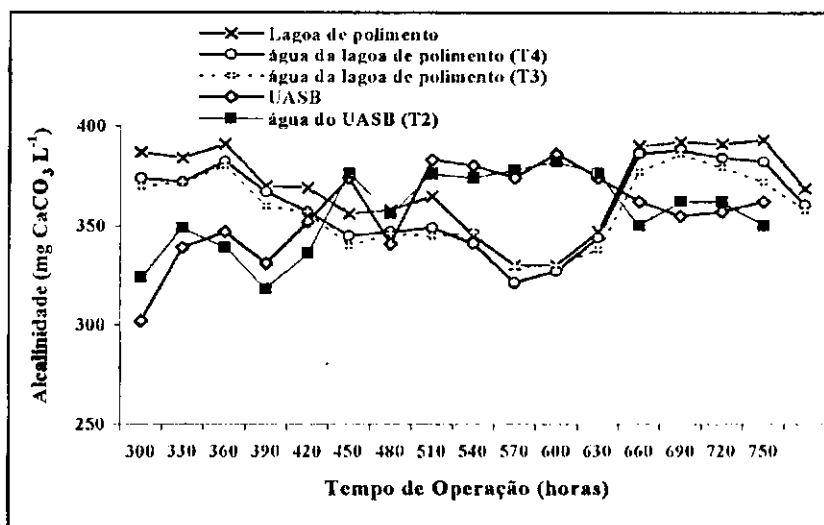


Figura 9-Alcalinidade ( $\text{mg CaCO}_3 \text{L}^{-1}$ ) da água residuária do reator UASB e da lagoa de polimento antes e após a filtragem

A alcalinidade elevada é própria de climas tropicais semi-áridos. Em águas residuárias, Metcalf & Eddy (1991) citam que a alcalinidade é devida à presença de hidróxidos, carbonatos e bicarbonatos de cálcio, magnésio, sódio, potássio ou amônia. Essa alcalinidade é proveniente de águas de abastecimento, da erosão do solo e de materiais de uso doméstico despejado no esgoto. Os esgotos domésticos contribuem de forma para a elevação da alcalinidade.

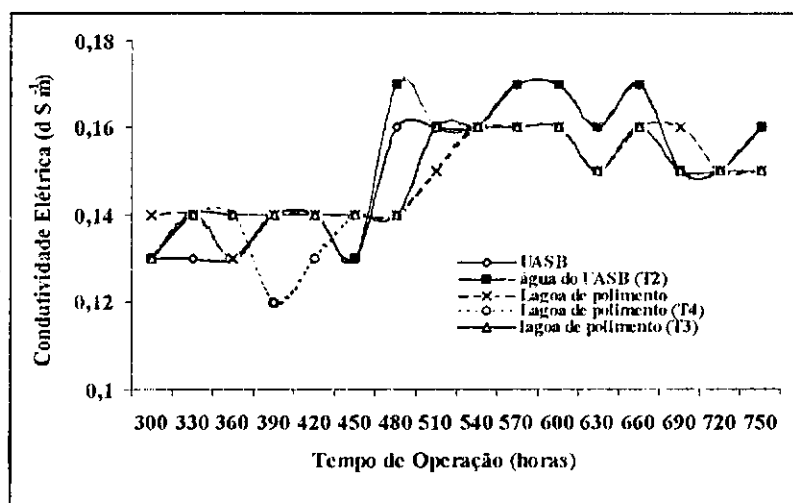
#### 4.2.4 Condutividade elétrica

A condutividade elétrica das amostras da água estão representadas graficamente na Figura 9. A CE da água do reator UASB na fonte apresentou variações entre 0,12 e 0,17  $\text{dSm}^{-1}$  e com o tratamento T2 esses valores ficaram entre 0,13 e 0,17  $\text{dSm}^{-1}$ . As amostras da água da lagoa de polimento na fonte apresentou valores de condutividade elétrica que variaram entre 0,13 e 0,17  $\text{dSm}^{-1}$ , com o tratamento T3 esses valores variaram entre 0,13 e 0,16  $\text{dSm}^{-1}$  e com o tratamento T4 os valores variaram de 0,12 a 0,16  $\text{dSm}^{-1}$ .

Segundo Richards (1954), águas com uma condutividade elétrica menor que 0,25  $\text{dSm}^{-1}$  recebe a classificação C1 que equivale a uma água de baixa salinidade e que pode ser usada na irrigação pela maioria das culturas. Os efluentes das águas residuárias

analisados para os tratamentos T2, T3 e T4 tiveram condutividade elétrica que se enquadra nessa classificação.

Segundo Ayers (1999), águas de baixa salinidade ( $CEa < 0,7 \text{ dSm}^{-1}$ ) tem algumas vezes, valores de pH fora do normal, e somente este fato indica a possibilidade de um desequilíbrio de íons e a necessidade de se realizar análise química completa, para se estabelecer sua causa. Esses tipos de água causam poucos problemas nos solos ou plantas, porém podem corroer rapidamente os componentes metálicos, como tubulações, aspersores, medidores, etc. As águas de baixa salinidade (menor que  $0,25 \text{ dSm}^{-1}$ ) favorecem a corrosão, enquanto as incrustações são mais comuns com as águas de alta salinidade.



**Figura 10-** Condutividade elétrica da água residuária do reator UASB e da lagoa de polimento antes e após a filtragem

#### 4.2.5 Turbidez

A Figura 10, mostra a variação dos valores da turbidez ao longo do tempo de operação do sistema de irrigação com a água residuária da lagoa de polimento e a água do reator UASB. O valor médio da turbidez da água residuária do reator UASB na fonte foi de 16,6 UNT e com o tratamento T2 essa turbidez foi de 17,35 UNT. O alto valor após a filtragem foi devido ao elevado teor de matéria orgânica que passou pelo material

filtrante. O valor médio da turbidez da água residuária da lagoa de polimento na fonte foi de 16,14 UNT e com o tratamento T3 e T4 o valor médio da turbidez foi de 15,97 e 15,5 UNT, respectivamente.

A turbidez elevada da água do UASB está relacionada com o elevado teor de sólidos suspensos e também ao fato de que a bomba succionava água de um tanque de decantação que acumulava lodo na sua superfície e quando chovia este lodo se diluía no meio líquido, aumentando a matéria orgânica e influenciando dessa forma, no desempenho do cabeçal de controle. No dimensionamento do sistema de filtragem, um dos parâmetros levados em conta é não se permitir a passagem de partículas com diâmetros maiores que 1/5 do diâmetro do orifício do microaspersor (Keller & Bliesner, 1990). Esse parâmetro, no entanto, não é suficiente para evitar o processo de entupimento gradual de emissores.

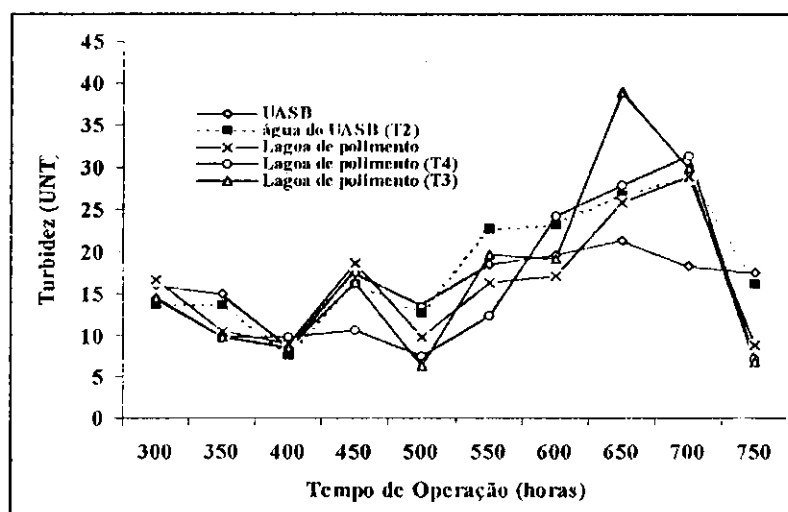


Figura 11- Turbidez da água residuária do reator UASB e da lagoa de polimento antes e após a filtragem

#### 4.2.6 Clorofila "a"

Observamos pela Figura 11 que os valores de clorofila "a" não apresentaram um padrão bem definido de variação temporal. A presença de clorofila "a" na água do UASB (T2) é devido ao fato de que ela era coletada de um tanque, onde recebia luz solar favorecendo o surgimento de algas. O valor médio de clorofila "a" na água do UASB ficou na faixa de  $513 \mu\text{g L}^{-1}$  e na lagoa de polimento na fonte esse valor foi de  $898 \mu\text{g L}^{-1}$ , obtendo-se os mesmos valores para os tratamentos T3 e T4.

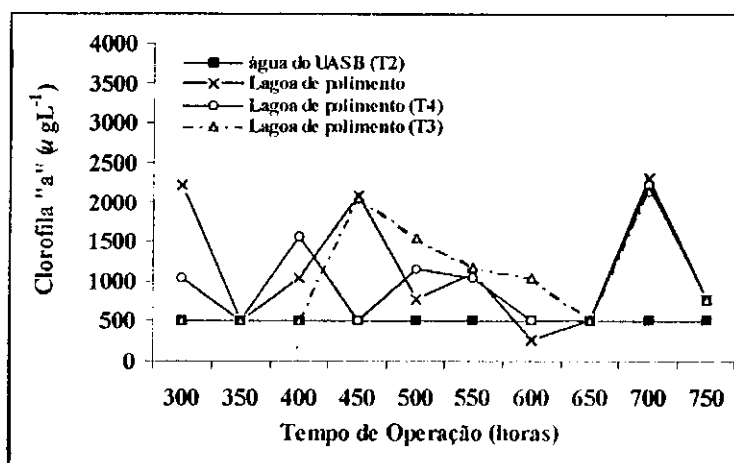


Figura 12- Clorofila "a" ( $\mu\text{g L}^{-1}$ ) das águas residuárias tratada utilizada no sistema de irrigação

#### 4.2.7 Sólidos Totais

Os resultados da análise da variância dos sólidos totais da água residuária do reator UASB na fonte e com o tratamento T2 juntamente com os resultados da água da lagoa de polimento na fonte e com os tratamentos T3 e T4 após o funcionamento de 1,5 h e 3,0 h, estão apresentados na Tabela 11.

Tabela 11- Análise estatística dos sólidos totais para os tratamentos utilizados no sistema

Fator de Variação	Grau de Liberdade	Soma de Quadrado	Quadrado Médio	F
Tratamentos	9	182811,2031	20312,35547	2,6090 *
Resíduo	90	700684,8125	7785,38672	
Total	99	883496,0000		

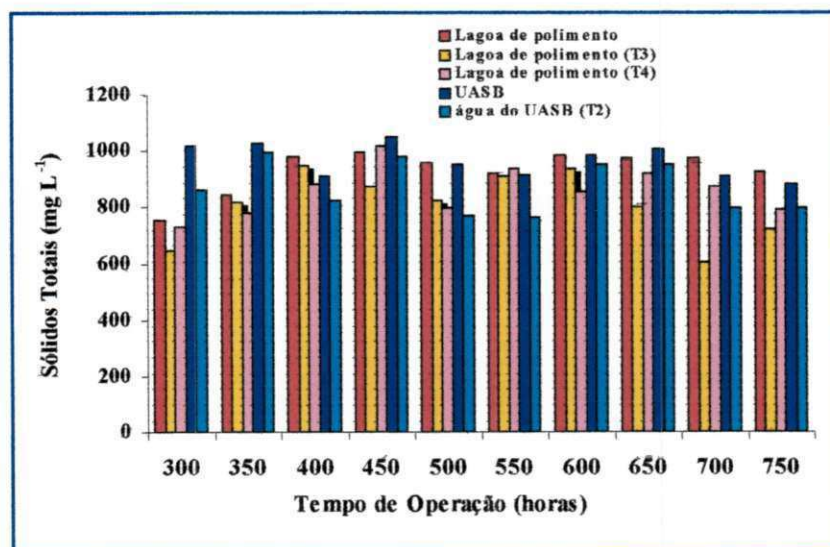
\* - significativo ao nível de 5% de probabilidade

Conforme a média apresentada na Tabela 12 dos vários tratamentos, observamos que a água do UASB (tratamento ST1) só diferiu estatisticamente da água da lagoa de polimento (tratamento ST4), isto quer dizer, que os sólidos totais para os tratamentos aplicados nas águas residuárias independente da hora da coleta, foram iguais e que o sistema de filtragem foi insuficiente para reduzir em quantidade adequada o teor de sólidos presentes na água de forma que evitasse o entupimento dos emissores. No entanto, segundo Nakayama (1979) de acordo com o grau de restrição de uso para irrigação as águas residuárias em estudo se enquadraram na classificação de *ligeira a moderada*, pois

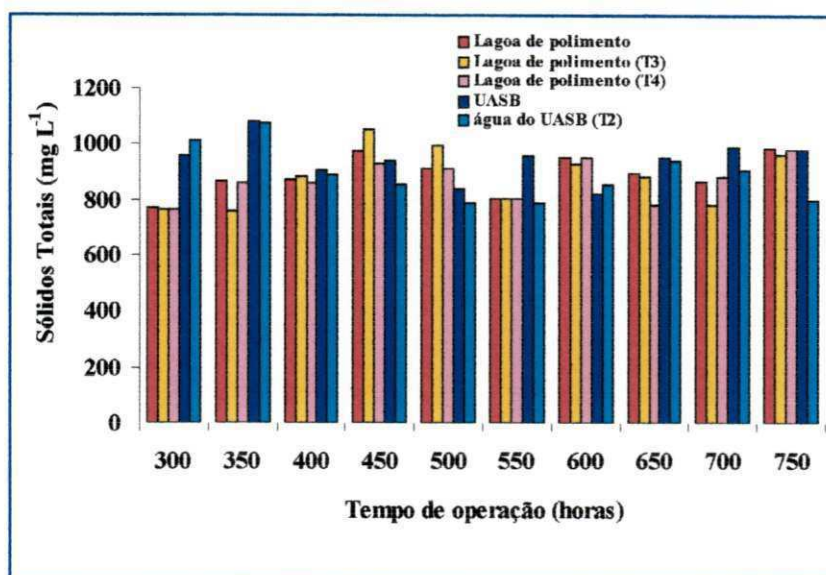
águas residuárias em estudo se enquadraram na classificação de *ligeira a moderada*, pois apresentaram sólidos totais entre 500 e 2000  $\text{mg L}^{-1}$ . Como os sólidos totais correspondem aos constituintes em suspensão e dissolvidos dos compostos orgânicos e inorgânicos na massa de água, as variações devem ter sido devido a obstrução da camada superficial da areia do filtro causado por algas (biofilme) e matéria orgânica como foi constatado ao se abrir os filtros.

**Tabela 12-** Valores médios dos sólidos totais para os tratamentos estudados

Médias de tratamento	
ST1	965,29 a
ST2	865,20 ab
ST3	930,90 ab
ST4	813,20 b
ST5	853,50 ab
ST6	942,09 ab
ST7	890,50 ab
ST8	889,09 ab
ST9	882,09 ab
ST10	872,20 ab



**Figura 13** -Sólidos Totais da lagoa de polimento e do UASB antes e após a filtragem depois de 1,5 h de irrigação



**Figura 14-** Sólidos Totais da lagoa de polimento e do UASB antes e após a filtragem depois de 3,0 h de irrigação

#### 4.2.8 Sólidos suspensos

Os resultados da análise da variância da variável sólidos suspensos para os vários tratamentos estão apresentados na Tabela 13.

**Tabela 13-** Análise estatística dos sólidos suspensos para os tratamentos utilizados no sistema

Fator de Variação	Grau de Liberdade	Soma de Quadrado	Quadrado Médio	F
Tratamentos	9	3012,62500	334,73611	2,6061 *
Resíduo	90	11560,00000	128,44444	
Total	99	14572,62500		

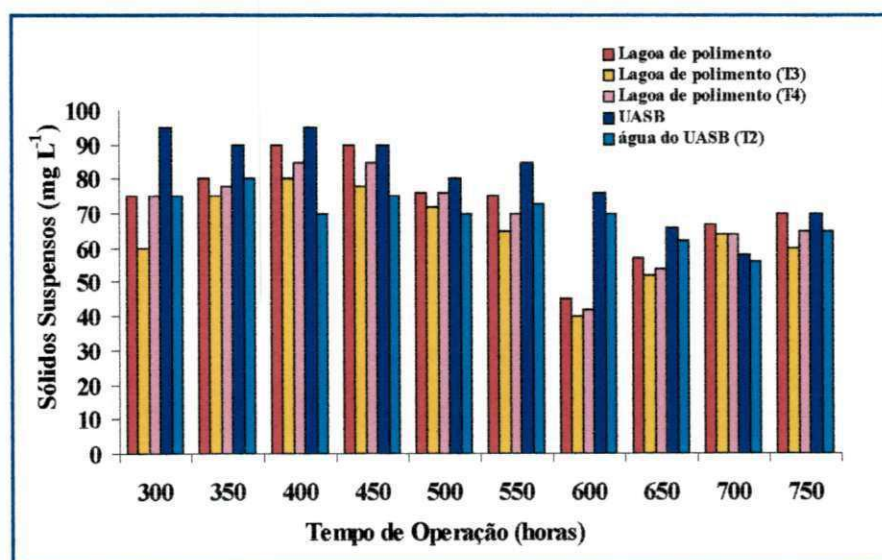
\*-significativo ao nível de 5% de probabilidade

Podemos verificar que por meio da interação entre os tratamentos que a água da lagoa de polimento (tratamento SS4) teve um comportamento diferenciado da água do UASB (tratamento SS6). A quantidade de sólidos suspensos está relacionada com a turbidez da água e seu aumento pode interferir na fotossíntese, pois impede a passagem dos raios solares. As lagoas contribuem pouco para a remoção de sólidos suspensos totais. Este

fato se deve a proliferação de algas através da síntese de matéria orgânica a partir de CO<sub>2</sub>, luz solar e nutrientes inorgânicos presentes na massa líquida (von Sperlling, 1995).

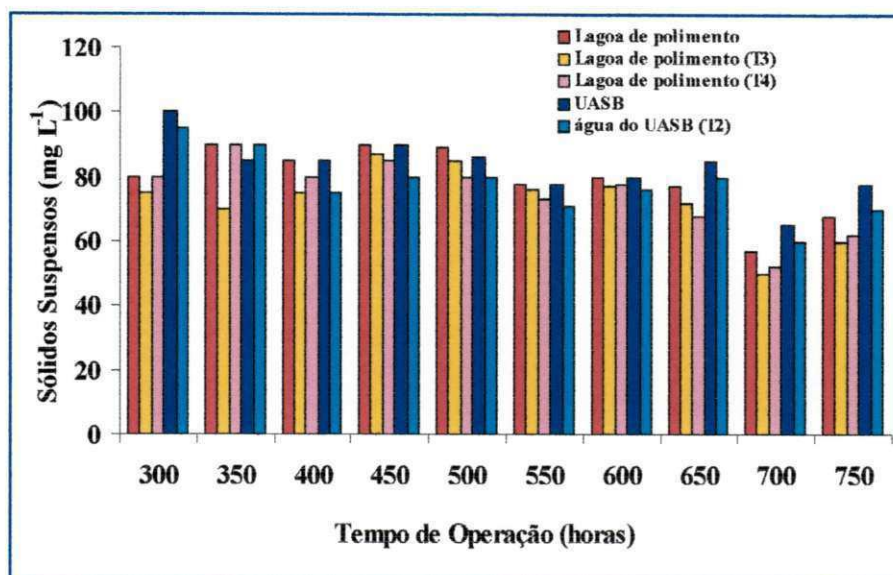
**Tabela 14-** Valores médios dos sólidos suspensos para os tratamentos estudados

Médias de tratamento	
SS1	80,50 ab
SS2	69,60 ab
SS3	72,50 ab
SS4	64,60 b
SS5	69,40 ab
SS6	83,20 a
SS7	77,70 ab
SS8	79,40 ab
SS9	72,70 ab
SS10	74,80 ab



**Figura 15-** Sólidos Suspensos da lagoa de polimento e do UASB antes e após a filtração depois de 1,5 h de irrigação





**Figura 16-** Sólidos Suspensos da lagoa de polimento e do UASB antes e após a filtragem depois de 3,0 h de irrigação

#### 4.2.9 Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO<sub>5</sub>)

Os resultados da análise da variância da variável DBO<sub>5</sub> para os vários tratamentos estão apresentados na Tabela 15.

**Tabela 15-** Análise estatística da DBO<sub>5</sub> para os tratamentos utilizados no sistema

Fator de Variação	Grau de Liberdade	Soma de Quadrado	Quadrado Médio	F
Tratamentos	4	1529,07190	382,26797	3,4741 *
Resíduo	20	2200,64697	110,03235	
Total	24	3729,71875		

\* - significativo ao nível de 5% de probabilidade

De acordo com o teste de comparação da DBO<sub>5</sub> podemos observar na Tabela 16 que não houve diferença estatística entre os tratamentos B1, B2 e B3. Os tratamentos B2, B3, B4 e B5 também não diferenciaram estatisticamente entre si. Este resultado mostrou que o sistema de filtragem reduziu a matéria orgânica da água do UASB de tal forma que a sua DBO tornou-se equivalente a DBO da lagoa de polimento. Porém, ficou provado que a água do UASB obteve uma melhor resposta para o uso em um sistema

de irrigação localizada do tipo microaspersão do que a água da lagoa de polimento. Este fato decorreu da presença inconveniente de algas na água da lagoa que favoreceu a obstrução rápida de filtros e emissores. O alto valor da DBO na água do UASB (tratamento B1) foi devido ao alto grau de teor de matéria orgânica. As águas residuárias do UASB e da lagoa de polimento apresentaram uma DBO média inferior ao padrão de efluentes para irrigação de forrageiras em Israel ( $60 \text{ mg L}^{-1}$ ).

**Tabela 16-** Valores médios da  $\text{DBO}_5$  para os tratamentos estudados

Médias de tratamento	
B1	106,44 a
B2	91,30 ab
B3	90,78 ab
B4	83,96 b
B5	86,44 b

#### 4.2.10 Demanda Química de Oxigênio (DQO)

Os resultados da análise da variância da variável DQO para os vários tratamentos estão apresentados na Tabela 17.

**Tabela 17 -** Análise estatística da DQO para os tratamentos utilizados no sistema

Fator de Variação	Grau de Liberdade	Soma de Quadrado	Quadrado Médio	F
Tratamentos	4	17719,28125	4429,82031	6,0871 **
Resíduo	20	14554,81250	727,74060	
Total	24	32274,09375		

\*\* -significativo ao nível de 1% de probabilidade

Verificamos na Tabela 18 por meio da interação entre os tratamentos que a DQO do tratamento Q1 (água do UASB na fonte) apresentou um comportamento diferenciado entre os demais tratamentos (Q2, Q3, Q4 e Q5). A DQO da água do tratamento Q1 foi maior do que a DQO do outros tratamentos devido ao fato de que, a água foi succionada de um tanque onde ocorria a formação de uma camada de lodo na superfície da água, contribuindo dessa forma para uma maior concentração de matéria orgânica.

Constatamos que os demais tratamentos Q2, Q3, Q4 e Q5 não apresentaram DQO que diferenciasses estatisticamente entre si.

**Tabela 18** - Valores médios da DQO para os tratamentos

Médias de tratamento	
Q1	173,40 a
Q2	114,80 b
Q3	110,00 b
Q4	100,26 b
Q5	106,56 b

#### 4.2.11 Diversidade de algas

A Tabela 19 mostra a frequência dos gêneros de algas indentificadas nas águas residuárias utilizadas no experimento. Foram identificados seis gêneros de algas do tipo que obstruem filtros, pertencentes a três Phyla: Cyanophyta (1 gênero), Chlorophyta (3 gêneros), Bacillariophyta (2 Gêneros) e sete gêneros de algas do tipo que se encontram em águas contaminadas, pertencentes a dois Phyla: Chlorophyta (3 gêneros) e Euglenophyta (4 gêneros).

Uma combinação de fatores favorece o desenvolvimento de algas e bactérias na irrigação localizada, como: temperatura na faixa ótima para o desenvolvimento microbiano; uso frequente da prática de fertirrigação, a qual constitui em fonte de nutrientes para algas e bactérias; uso frequente de águas de reservatórios e canais, que favorecem o crescimento populacional de algas bactérias e altos índices de lançamento de esgotos em rios que servem de fonte hídrica etc.

Houve constatação de algas na água do reator UASB porque esta era lançada primeiramente em um tanque de decantação com presença de luz solar para daí ser distribuída aos microaspersores. As algas com maior frequência nas águas tanto do UASB como da lagoa de polimento foram a dos gêneros *Chlamydomonas reinhardi* e *Pyrobotrys stellata*, pertencente ao grupo das euglenófitas. São algas próprias de águas contaminadas. Das algas encontradas destacamos também as que obstruem filtros como a *Chlorella pirenodoisa*, *Closterium moniliferum* e *Spirogyra porticalis*, todas pertencentes ao grupo das clorofíceas. Observamos que não houve grande redução das algas presentes nas água

de irrigação do UASB e da lagoa de polimento após a filtração e que as algas que ficaram depositadas na areia dos filtros foram eliminadas em grande quantidade com a retrolavagem dos filtros.

Boman (1995), estudando o efeito de diâmetros de orifício na taxa de entupimentos de microaspersores, observou que 46% dos casos de entupimento foram devidos à algas, 34% à obstrução por formigas e aranhas, 16% à obstrução por lesmas e 4% devido à obstrução física por partículas de areia e pedaços de PVC. Observou-se visualmente, na área interna do bocal dos emissores, a formação de mucilagem, a qual pode ter agido como agente cimentante, para partículas de silte e argila. Cortes efetuados nas mangueiras utilizadas no sistema, não evidenciaram depósitos de precipitados visíveis e nem mucilagem.

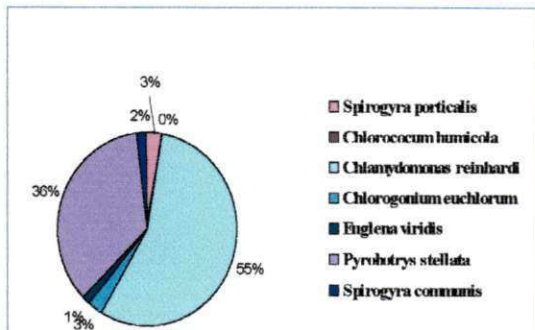


Figura 17-Algas com maior frequência na água do UASB

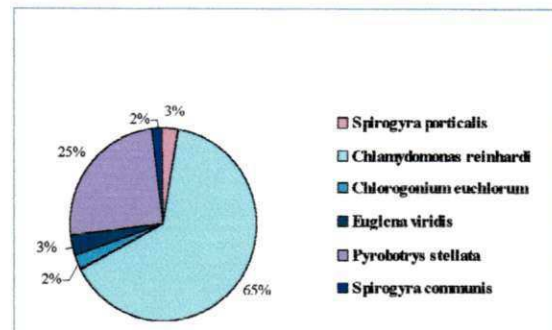


Figura 18-Algas com maior frequência na água do UASB (T2)

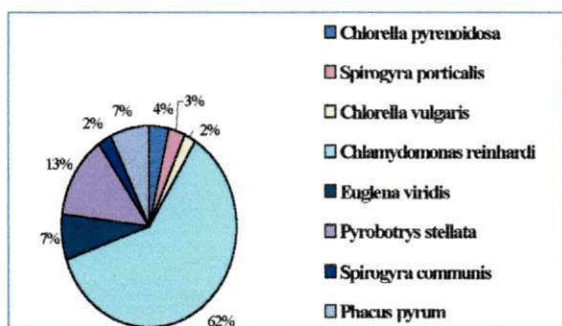


Figura 19-Algas com maior frequência na Lagoa de Polimento

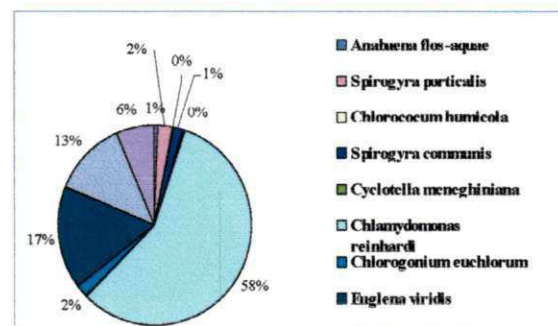


Figura 20- Algas com maior frequência na Lagoa de Polimento (T3)

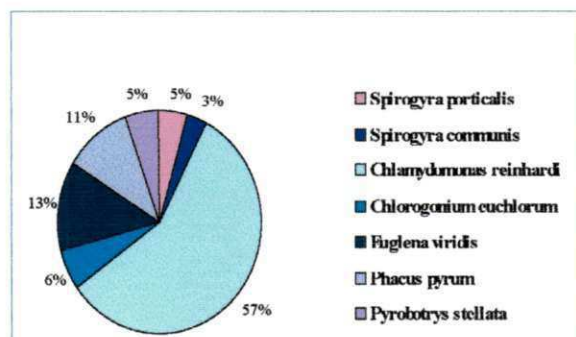


Figura 21- Algas com maior frequência na Lagoa de Polimento (T4)

**Tabela 19-** Frequência de algas identificadas nas amostras das águas residuárias

Ponto	<sup>1</sup> UASB	<sup>2</sup> T2	<sup>3</sup> RET1	<sup>4</sup> LP	<sup>5</sup> T3	<sup>6</sup> T4	<sup>7</sup> RET.2
Nº de Amostras	6	6	6	6	6	6	6
Cyanophyta							
<i>Anabaena flos-aquae</i>	-	-	-	-	4	-	3
Chlorophyta							
<i>Chlorella pyrenoidosa</i>	-	-	-	30	-	-	-
<i>Closterium moniliferum</i>	-	-	23	-	-	-	-
<i>Spirogyra porticalis</i>	15	12	-	25	16	32	22
<i>Chlorella vulgaris</i>	-	-	-	18	-	-	-
<i>Chlorococum humicola</i>	1	-	6	-	2	-	-
<i>Spirogyra communis</i>	10	8	-	20	10	22	20
Bacillariophyta							
<i>Cyclotella meneghiniana</i>	-	-	6	-	3	-	-
<i>Synedra acus</i>	-	-	5	-	-	-	10
Euglenophyta							
<i>Chlamydomonas reinhardi</i>	308	280	416	500	383	395	550
<i>Chlorogonium euchlorum</i>	16	10	30	-	15	40	46
<i>Euglena viridis</i>	8	15	64	59	110	90	99
<i>Phacus pyrum</i>	-	-	-	60	85	75	98
<i>Pyrobotrys stellata</i>	199	110	55	110	42	36	126

<sup>1</sup> água do UASB; <sup>2</sup> água do UASB passando pelo filtro de areia e tela; <sup>3</sup> retrolavagem do filtro de areia que utilizava água do UASB; <sup>4</sup> água da lagoa de polimento; <sup>5</sup> água da lagoa de polimento passando pelo filtro de areia e tela; <sup>6</sup> água da lagoa de polimento passando pelo filtro de disco; <sup>7</sup> retrolavagem do filtro de areia que utilizava água da lagoa de polimento

## 5.0- CONCLUSÕES

Os resultados deste trabalho permitiram tirar as seguintes conclusões:

- a) O coeficiente de variação dos microaspersores novos e usados foram de 1,9 e 4,6, respectivamente, para a pressão nominal de 150kPa.
- b) A vazão média dos microaspersores após usados com água residuária para a pressão nominal de 150kPa foi reduzida em até 4,97%.
- c) A água residuária tratada pelo reator UASB apresentou uma melhor resposta sobre os microaspersores em relação a água da lagoa de polimento devido a menor concentração de algas e menor propensão à entupimentos no sistema de filtragem e nos emissores.
- d) Só a filtragem dos filtros de areia, tela e disco não previnem de obstrução os emissores devido a existência de algas microscópicas capazes de atravessar por qualquer filtro e se multiplicar na estreita passagem dos emissores formando o biofilme.
- e) Os gêneros de algas identificados em cada uma das amostras refletiram a predominância de *Chlamydomonas*, *Pyrobotrys*, *Euglena*, *Chlorogonium*, *Phacus* e *Chlorella*.
- f) O tratamento de águas residuárias domésticas por reatores do tipo UASB, com a incorporação de lagoas de polimento para utilização em sistemas de irrigação é de grande relevância na remoção de parâmetros físico-químicos, além de proporcionar menor tempo de detenção hidráulico e grande economia de área para implantação do sistema
- g) De acordo com os valores de vazão e coeficiente de variação encontrados na amostragem, juntamente com os resultados das análises de água efetuados, permitiram concluir que a principal causa mais provável da desuniformidade de aplicação de água dos microaspersores usados foi o entupimento com algas e matéria orgânica aderida nas paredes dos emissores.

## 6.0- RECOMENDAÇÕES

- a) Estudar os microaspersores em condições de campo com culturas utilizando água residuária, determinando a variação de pressão e de vazão nas tubulações laterais e sub-unidades de irrigação, além de coeficientes de uniformidade e eficiência de aplicação.
- b) Fazer análises químicas de carbonatos de cálcio, sulfatos de cálcio e magnésio na água utilizada.
- c) Fazer aplicações de dosagens de cloro nas linhas laterais do sistema para recuperar e prevenir os emissores de possíveis entupimentos.
- d) Fazer contagem bacteriológica da água nos pontos de captação, após a filtragem e no final das linhas laterais.
- e) Caracterizar físico e quimicamente a areia utilizada nos filtros do sistema.
- f) Realização de trabalhos que possibilitem aprofundamento dos resultados encontrados.

É prática comum em países de regiões áridas o reuso planejado de água residuária tratada devido a escassez de recursos hídricos para suprir a demanda do abastecimento público. Nestas regiões o tratamento de esgotos é a melhor opção tecnológica uma vez que a agricultura exige menor qualidade de água e também devido ao baixo custo de implantação e operação, além de impulsionar a produção de culturas com qualidade sanitária, beneficiando pequenos e médios agricultores localizados nas margens de corpos receptores que cruzam os centros urbanos.



## 7.0-REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT-ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Sistema de Irrigação Localizada: Avaliação do desempenho**. São Paulo, 1997, 11p.
- ABREU, J. M. H.; LOPES, J. R.; REGALADO, A. P.; HERNANDEZ, J. F. G. **El riego localizado**. Madrid: Instituto Nacional de Investigaciones Agrárias. 1987. 317p.
- ADIN, A.; ELIMELECH, M. **Particle filtration for wastewater irrigation**. Journal of the Irrigation and drainage Engineering. V.115, n. 3, 1989, p 475-487.
- ADIN, A.; SACKS, M. **Dripper clogging factors in wastewater irrigation**. Journal of the Irrigation and drainage Engineering. V.117, n.6, p 813-827.1991.
- APHA - American Public Health Association. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. 19<sup>th</sup> ed. Washington: APHA, 1134p. 1995.
- ARAÚJO, A. M. **Uso de Indicadores Microbiológicos na Avaliação do Grau de Poluição em Águas Superficiais**. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal da Paraíba. 1992.
- ASAE-AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS. **Field Evaluation of Microirrigation Systems**. EP458. St. Joseph, p.792-797.1996
- AZEVEDO, H.M. **Irrigação localizada**. Informe agropecuário, Belo Horizonte, n.139, p.40-53, 1986.
- AYERS, R. S. & WESTCOT, D.W. **A qualidade da Água na Agricultura**. Tradução: H. R. Gheyi e J. F. de Medeiros. Campina Grande, PB. UFPB/PRAI/CCT. 218p (Tradução de: Water Quality for Agriculture. FAO, Rome, 1985), 218p. 1991.
- BERNARDO, S. **Manual de irrigação**, 6<sup>o</sup>ed. Viçosa;UFV, 657p. 1995.
- BERNUTH, R.D.V.; SOLOMON, K.H.; **Emitter construction**. In: Nakayama, f. S.; Bucks, D.A. **Trickle irrigation for crop production** Phoenix, Arizona, Chapter 2 pp-22-52. 1986.

- BOMAN, B.; ONTERMAA, E. **Citrus microsprinkler clogging: Costs, causes, and cures.** Procedure: Florida State Horticultural Society, n.107.p.39-47,1995.
- BRALTS,V.F; WU, I.P.; GILTTLIN, H.M. **Emitter plugging and drip irrigation lateral line hydraulics.**Transaction of the ASAE, St. Joseph, v.26,n.5,p.1274-1281,1982.
- BRALTS,V.F. & KESNER,C. **Drip irrigation field uniformity estimation.** Transactions of the ASAE. St. Joseph, 24, n.5. p1234-1240.1981.
- BRANCO, S.M. **Hidrologia Aplicada a Engenharia Sanitária**, 3<sup>o</sup>ed. São Paulo. CETESB.640P.1986.
- BUCKS, D.A ;NAKAYAMA, F. S.; GILBERT, R.G. **Trickle irrigation water quality and preventive maintenance.** Agricultural Water Management v.2, n.2, p.142-162.1979.
- CABES – CATÁLOGO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL. **Guia do Saneamento no Brasil.** 1994
- CETESB- COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. **Caracterização e origem dos despejos líquidos de indústrias de laticínios- Sistemas tradicionais de tratamento e disposição.** Relatório R. 4.2, partes I e II. São Paulo; 1977.
- CHERNICHARO, C.A .L.. **Reatores Anaeróbios**, SEGRAC, Belo Horizonte, 246p. 1997.
- CONAMA - CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE – **Resolução nº 20,18 de junho de 1986.** In: Legislação de Conservação da Natureza. 4. Ed. São Paulo: FBCN/CESP, 720p. 1986.
- GILBERT, R.G.; FORD, H.W. **Operational principles/emitter clogging.** In: Nakayama, F.S.; Bucks, D.A Trickle irrigation for crop production. Amsterdam: Elsevier,.cap.3,p.142-163. 1986.
- GILBERT, R.G.; NAKAYAMA, F.S.; BUCKS, D.A. **Trickle irrigation: Prevention at clogging.** Transactions of the American Society of Agricultural Engineers. P.514-519. 1979.

- HEINEMANN, A. B. **A influência de três ângulos entre linhas radiais de coletores no coeficiente de uniformidade de Christiansen em um sistema pivô central.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 27, 1997. Campina Grande Resumo... Campina Grande: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, CD Rom. 1997.
- HOLANDA, J. S., AMORIM, J.R.A. **Qualidade da água para irrigação,** In: Gheyi, H.R.; Queiroz, J.E.; Medeiros, J. F.de. (ed.) Manejo e controle da salinidade na agricultura irrigada. Campina Grande: UFPB, p.137-169. 1997
- HILLS, D.J.;TAJRISHY, M.A .M.; GU,Y. **Hdraulic considerations for compressed subsurface drip-tape.** Transactions of the American Society of Agricultural Engineers. V.32, n.4, p. 1197-1201.1989.
- IMHOFF, K.R.; IMHOFF, K.R. **Manual de Tratamento de Águas Residuárias.** 26ª edição- - Editora Edgard Blücher LTDA. São Paulo- SP. 301p. 1985.
- JONES, J. G.A **guide methods for estimating microbial numbers and biomas in freshwater.** Freshwater Biological Association Scientific Publication (9), 112p. 1979.
- KAFSHGIRI, M.V.R. **The effects of partial plugging on the hydraulics of drip irrigation systems.** M.S. thesis. Department of Agricultural Engineering. ASCE,v.114,n.2,p.311-322.1979.
- KELLER, J.; BLIESNER, R. D. **Sprinkle and trickle irrigation.** New Uork. USA. P.427-582.1990.
- KARMELI, D.; SMITH, S. W.; **Irrigation with aerosol emitters.** Transactions of the American Society of Agricultural Engineers (ASAE). Vol.21 (5), pp- 878-880.1978.
- KELLER, J.; KARMELI, D. **Trickle irrigation desing. Rain Bind Sprinkles manufacturing corp.** Glendora, Califórnia, 1ª ed.,133p. 1975
- KEMPER, K.E. **Alocação e Uso dos Recursos Hídricos no Vale do Curu, Ceará, Nordeste Brasileiro.** O Custo da Água Gratuita. Linkoping Studies in Arts and Science. 152p. 1997.

- LIMA, V. L. A. **Efeitos da qualidade da água de irrigação e da fração de lixiviação sobre a cultura do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris L.*) em condições de lisímetro de drenagem.** Tese (Doutorado em Irrigação e Drenagem), Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 87p. 1998.
- LOTTI, P. **Problems of Management and Reuse of Waste Water in Agriculture.** Water International, vol. 6, n.4, december,170-176. .1981.
- MARA, D.D. **Bacteriology for Sanitary Engineers.** Ed. Churchill Livingstone, Edinburgh, 209p. 1974.
- METCALF, L., EDDY, H.P. **Wastewater Engineering: Treatment Disposal and Reuse** 3.ed. New York. McGraw-Hill International,.1334p. 1991
- MIRANDA,T. L. **Reuso de Efluentes Domésticos na Irrigação de Alface (*Lactuca sativa, L.*).** Porto Alegre, 11p. Dissertação de Mestrado- Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 1995.
- MOTA, S.. **Preservação e Conservação de Recursos Hídricos.** 2 ed. Revisada e atualizada. Rio de Janeiro. 1995.
- NAKAYAMA,F.S.; BUCKAS, D.A .; CLEMMENS, A J. **Assesing tricle emitter application uniformity.** Transactions of the American Society of Agricultural Engineers. V.22, n.4, p.816-821. 1979.
- OHLWEILER, O.A . **Química Analítica Quântica.** 2ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 374p. 1980.
- PALMER, C.M. **A composite rating of algae tolerating organic pollution.** J. Phycol.,.5v,p.78-82. 1969.
- PEIXINHO, C.F.; LEAL, M. S. **Á Água em Revista – Revista Técnica e Informativa da CPRM - Suplemento das Águas. Proteção da Qualidade e do Abastecimento dos Recursos Hídricos: Aplicação de Critérios Integrados no Desenvolvimento, Manejo e Uso dos Recursos Hídricos.**1996.
- PESCOD, M.B. **Wastewater Treatment and Use in Agriculture.** 119p.FAO-1992.

- PIZARRO, F. **Riegos localizados de alta frecuencia-goteo-microaspersión-exudación.** 3º ed. Madrid: Ed. Mund., 513p. 1996
- RAVINA, I.; PAZ, E.; SOFER, Z.; MARCU, A.; SHISHA, A; SAGI, G. **Control of emitter clogging in drip irrigation with reclaimed wastewater.** *Irrigation Science*, New York, v.13, p.129-139, 1992.
- RHOADES, J.D.; KANDIAH, A.; MASHALI, A.M. **The use of saline waters for crop production.** Rome: FAO, FAO. Irrigation and Drainage Paper, 48. 133p. 1992.
- RICHARDS, L.A. **Diagnosis and improvement of saline and alkali soils.** Washington: USSL. USDA Handbook 60.160p. 1954.
- SAWYER, C.N.; MCCARTY, P.L.; PARKIN, G.F. **Chemistry for Environmental Engineering.** 4. ed. McGraw-Hill International Edition. 658p. 1994.
- SHUVAL, H.I.; FATTAL, B.; RAWITZ, E. & YEKUTIEL, P. **Health effects of wastewater irrigation and their control in developing countries.** Integrated Resource Recovery Series GL 1801004. World Bank, Washington D.C. 1985.
- SILVA, S.A. **On the treatment of Domestic Sewage in Waste Stabilization Pond in Northeast Brazil.** Ph.D. Thesis. University of Dundee, UK. 1982.
- SOLOMON, K.H. **Manufacturing variation of trickle emitters.** Transactions of the ASAE, St. Joseph, v.22, n.5, p.1034-1038, 1979.
- VAN HAANDEL, A .C.; LETTINGA, G. **Tratamento Anacróbio de Esgotos- Um manual para regiões de clima quente,** Epgraf, Campina Grande, 240p. 1994.
- VON SPERLING, M. **Princípios do tratamento biológico de águas residuárias.** Vol.1. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – UFMG. 240p. 1995.
- WERNECK, J.E.F.L; FERREIRA, R.S.A.; Christofidis, D. **O Estado das águas no Brasil. Perspectivas de Gestão e Informação de Recursos Hídricos.** Organização Meteorológica Mundial. 334p., 1999.

**APÊNDICES**

APÊNDICE-1- Valores da vazão ( $Lh^{-1}$ ) coletada em cada microaspersor utilizando água de abastecimento

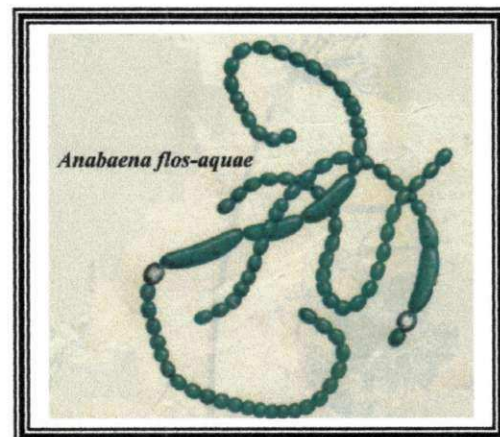
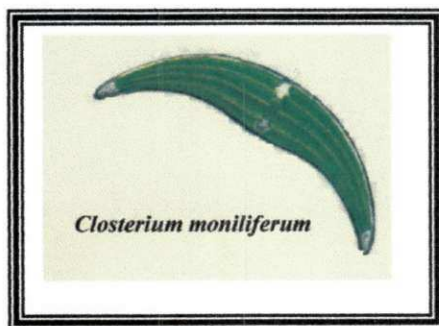
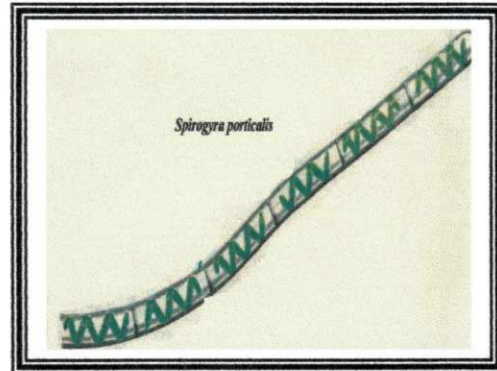
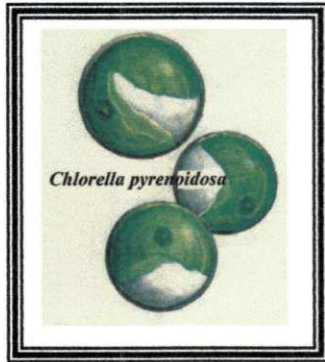
Emissores	Vazão ( $Lh^{-1}$ )				
	50kPa	100kPa	150kPa	200kPa	250kPa
1	35,40	47,53	59,12	68,45	76,88
2	34,33	43,18	58,33	67,60	74,52
3	34,02	46,38	57,65	66,53	74,37
4	34,57	46,92	58,27	67,38	75,58
5	34,02	46,08	57,37	66,20	73,92
6	32,95	45,52	56,47	65,20	72,97
7	33,67	46,05	57,08	65,93	73,80
8	33,52	45,73	56,72	65,53	73,38
9	34,63	46,40	58,62	67,75	75,83
10	33,38	45,42	56,43	65,13	72,92
11	32,92	46,32	57,13	65,92	73,63
12	34,72	49,18	60,87	70,25	78,88
13	33,00	46,58	57,50	66,18	74,83
14	32,53	45,90	56,40	65,08	72,88
15	33,05	46,53	57,25	66,03	74,12
16	33,20	46,80	57,25	66,83	75,00
17	33,42	47,10	57,87	66,18	74,78
18	32,38	45,80	56,28	65,00	72,83
19	33,17	46,92	57,55	66,50	76,73
20	32,43	45,83	56,37	65,03	72,88
Média	33,57	46,3091	57,53	66,44	74,54
Desv. P.	0,8373	1,1192	1,1208	1,3282	1,6079
CV	0,0249	0,0241	0,0194	0,0199	0,0215

APÊNDICE-2- Valores da vazão ( $Lh^{-1}$ ) coletada em cada microaspersor utilizando água residuária tratada.

Emissores	Vazão ( $Lh^{-1}$ )				
	50kPa	100kPa	150kPa	200kPa	250kPa
1	35,05	45,63	57,47	64,38	67,77
2	33,20	44,35	50,75	56,40	59,78
4	33,48	45,10	55,22	61,37	66,73
5	34,02	44,71	52,78	59,03	63,23
6	33,55	44,76	53,23	61,80	65,20
7	33,00	45,08	55,28	61,27	66,22
8	33,27	47,02	56,70	60,27	67,36
9	33,32	46,15	53,82	59,63	65,35
10	33,53	44,62	51,75	57,77	62,08
11	33,55	48,43	54,97	70,30	69,45
12	32,83	46,60	55,37	71,53	67,93
14	33,47	44,82	50,30	75,02	69,78
15	32,87	45,35	60,25	71,48	64,82
16	32,78	50,07	52,20	77,06	67,33
17	34,42	50,40	56,57	74,05	68,92
18	33,45	40,83	57,08	70,92	70,72
19	34,67	49,92	55,50	68,23	68,23
20	32,92	43,80	54,87	69,26	69,33
Média	33,52	45,98	54,67	66,10	66,68
Desv. P.	0,6417	2,4441	2,5427	6,5670	2,8687
CV	0,0191	0,0531	0,0465	0,0993	0,0430



APÊNDICE-3-Algas obstruidoras de filtros encontradas nas amostras da água residuária analisada.



## APÊNDICE-4-Algas de águas contaminadas encontradas nas amostras da água residuária.

