



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENG. CIVIL E AMBIENTAL
DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM ENGENHARIA CIVIL**

**CONDIÇÕES DE REÚSO DOS EFLUENTES FINAIS
DAS ETE'S DO ESTADO DA PARAÍBA**

GISELAINE MARIA GOMES DE MEDEIROS

**CAMPINA GRANDE – PB
AGOSTO, 2007**

**CONDIÇÕES DE REÚSO DOS EFLUENTES FINAIS DAS ETE'S DO
ESTADO DA PARAÍBA**

GISELAINÉ MARIA GOMES DE MEDEIROS

GISELAINE MARIA GOMES DE MEDEIROS

**CONDIÇÕES DE REÚSO DOS EFLUENTES FINAIS DAS ETE'S DO
ESTADO DA PARAÍBA**

Dissertação apresentada ao curso de mestrado em
Engenharia Civil e Ambiental da Universidade Federal
de Campina Grande - UFCG, em cumprimento às
exigências para obtenção de grau de Mestre.

ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: RECURSOS HÍDRICOS

SUB-ÁREA: ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL

ORIENTADORES: PROFa. DRa. ANNEMARIE KONIG

PROFa. DRa. BEATRIZ SUSANA O. DE CEBALLOS

**CAMPINA GRANDE – PB
AGOSTO, 2007**

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL DA UFCG

M488c

2007 Medeiros, Giselaïne Maria Gomes.

Condições de reúso dos efluentes finais das ETE's do estado da Paraíba /
Giselaïne Maria Gomes de Medeiros. — Campina Grande: 2007.
115f. : il.

Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) –
Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos
Naturais.

Referências.

Orientadora: Dr^a. Annemarie Konig.

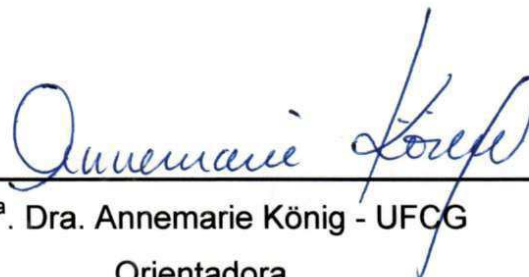
1. Reúso. 2. Lagoas de Estabilização. 3. Águas Residuárias. 4.
Irrigação. I. Título.

CDU 628.381



**CONDIÇÕES DE REÚSO DOS EFLUENTES FINAIS DAS ETE'S DO
ESTADO DA PARAÍBA**

COMISSÃO EXAMINADORA



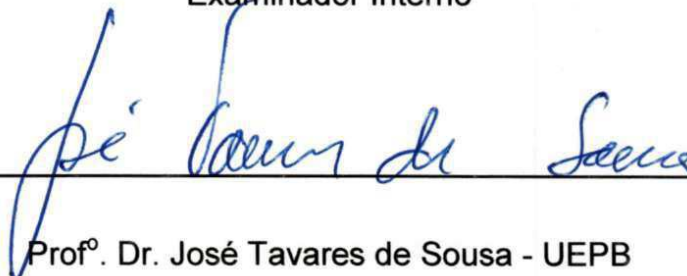
Prof^a. Dra. Annemarie König - UFCG
Orientadora



Prof^a. Dra. Beatriz Susana Ovruski de Ceballos - UFCG
Orientadora



Prof^o. Dr. Rui de Oliveira - UFCG
Examinador Interno



Prof^o. Dr. José Tavares de Sousa - UEPB
Examinador Externo

**CAMPINA GRANDE - PB
AGOSTO, 2007**

DEDICATÓRIA

Aos meus filhos Joel e Gabriel pelo amor incondicional e por deixar meus dias mais felizes. Ao meu esposo, Natan, pelo constante incentivo, paciência e compreensão durante todo o tempo de realização deste trabalho. Aos meus queridos pais Tarcísio e Marília pelo amor, apoio e força fornecidos nos momentos mais difíceis.

AGRADECIMENTOS

A Deus que através da sua presença divina na minha vida me deu força, perseverança, paciência e determinação durante toda esta jornada;

Ao meu esposo pela dedicação, ajuda e por estar presente em todos os momentos difíceis;

Aos meus pais por me ajudarem indiretamente na realização deste trabalho;

Aos meus irmãos Gisetti e Gisehilton pela força prestada;

À orientadora Profa. Dra. Annemarie Konig pela atenção, paciência, amizade, compreensão, orientação e confiança em mim depositada;

À orientadora Profa. Dra. Beatriz Susana Ovruski de Ceballos pela extrema atenção dada nos momentos em que mais precisava;

À companheira de estudo Pollyana Caetano;

Aos professores da área de Engenharia Sanitária e Ambiental – AESA – da UFCG, pelos ensinamentos prestados no decorrer da minha formação acadêmica;

Às funcionárias Cristina e Valmária;

À Companhia de Água e Esgoto da Paraíba – CAGEPA;

A Professora Carmem Becker do departamento de Meteorologia da UFCG pela atenção prestada;

A Allyson Guimarães pela atenção dada e pela orientação no tratamento dos dados estatísticos;

Ao CNPq pelo apoio financeiro;

A todos aqueles que direta ou indiretamente contribuíram para o desenvolvimento deste trabalho.

RESUMO

O presente trabalho teve como objetivo avaliar as condições de reúso dos efluentes finais de dez ETE's localizadas nos municípios de João Pessoa (Róger e Mangabeira), Guarabira, Sapé, Campina Grande, Monteiro, Itaporanga, Patos, Sousa e Cajazeiras - PB frente os padrões recomendados da Organização Mundial da Saúde. O período experimental (ago/2000 a mai/2004), foi dividido em 4 períodos climáticos de seca e em um único período de chuva. As variáveis avaliadas foram pH, CE, STD, amônia, coliformes termotolerantes, *Escherichia coli*, ovos de helmintos; a RAS e a salinidade foram calculadas, para avaliar o problema potencial de infiltração e o risco de salinização do solo, respectivamente. Os resultados obtidos foram submetidos (1) a técnica estatística do "box-plot"; (2) a análise de variância (ANOVA) fator único, com nível de significância 5%; (3) o método gráfico GT-2 que compara simultaneamente as várias médias. A classificação de Riverside foi aplicada para definir as categorias de uso do efluente final, quanto a sua salinidade e a sodicidade. O pH da maioria dos efluentes finais esteve dentro da faixa ideal para irrigação de 6,5 a 8,4. Quanto à salinidade (avaliada através da CE e dos STD), somente os efluentes das ETE's de Sousa (seca 2) e de Cajazeiras (seca 2, seca 3 e chuva) não apresentaram restrições de uso, para os demais a restrição foi de ligeira a moderada. Na avaliação do nível de salinidade somente através dos STD, os efluentes finais apresentaram salinidade de média a alta. Na avaliação dos problemas potenciais de infiltração (CE e RAS), os efluentes finais das ETE's de Cajazeiras, Itaporanga, Róger, Sapé e Sousa (seca 3), de Cajazeiras, Itaporanga, e Sousa (seca 4) e Cajazeiras, Guarabira, Itaporanga, Mangabeira, Monteiro Sapé e Sousa (chuva) apresentaram um grau de restrição de uso de ligeiro a moderado enquanto que as demais ETE's não apresentaram restrição de uso. De acordo com a classificação de Riverside, nas secas 3 e 4, a maioria dos efluentes finais se enquadraram em C3 – S1 e C3 – S2 e no período de chuva, na classificação C2 – S1, C3 – S1 e C3 – S2. Independente de período climático, os efluentes finais das ETE's se enquadraram nas classificações de C3 – S1 (Mangabeira e Róger), C3 – S1 e C3 – S2 (Campina Grande, Guarabira e Sapé) e C2 - S1 (Cajazeiras). Na maioria dos efluentes, as concentrações de amônia estiveram acima do padrão de qualidade recomendado de até 30mg/L de nitrogênio amoniacal. A qualidade microbiológica dos efluentes finais não atendeu aos padrões sanitários da OMS (WHO, 1989) devido ao excesso de coliformes termotolerantes (> 1000CF/100mL), sendo impróprios para irrigação irrestrita apesar dos ovos de helmintos estarem ausentes. A análise de variância demonstrou que houve diferenças significativas entre os grupos nos parâmetros pH, CE, STD e amônia para o período de seca e de chuva. Os efluentes finais eram ricos em amônia e apresentaram excesso de coliformes termotolerantes, que estão sendo lançados em rios e riachos contaminando os corpos receptores e o meio ambiente. Os padrões mais recentes da Organização Mundial da Saúde (WHO, 2006), para reúso irrestrito e restrito contemplam várias opções de reúso (cada uma delas com concentrações máximas de *E.coli*, desde que não excedam 10⁶/100mL) juntamente com vários tipos de tratamento de esgoto e manejo agrícola (técnicas de irrigação e culturas a serem irrigadas). Neste trabalho, somente os efluentes finais de Cajazeiras (secas 3, 4 e chuva), Mangabeira (secas 3 e 4 e chuva), Itaporanga e Sousa (seca 3), Sapé e Sousa (seca 4) estiveram inseridos em algumas das opções sugeridas pela OMS. Os demais efluentes finais não se enquadraram em nenhuma opção, por apresentarem valores superiores ao padrão de 10⁶ *E.coli*/100mL, sendo impróprios para a qualquer tipo de irrigação, apesar dos ovos de helmintos estarem ausentes nos efluentes finais de todas as 10 ETE's avaliadas.

ABSTRACT

The present work aimed an evaluation of reuse conditions of the final effluents of 10 Sewage Treatment Plants in the municipalities of João Pessoa (Róger and Mangabeira), Guarabira, Sapé, Campina Grande, Monteiro, Itaporanga, Patos, Sousa and Cajazeiras - PB using the World Health Organization recommended standarts. The experimental period (aug/2000 to may/2004), was divided in 4 climatic periods of drought and a single rain period. The variables studied were pH, EC, TDS, ammonia, thermotolerant coliforms, *Escherichia. coli*, helminths eggs; SAR (Sodium Absorption Rate) and salinity were calculated to evaluate the potential problem of infiltration and the risk of soil salinization respectively. The results were submitted to (1) box plot statistical technique; (2) variance analysis (ANOVA) single factor with 5% significance level and (3) the GT-2 graphic method to compare mean values simultaneously. The Riverside classification was applied to define the final effluents use categories for salinity and sodicity. The pH of most final effluents ranged from 6.5 to 8.4 and were considered appropriate to irrigation. The final effluents of Sousa (drought 2) and Cajazeiras (drought 2, drought 3 and rain) did not present any use restrictions when salinity (evaluated through EC and TDS) was used. The salinity, evaluated through TDS, showed final effluents with medium to high degree of salinity. The infiltration potential problems using EC and S.A.R., showed that final effluents of Cajazeiras, Itaporanga, Róger, Sapé and Sousa (drought 3), Cajazeiras, Itaporanga, and Sousa (drought 4) and Cajazeiras, Guarabira, Itaporanga, Mangabeira, Monteiro Sapé and Sousa (rain) presented a degree of restriction of low to moderate while others STP did not. Using the Riverside classification, during droughts 3 and 4, most final effluents were inserted in C3 - S1 and C3 - S2 categories and in the rain period, in C2 - S1, C3 - S1 and C3 - S2. Independent of climatic period, the effluents were framed into C3 - S1 (Mangabeira and Róger), C3 - S1 and C3 - S2 (Campina Grande, Guarabira and Sapé) and C2 - S1 (Cajazeiras). For the majority of effluents, ammonia concentrations were above the recommended standard of 30mg/L. The final effluent microbiological quality did not reach the sanitary standard of W.H.O. (1989) due to the excess of thermotolerant coliforms (> 1000FC/100ml), being inappropriate for unrestricted irrigation in spite of the absence of helminths eggs. The variance analysis demonstrated significant differences among the groups for pH, E.C. T.D.S. and ammonia during drought and rain period. The final effluents were rich in ammonia and presented excess of thermotolerant coliforms contaminating rivers and receiving water bodies. The most recent standard of the World Health Organization (WHO, 2006), for unrestricted and restricted reuse contemplate several reuse options (each one with maximum concentrations of *E.coli*, until 10E6/100mL) with sewage treatment methods and agricultural handling (irrigation techniques and cultures to be irrigated). In this work only the final effluents of Cajazeiras (droughts 3, 4 and rain), Mangabeira (droughts 3 and 4 and rain), Itaporanga and Sousa (drought 3), Sapé and Sousa (drought 4) were inserted in some of the options suggested by WHO. The other final effluents were not inserted in any option, due to high values of *E.coli* above 10E6/100mL, being inappropriate for the any irrigation type, in spite helminths eggs be absent in all 10 STP final effluents.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	10
LISTA DE TABELAS	12
1.0 Introdução	13
2.0 Revisão de Literatura	15
2.1 Reúso de água	15
2.2 Qualidade da água para irrigação	16
2.3 Sistemas de tratamento de águas residuárias	21
2.4 Uso de água residuária na irrigação	23
2.5 Benefícios do reúso de água para fins agrícolas	38
2.6 Experiências de reúso para fins agrícolas	40
3.0 Materiais e Métodos	44
3.1 Descrição dos Sistemas	44
3.2 Características dos Sistemas	48
3.3 Monitoramento dos Sistemas	52
3.4 Procedimentos Laboratoriais	53
3.5 Análise estatística	54
4.0 Apresentação e Análise dos Resultados	55
4.1 Dados climatológicos dos municípios	55
4.2 Estatística descritiva dos parâmetros físicos, químicos e microbiológicos	57
4.3 Análise de variância dos parâmetros físicos, químicos e microbiológicos	92
5.0 Discussão	102
6.0 Conclusões	105
7.0 Referências Bibliográficas	108

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 – Classificação de Riverside para a qualidade da água na irrigação.	34
Figura 3.1 – Localização das ETE's no estado da Paraíba monitoradas no período de 2000 a 2004.....	44
Figura 4.1a – Representação, em “box plot” dos valores de pH nos efluentes finais de 08 ETE's do estado da Paraíba no período da seca 1.....	59
Figura 4.1b – Representação, em “box plot” dos valores de pH nos efluentes finais de 08 ETE's do estado da Paraíba no período da seca 2.....	59
Figura 4.2a – Representação, em “box plot” dos valores de pH nos efluentes finais de 10 ETE's do estado da Paraíba no período da seca 3.....	60
Figura 4.2b – Representação, em “box plot” dos valores de pH nos efluentes finais de 10 ETE's do estado da Paraíba no período da seca 4.....	60
Figura 4.3 – Representação, em “box plot” dos valores de pH nos efluentes finais de 10 ETE's do estado da Paraíba em todo o período de chuva.....	61
Figura 4.4a – Representação, em “box plot” dos valores de CE nos efluentes finais de 08 ETE's do estado da Paraíba no período da seca 1.....	63
Figura 4.4b – Representação, em “box plot” dos valores de CE nos efluentes finais de 08 ETE's do estado da Paraíba no período da seca 2.....	63
Figura 4.5a – Representação, em “box plot” dos valores de CE nos efluentes finais de 10 ETE's do estado da Paraíba no período da seca 3.....	64
Figura 4.5b – Representação, em “box plot” dos valores de CE nos efluentes finais de 10 ETE's do estado da Paraíba no período da seca 4.....	64
Figura 4.6 – Representação, em “box plot” dos valores de CE nos efluentes finais de 10 ETE's do estado da Paraíba em todo o período de chuva.....	65
Figura 4.7a – Representação, em “box plot” dos valores de STD nos efluentes finais de 08 ETE's do estado da Paraíba no período da seca 1.....	67
Figura 4.7b – Representação, em “box plot” dos valores de STD nos efluentes finais de 08 ETE's do estado da Paraíba no período da seca 2.....	67
Figura 4.8a – Representação, em “box plot” dos valores de STD nos efluentes finais de 10 ETE's do estado da Paraíba no período da seca 3.....	68
Figura 4.8b – Representação, em “box plot” dos valores de STD nos efluentes finais de 10 ETE's do estado da Paraíba no período da seca 4.....	68
Figura 4.9 – Representação, em “box plot” dos valores de STD nos efluentes finais de 10 ETE's do estado da Paraíba em todo o período de chuva.....	69
Figura 4.10a – Representação, em “box plot” dos valores da RAS nos efluentes finais de 10 ETE's do estado da Paraíba no período da seca 3.....	73
Figura 4.10b – Representação, em “box plot” dos valores da RAS nos efluentes finais de 10 ETE's do estado da Paraíba no período da seca 4.....	73
Figura 4.11 – Representação, em “box plot” dos valores da RAS nos efluentes finais de 10 ETE's do estado da Paraíba em todo o período de chuva.....	74
Figura 4.12 – Classificação de Riverside quanto ao grau de salinidade e sodicidade dos efluentes finais das ETE's da Paraíba (secas 3 e 4).	75

Figura 4.13 – Classificação de Riverside quanto ao grau de salinidade e sodicidade dos efluentes finais das ETE’s da Paraíba (chuva).....	76
Figura 4.14 – Classificação de Riverside quanto ao grau de salinidade e sodicidade dos efluentes finais das ETE’s do estado da Paraíba.	76
Figura 4.15 – Classificação de Riverside quanto ao grau de salinidade e sodicidade dos efluentes finais das ETE’s do estado da Paraíba.	77
Figura 4.16a – Representação, em “box plot” dos valores de amônia nos efluentes finais de 08 ETE’s do estado da Paraíba no período da seca 1.....	80
Figura 4.16b – Representação, em “box plot” dos valores de amônia nos efluentes finais de 08 ETE’s do estado da Paraíba no período da seca 2.....	80
Figura 4.17a – Representação, em “box plot” dos valores de amônia nos efluentes finais de 10 ETE’s do estado da Paraíba no período da seca 3.....	81
Figura 4.17b – Representação, em “box plot” dos valores de amônia nos efluentes finais de 10 ETE’s do estado da Paraíba no período da seca 4.....	81
Figura 4.18 – Representação, em “box plot” dos valores de amônia nos efluentes finais de 10 ETE’s do estado da Paraíba em todo o período de chuva.....	82
Figura 4.19a – Representação, em “box plot” dos valores de coliformes fecais nos efluentes finais de 08 ETE’s do estado da Paraíba no período da seca 1.....	85
Figura 4.19b – Representação, em “box plot” dos valores de coliformes fecais nos efluentes finais de 08 ETE’s do estado da Paraíba no período da seca 2.....	85
Figura 4.20a – Representação, em “box plot” dos valores de coliformes fecais nos efluentes finais de 10 ETE’s do estado da Paraíba no período da seca 3.....	86
Figura 4.20b – Representação, em “box plot” dos valores de coliformes fecais nos efluentes finais de 10 ETE’s do estado da Paraíba no período da seca 4.....	86
Figura 4.21 – Representação, em “box plot” dos valores de coliformes fecais nos efluentes finais de 10 ETE’s do estado da Paraíba em todo o período de chuva.....	87
Figura 4.22a – Representação, em “box plot” dos valores de <i>Escherichia coli</i> nos efluentes finais de 10 ETE’s do estado da Paraíba no período da seca 3.....	89
Figura 4.22b – Representação, em “box plot” dos valores de <i>Escherichia coli</i> nos efluentes finais de 10 ETE’s do estado da Paraíba no período da seca 4.....	89
Figura 4.23 – Representação, em “box plot” dos valores de <i>Escherichia coli</i> nos efluentes finais de 10 ETE’s do estado da Paraíba em todo o período de chuva.....	90
Figura 4.24 – Dendograma para o período de seca.	93
Figura 4.25 – Dendograma para o período de chuva	93
Figura 4.26a – Gráfico GT2 do parâmetro pH no período de seca.	96
Figura 4.26b – Gráfico GT2 do parâmetro pH no período de chuva.	96
Figura 4.27 – Gráfico GT2 do parâmetro CE no período de seca.....	97
Figura 4.28 – Gráfico GT2 do parâmetro CE no período de chuva.	98
Figura 4.29a – Gráfico GT2 do parâmetro STD no período de seca.....	99
Figura 4.29b – Gráfico GT2 do parâmetro STD no período de chuva.....	99
Figura 4.30 – Gráfico GT2 do parâmetro amônia no período de seca.	100
Figura 4.31 – Gráfico GT2 do parâmetro amônia no período de chuva.....	101

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 – Diretrizes para interpretar a qualidade da água para irrigação.	18
Tabela 2.2 – Grupos de tolerância relativa à salinidade	19
Tabela 2.3 – Diretrizes sanitárias da Organização Mundial da Saúde.	26
Tabela 2.4 – Pautas microbiológicas revistas e recomendadas para o uso de águas residuais tratadas na agricultura (a).	28
Tabela 2.5 – Diretrizes da WHO (2006) para o uso agrícola de esgotos sanitários.....	29
Tabela 2.6 – Concentração de cálcio (Ca^0) contida na água do solo, próximo à superfície, que resultaria da irrigação com água de determinada relação HCO_3/Ca e $\text{CEa}^{1,2,3}$	32
Tabela 2.7 – Classes de salinidade para águas de irrigação.....	36
Tabela 3.1 – Dados físicos, geográficos, demográficos e climatológicos de 9 municípios do estado da Paraíba.	46
Tabela 3.2 – Configurações de projeto dos Sistemas de Tratamento de Esgotos do estado da Paraíba.	48
Tabela 3.3 – Características físicas e operacionais de projeto dos Sistemas de Tratamento de Esgotos do estado da Paraíba.	50
Tabela 3.4 – Variáveis físicas, químicas e microbiológicas e procedimentos analíticos empregados.	53
Tabela 3.5 – Período de seca e chuva dos municípios em estudo.....	53
Tabela 4.1 – Média da pluviosidade nos períodos de seca e chuva dos municípios.....	56
Tabela 4.3 – Estatística descritiva das concentrações dos ovos de helmintos para efluentes finais de ETEs do estado da Paraíba no período de agosto/2000 a maio/2004.....	91
Tabela 4.4 – Grupos de ETE's formados através do dendograma.	92
Tabela 4.5 – Análise de variância para os conjuntos de dados de pH, CE, STD, RAS, amônia, CF, <i>E. coli</i> e ovos de helmintos - período de seca.	94
Tabela 4.6 – Análise de variância para os conjuntos de dados de pH, CE, STD, RAS, amônia, CF, <i>E. coli</i> e ovos de helmintos - período de chuva.....	95

1.0 Introdução

A água é um recurso natural e renovável através do ciclo hidrológico e aproximadamente, 40.000.000 m³/ano de água (MANCUSO, 2003) são transferidos dos oceanos para a terra, quantidade muitas vezes superior à necessária para atender a população atual do planeta. O grande problema está na má distribuição da precipitação e na má utilização da água armazenada pelo homem.

O crescimento populacional acelerado em várias regiões do mundo e a má gestão dos recursos hídricos, na agricultura, indústria e no consumo humano contribuem para o problema da escassez de água vivido nos tempos atuais. Segundo Mancuso (2003), no Oriente Médio, nove entre quatorze países vivem em condições de escassez, seis dos quais devem duplicar a população dentro dos 25 anos.

No Brasil encontram-se cerca de 8% da reserva mundial de água doce, sendo que 80% destes encontram-se na região Amazônica e os restantes 20% concentram-se nas regiões onde vivem 95% da população brasileira (ANA, 2002). Considerando-se a diversidade de climas, relevos, potencialidades econômicas e condições socioeconômicas e culturais, a questão do recurso hídrico adquire contornos muito variáveis: existem no Brasil desde regiões riquíssimas em água de boa qualidade até regiões semi-áridas, onde podem ocorrer longos períodos sem chuva, passando por áreas urbanas com sérios problemas de poluição e inundações. O Brasil é considerado, em termos quantitativos, um dos mais ricos países em água doce no mundo. Observa-se, no entanto, grande variação de distribuição desse recurso no tempo e também no espaço, entre as diferentes regiões do Brasil (ANA, 2002).

O Nordeste, com 1,56 milhões de km² (18,2% do território nacional), inclui a maior parte da região semi-árida do Brasil. A população da região ultrapassa os 47 milhões de habitantes (28,1% da população do país). As áreas úmidas se restringem à fronteira com a região Norte e à faixa litorânea. O semi-árido é uma região com precipitações médias anuais irregulares, com médias que podem variar de 200 a 700 mm por ano. Abriga a parcela mais pobre da população brasileira, com ocorrência de graves problemas sociais. É nessa região que o fenômeno da seca tem repercussões mais graves e a água passa a ser fator de sobrevivência (ANA, 2002).

O estado da Paraíba, situado no nordeste brasileiro é o estado com severos problemas sociais, além de apresentar grande vulnerabilidade climática e pluvial principalmente no semi-árido, contribuindo para o fenômeno da seca. Devido a isto, é comum à utilização, nos

cinturões verdes das cidades de maior aglomerado populacional, de águas superficiais poluídas com esgotos domésticos, na irrigação de culturas diversas sem que essas águas tenham tido um tratamento prévio.

A irrigação é uma das atividades humanas que mais consome água. Estima-se ser da ordem de 70% a parcela da irrigação no uso consultivo total de água. O uso intensivo da irrigação vem acarretando, em algumas regiões do Brasil, graves conflitos, não só envolvendo a irrigação com outros usos (abastecimento público, por exemplo), como também propiciando sérias disputas de irrigantes entre si. Muitos desses conflitos poderiam ser evitados se forem adotadas técnicas de irrigação mais eficientes quanto ao uso da água (AGENDA 21, 2000).

A alternativa mais adequada para conservação e preservação dos mananciais de água destinados ao consumo humano e para manter as atividades agrícolas é o reúso. No caso particular da agricultura, o reúso de águas residuárias, principalmente no semi-árido nordestino, além de promover a preservação dos recursos hídricos, dá condições de sobrevivência à população dessa região, gerando emprego e renda, e ainda, controla a poluição ambiental.

No Brasil a maioria das águas residuárias é tratada através de lagoas de estabilização e os efluentes são lançados em corpos d'água superficiais, causando a eutrofização devido ao excesso de nitrogênio e fósforo, não removido pelo processo de tratamento. Para se evitar este fenômeno o ideal seria a utilização desses efluentes na agricultura. Para que essa atividade seja bem sucedida, é preciso que os efluentes finais atendam aos padrões mínimos exigidos de qualidade de água para reúso no que se refere aos parâmetros físico-químicos e microbiológicos.

O objetivo geral deste trabalho foi avaliar os fatores físicos, químicos e microbiológicos de efluentes finais de ETE's do estado da Paraíba para fins agrícolas. Os dados sobre a qualidade física, química e microbiológica dos efluentes finais de 10 ETE's do estado da Paraíba estavam disponibilizados num banco de dados, tendo sido avaliados sob o ponto de vista de sua adequação ou não para uso em agricultura.

2.0 Revisão de Literatura

2.1 Reúso de água

A problemática da escassez de água para as diversas atividades humanas está associada ao constante aumento populacional, principalmente, nas zonas urbanas das grandes cidades em várias regiões do mundo. Essa escassez obriga os gestores públicos a buscarem o suprimento de água de qualidade a distâncias cada vez maiores. O maior consumo de águas tratadas, por sua vez, gera aumento das vazões de águas residuárias, que ao não serem tratadas adequadamente, causam alterações na qualidade da água dos corpos receptores, interferindo na preservação das fontes hídricas. Para solucionar parte do problema, os órgãos internacionais e governamentais encontraram no reúso uma forma de suprimento adicional de água de qualidade inferior que pode ser destinada para os usos menos exigentes, como para o desenvolvimento da agricultura de maneira sustentável. Destaca-se que esta atividade consome cerca de 70% do total da demanda atual de água (HESPANHOL, 2003).

Define-se como reúso a utilização de águas já servidas para fins menos nobres, por exemplo, na indústria, na agricultura e uso doméstico. Atualmente, o reúso está bastante difundido devido a possível escassez de água, proveniente da má utilização deste recurso pelos seres humanos. Além disso, a agricultura consome em média 70% de toda a água, frente a 25% de consumo industrial e 10% de consumo pelos seres humanos para beber e atividades domésticas e que ainda poderia ser significativamente reduzido pelo controle do desperdício e perdas (ANDREOLI, 2003).

Existem várias formas de se reutilizar a água. Segundo a Organização Mundial da Saúde (WHO, 1973 *apud* Marques, 2004) os tipos de reúso são classificados em:

- ⇒ reúso indireto: ocorre quando a água já usada, uma ou mais vezes para uso doméstico ou industrial é descarregada nas águas superficiais ou subterrâneas e utilizada novamente a jusante, de forma diluída;
- ⇒ reúso direto: é o uso planejado e deliberado de esgotos tratados para certas finalidades como irrigação, uso industrial, recarga de aquífero e água potável;
- ⇒ reciclagem interna: é o reúso da água internamente a instalações industriais, objetivando economia da água e controle da poluição.

Westerhoff (1984) *apud* Mancuso (2003) classifica o reúso como potável e não potável, tendo as seguintes subclassificações e finalidades de uso:

O reúso potável é classificado como:

-
- ⇒ direto: após tratamento avançado, o efluente doméstico é reutilizado de forma direta no sistema de água potável;
 - ⇒ indireto: após o tratamento, o efluente é lançado no lençol freático visando diluição e purificação natural e, em seguida, é captado e tratado para finalmente ser usado como água potável.

O reúso não potável é classificado como:

- ⇒ reúso não potável na agricultura e aquicultura: irrigação de plantas, irrigação de pastagens, dessedentação de animais e criação de peixes;
- ⇒ reúso industrial: refrigeração, caldeiras e uso no processo industrial;
- ⇒ reúso para fins domésticos: descargas sanitárias, lavagem de pisos, rega de jardins, etc;
- ⇒ reúso para fins recreacionais: irrigação de campos de esportes, parques e áreas de lazer;
- ⇒ reúso para manutenção de vazões: regularizar a vazão de cursos d'água visando diluição de cargas potencialmente poluidoras.

2.2 Qualidade da água para irrigação

A qualidade da água é definida pelas suas características físicas, químicas e biológicas verificando sempre sua adaptabilidade para usos específicos. Para a irrigação, uma água de boa qualidade melhora o rendimento das culturas causando menos danos para o meio ambiente e para a saúde pública. Segundo Tsutiya (2001), a água para irrigação deve obedecer a critérios de qualidade que visem à preservação da qualidade das culturas e dos níveis de produção, a preservação do solo agrícola e a proteção da saúde pública do consumidor, principalmente em relação aos vegetais que possam ser ingeridos sem cozimento.

A qualidade da água para irrigação está relacionada com a concentração de sais dissolvidos e com sua composição iônica, devendo ser avaliada pelas suas características químicas e físicas.

Segundo Ayers & Westcot (1999), a qualidade da água para irrigação pode variar significativamente, segundo o tipo e a quantidade de sais dissolvidos. Os sais se encontram em quantidades relativamente pequenas, porém, significativas e têm sua origem na dissolução das rochas e solos, ou por poluição atmosférica ou por poluição com outros resíduos líquidos e sólidos que atingem os corpos aquáticos ou subterrâneos. Esses sais podem ser transportados pelas águas de irrigação e depositados no solo, onde se acumulam na medida

em que a água se evapora ou é consumida pelas culturas. Diversos trabalhos científicos têm verificado alguns parâmetros como indicadores de problemas relacionados com a qualidade da água, permitindo elaborar diretrizes técnicas para determinar a conveniência do uso da água na irrigação. Algumas destas diretrizes, no caso específico da agricultura irrigada, encontram-se na Tabela 2.1.

2.2.1 Problemas de qualidade da água para irrigação

Os maiores problemas que atingem a qualidade da água para irrigação são:

- Salinidade;
- Infiltração da água;
- Toxicidade de íons específicos;
- Outros problemas.

2.2.1.1 Salinidade

A salinidade é a medida da quantidade de sais dissolvidos em uma determinada massa de água, e é analisada através da condutividade elétrica e dos sólidos totais dissolvidos, ambas as medidas podem ser utilizadas porque são equivalentes. Os principais sais encontrados na água são: cloreto de sódio, sulfato e carbonato de sódio, sulfato de magnésio e cloreto de magnésio (KOVDA, 1973 *apud* SILVA JR.*et al.*, 1999).

É importante ressaltar a tolerância relativa à salinidade que diversas culturas possuem, algumas não são afetadas por elevadas concentrações de sais, produzindo assim, rendimentos aceitáveis e, outras, são extremamente sensíveis á baixos níveis de sais. A Tabela 2.2 mostra os grupos de tolerância relativa à salinidade.

Tabela 2.1 – Diretrizes para interpretar a qualidade da água para irrigação.

Problema Potencial	Unidades	Grau de restrição para uso		
		Nenhum	Ligeiro - Moderado	Severo
Salinidade (afeta a disponibilidade de água para a cultura)				
CEa ou	dS/m	< 0,7	0,7 - 3,0	> 3,0
SDT	mg/L	< 450	450 - 2000	> 2000
Infiltração (avaliada usando-se CEa e RAS, conjuntamente)				
RAS = 0 - 3 e CEa =		> 0,7	0,7 - 0,2	< 0,2
RAS = 3 - 6 e CEa =		> 1,2	1,2 - 0,3	< 0,3
RAS = 6 - 12 e CEa =		> 1,9	1,9 - 0,5	< 0,5
RAS = 12 - 20 e CEa =		> 2,9	2,9 - 1,3	< 1,3
RAS = 20 - 40 e CEa =		> 5,0	5,0 - 2,9	< 2,9
Toxicidade de íons específicos (afeta culturas sensíveis)				
Sódio (Na)				
Irrigação por superfície	RAS	< 3	3 - 9	> 9
Irrigação por aspersão	meq/L	< 3	> 3	
Cloreto (Cl)				
Irrigação por superfície	meq/L	< 4	4 - 10	> 10
Irrigação por aspersão	meq/L	< 3	> 3	
Boro (B)	meq/L	< 0,7	0,7 - 3,0	> 3,0
Outros (afetam culturas sensíveis)				
Nitrogênio (NO ³ - N)	mg/L	< 5,0	5,0 - 30	> 30
Bicarbonato (HCO ₃) – apenas aspersão convencional	meq/L	< 1,5	1,5 - 8,5	> 8,5
pH		Faixa normal: 6,5 - 8,4		

Fonte: Ayers & Westcot (1999).

Tabela 2.2 – Grupos de tolerância relativa à salinidade

Grupos de tolerância relativa das culturas	Salinidade limiar (SL) dS/m
Sensíveis	< 1,3
Moderadamente sensíveis	1,3 - 3,0
Moderadamente tolerantes	3,0 - 6,0
Tolerantes	6,0 - 10,0
Não adequado para a maioria das culturas	> 10,0

Fonte: Ayers & Westcot (1999).

Seguem alguns exemplos dos grupos citados acima, de acordo com a tolerância aos sais:

- Sensíveis: feijão, cebola, cenoura, quiabo, gergelim, abacate, ameixa, amora.
- Moderadamente sensíveis: arroz, milho, alface, tomate, abóbora, cana-de-açúcar, batata, melão, melancia.
- Moderadamente tolerantes: soja, trigo, mamão, aveia, abacaxi, romã, cevada forrageira, oliveira.
- Tolerantes: algodão, cevada, beterraba, jojoba, aspargo.

Quando as culturas são irrigadas com águas com alto conteúdo de sais dissolvidos, estes interferem na pressão osmótica do solo, na toxicidade de íons específicos e na degradação das condições físicas do solo. Esses problemas podem resultar na diminuição da absorção de água pela planta, reduzindo seu crescimento e, conseqüentemente, sua produtividade, além de ocasionar a queima das folhas. É necessária a aplicação de grandes volumes de água para que os sais dissolvidos sejam arrastados por lixiviação diminuindo os seus teores no perfil do solo irrigado (BLUM, 2003).

Bastos *et al.* (2003) relatam que no caso da salinidade excessiva a disponibilidade da água que atinge a zona radicular da planta é comprometida pela sua dificuldade de absorção. O risco potencial de salinização do solo é analisado através da salinidade da água de irrigação. Quando se usa água salina, a manutenção da salinidade no perfil do solo é feita através de lixiviação. Entretanto, se a salinidade for muito elevada e o solo, pouco permeável, isto se torna impraticável.

O controle dos sais dissolvidos é de extrema importância no monitoramento da qualidade da água para irrigação. Para este controle se utiliza o parâmetro condutividade

elétrica da água, pois há uma relação de proporcionalidade com os teores de sais contidos na água.

2.2.1.2 Infiltração da água no solo

A infiltração é o processo pelo qual a água penetra no perfil do solo. Na irrigação, este processo é de grande importância, pois para se obter produtividade nas culturas é necessária a renovação da água no perfil do solo. Isso acontece quando o solo tem uma boa filtrabilidade e quando a água de irrigação não possui teores altos de sódio ou baixos de cálcio. Estas duas variáveis devem ser avaliadas quando se estuda a qualidade da água para irrigação, pois o sódio adere nas partículas de solo diminuindo a porosidade e dificultando a penetração da água no extrato do solo, e toda a cultura irrigada fica comprometida.

No caso de problemas de infiltração do solo, a quantidade de água que atinge a zona radicular é reduzida. A sodicidade na água deve ser controlada através da medição das concentrações de sódio, cálcio e magnésio, que determinam a RAS (Razão de Adsorção de Sódio). Tanto a salinidade quanto a sodicidade afeta a velocidade de infiltração da água no solo. Em geral, alta salinidade aumenta a velocidade de infiltração da água; inversamente, baixa salinidade e/ou elevada proporção de sódio em relação ao cálcio provoca redução na capacidade de infiltração do solo (BASTOS *et al.*, 2003).

2.2.1.3 Toxicidade de íons específicos

Na avaliação da qualidade da água para irrigação, é de extrema importância conhecer se existe íons tóxicos na água. Os principais elementos a serem avaliados são: a salinidade que corresponde à quantidade de sais dissolvidos e a sodicidade que corresponde à percentagem de sódio presente na água. O processo de toxicidade causa redução na produtividade das culturas não por falta de água, mas quando na transpiração a planta absorve cátions da água do solo, ocorrem problemas de clorose e queima dos tecidos, podendo chegar até a morte da planta, quando seu acúmulo é muito elevado (MIRANDA *et al.*, 2001).

Segundo Ayers & Westcot (1999), os íons tóxicos contidos geralmente nas águas de irrigação são: sódio, cloreto e boro. Os danos podem ser provocados pelos íons individualmente ou por combinação destes. O controle pode ser feito através da lixiviação para reduzir o potencial de toxicidade.

2.2.1.4 Outros problemas

Os eventuais problemas que podem surgir estão relacionados com fatores, tais como: excessos de nutrientes, pH anormal, incrustações (alta concentração de bicarbonato e sulfato de cálcio). Estes problemas podem reduzir os rendimentos das culturas e/ou sua qualidade.

Além dos problemas mencionados, deve-se analisar se a água é microbiologicamente segura para ser utilizada na agricultura. O uso de água residuária já é uma prática constante nos dias de hoje e é de grande importância que seja utilizada de forma controlada e planejada e que seu uso esteja de acordo com os padrões sanitários para assegurar a saúde da população consumidora.

O tratamento de águas residuárias antes de serem utilizadas na agricultura é de fundamental importância para atender às exigências dos padrões sanitários, pois estes têm por objetivo eliminar ou reduzir os microrganismos patogênicos, causadores de doenças de veiculação hídrica. Dentro dos processos de tratamento existentes os mais eficientes na remoção de organismos patogênicos são as lagoas de estabilização.

2.3 Sistemas de tratamento de águas residuárias

O tratamento de águas residuárias tem como objetivo a transformação da matéria orgânica biodegradável em material inorgânico, a remoção de sólidos em suspensão e a redução ou eliminação dos microrganismos patogênicos de transmissão hídrica (MENDONÇA, 2000). Existem várias formas de se tratar as águas residuárias, dentro dos processos biológicos de tratamento visando o reúso, destacam-se as lagoas de estabilização.

No sistema de lagoa de estabilização não existe nenhum meio artificial ou qualquer tipo de equipamento mecânico em operação e são assim chamados por ocorrer dentro do sistema fenômenos naturais de autodepuração da água residuária. Existem vários tipos de lagoas: lagoas anaeróbias, facultativas e de maturação, que funcionam em série ou em paralelo. O que vai definir se a lagoa é anaeróbia, facultativa ou de maturação é a carga orgânica aplicada.

As lagoas anaeróbias possuem pequenas dimensões de superfície, são profundas (de 3 a 5 m) (MENDONÇA, 2000) e recebem o esgoto bruto, ou seja, cargas orgânicas elevadas. Sua profundidade e altas cargas orgânicas evitam a fotossíntese havendo maior consumo de oxigênio de que produção, e estabelecendo dentro do sistema as condições anaeróbias.

Possuem tempo de detenção hidráulica de 3 a 5 dias, suficientes para a decomposição parcial da matéria orgânica (VON SPERLING, 1996). Von Sperling (1996) cita que as bactérias anaeróbias possuem metabolismo mais lento que as bactérias aeróbias, necessitando de maior tempo para degradar a matéria orgânica eficientemente.

As lagoas facultativas podem ser primárias ou secundárias. As lagoas facultativas primária recebem o esgoto bruto e as lagoas facultativas secundária recebem o esgoto já tratado ou em lagoa anaeróbia ou por outro tipo de tratamento, têm maiores dimensões e são mais rasas. O esgoto entra na lagoa com uma carga orgânica de 40 a 50% da carga do esgoto bruto (VON SPERLING, 1996). As lagoas facultativas apresentam profundidades que variam de 1,5 a 2,5 m (MENDONÇA, 2000). As lagoas facultativas são assim chamadas, por na superfície, predominarem as condições aeróbias, por prevalecerem, em uma zona intermediária, às condições facultativas e no fundo condições anaeróbias (KONIG, 2000). Como são mais rasas que as lagoas anaeróbias, a luz solar penetra na água residuária até uma determinada profundidade ocorrendo o processo da fotossíntese oxigênica através das algas e cianobactérias, o oxigênio é fornecido e a decomposição da matéria orgânica dissolvida ocorre através das bactérias facultativas que utilizam o oxigênio do meio e liberam gás carbônico e sais minerais. Como à noite não ocorre a fotossíntese, não há produção de oxigênio e as bactérias facultativas continuam estabilizando a matéria orgânica, pois são capazes de viver em ambientes anaeróbios. O material orgânico particulado é sedimentado para o fundo da lagoa e decomposto por bactérias anaeróbias, sendo convertido em gás carbônico, água, metano e outros compostos. Estas lagoas são bastante eficientes na remoção da matéria orgânica.

As lagoas de maturação são ainda mais rasas que as lagoas facultativas com profundidades variando de 0,6 a 1,5m (MENDONÇA, 2000) e têm a finalidade de manter um ambiente aeróbio com temperatura elevada e, conseqüentemente, um pH elevado que causa a remoção de vírus e bactérias da água residuária. Este ambiente, nas condições citadas, propicia a morte destes organismos purificando a água residuária.

No interior das lagoas de estabilização existe uma relação entre bactérias e algas que mantem o equilíbrio da biota, resultando na melhoria da qualidade do efluente. O sistema de lagoas de estabilização é que mais se aproxima dos processos de depuração existentes na natureza. É um sistema biológico de tratamento altamente eficiente na eliminação de ovos de helmintos, por ter tempo de detenção suficiente para a sedimentação destes ovos. Pode atingir uma eficiência na remoção de organismos patogênicos, de 99,999% (LÉON, 1999).

2.4 Uso de água residuária na irrigação

O reúso de água é uma excelente alternativa na preservação dos recursos hídricos que são cada vez mais escassos devido ao aumento populacional e às instabilidades climáticas, principalmente, no nordeste brasileiro. Para se usar uma água residuária na irrigação, deve-se seguir diretrizes e normas estabelecidas por órgãos competentes para evitar riscos à saúde da população. A qualidade da água residuária para reúso agrícola deve ser analisada sob os aspectos físicos, químicos e microbiológicos. O aspecto microbiológico é de extrema importância para o reúso, devido à presença de organismos patogênicos nas águas residuárias, (exemplo: vírus, bactérias, protozoários e helmintos). Estes organismos devem estar em concentração mínima e bem inferior às doses infetantes para diminuir, o máximo possível, os riscos de contaminação dos agricultores e dos consumidores.

Segundo Ayers & Westcot (1999), quando se estuda o uso de água residuária para irrigação, deve-se avaliar primeiro, suas características microbiológicas e bioquímicas, de acordo com as normas de saúde pública, tendo-se em consideração o tipo de cultura, o solo, o sistema de irrigação e a forma em que se consumirá o produto. Após verificar que essas águas apresentam as condições especificadas pelas normas de saúde, é que se devem avaliar os componentes químicos (pH, condutividade elétrica).

2.4.1 Características microbiológicas

A qualidade microbiológica da água para reúso é avaliada segundo padrões definidos que têm a finalidade de minimizar os riscos à saúde pública.

A presença de organismos patogênicos em águas residuárias, solos ou culturas não significa necessariamente a transmissão de doenças, pois depende: 1) das características dos microrganismos como, dose infectiva, carga residual e latência, 2) dos hospedeiros (imunidade natural ou adquirida, idade, sexo, condições gerais de saúde) e 3) outros fatores associados à educação sanitária fazem com que o risco real de contrair doenças seja muito inferior ao risco potencial (HESPANHOL, 2003a). Logo, a presença de organismos patogênicos nas águas residuárias apresenta apenas um risco potencial.

Considerando a dose infectiva é necessário avaliar no efluente dos sistemas de tratamento de águas residuárias a concentração de microrganismos indicadores de contaminação fecal, considerando que esse valor limita seu uso.

Uma bactéria indicadora de contaminação fecal, segundo Ceballos (2000), deve reunir as seguintes características:

- ser de origem estritamente fecal;
- ser um componente normal da flora intestinal de indivíduos saudáveis;
- apresentar números mais elevados que os patogênicos intestinais;
- ser fácil de detectar e quantificar;
- não se reproduzir fora do intestino;
- estar presente sempre que microrganismos patogênicos intestinais estiverem presentes;
- ter resistência igual ou maior aos fatores ambientais;
- não ser patogênico.

Coliformes fecais (ou termotolerantes)

Os coliformes termotolerantes são indicadores de contaminação fecal por formarem parte da biota normal do intestino do homem e de outros animais de sangue quente. Eles apontam a possível presença de organismos enteropatogênicos. São classificados como bacilos Gram negativos aeróbios e anaeróbios facultativos, não esporulados, que fermentam a lactose com produção de ácido e gás depois de incubação durante 24-48 horas a uma temperatura de 44,5°C (APHA *et al.*, 1995). A *Escherichia coli* é uma espécie do grupo dos coliformes fecais ou termotolerantes e sua origem é exclusivamente fecal, estando na concentração de 10⁹ bactérias por grama de fezes e a sua presença indica contaminação fecal recente (CEBALLOS, 2000).

Segundo Hespanhol (2003a), os esgotos brutos contêm de 10⁷ a 10⁹ coliformes fecais por 100 mililitros, necessitando ser tratados por sistemas que permitam uma remoção de quatro a seis unidades log₁₀, para atingir as diretrizes para reúso irrestrito. Essa condição pode ser obtida por meio de desinfecção, lagoas de estabilização e reservatórios de acumulação.

Helminthos

São parasitas do intestino humano que têm formas variadas e ciclos complexos de reprodução. A transmissão ocorre através dos ovos e das larvas que são eliminados junto com as fezes das pessoas enfermas. Classificam-se em três grupos: cestóides, trematóides e nematóides (CEBALLOS, 2000). Representam maior risco real para a saúde pública por serem de fácil transmissão e resistirem aos fatores ambientais mais que as bactérias, podendo sobreviver por vários meses no ambiente úmido e com temperaturas médias de 28°C.

Ascaris lumbricoides pertence ao grupo dos nematóides. Seus ovos são eliminados em concentração de 10^4 microrganismos por grama de material fecal de indivíduos infectados. Sua distribuição ocorre em todo o mundo e é endêmico em muitas regiões tropicais e subtropicais (CEBALLOS, 2000). A contaminação pelo *Ascaris lumbricoides* ocorre através da ingestão de seus ovos presentes em água e alimentos contaminados. A OMS (WHO, 1989) inclui, como indicador de parasitas, o número dos ovos deste parasito nas restrições para reutilização de água residuária na irrigação.

A remoção de ovos de helmintos não pode ser atendida por sistemas convencionais de tratamento, tais como os sistemas de lodos ativados, filtros biológicos ou desinfecção. Analisando a Tabela 2.3, observa-se que em países com clima predominantemente quente, como o Brasil, a tecnologia mais adequada para tratamento de efluentes para uso agrícola é a de lagoas de estabilização, que propiciam a remoção completa de ovos de helmintos (Mara, 1976; Arthur, 1983).

Os sistemas de lagoas de estabilização funcionando com o período de detenção de 8 a 10 dias são capazes de atingir os padrões sanitários para ovos de helmintos (≤ 1 ovo /L).

Padrões sanitários da OMS

Na reunião da OMS, em 1989, em Genebra – Suíça, um grupo de especialistas estabeleceu os critérios básicos para a proteção dos grupos de risco associados ao reúso agrícola e recomendou para efluentes líquidos, as diretrizes expressas na Tabela 2.3 (HESPANHOL, 2003a). Esses critérios e diretrizes foram estabelecidos com base em processos técnicos e científicos e em evidências epidemiológicas disponíveis até então (WHO, 1989). De acordo com as diretrizes indicadas na Tabela 2.3, para irrigação irrestrita o efluente final de uma estação de tratamento de esgoto doméstico deve ter um limite máximo de ≤ 1000 coliformes fecais/100ml e um limite para ovos de nematóides de ≤ 1 ovo/L.

Segundo Bastos *et al.* (2003), os critérios da OMS para a irrigação irrestrita são bastante toleráveis em relação à qualidade bacteriológica, entretanto são omissos quanto aos vírus e os protozoários e são rigorosos com relação à remoção de helmintos. Para irrigação restrita (culturas processadas industrialmente, cereais, forragens, pastagens, árvores) conforme Tabela 2.3, não é exigido padrão bacteriológico. Entretanto, estes critérios foram avaliados considerando o emprego de lagoas de estabilização como sistemas de tratamento, onde os ovos de nematóides são indicadores da remoção dos demais organismos sedimentáveis (outros helmintos e protozoários), e o padrão para coliformes termotolerantes é

indicativo da inativação de bactérias patogênicas e vírus. Hespanhol (2003a) comenta que a diretriz da OMS para ovos de helmintos (WHO, 1989) não se refere a ovos viáveis, em razão das dificuldades dos ensaios, principalmente nos países em desenvolvimento. Devido a isto, vários estudos foram feitos no sentido de avaliar os riscos potenciais e reais à saúde. Blumenthal *et al.* (2000) sugeriram revisões nas diretrizes estabelecidas pela OMS (WHO, 1989) em relação à qualidade microbiológica das águas residuárias tratadas usadas na agricultura tendo como base estudos epidemiológicos e de avaliação de risco. Três pontos básicos foram estabelecidos para a revisão dos padrões da OMS:

1. ausência de microrganismos indicadores de contaminação fecal nas águas residuárias;
2. ausência de casos excessivos de enfermidades na população exposta;
3. um risco estimado, gerado mediante um modelo, inferior ao risco definido como aceitável.

Tabela 2.3 - Diretrizes sanitárias da Organização Mundial da Saúde.

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

Fonte: WHO (1989).

No reúso de água para irrigação irrestrita, nada indica que as diretrizes precisem revisão em relação ao limite para coliformes fecais (≤ 1000CF/100ml), porém existem indícios epidemiológicos de que o limite estabelecido para ovos de nematóides (≤ 1 ovo/L) é

inadequado nas condições que favorecem a sobrevivência desses ovos, devendo ser revisado e alterado para $\leq 0,1$ ovo/L em tais condições (Blumenthal *et al.*, 2000). Em relação à irrigação restrita, segundo Blumenthal *et al.* (2000), alguns dados apontam a necessidade de estabelecer limites orientativos para a exposição de bactérias coliformes fecais, a fim de proteger os agricultores. O valor do limite orientativo dependerá do método de irrigação empregado e da idade das pessoas expostas, que poderá variar de $\leq 10^5$ CF/100ml até um limite mais reduzido de $\leq 10^3$ /100ml. O limite orientativo para os ovos de nematóides de ≤ 1 ovo/L é suficiente, porém se houver crianças abaixo de 15 anos expostas nas águas residuárias se recomenda um limite revisado de $\leq 0,1$ ovo/L. Essas revisões têm como objetivo proporcionar guias às autoridades governamentais para que se tomem decisões a fim de proteger a saúde pública quando se usa água residuária na agricultura. As revisões sugeridas nas diretrizes estabelecidas pela OMS (WHO, 1989) encontram-se na Tabela 2.4.

A Tabela 2.5 mostra as diretrizes mais recentes da OMS para utilização de águas residuárias na agricultura (WHO, 2006 *apud* BASTOS E BEVILACQUA, 2006). Com base em estudos epidemiológicos, foi incorporado “maior risco tolerável de infecção” associado à exposição ao rotavírus (10^{-6} ppa), assumindo que a remoção correspondente e necessária deste patógeno, garantiria suficiente proteção contra infecções bacterianas e por protozoários (BASTOS E BEVILACQUA, 2006). Para a irrigação irrestrita, as opções A e B (cultivo de culturas consumidas cruas e mais susceptíveis à contaminação devido ao contato direto com o solo), requer-se até $4\log_{10}$ de remoção de patógenos, combinado com o decaimento do microrganismo no ambiente e com a higiene dos alimentos antes do consumo. Nas opções C e D, a remoção de patógeno está relacionada com a maior ou menor intensidade de contato entre a água de irrigação e as culturas irrigadas. A remoção dos microrganismos patogênicos é mínima (opção C) quando se emprega irrigação por gotejamento em culturas que crescem mais distantes do solo. A opção E, apresenta um padrão mais restritivo na remoção de patógenos, o que é obtido com o emprego de rigorosos processos de tratamento, sendo aplicado em situações em que se quer reduzir ao máximo os perigos à saúde. Para irrigação restrita, na utilização de efluentes provenientes de sistemas de tratamento com baixa eficiência de remoção de patógenos (tanques sépticos ou reatores UASB), os riscos potenciais podem ser minimizados com o emprego de técnicas de irrigação, como irrigação subsuperficial (opção H), no qual, a exposição dos trabalhadores é mínima. No caso de agricultura com baixo nível tecnológico e uso intensivo de mão de obra (opção F) o padrão é mais restritivo ($10^3 - 10^4$ *E. coli* 100mL⁻¹) garantido por meio do tratamento de esgotos. A opção G (agricultura com alto nível tecnológico e, mecanizada) supõe exposição menos acentuada e aceita um efluente tratado com até $10^4 - 10^5$ *E. coli* 100mL⁻¹.

Tabela 2.4 – Pautas microbiológicas revistas e recomendadas para o uso de águas residuais tratadas na agricultura (a).

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

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

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

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

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

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

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

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

Fonte: Blumenthal *et al.* (2000).

Tabela 2.5 - Diretrizes da WHO (2006) para o uso agrícola de esgotos sanitários.

Categoria irrigação	Opção ⁽¹⁾	Tratamento de esgotos e remoção de patógenos (\log_{10}) ⁽²⁾	Qualidade do efluente	
			<i>E. coli</i> 100ml ⁻¹ ⁽³⁾	Ovos de helmintos L ⁻¹
Irrestrita	A	4	$\leq 10^3$	≤ 1 ⁽⁴⁾⁽⁵⁾
	B	3	$\leq 10^4$	
	C	2	$\leq 10^5$	
	D	4	$\leq 10^3$	
	E	6 ou 7	$\leq 10^1$ ou $\leq 10^0$	
Restrita	F	4	$\leq 10^4$	
	G	3	$\leq 10^5$	
	H	<1	$\leq 10^6$	

(1) Combinação de medidas de proteção à saúde. (A): cultivo de raízes e tubérculos; (B): cultivo de folhosas; (C): irrigação localizada de plantas que se desenvolvem distantes do nível do solo; (D): irrigação localizada de plantas que se desenvolvem rentes ao nível do solo; (E): qualidade de efluentes alcançável com o emprego de técnicas de tratamento tais como tratamento secundário + coagulação + filtração + desinfecção; qualidade dos efluentes avaliada ainda com o emprego de indicadores complementares (por exemplo: turbidez, SST, cloro residual); (F): agricultura de baixo nível tecnológico e mão de obra intensiva; (G): agricultura de alto nível tecnológico e, altamente mecanizada; (H): técnicas de tratamento com reduzida capacidade de remoção de patógeno (por exemplo: tanques sépticos ou reatores UASB) associada ao emprego de técnicas de irrigação com elevado potencial de minimização da exposição (irrigação subsuperficial). (2) remoção de vírus que associada a outras medidas de proteção à saúde corresponderia a uma carga de doenças virais tolerável $\leq 10^{-6}$ DALY ppa e riscos menores de infecções bacterianas e por protozoários. (3) Qualidade do efluente correspondente à remoção de patógenos indicada em (2). (4) No caso de exposição de crianças (15 anos) recomenda-se um padrão e, ou, medidas complementares mais exigentes: $\leq 0,1$ ovo/L, utilização de equipamentos de proteção individual, tratamento quimioterápico. No caso da garantia da remoção adicional de 1 \log_{10} na higiene dos alimentos pode-se admitir ≤ 10 ovos/L. (5) Média aritmética em pelo menos 90% do tempo, durante o período de irrigação. A remoção requerida de ovos de helmintos (\log_{10}) depende da concentração presente no esgoto bruto. Com o emprego de lagoas estabilização, o tempo de detenção hidráulica pode ser utilizado como indicador de remoção de helmintos. No caso da utilização de técnicas de tratamento mais complexas (opção E), o emprego de outros indicadores (por exemplo: turbidez $\leq 2uT$) pode dispensar a verificação do padrão ovos de helmintos. No caso de irrigação localizada, em que não haja contato da água com as plantas e na ausência de riscos para os agricultores (por exemplo: opção H) o padrão ovos de helmintos poderia ser dispensável.

2.4.2 Parâmetros químicos de avaliação da qualidade da água para irrigação

pH – Potencial Hidrogeniônico

O pH mede a concentração ativa do íon hidrogênio, indica o quanto ácida ou básica a solução esteja. A maioria dos solos resiste às mudanças nos valores de pH. Portanto, águas de irrigação bastante ácidas ou básicas podem causar toxicidade às plantas, deficiência nos nutrientes, problemas na estrutura do solo e deterioração nos equipamentos de irrigação. Devido a isto, o pH das águas de irrigação deverá estar numa faixa de 6,5 a 8,4 (PAGANINI, 1997). O mesmo autor relata ainda que o pH exerce grande influência nas características do solo, incluindo a disponibilidade de nutrientes para as plantas, a solubilidade de elementos potencialmente tóxicos e a atividade microbiana.

Condutividade elétrica

Entende-se por condutividade elétrica a capacidade que tem a água de conduzir corrente elétrica. Esta capacidade é resultado da presença de íons (carbonatos, bicarbonatos, cloretos, sulfatos, nitratos, sódio, potássio, cálcio e magnésio) na água que a transformam em eletrólitos capazes de transportar carga elétrica (APHA, AWWA, WEF, 1995). Como há uma relação de proporcionalidade entre o teor de sais dissolvidos e a condutividade elétrica, pode-se estimar o teor de sais pela medida de condutividade de uma água. Os compostos orgânicos não se dissociam em água, logo não afetam a condutividade.

As determinações de pH e condutividade elétrica (CE) fornecem subsídios para se avaliar a possibilidade de precipitação de sais e a indução da salinidade em função da prática de irrigação (OLIVEIRA *et al.*, 1998).

Carbonato e Bicarbonato

Estes íons conferem alcalinidade ao meio e, quando presentes na água de irrigação, podem precipitar o cálcio aumentando assim o efeito do sódio na solução do solo, causando a impermeabilidade. A grande importância de se controlar a presença desses íons na água de reúso é de se evitar problemas de infiltração (PAGANINI, 2003). O controle pode ser feito com a aplicação de ácido sulfúrico para separar os íons de bicarbonato produzindo como resultado dióxido de carbono e, assim, o cálcio e o magnésio permanecem em solução em relação ao conteúdo de sódio.

Sódio

O sódio, quando presente na água de irrigação, dificulta a permeabilidade do solo. Estes íons em altas concentrações em solos argilosos são adsorvidos nas partículas do solo obstruindo os vazios, causando a impermeabilidade. Um fator que afeta a toxicidade do sódio é a deficiência de cálcio no solo, logo, se as concentrações de sódio, cálcio e magnésio no solo não se apresentarem em proporções equilibradas podem provocar o seu “inchamento” causando problemas de infiltração da água. A Razão de Adsorção de Sódio (RAS) indica os limites de proporcionalidade entre esses elementos (PAGANINI, 2003).

Uma água de irrigação com salinidade muito baixa ou com um alto valor da RAS pode provocar severa redução da infiltração. Em cada caso, é possível que o nível de cálcio seja relativamente baixo. Quando o cálcio contido na solução do solo é inferior a 2 meq/L, existe alta probabilidade de que os rendimentos sejam reduzidos devido à deficiência de cálcio (RHOADES, 1982 *apud* AYERS & WESTCOT, 1999).

O cálculo da Razão de Adsorção de Sódio (RAS) assume papel preponderante, posto que a combinação CE e RAS serve para avaliar os perigos que a água oferece, respectivamente, em termos de indução de salinidade e aumento nos teores de sódio na solução do solo.

A razão de adsorção de sódio (RAS) é dada por:

$$RAS = \frac{Na}{[(Ca + Mg)/2]^{1/2}} \quad \text{Eq. 2.1}$$

Onde: Na, Ca e Mg representam, respectivamente, as concentrações de sódio, cálcio e magnésio em meq/L, obtidas através da análise da água.

A Razão de Adsorção de Sódio modificada (RAS^o) é ajustada através da concentração de cálcio na água ao valor de equilíbrio esperado após a irrigação, incluindo os efeitos do dióxido de carbono (CO₂), do bicarbonato (HCO₃) e da salinidade sobre o cálcio originalmente contido na água de irrigação e que não forma parte da água do solo. Esta relação prevê melhor os problemas de infiltração causados por concentrações relativamente altas de sódio ou baixas de cálcio nas águas de irrigação (SUAREZ, 1981 e RHOADES, 1982; *apud* AYERS & WESTCOT, 1999).

A Razão de Adsorção de Sódio modificada (RAS^o) é dada por:

$$RAS^o = \frac{Na}{[(Ca^o + Mg)/2]^{1/2}} \quad \text{Eq. 2.2}$$

Onde:

Na = teor de sódio na água de irrigação, meq/L;

Ca^o = teor corrigido de cálcio na água de irrigação, meq/L;

Mg = teor de magnésio na água de irrigação, meq/L.

O valor de Ca^o é o teor de cálcio da água, corrigido pela salinidade da água (CEa) para o teor de bicarbonato em relação ao seu próprio teor de cálcio (HCO₃/Ca) e pela pressão parcial do dióxido de carbono (CO₂) exercida nos primeiros milímetros do solo (AYERS & WESTCOT, 1999). A Tabela 2.6 apresenta valores de cálcio corrigidos (Ca^o) para serem utilizados na Equação 2.2.

As águas residuárias devem ser analisadas, verificando-se a presença de sódio, cálcio e magnésio, além da condutividade elétrica e a alcalinidade de carbonato e bicarbonato.

Tabela 2.6 – Concentração de cálcio (Ca^o) contida na água do solo, próximo à superfície, que resultaria da irrigação com água de determinada relação HCO₃/Ca e CEa^{1,2,3}.

Valor de HCO ₃ /Ca da água	Salinidade da água aplicada (CEa) – dS/m											
	0,1	0,2	0,3	0,5	0,7	1,0	1,5	2,0	3,0	4,0	6,0	8,0
0,05	13,20	13,61	13,92	14,40	14,79	15,26	15,91	16,43	17,28	17,97	19,07	19,94
0,10	8,31	8,57	8,77	9,07	9,31	9,62	10,02	10,35	10,89	11,32	12,01	12,56
0,15	6,34	6,54	6,69	6,92	7,11	7,34	7,65	7,90	8,31	8,64	9,17	9,58
0,20	5,24	5,40	5,52	5,71	5,87	6,06	6,31	6,52	6,86	7,13	7,57	7,91
0,25	4,51	4,65	4,76	4,92	5,06	5,22	5,44	5,62	5,91	6,15	6,52	6,82
0,30	4,00	4,12	4,21	4,36	4,48	4,62	4,82	4,98	5,24	5,44	5,77	6,04
0,35	3,61	3,72	3,80	3,94	4,04	4,17	4,35	4,49	4,72	4,91	5,21	5,45
0,40	3,30	3,40	3,48	3,60	3,70	3,82	3,98	4,11	4,32	4,49	4,77	4,98
0,45	3,05	3,14	3,22	3,33	3,42	3,53	3,68	3,80	4,00	4,15	4,41	4,61
0,50	2,84	2,93	3,00	3,10	3,19	3,29	3,43	3,54	3,72	3,87	4,11	4,30
0,75	2,17	2,24	2,29	2,37	2,43	2,51	2,62	2,70	2,84	2,95	3,14	3,28
1,00	1,79	1,85	1,89	1,96	2,01	2,09	2,16	2,23	2,35	2,44	2,59	2,71
1,25	1,54	1,59	1,63	1,68	1,73	1,78	1,86	1,92	2,02	2,10	2,23	2,33
1,50	1,37	1,41	1,44	1,49	1,53	1,58	1,65	1,70	1,79	1,86	1,97	2,07
1,75	1,23	1,27	1,30	1,35	1,38	1,43	1,49	1,54	1,62	1,68	1,78	1,86
2,00	1,13	1,16	1,19	1,23	1,26	1,31	1,36	1,40	1,48	1,54	1,63	1,70
2,25	1,04	1,08	1,10	1,14	1,17	1,21	1,26	1,30	1,37	1,42	1,51	1,58
2,50	0,97	1,00	1,02	1,06	1,09	1,12	1,17	1,21	1,27	1,32	1,40	1,47
3,00	0,85	0,89	0,91	0,94	0,96	1,00	1,04	1,07	1,13	1,17	1,24	1,30
3,50	0,78	0,80	0,82	0,85	0,87	0,90	0,94	0,97	1,02	1,06	1,12	1,17
4,00	0,71	0,73	0,75	0,78	0,80	0,82	0,86	0,88	0,93	0,97	1,03	1,07
4,50	0,66	0,68	0,69	0,72	0,74	0,76	0,79	0,82	0,86	0,90	0,95	0,99
5,00	0,61	0,63	0,65	0,67	0,69	0,71	0,74	0,76	0,80	0,83	0,88	0,93
7,00	0,49	0,50	0,52	0,53	0,55	0,57	0,59	0,61	0,64	0,67	0,71	0,74
10,00	0,39	0,40	0,41	0,42	0,43	0,45	0,47	0,48	0,51	0,53	0,56	0,58
20,00	0,24	0,25	0,26	0,26	0,27	0,28	0,29	0,30	0,32	0,33	0,35	0,37
30,00	0,18	0,19	0,20	0,20	0,21	0,21	0,22	0,23	0,24	0,25	0,27	0,28

¹ Fonte: Suarez (1981) apud Ayers & Westcot (1999).

² Supõe-se o cálcio do solo proveniente do calcário (CaCO₃) ou silicatos; b) Não existe precipitação do magnésio; c) Pressão parcial de CO₂ perto da superfície do solo (PCO₂) é 0,0007 atmosferas.

³ Ca^o, HCO₃/Ca expressos em meq/L; e a CEa em dS/m.

Na classificação das águas para irrigação deve-se levar em consideração a textura do solo, taxa de infiltração, drenagem, quantidade de água usada, clima e tolerância das culturas aos sais (RICHARDS, 1954). Quanto maior a RAS e quanto maiores as concentrações dos sais dissolvidos (CE) menos apropriada à água se torna para a irrigação, pois aumenta os problemas potenciais de infiltração da água no solo, como também, aumentam os riscos de salinizar o solo, comprometendo o desenvolvimento das culturas e contaminando o meio ambiente.

Um dos critérios mais aceitos e usados para classificar a água para uso na irrigação é o de Riverside (RICHARDS, 1954) (Figura 2.1) do United States Salinity Laboratory (USSL). Esta classificação é baseada na condutividade elétrica em $\mu\text{mhos/cm}$ e na Razão de Adsorção de Sódio (RAS).

As categorias de água para irrigação segundo o USSL (RICHARDS, 1954) são:

- C0: - águas de salinidade fraquíssima, que podem ser utilizadas sem restrições para irrigação;
 - C1: - águas de salinidade fraca, CE compreendida entre 100 e 250 $\mu\text{mhos/cm}$ a 25°C (sólidos dissolvidos: 64 a 160 mg/l). Podem ser utilizadas para irrigar a maioria das culturas, na maioria dos solos, com pequeno risco de incidentes de salinização do solo, exceto se a permeabilidade do solo for extremamente fraca;
 - C2: - águas de salinidade média, CE entre 250 e 750 $\mu\text{mhos/cm}$ a 25°C (sólidos dissolvidos: 160 a 480 mg/l). Devem ser usadas com precaução, podendo ser utilizadas em solos silto-arenosos, siltosos ou areno-argilosos quando houver uma lixiviação moderada do solo. Os vegetais de fraca tolerância salina podem ainda ser cultivados na maioria dos casos;
 - C3: - águas de alta salinidade, CE entre 750 e 2250 $\mu\text{mhos/cm}$ a 25°C (sólidos dissolvidos: 480 a 1440 mg/l). Só podem ser utilizadas em solos bem drenados. Mesmo em solos bem cuidados, devem ser tomadas precauções especiais para evitar a salinização e apenas os vegetais de alta tolerância salina devem ser cultivados;
 - C4: - águas de salinidade muito alta, com CE entre 2250 e 5000 $\mu\text{mhos/cm}$ a 25°C (sólidos dissolvidos: 1440 a 3200 mg/l). Geralmente não servem para irrigação, podendo ser, excepcionalmente, utilizadas em solos arenosos permeáveis, bem cuidados e abundantemente irrigados. Apenas os vegetais de altíssima tolerância salina podem ser cultivados nestas condições;
-

- C5: - águas de salinidade extremamente alta, CE entre 5000 e 20000 $\mu\text{mhos/cm}$ a 25°C (sólidos dissolvidos: 3200 a 12800 mg/l). São águas utilizáveis apenas em solos excessivamente permeáveis e muito bem cuidados. Com única exceção no cultivo de palmeiras;
- S1: - águas fracamente sódicas; podem ser utilizadas em quase todos os solos com fraco risco de formação de teores nocivos de sódio susceptível de troca. Prestam-se ao cultivo de quase todos os vegetais;
- S2: - águas medianamente sódicas; apresentam perigo de sódio para solos de textura fina e forte capacidade de troca de cátions. Podem ser utilizados nos solos de textura grosseira ou ricos em matéria orgânica, com boa permeabilidade;
- S3: - águas altamente sódicas; há perigo de formação de teores nocivos de sódio na maioria dos solos, salvo os gipsíferos. Exigem tratamento especial do solo (boa drenagem, lixiviação e presença de matéria orgânica) e podem ser utilizadas em vegetais com alta tolerância ao sódio;
- S4: - águas extremamente sódicas; geralmente imprestáveis para a irrigação, salvo se a salinidade global for fraca ou, pelo menos, média. Podem ser aplicadas em solos altamente drenáveis ricos em carbonatos.

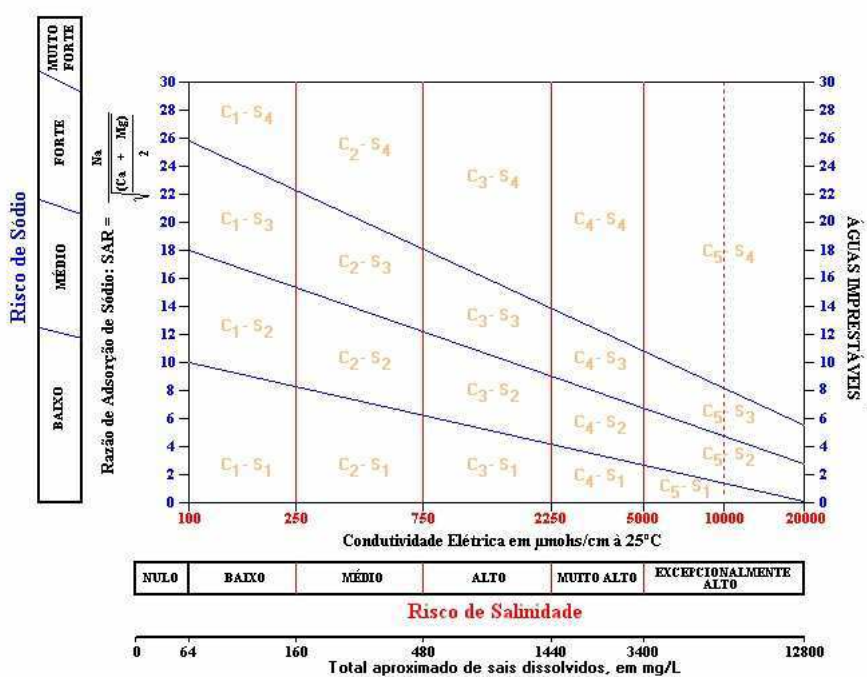


Figura 2.1 – Classificação de Riverside para a qualidade da água na irrigação.

Potássio

O potássio é um elemento dinâmico e com grande mobilidade, tanto no solo quanto nas plantas. Através de sua capacidade de troca catiônica pode deslocar o sódio, como também, pode ser deslocado por outros cátions bivalentes e monovalentes (PAGANINI, 1997).

Este elemento serve como um ótimo fertilizante e por isso a sua presença em águas para irrigação é essencial para o crescimento das plantas.

Cloreto

Ao contrário do sódio, este íon não adere às partículas de solo, porém é adsorvido facilmente pelas raízes das plantas e transportado para as folhas onde se acumula através da transpiração, causando problemas de toxicidade.

Sólidos suspensos totais

Os sólidos suspensos totais (SST) são compostos tanto de material orgânico como inorgânico que interferem nas atividades agrícolas, pois ficam retidos na superfície do solo impedindo a infiltração da água de irrigação necessária ao rendimento das culturas, além disso, pode ocorrer a deposição desses sólidos nas folhas impedindo a atividade fotossintética, diminuindo o crescimento e a comercialização dos cultivos e podem se depositar nos aspersores provocando o entupimento. A presença desses sólidos favorece o crescimento de microrganismos que agravam os problemas mencionados. Contudo, sua aplicação em solos arenosos ou com pouca matéria orgânica pode ser benéfica, pois melhora a estrutura e incrementa a capacidade de retenção de água (JIMÉNEZ, 2001).

Sólidos totais dissolvidos

Os sólidos totais dissolvidos constituem um dos parâmetros mais importantes na avaliação da qualidade da água para irrigação, pois estão relacionados com a concentração total de sais. A salinidade da solução do solo está normalmente relacionada com a salinidade da água de irrigação. O crescimento das culturas, o seu rendimento e produção são afetados pelo conteúdo de sais dissolvidos na água de irrigação (DAMACENO, 1999).

Jiménez (2001) relata que os sólidos totais dissolvidos são medidas indiretas de sais inorgânicos dissolvidos. Seu valor é proporcional à condutividade elétrica. A irrigação, quando feita com água que contem sais, introduz estes ao perfil do solo. Quando não são

lixiviados, os sais se acumulam e diminuem a produtividade em níveis que podem, inclusive, prejudicar o rendimento das culturas.

A literatura australiana recomenda a classificação das águas de irrigação de acordo com o total de sais dissolvidos, conforme mostra a Tabela 2.7.

Tabela 2.7 – Classes de salinidade para águas de irrigação.

Classe	Descrição	STD (mg/L)	CE (μ S/cm)	CE (dS/m)
1	Salinidade baixa	0 - 125	0 - 270	0 - 0,3
2	Salinidade média	125 - 500	270 - 780	0,3 - 0,8
3	Salinidade alta	500 - 1500	780 - 2340	0,8 - 2,3
4	Salinidade muito alta	1500 - 3500	2340 - 5470	2,3 - 5,5
5	Salinidade extremamente alta	> 3500	> 5470	> 5,5

Fonte: EPA – Austrália (1991), *apud* Mancuso (2003).

Tsutiya (2001) afirma que uma concentração elevada de sais dissolvidos provoca um aumento de pressão osmótica impedindo as plantas de assimilar água. Uma salinidade elevada no nível da zona radicular ocasiona sucessivamente a queima das folhas, impede o crescimento e ocasiona a destruição das plantas. Portanto, quando a salinidade da água de irrigação ultrapassa determinados limites, o desenvolvimento e a produtividade ficam comprometidos. O autor relata também que até um valor máximo de STD de 1000mg/L, os efeitos salinos são praticamente negligíveis. Entretanto, acima de 5000mg/L apenas algumas culturas são bastante tolerantes apresentando boa produtividade. Segundo Ayers & Westcot (1999) as culturas que se apresentam tolerantes aos sais são: algodoeiro (*Gossypium hirsutum*), beterraba açucareira (*Beta vulgaris*), Cevada (*Hordeum vulgare*) e jojoba (*Simmondsia chinensis*). Bastos *et al.* (2003) relatam que, em condições de climas úmidos e frios, as plantas resistem mais aos sais do que em climas secos e quentes. É no período de seca que mais se utilizam as águas residuárias na irrigação de culturas, portanto há grande risco de salinizar o solo e, com o tempo, o solo fica comprometido para a agricultura.

Nitrogênio

O nitrogênio compõe aproximadamente 80% da atmosfera. Entretanto, os animais e as plantas não podem absorvê-lo diretamente do ar, e sim na forma de amônia solúvel em água ou na forma de nitrato, nas quais é convertido por bactérias. Certas bactérias do solo convertem o nitrogênio do ar em amônia. Algumas plantas absorvem diretamente essa

amônia. As bactérias transformam a amônia em nitritos e, em seguida, em nitratos; este processo se chama nitrificação, as bactérias nitrificantes habitam no solo, no esgoto e em ambientes aquáticos. As plantas usam os nitratos como nutriente (PELCZAR *et al.*, 1996).

O nitrogênio dentro do sistema de tratamento aeróbio passa pelo processo de nitrificação e o nitrogênio contido no efluente final sai na forma de amônia e com traços de nitrato. Essas águas quando usadas na irrigação têm o mesmo efeito para as plantas que o nitrogênio contido nos fertilizantes. Porém, a intensidade das aplicações e a escolha das culturas a serem irrigadas com água residuária devem ter critérios bem definidos, pois a falta de nitrogênio pode limitar a produção, assim como, o excesso pode reduzi-la ou torná-la imprópria para consumo.

Para as plantas a forma mais facilmente assimilável encontra-se na forma de nitrato e amônio. Ayers & Westcot (1999) citam que o fator mais importante para as plantas é o nitrogênio total, mesmo que seu teor se expresse em forma de nitrato ($\text{NO}^{-3} - \text{N}$), de amônio ($\text{NH}^{+} - \text{N}$) ou como nitrogênio orgânico (N - Org.). Concentrações de nitrogênio superiores a $5\text{mgN} - \text{NH}_3/\text{L}$ podem afetar culturas sensíveis, enquanto que para concentrações de até $30\text{mgN} - \text{NH}_3/\text{L}$ grande parte de outras culturas não é afetada (AYERS & WESTCOT, 1999). Nas diretrizes da Tabela 2.1, o nitrogênio é expresso na forma de $\text{NO}^{-3} - \text{N}$, pois é a forma mais comum nas águas superficiais, porém, no caso de análises de águas residuárias devem ser incluídos o nitrogênio amoniacal e o nitrogênio orgânico. As águas residuárias contêm níveis altos de nitrogênio amoniacal, entre 10 e $50\text{mg N} - \text{NH}_4/\text{L}$, principalmente as águas residuárias domésticas. O nitrogênio contido na água residuária é um excelente fertilizante, mas o seu excesso, além de prejudicar o desenvolvimento das plantas, é percolado através do solo podendo chegar a altas concentrações nas águas subterrâneas, pois o solo não tem capacidade de retê-lo.

Fósforo

O fósforo constitui um importante componente dos seres vivos, pois está ligado ao metabolismo respiratório e fotossintético, daí sua importância como adubo.

Nas águas residuárias domésticas o fósforo pode ser encontrado nas formas de ortofosfatos, polifosfatos e fósforo orgânico, são originados de água de abastecimento, dejetos humanos e detergentes sintéticos (SAWYER *et al.*, 1994). Nos sistemas de tratamento de água residuária os polifosfatos, por serem moléculas mais complexas, se transformam em ortofosfatos através da hidrólise (VON SPERLING, 1996). O fósforo orgânico solúvel é

mineralizado através de bactérias e convertido a ortofosfatos. Uma parte desse ortofosfato é assimilada por alguns microrganismos aquáticos presentes no fitoplâncton e no zooplâncton, que, quando morrem, sedimentam para o fundo e são degradados pelas bactérias anaeróbias e, em seguida, liberam ortofosfato para a massa líquida. A forma de fósforo que está disponível para o metabolismo dos microrganismos é o ortofosfato. O fósforo orgânico particulado é sedimentado para o fundo onde se encontra a camada de lodo onde é degradado pelas bactérias anaeróbias (ARAÚJO, 1993 *apud* NASCIMENTO JÚNIOR, 1998).

Quando a água residuária tratada é usada como água de irrigação, a presença desse elemento é de grande importância para as culturas, pois serve como fertilizante. Entretanto, devem-se atender aos padrões de qualidade de maneira a não causar danos à saúde da população, preservando o meio ambiente e aumentando a capacidade produtiva das culturas.

2.5 Benefícios do reúso de água para fins agrícolas

A reutilização de águas residuárias em irrigação de culturas é viável, mas, quando usadas de maneira planejada e controlada obtendo-se benefícios econômicos, ambientais e de saúde pública.

A aplicação de nutrientes na agricultura oriundos de águas residuárias reduz significativamente ou mesmo elimina a necessidade do uso de fertilizantes comerciais trazendo benefícios econômicos. Além deste benefício, o uso de águas residuárias na irrigação proporciona o aumento da produtividade, devido à presença de matéria orgânica nessas águas que age como condicionador do solo aumentando sua capacidade de reter água (HESPANHOL, 2003).

Quanto aos benefícios ambientais e de saúde pública, segundo Hespagnol (2003) podemos citar:

1. redução das descargas de esgotos em corpos de água;
 2. preservação dos aquíferos, principalmente em áreas onde ocorre uso excessivo de águas subterrâneas provocando intrusão de cunha ou subsidência de terrenos;
 3. conservação do solo, pela acumulação de húmus, e aumenta a resistência à erosão;
 4. maior retenção de água no solo, devido ao aumento da concentração de matéria orgânica;
-

-
5. contribui para o aumento da produção de alimentos, elevando os níveis de saúde, qualidade de vida e condições sociais de populações envolvidas no reúso.

Sousa *et al.* (2001) citam que a reutilização de águas residuárias na agricultura evita ou diminui a utilização de adubos minerais e, conseqüentemente, agrega pelo menos três vantagens:

1. dispensa fertilizantes minerais;
2. elimina a provável contaminação das águas subterrâneas e superficiais por fertilizantes;
3. supre a escassez de água para fins domésticos.

Por outro lado, o uso não administrado de águas residuárias pode provocar alguns efeitos negativos, como: poluição por nitratos que podem atingir as águas subterrâneas, poluição do solo por elementos tóxicos, orgânicos e inorgânicos. Para se evitar isso, a irrigação deve ser feita com esgotos de origem predominantemente doméstica.

A área irrigada com esgotos deve ter um sistema adequado de drenagem para minimizar o processo de salinização dos solos e, quando irrigada por períodos muito longos pode levar à proliferação de vetores transmissores de doenças, tais como mosquitos e algumas espécies de caramujos, devendo empregar técnicas de controle (HESPANHOL, 2003).

Bastos *et al.* (2003), citam que a combinação de economia com produtividade requer manejo adequado, pois, do contrário, a fertirrigação com águas residuárias pode ficar comprometida por excesso de nutrientes, particularmente de nitrogênio. O nitrogênio em excesso pode aumentar o crescimento vegetativo, retardar a maturação, provocar a queda de produção e/ou de qualidade do produto, além da possibilidade da lixiviação de nitrato que pode contaminar águas subterrâneas.

Diante do exposto, observa-se que a prática do reúso de águas residuárias deve ser feita dentro de políticas e estratégias de gestão de recursos hídricos, para que se reduza a problemática poluição ambiental através dos esgotos, preservando sempre a saúde pública. Ainda grandes volumes de água potável podem ser preservados através desta prática.

2.6 Experiências de reúso para fins agrícolas

A utilização de esgotos tratados na irrigação é uma prática corrente em vários países como EUA, Israel, Austrália, Japão, Espanha, Alemanha. Os exemplos em todo o mundo abrangem desde a reutilização planejada como parte de políticas governamentais de otimização de recursos hídricos, até as práticas espontâneas por parte de alguns agricultores com riscos sérios para a saúde pública. No Brasil, a reutilização de efluentes ocorre, em geral, de forma não controlada sem nenhum controle técnico e sanitário (TINÔCO, 2003 *apud* BRITO *et al.*, 2004). Faz-se necessário analisar o estado da arte de reúso em todo o mundo para se ter uma idéia de quão esta prática é estudada.

Em pesquisa realizada em Braunschweig, República Federal da Alemanha, utilizando água residuária na irrigação de culturas de cereais, beterraba açucareira, aspargos, pastos e batatas em um sistema de irrigação por aspersão irrigando uma área de 3000ha, na análise da água residuária se obteve um pH de 7,1 ficando dentro da faixa adequada para irrigação de 6,4 a 8,5 segundo Ayers & Westcot (1999). Condutividade elétrica de 1,11 e RAS de 1,8, segundo o mesmo autor apresentando restrição de uso de ligeira a moderada quanto a salinidade e nenhuma restrição quanto a infiltração. Até o momento não se tem apresentado problemas neste modelo de cultivo, utilizando-se água residuária na irrigação.

As águas residuárias tratadas na cidade de Santa Rosa na Califórnia, EUA irrigam por aspersão 1600ha, nos quais, cultiva-se milho, capim-sudão, aveia e outras culturas que servem para alimentar o gado. Estas águas fornecem aproximadamente 2/3 dos nutrientes de que as culturas necessitam. A salinidade representada pela condutividade elétrica (CE = 0,7 dS/m), a RAS = 2,9 das águas tratadas estão dentro dos limites que não representam perigo para as culturas (AYERS & WESTCOT, 1999).

Mota *et al.* (2001) utilizaram o esgoto doméstico tratado (salinidade média e baixo conteúdo de sódio) na ETE do Campus do Pici em Fortaleza – CE na irrigação de três culturas (sorgo, algodão e forrageira). A irrigação foi feita ou com efluente da ETE ou com água fornecida pela Companhia de Água e Esgoto do Ceará (CAGECE). Os resultados da pesquisa indicaram que o sorgo irrigado com esgoto tratado apresentou: maior altura média; florescimento mais rápido, maior produção de grãos por hectare; maior quantidade de massa verde; quantidade superior de massa seca. O algodão que recebeu esgoto teve melhor desempenho: maior produção por hectare; percentual mais elevado de fibras; maior peso médio do capulho; maior comprimento médio da fibra. As forrageiras não apresentaram diferenças significativas nos dois tipos de água de irrigação. Observa-se, portanto, que a

utilização de esgotos tratados em irrigação resulta em benefícios para as culturas, principalmente, por serem ricos em nutrientes.

Perin *et al.* (2005) em pesquisa realizada em Vitória – ES, utilizando efluente tratado de uma lagoa de polimento, na irrigação de feijão concluíram que a irrigação com o efluente da lagoa de polimento não diluído proporcionou melhores resultados em relação ao tamanho e massa fresca e seca dos feijoeiros provavelmente devido à maior quantidade de nutrientes contido nesse tratamento. A massa fresca e seca média das plantas do tratamento 4 (efluente não diluído) foram de respectivamente 5,9g e 1,26g. A massa fresca e seca média dos tratamentos 1 (adubação química mais irrigação com água), 2 (efluente diluído 1:10), e 3 (efluente diluído 1:5) foram, respectivamente, 5,33g e 0,9g; 4,39g e 1,04g; 3,25g e 0,88g.

Rego *et al.* (2005), em pesquisa realizada no Centro de Pesquisa sobre Tratamento e Reúso de Águas Residuárias da Companhia de Água e Esgoto do Ceará (CAGECE), teve como objetivo acompanhar o desenvolvimento da cultura da melancia irrigada, por gotejamento e por sulco, com água residuária tratada em lagoas de estabilização, comparando-se com um controle irrigado com água de poço. Alguns parâmetros foram analisados na água de irrigação, destacando-se entre eles (para o esgoto tratado): condutividade elétrica (751 mS/cm), amônia (5,3mgN-NH₃/L), *E. coli* (7,6 x 10²NMP/100mL) e helmintos (<1ovo/L). A contaminação microbiológica da melancia irrigada (por gotejamento e por sulco) com esgoto tratado e com água foi menor que 3NMP/g de coliformes fecais e apresentou ausência de *Salmonella* sp. Na irrigação por sulco, a maior produtividade ocorreu no tratamento 4 (esgoto + ½ da adubação) com média de 23,1t/ha, o tratamento 1 (água + adubação recomendada) apresentou uma média de 16,3t/ha, o tratamento 2 (esgoto + adubação recomendada) 19,4t/ha e o tratamento 3 (esgoto sem adubação recomendada) 16,3t/ha. Na irrigação por gotejamento não houve diferença significativa nos tratamentos em nenhuma variável.

Santiago *et al.* (2000), avaliaram a qualidade do efluente final para reúso na irrigação, proveniente de um sistema de lagoas de estabilização em série composta por: uma anaeróbia, uma facultativa e três de maturação, operando em escala real. Este estudo foi feito no município de Maracanaú, região metropolitana de Fortaleza – CE. Alguns parâmetros foram analisados, entre eles têm-se: pH, CE, Ca, Mg, Na, nitrogênio amoniacal e coliformes fecais. O efluente final apresentou um pH de 8,9, uma condutividade elétrica de 2310,6 µS/cm, uma RAS de 13,18, segundo os padrões para irrigação, significa um grau de restrição de ligeiro a moderado. O nitrogênio amoniacal foi de 1,5 mg/L. Quanto aos coliformes fecais o efluente apresentou 1,5 x 10² CF/100mL adequada para irrigação irrestrita, segundo a OMS (WHO, 1989).

Trujillo *et al.* (2000), em pesquisa realizada na Universidade de Zulia, Maracaibo – Venezuela usando água residuária proveniente de lagoa de estabilização na irrigação da cultura da lima persa com o método de gotejamento e microaspersão. Vários parâmetros foram analisados, destacando-se: pH, nitrogênio e CF. O pH obtido foi próximo da neutralidade sem problemas para a irrigação. Os valores encontrados para nitrogênio ($N_{\text{total}} = 15,9 \text{ mg/L}$) e coliformes fecais ($CF = 9 \times 10^2 \text{ NMP/100ml}$) são satisfatórios, não apresentando riscos à saúde pública. Para o método de gotejamento a média da produtividade avaliada em 3 meses foi de $1,320 \text{ Kg/planta}$ e para o método de microaspersão foi de $0,962 \text{ Kg/planta}$. A qualidade sanitária da lima persa no nível do solo, na copa média e na copa alta foi de 1 NMP/100g e ausência de coliformes fecais, indicando que as mesmas podem ser consumidas sem riscos à saúde.

Figueiredo *et al.* (2005), avaliaram as características microbiológicas e parasitológicas de efluentes do reator UASB e do seu pós-tratamento em lagoa de polimento e de um leito de brita tratando esgoto doméstico, verificando o efeito do uso desse efluente na irrigação através da produtividade e contaminação da cultura do quiabo. Encontraram no efluente do reator UASB uma concentração de coliformes termotolerantes de $6,1 \times 10^6 \text{ UFC/100ml}$ mostrando ser impróprio para irrigação irrestrita, pois não se adequou às recomendações da OMS (WHO, 1989). No efluente do leito de brita encontraram $7,2 \times 10^3 \text{ UFC/100ml}$ e para o efluente da lagoa de polimento uma média de $2,9 \times 10^1 \text{ UFC/100ml}$ mostrando uma eficiência de remoção de 99,999% sendo apto para irrigação irrestrita. Os efluentes do leito de brita e da lagoa de polimento apresentaram ausência de ovos de helmintos e para o efluente do reator UASB encontraram um valor médio de 143 ovos/L. Os quiabos irrigados com água de abastecimento e solo com adubação mineral apresentaram a maior produtividade $27,85 \text{ t/ha}$. A produtividade usando o efluente do UASB foi de $25,75 \text{ t/ha}$, com o efluente do leito de brita foi de $24,72 \text{ t/ha}$ e com o efluente da lagoa de polimento foi de $14,88 \text{ t/ha}$. A contaminação do quiabo irrigado com água de abastecimento, com água de abastecimento e adubação mineral e efluente de lagoa de polimento foi de $2,2 \text{ NMP/g}$ de coliformes termotolerantes, estando próprio para o consumo. Nos quiabos irrigados com efluente do leito de brita a contaminação foi de $1,21 \times 10^2 \text{ NMP/g}$ e com o efluente do UASB foi de $1,33 \times 10^2 \text{ NMP/g}$, estando impróprios para consumo.

Ramos *et al.* (2005), analisaram o efluente final da estação de tratamento de esgoto da Penha – RJ, composto por filtro biológico e lodos ativados para ser utilizado em operações de lavagem e limpeza da própria ETE, em lavagem de ruas e feiras livres, aplicação como água de refrigeração ou aquecimento nas indústrias e outros fins. Vários parâmetros foram

analisados, destacando-se o pH e coliformes fecais. O pH variou de 6,88 a 7,28 e os coliformes fecais variaram de $3,7 \times 10^5$ a $3,0 \times 10^6$ UFC/100ml. Fez-se necessário a desinfecção da água devido à elevada concentração de coliformes fecais, após a desinfecção a água de reúso ficou isenta de coliformes fecais e os parâmetros físico-químicos permaneceram estáveis.

Sousa *et al.* (2000), em estudo realizado na EXTRABES em Campina Grande - PB avaliaram o desempenho do cultivo de arroz irrigado com esgotos sanitários. Foram feitos três tratamentos: o primeiro o arroz foi irrigado com esgotos tratados em tanque séptico seguido de lagoas de maturação, o segundo tratamento a irrigação foi feita com água de abastecimento e o terceiro foi adubado seguindo recomendações do laboratório de solos da EMBRAPA (1995). Alguns parâmetros foram analisados no efluente da lagoa, nos quais se tem: pH, condutividade elétrica, nitrogênio amoniacal e coliformes fecais. O efluente apresentou um pH de 8,10, CE de 2,15 dS/m, nitrogênio amoniacal de 37 mg/L e CF de $6,3 \times 10^5$ UFC/100ml. A concentração de coliformes termotolerantes foi superior à recomendada pela OMS (WHO, 1989) que admite $\leq 10^3$ UFC/100mL para irrigação irrestrita, no entanto, o arroz produzido não apresentava indicadores de coliformes termotolerantes. Os parâmetros físico-químicos estão numa faixa de segurança recomendada para irrigação, exceto para o nitrogênio. Quanto à produtividade, o primeiro tratamento produziu 1846 kg/ha, o terceiro tratamento produziu 1274 kg/ha e o segundo tratamento produziu 983 kg/ha.

Konig, *et al.* (2004), em estudo realizado na cidade de Campina Grande – PB analisaram o desempenho da cultura do algodão *Herbaceous* irrigado com água residuária tratada proveniente de uma série de lagoas de estabilização. O algodão *Herbaceous* foi submetido a 12 tratamentos e a 4 repetições com o número dos tratamentos derivado de fatorial [(2 x 5) + 2]: duas classes de água (água de abastecimento e efluente final do sistema de tratamento), 5 doses de nitrogênio (0; 60; 90; 120 e 180kgN/ha) e dois controles absolutos (água de abastecimento e efluente final da ETE), isto é, o solo não recebeu adubação nitrogenada. A irrigação usando água residuária aumentou o peso da semente do algodão *Herbaceous*, mas diminuiu a porcentagem da fibra. A produtividade foi influenciada pela água residuária, alcançando valores superiores a 3300 kg/ha,, correspondendo a 1200 kg/ha das fibras.

3.0 Materiais e Métodos

3.1 Descrição dos Sistemas

Os sistemas de tratamento de esgotos monitorados foram do tipo lagoas de estabilização. O estudo contemplou dez (10) estações de tratamento de esgoto do estado da Paraíba pertencentes às Unidades de Negócios da Cagepa:

- Litoral – ETE's de Mangabeira e do Baixo Róger,
- Brejo – ETE's de Sapé e Guarabira,
- Borborema – ETE's de Campina Grande e Monteiro,
- Espinharas – ETE's de Patos e Itaporanga,
- Rio do Peixe – ETE de Sousa,
- Alto Piranhas – ETE de Cajazeiras.

As localizações dos municípios onde estão instaladas as ETE's são apresentadas na Figura 3.1, e estão distribuídas em todo o estado.

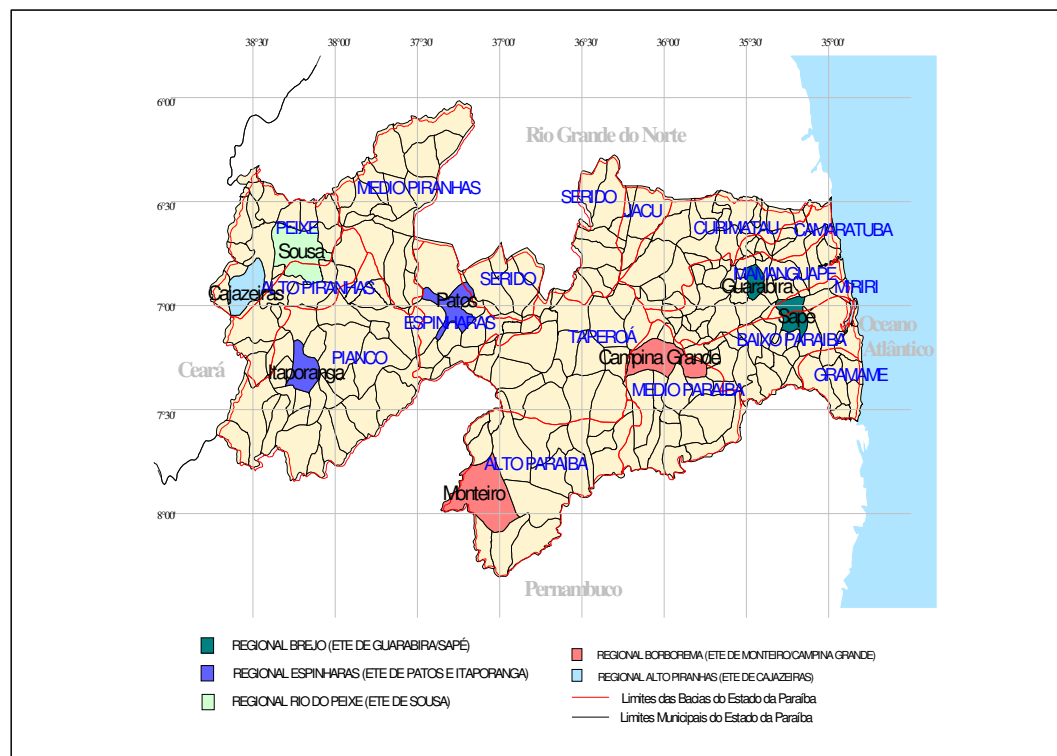


Figura 3.1 – Localização das ETE's no estado da Paraíba monitoradas no período de 2000 a 2004.

3.1.1 Aspectos geográficos e climáticos dos municípios contemplados com as ETE's

Os dados físicos, geográficos, demográficos e climatológicos de cada um dos municípios avaliados nesta pesquisa, tais como: área, coordenadas geográficas, população, temperatura do ar (média anual) e pluviosidade estão apresentadas na Tabela 3.1.

João Pessoa

O município de João Pessoa está localizado no litoral paraibano, o clima é do tipo mediterrâneo ou nordestino seco. O inverno inicia-se em março e termina em agosto e durante o resto do ano o clima é de muito sol.

A região de João Pessoa apresenta solos arenosos e ou argilosos de baixa fertilidade, lixiviados (podzólicos e latossolos), sobre os sedimentos terciários (ATLAS GEOGRÁFICO DO ESTADO DA PARAÍBA, 2003).

Na produção agrícola, destacam-se: abacaxi, cana de açúcar, arroz, milho, feijão e mandioca (ATLAS GEOGRÁFICO DO ESTADO DA PARAÍBA, 2003).

Sapé e Guarabira

O município de Sapé apresenta solos arenosos e ou argilosos de baixa fertilidade, lixiviados (podzólicos e latossolos), sobre os sedimentos terciários (Atlas Geográfico do Estado da Paraíba, 2003). Na produção agrícola, destacam-se: abacaxi, cana de açúcar, arroz, milho, feijão, mandioca e algodão (ATLAS GEOGRÁFICO DO ESTADO DA PARAÍBA, 2003).

O município de Guarabira representa a paisagem típica do semi-árido nordestino. A região apresenta solos podzólicos, com acumulação de argila, sobre rochas cristalinas na depressão periférica e nas serras do setor semi-árido. Possui agricultura diversificada destacando-se: o abacaxi, a cana, o arroz, o milho, o feijão, a mandioca, o algodão e o sisal (ATLAS GEOGRÁFICO DO ESTADO DA PARAÍBA, 2003).

O clima da região é do tipo semi-árido quente e úmido com chuvas no mês de fevereiro ou março, prolongando-se até julho ou agosto, a época seca começa em setembro estendendo-se até fevereiro (ATLAS GEOGRÁFICO DO ESTADO DA PARAÍBA, 2003).

Tabela 3.1 – Dados físicos, geográficos, demográficos e climatológicos de 9 municípios do estado da Paraíba.

Dados	Físico	Geográficos			Demográficos			Climatológicos	
		Área (km ²)*	Latitude sul**	Longitude oeste**	Altitude (m)**	Pop. total*	Pop. urbana*	Pop. rural*	T _{média anual} (°C)**
João Pessoa	210,45	08°07'	341°52'	37	597934	597934 (100%)	0	26,0	2200 - 2400
Sapé	330,6	7°06'00"	35°13'48"	124	47353	35.516 (75%)	11.837 (25%)	24,0	1400 - 1600
Guarabira	149,5	6°51'18"	35°29'24"	98	51482	44068 (85,6%)	7414 (14,4%)	24,0	1000 - 1200
CG	970,0	7°13'11"	35°52'31"	550	355331	337484 (94,98%)	17847 (5,02%)	22,2	1200 - 14800
Monteiro	1009,9	7°88'69"	37°12'50"	590	27687	16.684 (61%)	11.003 (39%)	23,8	600 - 800
Patos	508,7	7° 01'	37° 17'	250	91761	87.949 (95,85%)	3812 (4,15%)	27,0	800 - 1000
Itaporanga	481,8	7°36'	36°20'	291	21123	14.689 (69,54%)	6434 (30,46%)	26,5	1000 - 1200
Sousa	765,0	6°45'	38°14'	200	62635	46200 (74%)	16435 (26%)	26,5	800 - 1000
Cajazeiras	569,9	6°53'	38°34'	291	54715	41964 (77%)	12751 (23%)	26,1	800 - 1000

Fonte: * IBGE (2000).

** ATLAS G EOGRÁFICO DO ESTADO DA PARAÍBA (2003).

Campina Grande

O município situa-se na microregião geográfica chamada de agreste paraibano, entre o litoral e o sertão. É o segundo município em população e exerce grande influência política e econômica sobre outros municípios do estado da Paraíba. Por estar localizado em uma região alta é beneficiada por um clima de transição entre o clima quente e úmido de março a agosto e o clima semi-árido. A época chuvosa inicia-se no mês de fevereiro ou março, prolongando-se até julho ou agosto. O período seco começa em setembro e prolonga-se até fevereiro (ATLAS GEOGRÁFICO DO ESTADO DA PARAÍBA, 2003).

Os solos são rasos poucos intemperizados e pedregosos - brunos litólicos. Na atividade agrícola, tem-se: sisal, arroz, milho, feijão, mandioca e algodão (ATLAS GEOGRÁFICO DO ESTADO DA PARAÍBA, 2003).

Monteiro

O município de Monteiro situa-se na microregião denominada de Cariri. As condições climáticas apresentam precipitações pluviométricas médias anuais muito baixas e uma estação seca que pode atingir 11 meses, caracterizando um clima quente típico do semi-árido (ATLAS GEOGRÁFICO DO ESTADO DA PARAÍBA, 2003).

Os solos da região são solos castanhos ou Brunos, pouco espessos e pedregosos (solos brunos não cálcicos). A agricultura praticada no município é baseada na produção de: milho, feijão, mandioca, algodão e sisal (ATLAS GEOGRÁFICO DO ESTADO DA PARAÍBA, 2003).

Patos, Itaporanga, Sousa e Cajazeiras

Os municípios de Patos, Itaporanga, Sousa e Cajazeiras estão localizados na microregião geográfica sertão paraibano caracterizado por um clima quente e úmido, é menos árido que no Cariri e Curimataú, apresentam dados de precipitações mais elevados e irregulares. O período de chuvas ocorre entre janeiro e maio, nos demais meses o clima é seco (ATLAS GEOGRÁFICO DO ESTADO DA PARAÍBA, 2003).

Os municípios de Patos, Itaporanga e Cajazeiras apresentam solos castanhos ou Brunos, pouco espessos e pedregosos (solos brunos não cálcicos). Já o município de Sousa possui solos escuros com argilas expansivas que racham na época seca e se encharcam durante a estação chuvosa – vertissolos (ATLAS GEOGRÁFICO DO ESTADO DA PARAÍBA, 2003).

A agricultura dos municípios de Patos e Itaporanga é beneficiada pela produção de: milho, feijão, arroz e algodão. O município de Cajazeiras produz milho, feijão, arroz, mandioca e algodão; e Sousa possui uma agricultura mais diversificada produzindo: cana, milho, feijão, arroz, mandioca e algodão (ATLAS GEOGRÁFICO DO ESTADO DA PARAÍBA, 2003).

3.2 Características dos Sistemas

As configurações dos sistemas de tratamento de esgotos monitorados estão apresentadas na Tabela 3.2. As características físicas e operacionais das 10 ETE's em estudo e informações gerais encontram-se na Tabela 3.3.

Tabela 3.2 – Configurações de projeto dos Sistemas de Tratamento de Esgotos do estado da Paraíba.

Município	Configuração de projeto
João Pessoa	
- Mangabeira	Duas séries em paralelo de lagoas de estabilização: anaeróbia seguida de facultativa
- Baixo Róger	Lagoa de estabilização facultativa primária
Sapé	Lagoa de estabilização facultativa primária
Guarabira	Duas séries em paralelo de lagoas de estabilização: anaeróbia seguida de facultativa secundária
Campina Grande	Duas lagoas em série, uma anaeróbia seguida de uma facultativa
Monteiro	Duas séries em paralelo de lagoas de estabilização: anaeróbia seguida de facultativa
Patos	Lagoa aerada
Itaporanga	Lagoa de estabilização facultativa
Sousa	Lagoa de estabilização facultativa primária
Cajazeiras	Lagoa de estabilização facultativa primária

ETE's do município de João Pessoa

O projeto da estação de tratamento de esgotos da cidade de João Pessoa foi desenvolvido para atender a uma população de projeto de 715000 habitantes, por volta do ano 2020. A cidade possui cerca de 50% de seus esgotos coletados, dos quais, 90% são encaminhados e tratados nas estações de tratamento e 10% são diluídos nos “Tanques dos

Esses”. Dos esgotos tratados, 30% são tratados na estação de tratamento de Mangabeira e os 70% restantes são tratados na estação de tratamento do Róger (ARRUDA, 2004).

Baixo Róger

O sistema de tratamento do Baixo Róger possui tratamento preliminar constituído de grade mecanizada e caixa de areia. Possui uma lagoa anaeróbia com 8m de profundidade desenvolvida a partir de uma pedreira de exploração de calcário desativada, o efluente da lagoa é descarregado nos Tanques dos Esses. Quando a maré está baixa o efluente fica acumulado nos tanques, quando a maré está alta o efluente é descarregado no estuário do rio Paraíba (ARRUDA, 2004).

Mangabeira

A ETE está localizada na bacia hidrográfica do rio Piratibe e é constituída por tratamento preliminar (grades, caixa de areia calha Parshall), por dois módulos em paralelo, cada um com duas lagoas em série, uma anaeróbia seguida de uma facultativa, perfazendo uma área total de 31,5 ha, para atender a uma população prevista para cada módulo de 33.100 habitantes. A partir do ano 2000 o sistema passou a ter três módulos de tratamento. O terceiro é constituído por uma lagoa aerada seguida por uma de maturação. O efluente tratado é lançado no rio Cuiá que deságua em direção ao oceano Atlântico (CAGEPA, 2006).

ETE do município de Sapé

O sistema de lagoas de estabilização foi projetado em duas etapas. A primeira de 1971 a 1979 e a segunda de 1980 a 2000 com uma população prevista para o fim do plano de 39404 habitantes. O sistema possui duas redes coletoras, cada uma com estação elevatória e o emissário descarrega o esgoto bruto diretamente na lagoa facultativa, ou seja, não possui tratamento preliminar. A lagoa facultativa possui forma irregular. O efluente final é descarregado no riacho São Salvador (CAGEPA, 2006).

ETE do município de Guarabira

A ETE de Guarabira é constituída por dois módulos em paralelo, cada um com duas lagoas em série, uma anaeróbia seguida de uma facultativa, com formas retangulares apresentando uma área total de 1,092 ha. O projeto dessa ETE foi dividido em duas etapas, de 1987 a 1996 e a segunda, de 1997 a 2006, com uma população prevista para cada módulo de 13.000 e 20.000 habitantes, respectivamente.

Tabela 3.3 - Características físicas e operacionais de projeto dos Sistemas de Tratamento de Esgotos do estado da Paraíba.

Características	Componentes	Baixo Róger	Mangabeira		Campina Grande		Guarabira		Itaporanga	Cajazeiras	Patos	Sapé	Sousa	Monteiro	
		Facultativa Primária	Anaer.	Facult.	Anaer.	Facult. Secundária	Anaer.	Facult. Secundária	Facult. Primária	Facult. Primária	Lagoa Aerada	Facult. Primária	Facult. Primária	Anaeróbia	Facultativa
Físicas	Área (ha)	*0,53	-	0,40	1,54	2,42	0,1018	1,09	2,42	2,50	2,04	2,60	5,40	0,42	0,16
	Comprim. (m)	**127,0	-	-	140,0	150,0	-	-	150,0	-	86,0	-	-	29,0	113,0
	Largura (m)	**42,0	-	-	110,0	100,0	-	-	100,0	-	41,0	-	-	14,5	29,0
	Profund. (m)	4,0	-	3,7	3,5	1,0	3,7	2,2	1,0	1,5	2,5	2,2	1,0	3,7	2,2
	Volume (m ³)	27868	-	-	53900	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1556
Operacionais	Vazão (l/s)	10,24	95,75	95,75	350,00	-	7,60	7,60	8,40	37,50	31,57	14,72	17,85	-	-
	TDH (dias)	-	-	1,8	3,5	-	5,7	36,6	20,0	20,8	3,0	11,3	23	1,3	6,0
	λs (kg DBO ₅ /ha.dia)	-	-	1076,0	-	-	1856,0	55,0	212,0	389,0	-	411,0	282,0	-	275,0
	Eficiência (%)	70,0	-	-	-	-	-	-	-	-	88,8	92,4	-	-	-
Gerais	Percapita (l/hab.dia)	-	-	-	250	250	-	-	-	74	-	114	90	160	160
	Pop _{esgotada fim do plano(2010)}	-	-	-	-	-	-	-	-	19617	120134	35100	142792	-	-
	Ligações de água	Município de João Pessoa = 165215			101812		16458		4703	14616	28280	10383	16756	7008	
	Ligações de esgoto	Município de João Pessoa = 70782			62466		6708		1420	2082	1505	1762	4688	5135	

Fonte: CAGEPA (2006)

* Área do fundo da lagoa.

** Dimensões do fundo da lagoa.

O sistema possui tratamento preliminar constituído de grade, caixa de areia e calha Parshall. O efluente é lançado no rio Guarabira (CAGEPA, 2006).

ETE do município de Campina Grande

A ETE de Campina Grande foi projetada para atuar em duas etapas: a primeira teria capacidade para depurar os efluentes da cidade até 1980, com uma população estimada de 210.000 habitantes; na segunda etapa de 1981 a 1990 atenderia uma população estimada de 350.000 habitantes (CAGEPA, 2006).

O sistema é constituído de pré-tratamento (grade, caixa de areia, calha Parshall) e tratamento biológico com duas lagoas em série projetadas para funcionarem com aeração mecânica que, atualmente, encontra-se desativado, funcionando hoje como uma lagoa anaeróbia e uma facultativa. A forma das lagoas é retangular com vértices arredondados, os taludes são revestidos por pedras e o coroamento é composto pela associação de terra mais brita. O corpo receptor é o riacho Bodocongó (CAGEPA, 2006).

ETE do município de Monteiro

A ETE de Monteiro foi projetada para atuar em duas etapas: a primeira teria capacidade para depurar os efluentes para uma população de 10.000 habitantes; e a segunda para uma população de 15.000 habitantes, prevendo a expansão do município.

O sistema de lagoas de estabilização é constituído por dois módulos em paralelo e cada um deles possui o pré-tratamento (grade, caixa de areia, calha Parshall) e duas séries de lagoas de estabilização, a primeira anaeróbia seguida de uma facultativa que apresentam formas retangulares. O efluente é lançado no rio São José (CAGEPA, 2006).

ETE do município de Patos

A ETE de Patos foi projetada para funcionar em duas etapas, a primeira de 1969 a 1977 e na segunda etapa o sistema atenderia a uma população de 110.000 habitantes até o ano de 1990. O sistema existente atende a uma população de 142.630 habitantes até o ano de 2010. O tratamento biológico constituído de duas lagoas aeradas em série com área de 2,04 ha cada, não possui tratamento preliminar (grade e caixa de areia) a disposição final do efluente é feita no rio Espinharas (CAGEPA, 2006).

ETE do município de Itaporanga

O sistema de tratamento de esgotos de Itaporanga foi projetado para atender a uma população de 17.460 habitantes para o fim do plano de 2002. O alcance do projeto era para atender a uma população de 19.617 habitantes para o fim do plano em 2010. Até o fim do plano o esgoto será lançado em duas lagoas facultativas, funcionando em paralelo, com área total de 2,416 ha. Atualmente o sistema possui tratamento preliminar constituído de grade e caixa de areia. O efluente é lançado no riacho Cantinho (CAGEPA, 2006).

ETE do município de Sousa

O esgotamento sanitário do município de Sousa, segundo dados de projeto, atenderia uma população estimada de 91.400 habitantes até o ano de 1990. O sistema real atenderia a uma população de 142.792 habitantes até o fim do plano em 2010. Uma rede coletora com uma estação elevatória encaminha os esgotos para a ETE, que é constituída por uma lagoa facultativa de forma retangular e sem tratamento preliminar. O efluente é lançado no Açude Gato Preto que corre para o rio do Peixe (CAGEPA, 2006).

ETE do município de Cajazeiras

A ETE de Cajazeiras foi projetada para atender a uma população estimada de 45.000 habitantes até 1990, mas segundo dados básicos construídos, a ETE atenderia a uma população de 120.134 habitantes no fim do plano em 2010. O sistema é constituído de tratamento preliminar (grade, caixa de areia) e, para o tratamento biológico, uma lagoa facultativa de forma irregular, o corpo receptor do efluente é o riacho Belo Horizonte (CAGEPA, 2006).

3.3 Monitoramento dos Sistemas

O monitoramento do efluente final foi realizado no período de agosto/2000 a maio/2004 com frequência mensal com coleta de amostra em horários matutinos. As análises laboratoriais de variáveis físicas, químicas, microbiológicas e parasitológicas foram realizadas no Laboratório de Saneamento da Unidade Acadêmica de Engenharia Civil, Campus I UFCG – AESA/UAEC/CTR/UFCEG.

3.4 Procedimentos Laboratoriais

O horário da coleta era anotado na planilha, bem como qualquer informação relevante sobre a coleta e as condições climáticas. As variáveis analisadas e os métodos analíticos empregados são descritos na Tabela 3.4.

Tabela 3.4 – Variáveis físicas, químicas e microbiológicas e procedimentos analíticos empregados.

Variável (unidade)	Método	Referência
pH	Potenciométrico	APHA <i>et al.</i> (1995)
C.Elétrica (umho/cm)	Resistência Elétrica	APHA <i>et al.</i> (1995)
Sódio (mg/L)	Fotometria de Chama	APHA <i>et al.</i> (1995)
Sólidos Totais (mg/L)	Gravimétrico	APHA <i>et al.</i> (1995)
Sólidos Suspensos (mg/L)	Gravimétrico	APHA <i>et al.</i> (1995)
Cálcio (mg/L)	Titulométrico	APHA <i>et al.</i> (1995)
Magnésio (mg/L)	Titulométrico	APHA <i>et al.</i> (1995)
Amônia (mg/L)	Nesslerização direta	APHA <i>et al.</i> (1995)
C. Termotolerantes (UFC/100mL)	Membrana filtrante	APHA <i>et al.</i> (1995)
<i>E. coli</i> (NMP/100mL)	Tubos múltiplos	APHA <i>et al.</i> (1995)
Helmintos (ovos/L)	Bailenger	WHO (1989)
	com sedimentação por 24 horas	Konig (2000)

O efeito da precipitação pluviométrica sobre os valores das concentrações das variáveis analisadas foi avaliado. A Tabela 3.5 apresenta a divisão clássica do período de seca e chuva definido através de uma série histórica de 30 anos (1961 – 1990) de dados de precipitações pluviométricas dos municípios em estudo. Os períodos de seca e de chuva de cada município, durante o período analisado, foram divididos a partir da série histórica.

Tabela 3.5 - Período de seca e chuva dos municípios em estudo.

Municípios	Período de seca	Período de chuva	Acumulado do ano (mm)
João Pessoa	Setembro - Dezembro	Janeiro - Agosto	1764,2
Sapé	Agosto - Fevereiro	Março - Julho	1029,3
Guarabira	Agosto - Fevereiro	Março - Julho	1196,8
Campina Grande	Agosto - Março	Abril - Julho	764,3
Monteiro	Junho - Janeiro	Fevereiro - Maio	620,4
Patos	Maio - Janeiro	Fevereiro - Abril	715,3
Itaporanga	Junho - Dezembro	Janeiro - Maio	925,5
Sousa	Junho - Dezembro	Janeiro - Maio	783,9
Cajazeiras	Maio - Dezembro	Janeiro - Abril	880,6

Fonte: AESA (2006), INMET (1992).

3.5 Análise estatística

Os dados físico-químicos e microbiológicos foram avaliados estatisticamente através de programas específicos, para se obter informações sobre a qualidade da água residuária para uso na agricultura. Será analisada a Razão de Adsorção de Sódio (RAS), como também, a condutividade elétrica para se ter informações sobre o potencial de infiltração e o teor de sais contidos na água residuária e, assim, poder verificar se os efluentes finais das ETE's estão dentro das restrições para reúso. Os parâmetros parasitológicos e microbiológicos serão avaliados segundo os padrões da Organização Mundial da Saúde (OMS).

Os resultados dos parâmetros físico-químicos e microbiológicos foram submetidos às seguintes análises estatísticas:

1. análise estatística empregando o *box-plot* que fornece uma apresentação gráfica de dados permitindo obter uma visão sumarizada da distribuição dos dados obtidos utilizando cinco medidas: a mediana, o primeiro quartil, o terceiro quartil, o valor mínimo e o máximo no conjunto de dados. Um *box-plot* pode ajudar a visualizar o centro, a dispersão e a assimetria de um conjunto de dados (MANN, 2006). A variação do tamanho da caixa plotada, em escala vertical, indica a variação dos valores da amostra analisada, ou seja, quanto maior for a variação destes valores maior será a caixa e vice-versa;
 2. análise de similaridade através do programa SPSS 13.0 permitindo formar um dendograma que nos mostra a similaridade entre os grupos formados, ou seja, tem a finalidade de agrupar as ETE's que apresentarem similaridade entre as médias dos parâmetros, pois serão estudadas oito variáveis nos efluentes finais de 10 ETE's, através de um banco de dados;
 3. análise de variância (ANOVA) fator único, com nível de significância 5% foi utilizada para verificar a existência ou não de diferenças estatisticamente significativas entre as médias dos parâmetros analisados. Essa análise fornece os fatores de distribuição F e $F_{crítico}$. Caso existam diferenças significativas o F é maior que o $F_{crítico}$ ($F > F_{crítico}$) e, neste caso, se faz necessário utilizar o método gráfico GT-2 que mostra a comparação simultânea entre as várias médias permitindo verificar em que grupo existe ou não diferença significativa.
-

4.0 Apresentação e Análise dos Resultados

4.1 Dados climatológicos dos municípios

A Tabela 4.1 mostra a média da pluviosidade nos períodos de seca e chuva dos municípios onde foi realizada a presente pesquisa. A divisão entre épocas de seca e de chuva segundo a precipitação pluviométrica, medida dentro do período experimental, foi feita de acordo com a divisão clássica de seca e chuva das médias climáticas de 30 anos (1961-1990) fornecidos pelo INMET/AESA (Tabela 3.5).

Para se definir o período de seca e chuva, utilizou-se o seguinte critério: o mês no qual chovia ou deixava de chover pelo menos 50% em relação ao mês anterior, mas sempre associando com a divisão dos períodos de seca e chuva das médias climáticas de 30 anos (divisão clássica de 1961 – 1990). Através desta associação, foi observado, que em alguns municípios tiveram dados de precipitação atípicos, isto é, meses com precipitações elevadas dentro de um período de seca e/ou meses com baixíssima precipitação dentro de um período de chuva revelando que as precipitações dos 4 anos analisados não se enquadraram dentro da divisão clássica.

Observa-se na Tabela 4.1 que no período experimental de agosto/2000 a maio/2004, foram encontrados quatro períodos de seca e quatro períodos de chuva, exceto para o município de João Pessoa, inserido na pesquisa no mês de janeiro de 2002 (ETE's de Mangabeira e Róger), com dois períodos de seca e três períodos de chuva.

Os municípios de Cajazeiras, Campina Grande e Monteiro, num intervalo de um ano e se repetindo ao longo do período experimental, tiveram um período de seca em torno de oito meses; Sapé, Guarabira, Itaporanga e Sousa apresentaram um período de seca em torno de sete meses; Patos com nove meses e João Pessoa com o menor período de seca, de quatro meses. Os valores de precipitação apresentados para cada período de seca e chuva são médias aritméticas do conjunto de dados.

Tabela 4.1 – Pluviosidade nos períodos de seca e chuva dos municípios.

Municípios	Período	n	Preci- pitação (mm)	Municípios	Período	n	Preci- pitação (mm)
Cajazeiras				Monteiro			
Seca 1	(ago - dez/00)	5	135,2	Seca 1	(ago-dez/00) (jan/01)	6	212,1
Seca 2	(mai - ago/01)	4	33,0	Seca 2	(jun-ago/01) (jan/02)	4	408,5
Seca 3	(mai - dez/02)	8	269,5	Seca 3	(jun-dez/02) (jan/03)	8	173,5
Seca 4	(mai - dez/03)	8	199,7	Seca 4	(jun-dez/03) (jan/04)	8	606,0
Chuva 1	(jan-abr/01)	4	483,0	Chuva 1	(fev-mai/01)	4	212,0
Chuva 2	(jan-abr/02)	4	757,2	Chuva 2	(fev-mai/02)	4	442,5
Chuva 3	(jan-abr/03)	4	790,5	Chuva 3	(fev-mai/03)	4	263,1
Chuva 4	(jan-abr/04)	4	1016,2	Chuva 4	(fev-mai/04)	4	228,4
CG				Patos			
Seca 1	(ago-dez/00)(jan-mar/01)	8	635,5	Seca 1	(ago-dez/00) (jan/01)	6	195,4
Seca 2	(ago/01) (jan-mar/02)	4	361,3	Seca 2	(mai-ago/01) (jan/02)	5	397,6
Seca 3	(ago-dez/02)(jan-mar/03)	8	340,3	Seca 3	(mai-dez/02) (jan/03)	9	279,5
Seca 4	(ago-dez/03)(jan-mar/04)	8	683,2	Seca 4	(mai-dez/03) (jan/04)	9	389,2
Chuva 1	(abr-jul/01)	4	382,7	Chuva 1	(fev-abr/01)	3	283,3
Chuva 2	(abr-jul/02)	4	347,8	Chuva 2	(fev-abr/02)	3	303,5
Chuva 3	(abr-jul/03)	4	298,7	Chuva 3	(fev-abr/03)	3	357,4
Chuva 4	(abr-mai/04)	2	223,8	Chuva 4	(fev-abr/04)	3	281,3
Guarabira				Sapé			
Seca 1	(ago-dez/00) (jan,fev/01)	7	592,8	Seca 1	(ago-dez/00)(jan,fev/01)	7	452,5
Seca 2	(ago/01) (jan-fev/02)	3	287,8	Seca 2	(ago/01) (jan,fev/02)	3	204,3
Seca 3	(ago-dez/02) (jan-fev/03)	7	367,7	Seca 3	(ago-dez/02)(jan,fev/03)	7	415,5
Seca 4	(ago-dez/03) (jan-fev/04)	7	892,3	Seca 4	(ago-dez/03)(jan,fev/04)	7	675,2
Chuva 1	(mar-jul/01)	5	709,7	Chuva 1	(mar-jul/01)	5	496,5
Chuva 2	(mar-jul/02)	5	656	Chuva 2	(mar-jul/02)	5	728,7
Chuva 3	(mar-jul/03)	5	806,5	Chuva 3	(mar-jul/03)	5	859,1
Chuva 4	(mar-mai/04)	3	491,2	Chuva 4	(mar-mai/04)	3	342,0
Itaporanga				Sousa			
Seca 1	(ago-dez/00)	5	134,1	Seca 1	(ago-dez/00)	5	85,3
Seca 2	(jun-ago/01)	3	56,4	Seca 2	(jun-ago/01)	3	44,8
Seca 3	(jun-dez/02)	7	122,2	Seca 3	(jun-dez/02)	7	44,9
Seca 4	(jun-dez/03)	7	89,4	Seca 4	(jun-dez/03)	7	62,4
Chuva 1	(jan-mai/01)	5	424,4	Chuva 1	(jan-mai/01)	5	446,3
Chuva 2	(jan-mai/02)	5	710,2	Chuva 2	(jan-mai/02)	5	1043,4
Chuva 3	(jan-mai/03)	5	952,9	Chuva 3	(jan-mai/03)	5	625,3
Chuva 4	(jan-mai/04)	5	1163,1	Chuva 4	(jan-mai/04)	5	781,7
João Pessoa (Mangabeira)				João Pessoa (Róger)			
Seca 3	(set-dez/02)	4	105,2	Seca 3	(set-dez/02)	4	105,2
Seca 4	(set-dez/03)	4	214,4	Seca 4	(set-dez/03)	4	214,4
Chuva 2	(jan-ago/02)	8	1891,5	Chuva 2	(jan-ago/02)	8	1891,5
Chuva 3	(jan-ago/03)	8	1827,5	Chuva 3	(jan-ago/03)	8	1827,5
Chuva 4	(jan-mai/04)	5	1071,2	Chuva 4	(jan-mai/04)	5	1071,2

4.2 Estatística descritiva dos parâmetros físicos, químicos e microbiológicos

Todos os dados amostrais dentro do período experimental foram submetidos à análise estatística descritiva e foram separados por períodos de seca e chuva para a construção dos gráficos.

pH – potencial hidrogeniônico

As Figuras 4.1 (a e b), 4.2 (a e b) e 4.3 mostraram a distribuição dos dados de pH dos efluentes finais das ETE's. Para os períodos de seca e de chuva, os efluentes finais das ETE's estudadas estiveram dentro da faixa de 6,5 a 8,4 consideradas por Paganini (1997), como adequada para irrigação com exceção do efluente da ETE de Cajazeiras nas secas 3 e 4 (Figuras 4.2a e 4.2b). Os elevados valores de pH encontrados neste efluente, com valor médio de 9,4 para ambos os períodos, foram atribuídos à atividade fotossintética das algas.

Como o pH da água utilizado na irrigação exerce forte influência no pH do solo, é necessário uma adequação deste parâmetro para que não cause desequilíbrio no solo pois, segundo Bastos *et al.* (2003) o pH do solo está diretamente relacionado com a sua fertilidade por interferir na solubilidade dos elementos minerais e sua disponibilidade. Elementos como Fe, Cu, Mn, Zn e Al são reduzidos com a elevação do pH, e elementos como N, P, K, Ca, Mg, S, B, Mo e Cl, em diferentes graus de intensidade, têm suas disponibilidades aumentadas com a elevação do pH. A disponibilidade dos nutrientes contidos no solo para as plantas é máxima quando o pH é próximo da neutralidade. A redução do pH proporciona aumento na concentração do Al, este elemento precipitado no solo não causa problemas às plantas, mas no seu estado solúvel exerce efeitos tóxicos, como redução do desenvolvimento do sistema radicular promovendo redução no desenvolvimento da parte aérea e comprometimento da produtividade das culturas.

Os valores mínimo e máximo de pH nos efluentes finais de todas as ETE's durante o período experimental foram de 6,3 (Itaporanga – mar/01 - chuva; Róger – fev-abr/03 - chuva) e 9,9 (Cajazeiras – mar-abr/02 - chuva), respectivamente.

Independente do tipo de sistema de tratamento de esgoto os efluentes produzidos contêm valores de pH dentro da faixa ideal para irrigação, pois as interações dos microrganismos dentro do sistema possibilita o tamponamento da água residuária. Dentro da faixa de pH considerada ideal para águas de irrigação, os valores médios encontrados para

essa variável foram de 6,5 (Róger - seca 4) até 8,5 (Cajazeiras - seca 2), próximos aos encontrados por Marques (2004) em pesquisa realizada no reúso do efluente final da ETE de Campina Grande – PB na irrigação do capim elefante, cujo valor médio foi de 7,05. Lucas Filho *et al.* (2001), num estudo da disposição controlada de águas residuárias no solo, proveniente de um sistema anaeróbico, observou que o pH variou entre 6,8 e 7,5; Sousa *et al.* (2001) estudando o desempenho de três sistemas “Wetlands” registraram valores de pH do efluente de um reator UASB entre 7,0 e 7,8.

Comparando os valores médios do pH dos períodos de seca e os da chuva, observou que esse parâmetro pouco variou entre os períodos da seca (seca 1 - 6,9 e 8,1; seca 2 - 7,3 e 8,5; seca 3 - 6,8 e 9,4 e seca 4 - 6,5 e 9,4) e chuva (6,8 e 8,2) e o aumento da precipitação pluviométrica pouco influenciou nos valores.

O pH não é um parâmetro restritivo sendo ideal que a água utilizada na irrigação tenha um valor dentro da faixa 6,5 a 8,4 (PAGANINI, 1997). Segundo Ayers & Westcot (1999) pH fora da faixa ideal pode ser corrigido mediante a aplicação de corretivos na água, embora muitas vezes se aplique a correção do pH diretamente no solo. O calcário e o enxofre são utilizados para corrigir o pH dos solos ácidos e básicos respectivamente (AYERS & WESTCOT, 1999). O maior problema com valores anormais de pH da água está na deterioração dos equipamentos de irrigação, os quais devem ser cuidadosamente selecionados para evitar sua corrosão.

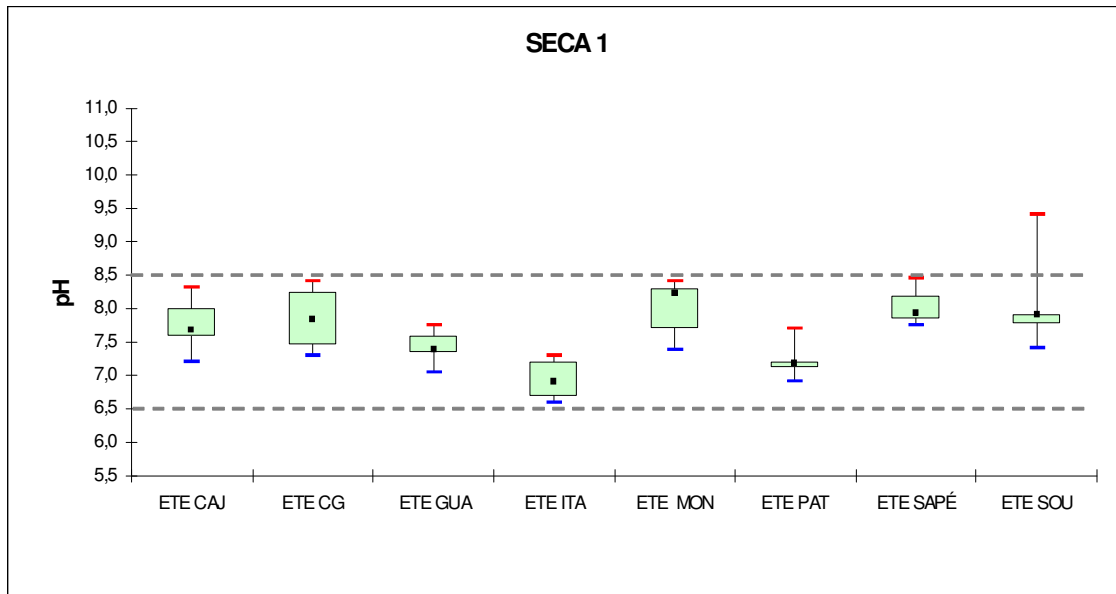


Figura 4.1a – Representação, em “box plot” dos valores de pH nos efluentes finais de 08 ETE’s do estado da Paraíba no período da seca 1.

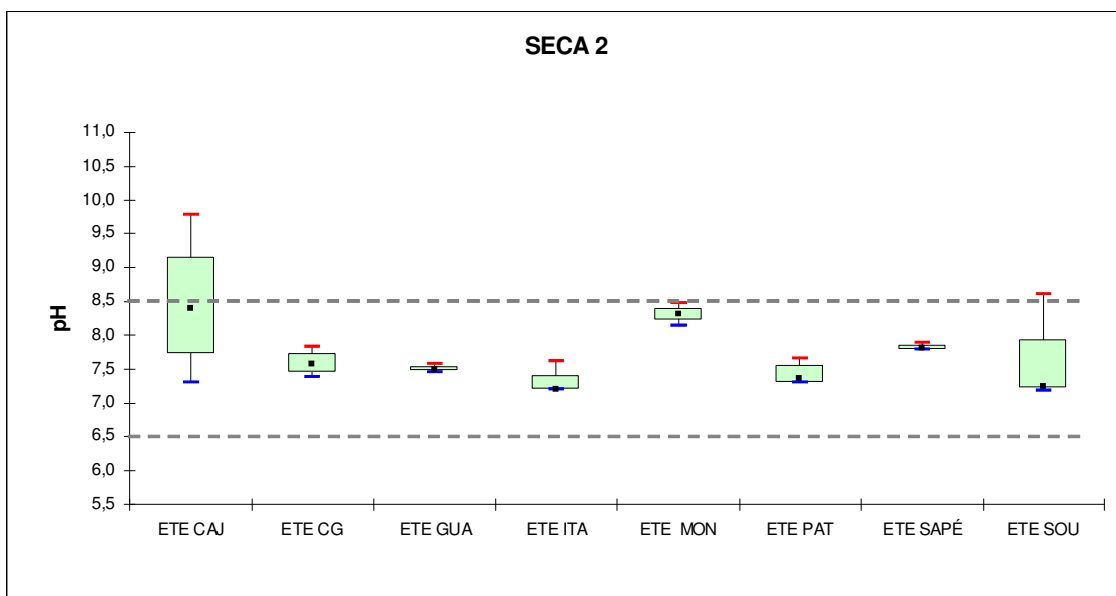


Figura 4.1b – Representação, em “box plot” dos valores de pH nos efluentes finais de 08 ETE’s do estado da Paraíba no período da seca 2.

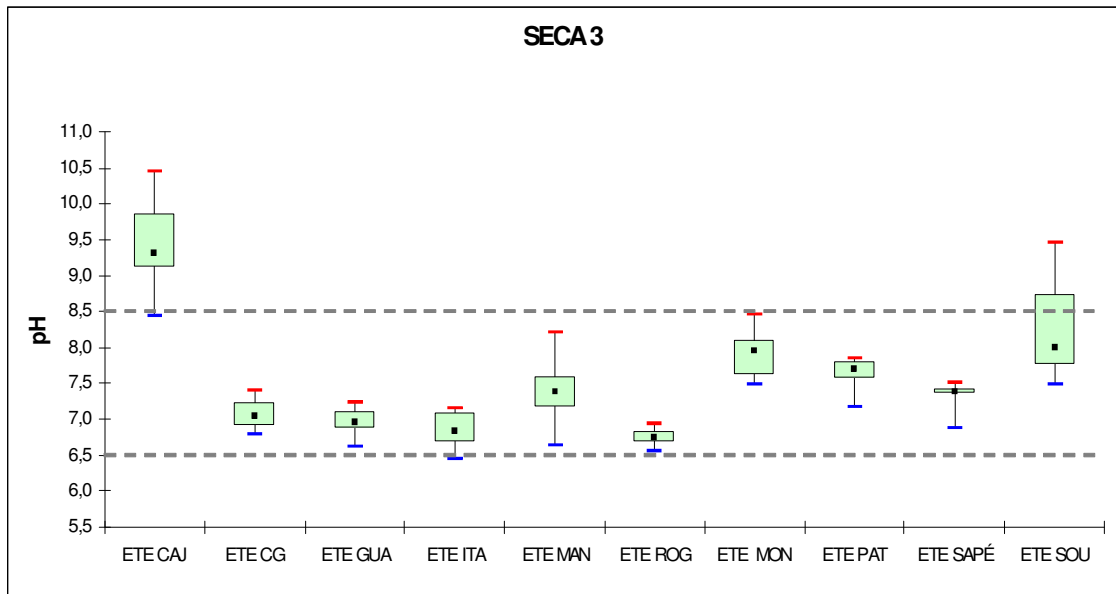


Figura 4.2a – Representação, em “box plot” dos valores de pH nos efluentes finais de 10 ETE’s do estado da Paraíba no período da seca 3.

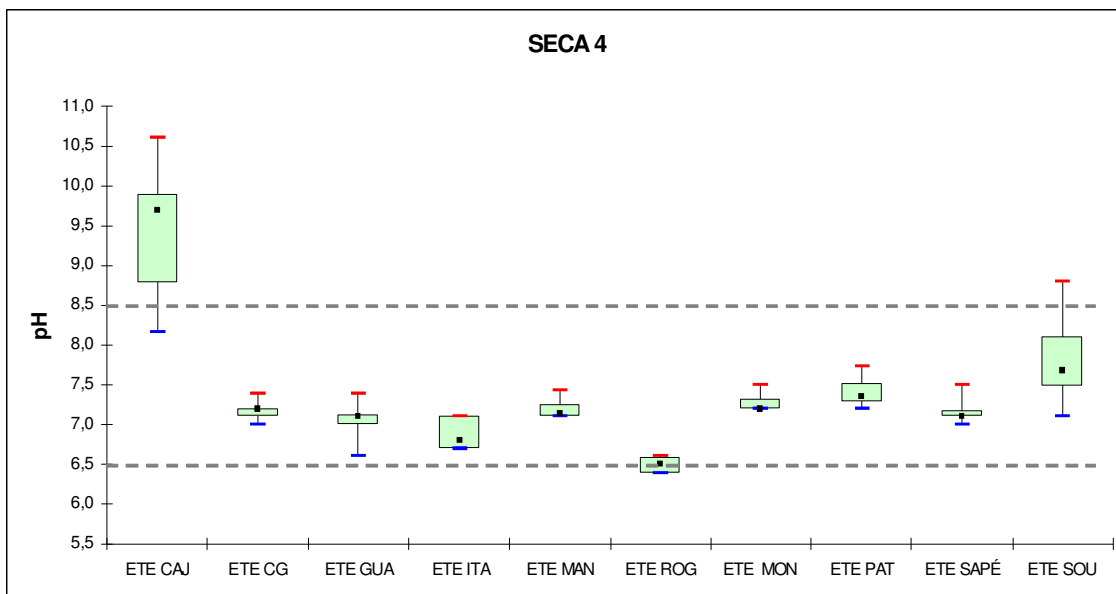


Figura 4.2b – Representação, em “box plot” dos valores de pH nos efluentes finais de 10 ETE’s do estado da Paraíba no período da seca 4.

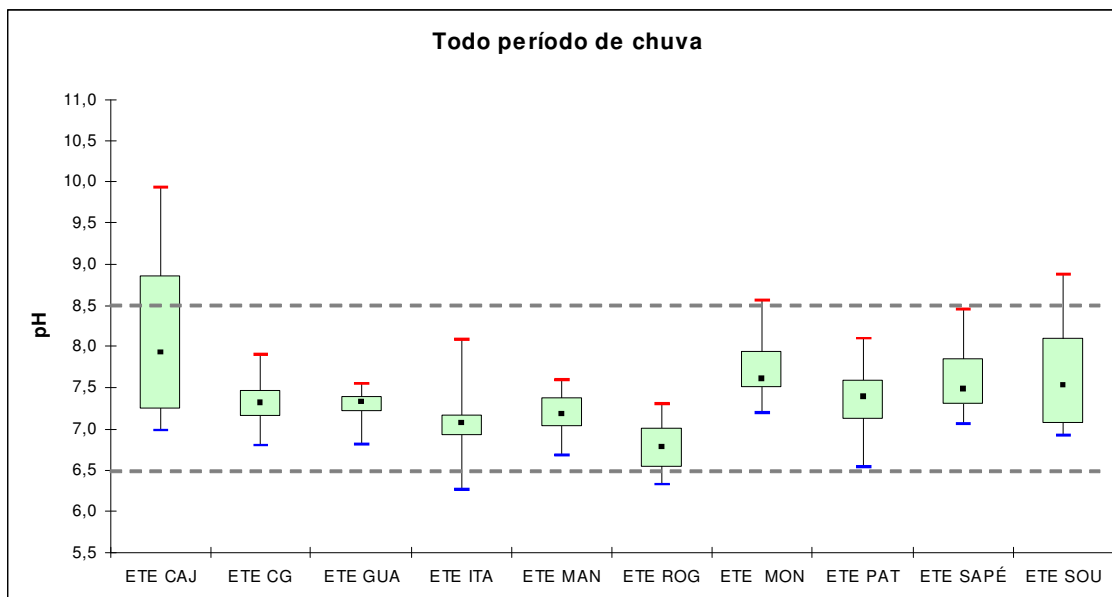


Figura 4.3 – Representação, em “box plot” dos valores de pH nos efluentes finais de 10 ETE’s do estado da Paraíba em todo o período de chuva.

CE – Condutividade Elétrica

Os valores de condutividade elétrica para os períodos de seca estão nas Figuras 4.4 (a e b) e 4.5 (a e b) e do período de chuva, na Figura 4.6. Os efluentes finais das ETE’s de Sousa (seca 2) e Cajazeiras (secas 2, 3 e 4; período de chuva), não apresentaram nenhum grau de restrição quanto à salinidade. No entanto os efluentes finais das demais ETE’s e períodos analisados apresentaram certo grau de restrição, de ligeira a moderada, visto que a CE variou dentro dos limites estabelecidos por Ayers & Westcot (1999) (Tabela 2.1).

Os valores médios da condutividade elétrica nos efluentes finais das ETE’s que apresentaram restrição de uso, variaram entre 0,7dS/m (Cajazeiras - secas 1 e 4; Itaporanga - seca 2) e 2,5dS/m (Monteiro - seca 3). Caso esses efluentes fossem usados em irrigação, haveria a necessidade do controle da salinidade e cuidados na escolha da cultura irrigada (AYERS & WESTCOT, 1999). Valores elevados de CE foram encontrados em efluente de lagoa de estabilização em experimentos realizados por Sousa *et al.* (2000), na EXTRABES em Campina Grande cuja condutividade elétrica era de 2,15 dS/m restringia seu uso de ligeiro à moderado no cultivo de arroz irrigado. Abujamra *et al.* (2005) em estudo realizado no PROSAB/RN encontraram no efluente tratado uma condutividade elétrica de 0,9dS/m (restrição de ligeira a moderada) no cultivo de forragem hidropônica do milho.

Nas quatro secas avaliadas, os efluentes das ETE's de Monteiro e Patos se destacaram por apresentar elevados valores de CE (valores médios variaram de 1,5 a 2,5dS/m). Para a ETE de Monteiro esses valores foram associados à intensa evaporação da água residuária devido à elevada insolação da região, que resultou numa maior concentração dos sais contidos nessa água. No caso da ETE de Patos esta recebe os efluentes decantados de um matadouro municipal os quais são conduzidos até a ETE sendo despejados próximo à entrada do esgoto bruto. Elevados valores de CE também foram observados no efluente final da ETE de Campina Grande nas secas 1, 3 e 4 e atribuídos à presença de íons como cálcio e magnésio da água de abastecimento.

Não ocorreram grandes diferenças nos valores médios de CE entre as duas épocas climáticas, ou seja, os valores dos períodos de seca (seca 1 - 0,7 a 1,7dS/m, na seca 2 - 0,5 a 1,7dS/m, na seca 3 - 0,7 a 2,5dS/m e na seca 4 - 0,7 a 1,6dS/m) foram próximos aos do período da chuva (0,6 a 1,8dS/m).

Segundo Bastos *et al.* (2003) o risco potencial de salinização do solo é avaliado com base na salinidade da água de irrigação que é medida através da condutividade elétrica. A irrigação com águas salinas exige a manutenção da salinidade do extrato solúvel do solo dentro dos níveis de tolerância das plantas, o que pode ser feito através de lixiviação. Mas Paganini (2003) cita que águas com salinidade muito alta (2,3 - 5,5dS/m) e águas extremamente salinas (> 5,5dS/m) podem conduzir à contaminação do lençol freático através da lixiviação de sais, dentre eles sulfato, nitrato ou outros componentes que podem estar presentes na água de irrigação. A salinidade pode afetar seriamente a produtividade das culturas a serem irrigadas, isto é, a salinidade reduz a retirada de água do solo pela planta, pela diminuição do seu potencial osmótico. Isso obriga a planta a utilizar uma elevada quantidade de energia disponível para ajuste da concentração de sais no interior de seus tecidos para obter água suficiente, resultando em menos energia disponível para o seu crescimento. O problema se agrava sob condições de clima quente e seco (PAGANINI, 2003).

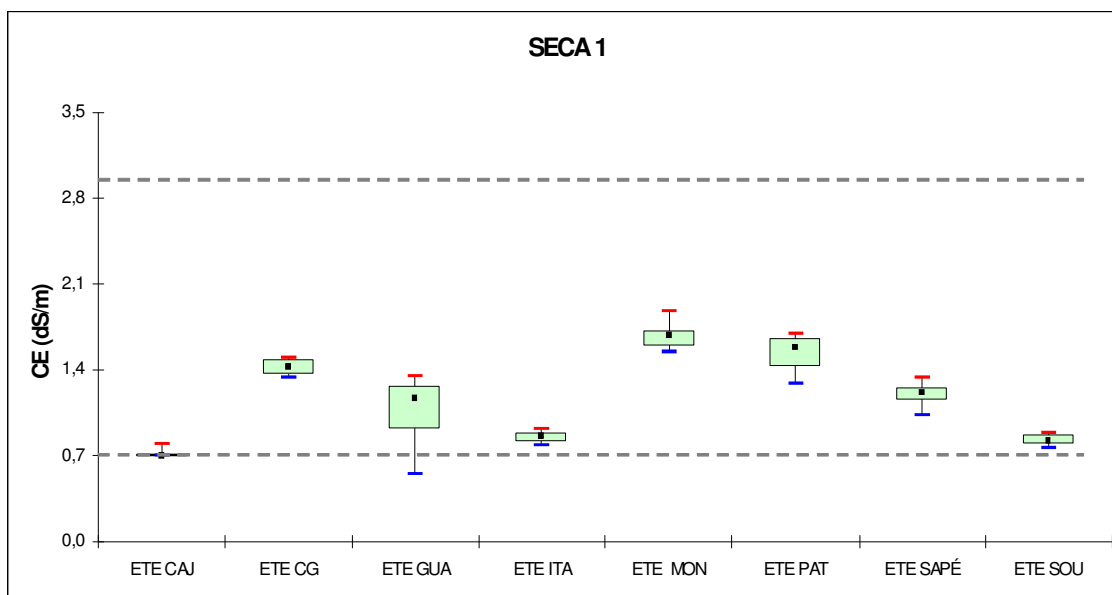


Figura 4.4a – Representação, em “box plot” dos valores de CE nos efluentes finais de 08 ETE’s do estado da Paraíba no período da seca 1.

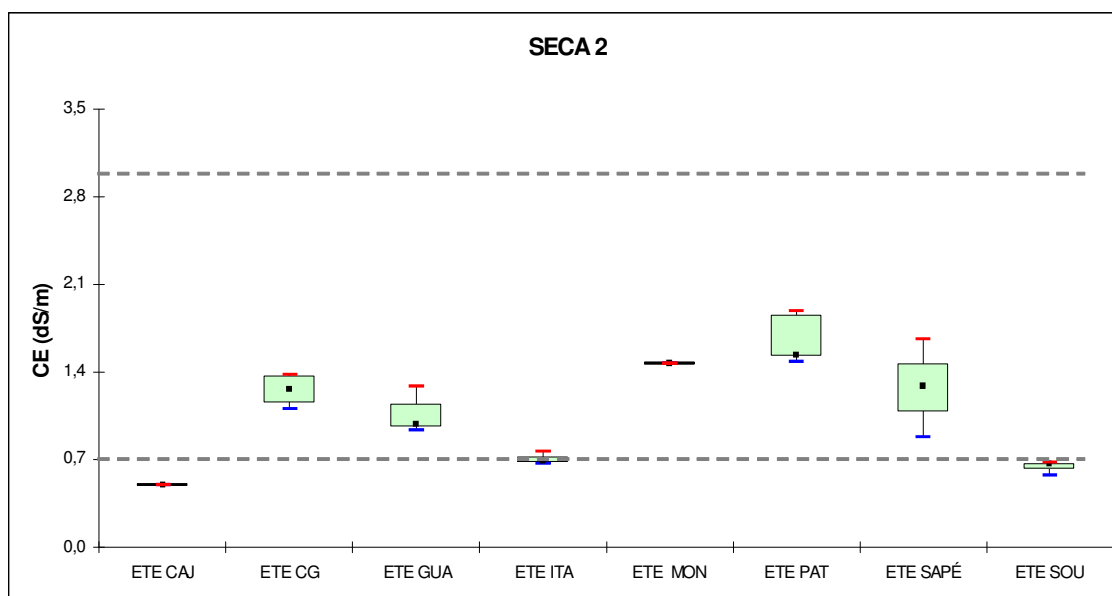


Figura 4.4b – Representação, em “box plot” dos valores de CE nos efluentes finais de 08 ETE’s do estado da Paraíba no período da seca 2.

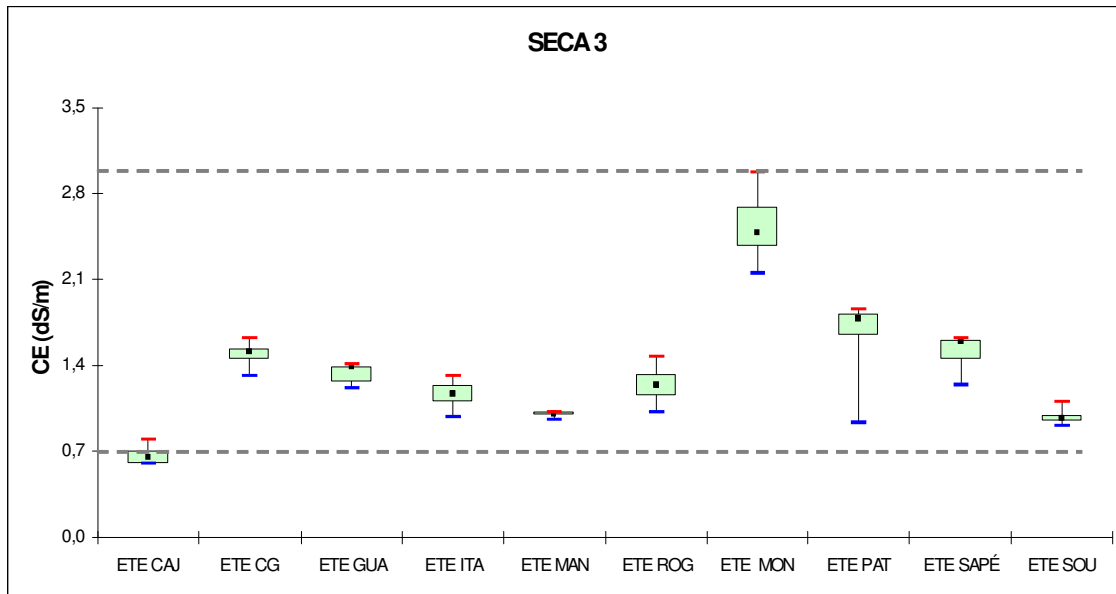


Figura 4.5a – Representação, em “box plot” dos valores de CE nos efluentes finais de 10 ETE’s do estado da Paraíba no período da seca 3.

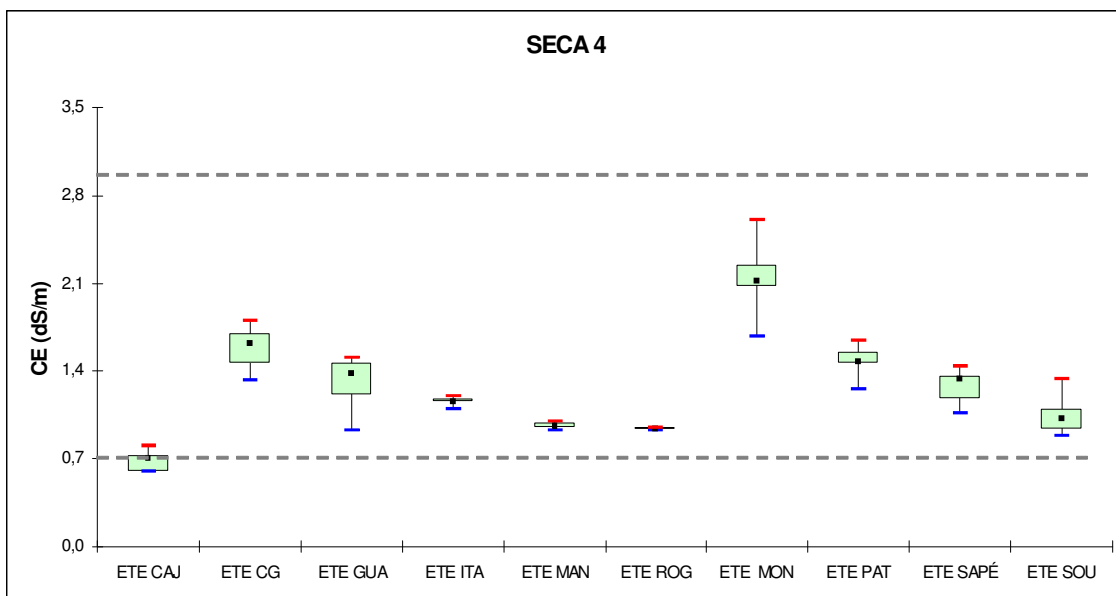


Figura 4.5b – Representação, em “box plot” dos valores de CE nos efluentes finais de 10 ETE’s do estado da Paraíba no período da seca 4.

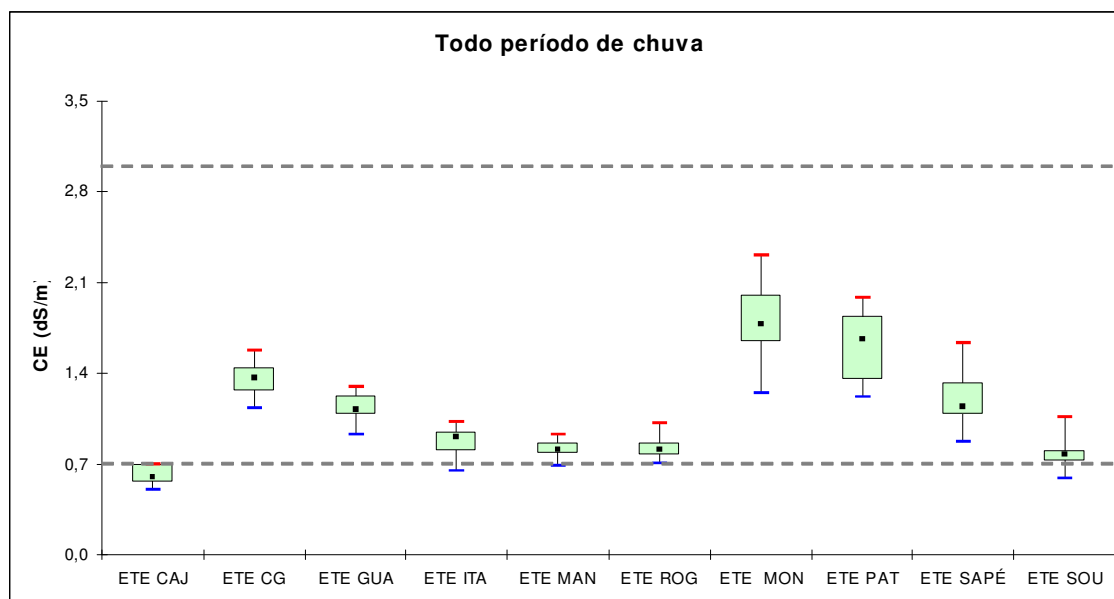


Figura 4.6 – Representação, em “box plot” dos valores de CE nos efluentes finais de 10 ETE’s do estado da Paraíba em todo o período de chuva.

STD – Sólidos Totais Dissolvidos

Além da condutividade elétrica, os sólidos totais dissolvidos também expressam a quantidade de sais inorgânicos presentes na água e sua adequação ou não para uso em irrigação foi avaliado de acordo com a Tabela 2.7 (EPA, 1991 *apud* Mancuso, 2003).

Para os quatro períodos de seca (Figuras 4.7a, 4.7b, 4.8a e 4.8b) e para todo o período de chuva (Figura 4.9), os efluentes finais da maioria das ETE’s apresentaram salinidade alta, com valores médios de STD no intervalo entre 500 e 1500mg/L. Os valores médios dos STD dos efluentes finais que se enquadraram nessa categoria, variaram entre 513mg/L (Itaporanga - seca 4) e 1274mg/L (Patos - seca 2).

Os efluentes que apresentaram salinidade média (valor médio de STD no intervalo entre 125 e 500mg/L) foram da ETE de Sousa (336mg/L - seca 1), Cajazeiras e Mangabeira (458 e 406mg/L - seca 3), Cajazeiras, Mangabeira e Róger (430mg/L, 409mg/L e 424mg/L - seca 4) e os efluentes de Cajazeiras, Mangabeira e Róger (421mg/L, 368mg/L e 390mg/L - chuva).

Quando se compara a variação dos valores médios de STD entre as duas estações: na seca 1 (336 a 919mg/L), na seca 2 (519 a 990mg/L), na seca 3 (406 a 1262mg/L), na seca 4 (409 a 1030mg/L) e em todo o período de chuva (421 a 948mg/L) observa-se uma homogeneidade nos valores de STD entre os períodos secos avaliados com o período de

chuva mostrando que esta não influenciou na diluição dos sólidos totais dissolvidos presentes nos efluentes finais.

Wanderley (2005), num estudo realizado em Palmas – TO, encontrou valores de sólidos totais dissolvidos de 202mg/L (salinidade média) em efluente de um sistema de tratamento composto por reator UASB mais filtro biológico anaeróbio que foi utilizado na irrigação de cultivares de batata-doce. Medeiros *et al.* (2005) investigando as alterações químicas do solo, em resposta à aplicação de água residuária filtrada de origem doméstica encontraram um valor de 494mg/L de sólidos totais dissolvidos na água residuária utilizada na irrigação do cafeeiro.

Paganini (2003) afirma que os efluentes finais que se enquadram na categoria de “salinidade alta” e que têm seus valores de STD próximos do limite superior (1500mg/L), não podem ser utilizados em áreas que apresentem restrições quanto à drenagem. Mesmo com drenagem adequada, um especial controle da salinidade é necessário, sendo altamente recomendável um maior rigor na definição da vegetação a ser irrigada. Já para os efluentes finais que se enquadraram na categoria de “salinidade média”, como os efluentes de Sousa (seca 1), Cajazeiras e Mangabeira (seca 3), Cajazeiras, Mangabeira e Róger (seca 4 e em todo o período de chuva), Paganini (2003) cita que estes efluentes podem ser utilizados na irrigação, mas apenas se ocorrer uma moderada dissolução/lixiviação. As plantas com moderada tolerância à salinidade podem se desenvolver sem práticas especiais de controle da salinidade (PAGANINI, 2003). Além disso, o uso de águas residuárias com elevados valores de STD na agricultura pode levar ao entupimento dos equipamentos de irrigação.

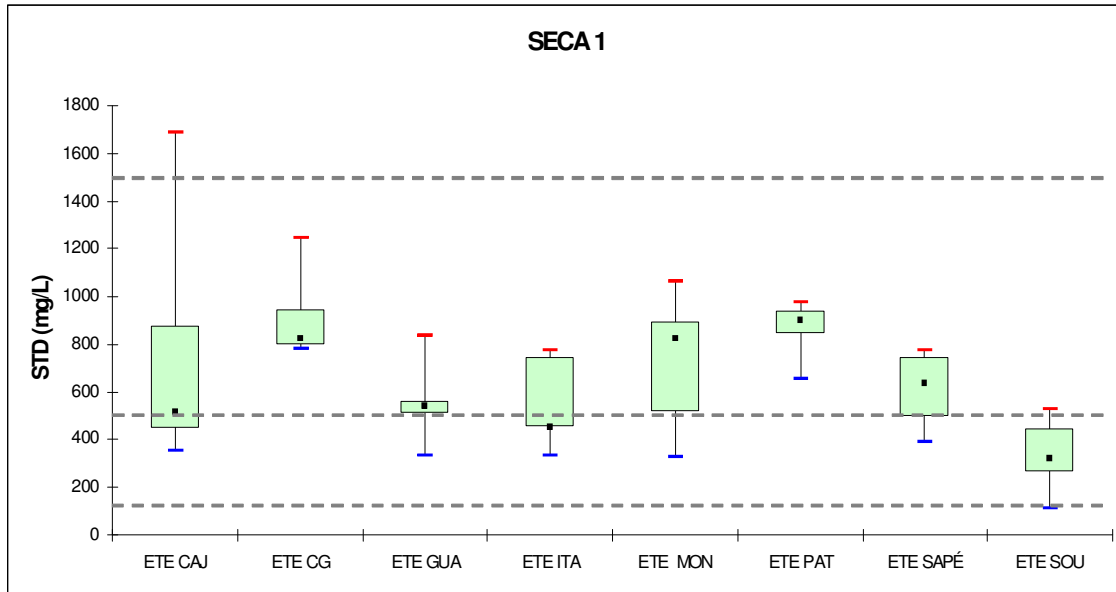


Figura 4.7a – Representação, em “box plot” dos valores de STD nos efluentes finais de 08 ETE’s do estado da Paraíba no período da seca 1.

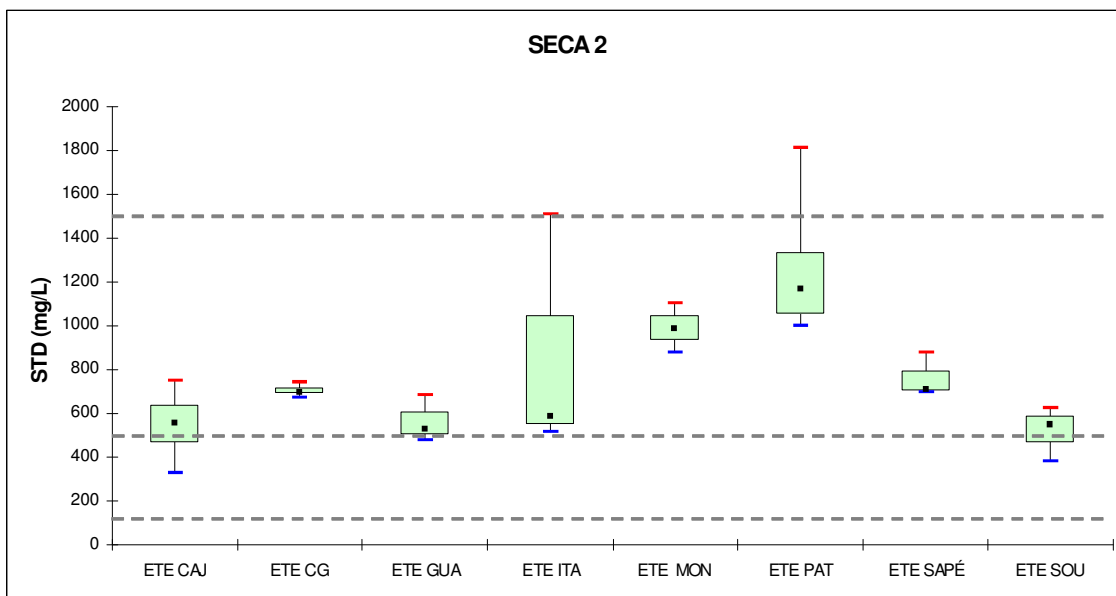


Figura 4.7b – Representação, em “box plot” dos valores de STD nos efluentes finais de 08 ETE’s do estado da Paraíba no período da seca 2.

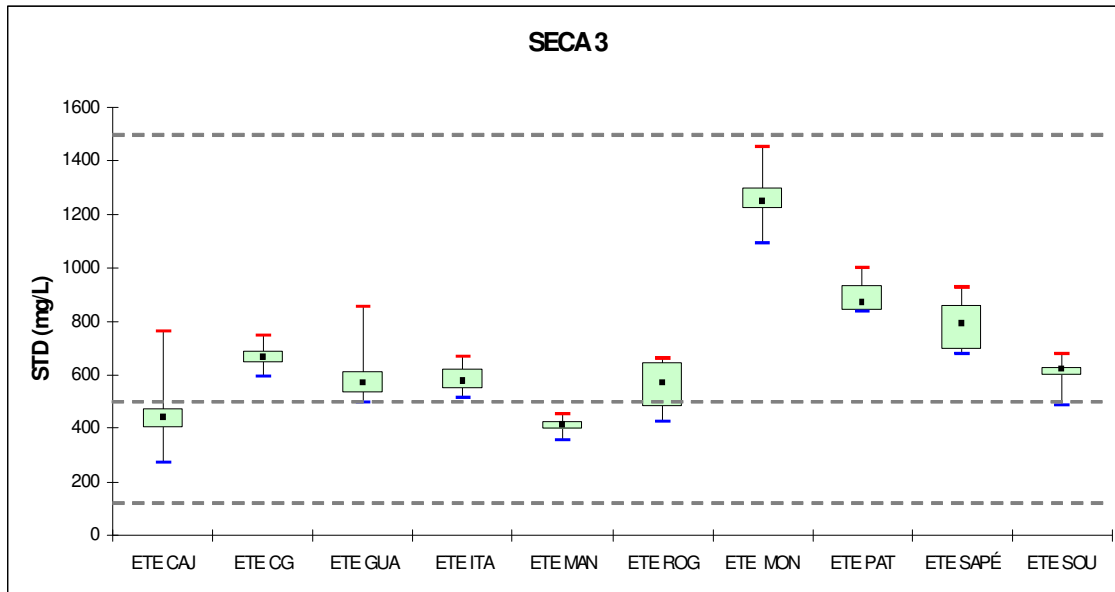


Figura 4.8a – Representação, em “box plot” dos valores de STD nos efluentes finais de 10 ETE’s do estado da Paraíba no período da seca 3.



Figura 4.8b – Representação, em “box plot” dos valores de STD nos efluentes finais de 10 ETE’s do estado da Paraíba no período da seca 4.

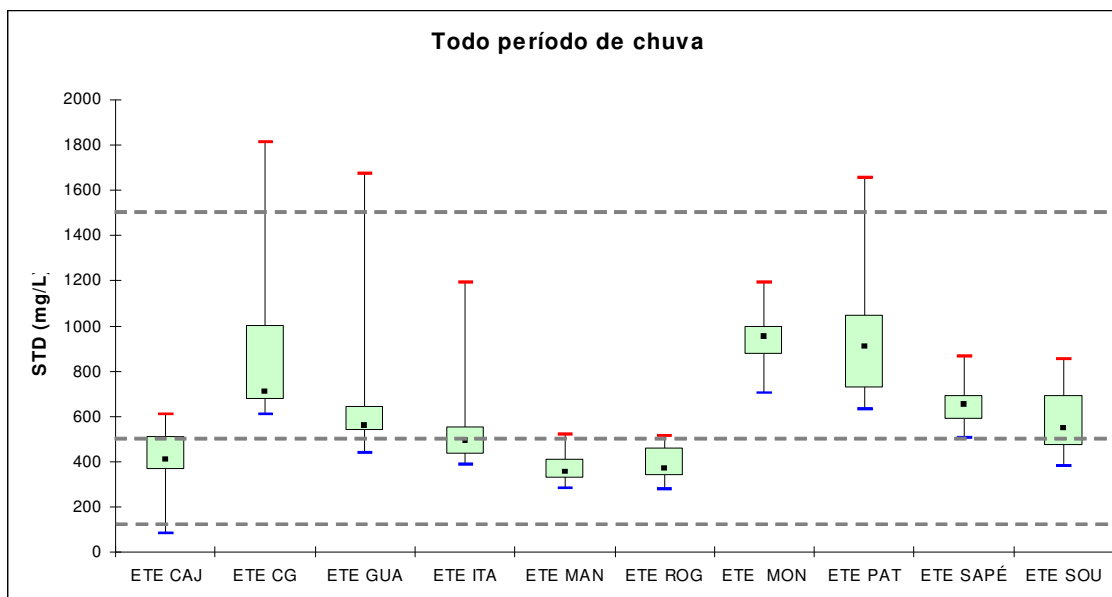


Figura 4.9 – Representação, em “box plot” dos valores de STD nos efluentes finais de 10 ETE’s do estado da Paraíba em todo o período de chuva.

RAS – Razão de Adsorção de Sódio

Nos períodos das secas 1 e 2 não foi possível calcular a RAS para todos os efluentes das ETE’s, pois as variáveis cálcio e magnésio não foram quantificadas.

A possibilidade da ocorrência de problemas de infiltração com grau de restrição (AYERS & WESTCOT, 1999), caso esses efluentes fossem utilizados em irrigação foi estimada analisando-se, em simultâneo, os valores da RAS (secas 3 e 4 - Figuras 4.10a e 4.10b e chuva - Figura 4.11) com os de CE (Figuras 4.5a, 4.5b e 4.6). A partir desses dados elaborou-se a Tabela 4.2 que mostra o enquadramento dos efluentes nos graus de restrição ao uso. Para os intervalos de RAS existentes (AYERS & WESTCOT, 1999), e para todas as quatro épocas de seca e uma de chuva, a maioria dos efluentes produzidos se enquadrou na categoria de ligeira a moderada restrição, particularmente aqueles que apresentaram RAS de 3 a 6.

Tabela 4.2 – Grau de restrição de uso dos efluentes finais de ETE's do estado da Paraíba, monitoradas no período de agosto/2000 a maio/2004 de acordo com Ayers e Westcot (1999).

Problema Potencial	Grau de restrição para uso			Períodos
	Nenhum	Ligeiro - Moderado	Severo	
Infiltração (avaliada usando CEa e RAS, conjuntamente)	CE (dS/m)	CE (dS/m)	CE (dS/m)	
RAS = 0 - 3	> 0,7	0,7 - 0,2	< 0,2	
Cajazeiras		0,7		seca 3
Mangabeira	1,0			seca 3
Campina Grande	1,6			seca 4
Mangabeira	1,0			seca 4
Róger	0,9			seca 4
Róger	0,8			chuva
RAS = 3 - 6	> 1,2	1,2 - 0,3	< 0,3	
Campina Grande	1,5			seca 3
Guarabira	1,3			seca 3
Itaporanga		1,2		seca 3
Róger		1,2		seca 3
Patos	1,8			seca 3
Sousa		1,0		seca 3
Cajazeiras		0,7		seca 4
Guarabira	1,3			seca 4
Itaporanga		1,2		seca 4
Patos	1,5			seca 4
Sapé	1,3			seca 4
Sousa		1,0		seca 4
Cajazeiras		0,6		chuva
Campina Grande	1,4			chuva
Guarabira		1,1		chuva
Itaporanga		0,9		chuva
Mangabeira		0,8		chuva
Patos	1,6			chuva
Sousa		0,8		chuva
RAS = 6 - 12	> 1,9	1,9 - 0,5	< 0,5	
Monteiro	2,5			seca 3
Sapé		1,5		seca 3
Monteiro	2,2			seca 4
Monteiro		1,8		chuva
Sapé		1,2		chuva

Na literatura várias pesquisas mostram efluentes com restrição de uso de ligeira a moderada quanto aos problemas potenciais de infiltração. Lucas Filho *et al.* (2001) em pesquisa realizada no PROSAB do Rio Grande do Norte utilizando efluente de tratamento anaeróbico na irrigação da cultura do milho, encontraram um valor de RAS inferior a 5 e condutividade elétrica da ordem de 0,7dS/m conferindo restrição de uso de ligeira a moderada. Santiago *et al.* (2000), em trabalho realizado no município de Maracanaú - Ceará quantificaram, no efluente final de lagoa de estabilização, condutividade elétrica de 2,31 dS/m e RAS de 13,18 que, segundo os padrões para irrigação, conferiu um grau de restrição de ligeiro a moderado do efluente para o reúso na irrigação.

Santos (2004), utilizando os efluentes de lagoas de estabilização em Lins – SP, na irrigação de capim - Tifton 85, verificou que essa água residuária tinha um grau de restrição severa, pois os valores de RAS variaram entre 11 e 18 com média de 15 e a condutividade elétrica dessa água residuária estava na faixa de 0,48 até 1,03dS/m.

Neste estudo observou-se que as classes de enquadramento mudaram quando se analisaram os dados em “box plot”. Na seca 3 (Figura 4.10a), os valores da RAS da maioria dos efluentes finais estavam na faixa de 3 - 6, e na faixa de 0 - 3 em Mangabeira e de 6 - 12 em Monteiro e Sapé. Na seca subsequente (seca 4 – Figura 4.10b), uma maior dispersão dos valores da RAS dos efluentes finais fez com que a caixa do “box plot” variasse dentro de três intervalos de RAS (0 - 3, 3 - 6 e 6 - 12) e para alguns valores superiores a 12 na ETE de Monteiro. No período de chuva (Figura 4.11) os gráficos em “box plot” mostraram que os valores de RAS se dispersaram na faixa de 3 - 6, porém no efluente final de Monteiro a RAS variou desde 0 - 3 até 6 - 12. Na seca 4 e na chuva a concentração de sódio aumentou exageradamente quando houve um aumento na RAS, como pode ser visto na comparação dos valores mínimos e máximos de RAS. Na seca 4, a RAS mínima foi de 0,8 (Na = 32mg/L, Ca = 61mg/L, Mg = 44mg/L) e a RAS máxima foi de 14,3 (Na = 514mg/L, Ca = 31mg/L, Mg = 40mg/L). Na chuva, a RAS mínima foi de 0,4 (Na = 15mg/L, Ca = 24,2mg/L, Mg = 38,5mg/L) e a RAS máxima de 14,7 (Na = 464mg/L, Ca = 29mg/L, Mg = 28mg/L).

Portanto, Ayers & Westcot (1999) afirmam que a infiltração da água no solo está diretamente relacionada com a salinidade e a sua redução está associada com um aumento no teor de sódio em relação ao cálcio e magnésio (RAS). Esses autores também afirmam, que independente do valor da RAS, as águas de salinidade muito baixa (condutividade abaixo de 0,2dS/m) causam, invariavelmente, problemas de infiltração, pois estas tendem a lixiviar os sais e minerais solúveis, incluindo os de cálcio, reduzindo sua influência sobre a estabilidade

dos agregados e estrutura do solo e, conseqüentemente, ocorre a dispersão das partículas finas do solo que obstruem o seu espaço poroso, reduzindo acentuadamente a infiltração da água. Bastos *et al.* (2003) relatam que a dispersão das partículas do solo também pode ocorrer quando os teores de cálcio são insuficientes para contrabalançar o efeito dispersante de altos teores de sódio que tendem a se acumular nas camadas superficiais. Portanto, quanto maior a salinidade da água, menor será o efeito dispersante do sódio, uma vez que o cálcio e o magnésio atuam, de maneira oposta ao sódio, ou seja, esses íons, presentes na solução do solo, têm efeito floculante, aumentando a infiltração e reduzindo o risco de sodificação.

Desta forma, caso os efluentes finais, com uma restrição de uso de ligeira a moderada, fossem utilizados na irrigação, o solo para não sofrer os efeitos da “sodificação” deveria ser submetido à aplicação de corretivos como o gesso. Além disso, para contornar o problema, podem ser adotadas algumas práticas de manejo como irrigações mais freqüentes, mantendo as culturas com suprimento adequado e contínuo de água e irrigação de pré-plantio que pode suprir as camadas inferiores da zona radicular.

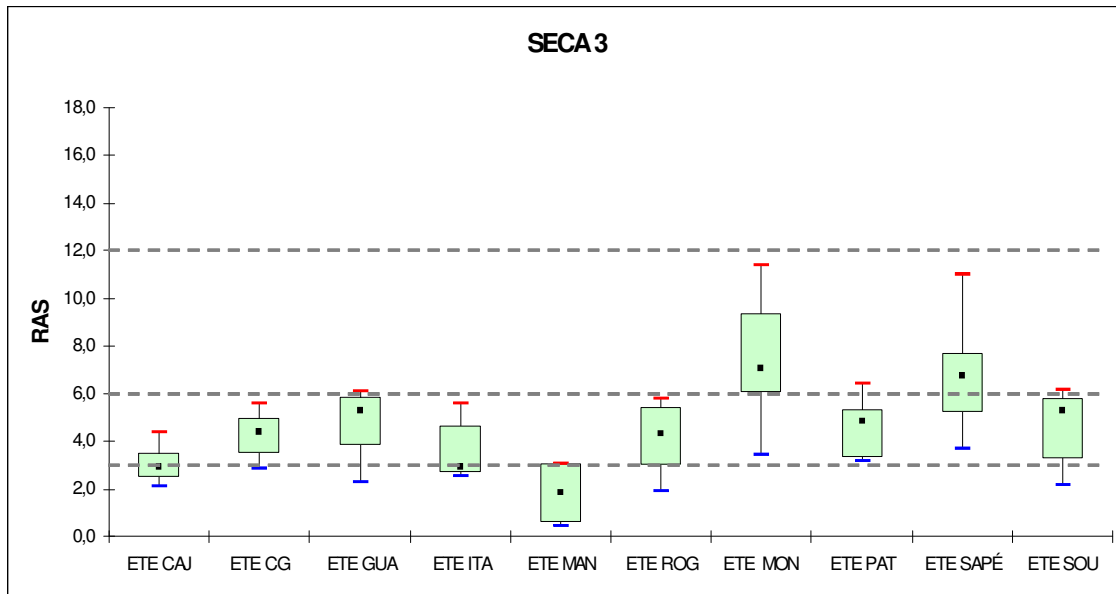


Figura 4.10a – Representação, em “box plot” dos valores da RAS nos efluentes finais de 10 ETE’s do estado da Paraíba no período da seca 3.

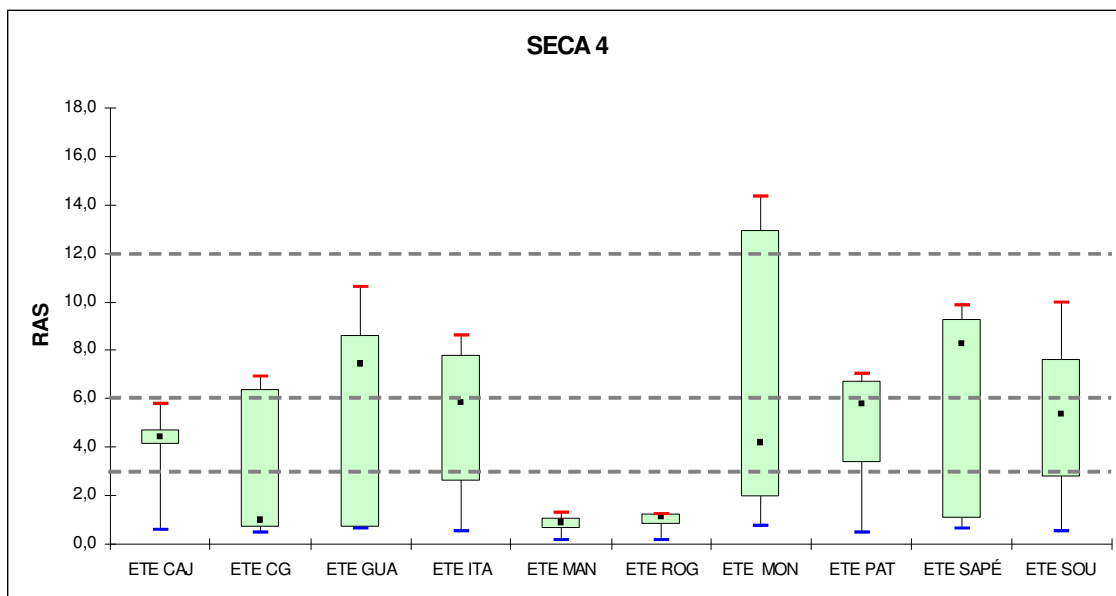


Figura 4.10b – Representação, em “box plot” dos valores da RAS nos efluentes finais de 10 ETE’s do estado da Paraíba no período da seca 4.

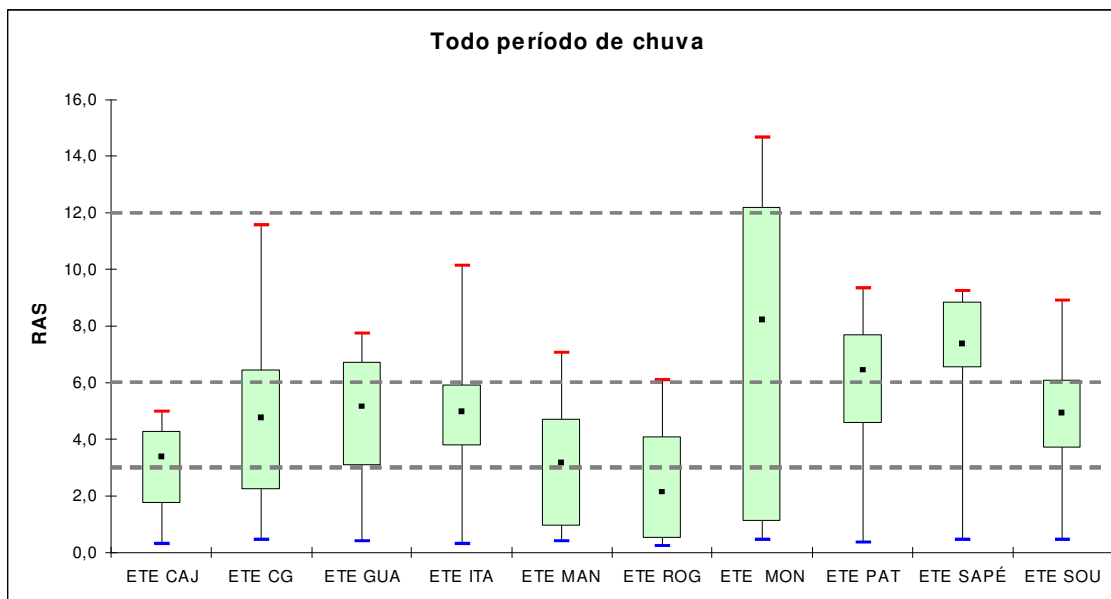


Figura 4.11 – Representação, em “box plot” dos valores da RAS nos efluentes finais de 10 ETE’s do estado da Paraíba em todo o período de chuva.

As águas de irrigação podem ser classificadas de acordo com o seu risco de sodicidade e salinidade - classificação de Riverside (Richards, 1954). A maioria dos efluentes nos períodos das secas 3 e 4 (Figura 4.12), se concentrou nas classificações de C3 – S1 (50,8%) e C3 – S2 (31,2%) mostrando que esses efluentes apresentariam um alto risco quanto à salinidade (C3) e um baixo (S1) a médio (S2) risco de sodicidade. No período de chuva (Figura 4.13), os efluentes inseridos na classificação C2 – S1 representaram 15,4% (médio risco de salinidade e baixo de sodicidade), na classificação C3 – S1 foram 51,5% (alto risco de salinidade e baixo de sodicidade) e C3 – S2, 26,9% dos efluentes (alto risco de salinidade e médio de sodicidade). Quando se analisaram os riscos de salinidade e sodicidade para os efluentes finais das ETE’s, e independente de período climático, os efluentes de Mangabeira e Róger (Figuras 4.14 e 4.15) se enquadraram na classificação de C3 – S1 (C3 - águas de alta salinidade) e poderiam ser utilizados em solos bem drenados devendo ser tomadas precauções especiais para evitar a salinização do solo e adequados apenas para o cultivo de vegetais de alta tolerância salina; quanto ao risco de sodicidade (S1 - fracamente sódicos) poderiam ser utilizados em quase todos os tipos de solo e se prestam ao cultivo de quase todos os vegetais. Os efluentes de Campina Grande, Guarabira, Patos e Sapé (Figuras 4.14 e 4.15) se inseriram nas classificações C3 – S1 e C3 – S2, indicando alto risco de salinidade no uso destes efluentes e quanto ao sódio (S2 - águas medianamente sódicas) apresentariam perigo para

solos de textura fina e forte capacidade de troca de cátions. Poderia ser utilizado nos solos ricos em matéria orgânica ou de textura grosseira, com boa permeabilidade. O efluente de Cajazeiras (Figura 4.14) se enquadrou na classificação C2 – S1, quanto aos teores de sais (C2 - águas de salinidade média), este efluente poderia ser usado com precaução, podendo ser aplicado em solos silto-arenosos, siltosos ou areno-argilosos quando houver uma lixiviação moderada do solo. Os vegetais de fraca tolerância salina poderiam ainda ser cultivados na maioria dos casos. O efluente de Monteiro apresentou grande dispersão se enquadrando em várias classificações (C3 – S1, C3 – S2, C3 – S3, C3 – S4, C4 – S2, C4 – S3, C4 – S4), como também os efluentes de Itaporanga e Sousa (C2 – S1, C2 – S2, C3 – S1, C3 – S2).

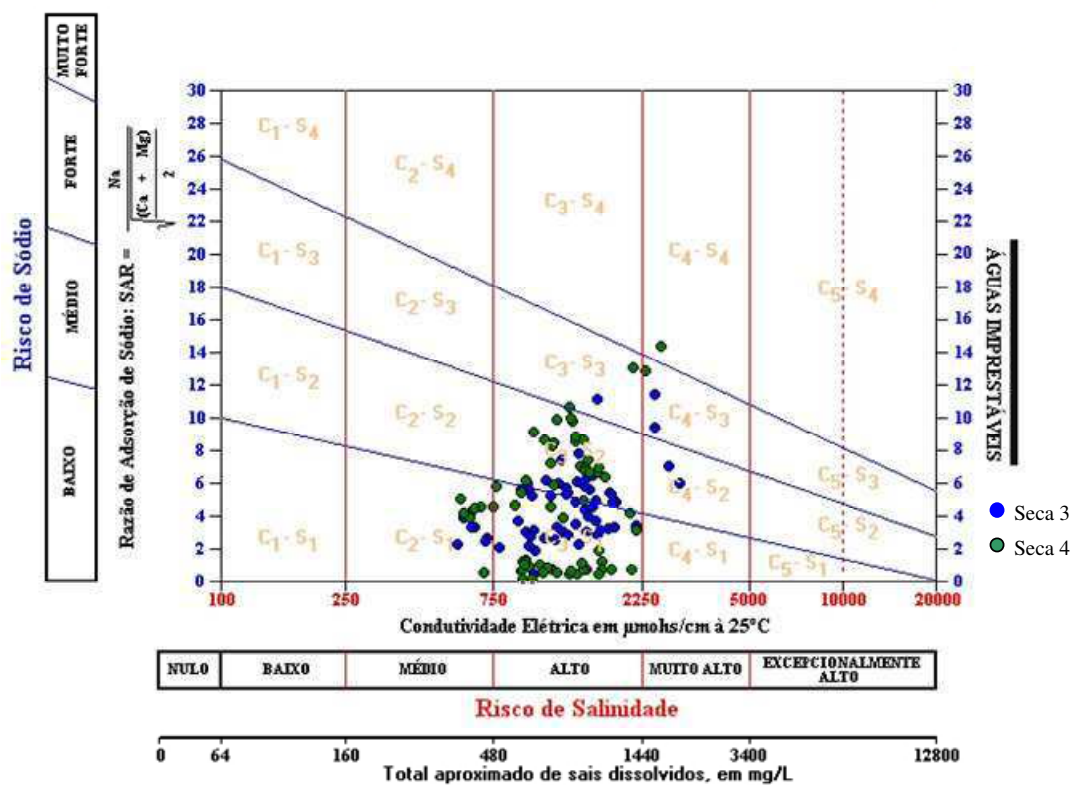


Figura 4.12 – Classificação de Riverside quanto ao grau de salinidade e sodicidade dos efluentes finais das ETE's da Paraíba (secas 3 e 4).

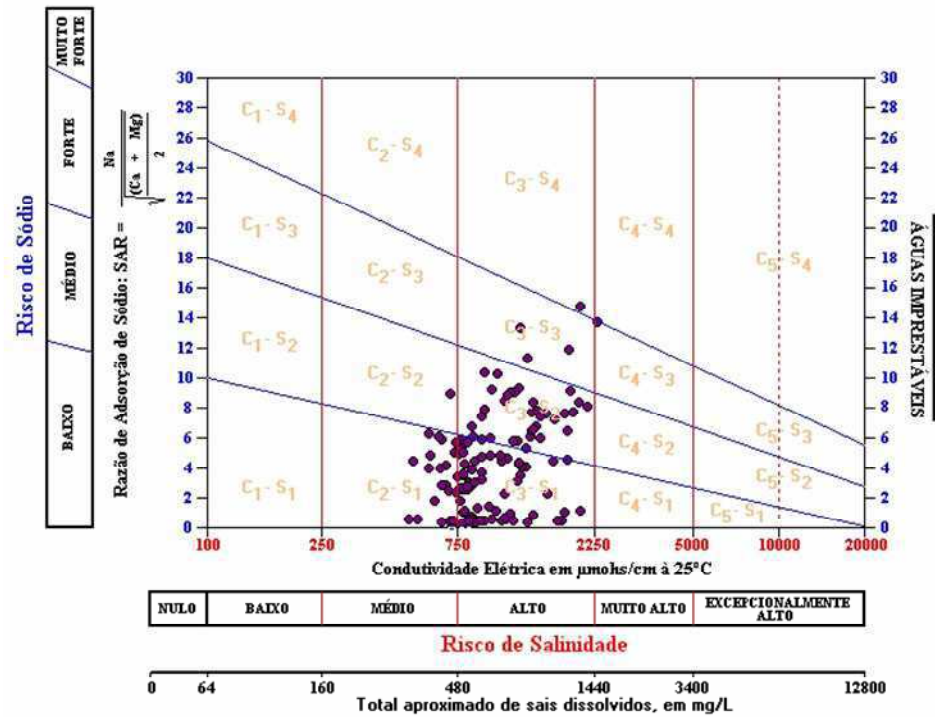


Figura 4.13 – Classificação de Riverside quanto ao grau de salinidade e sodicidade dos efluentes finais das ETE's da Paraíba (chuva).

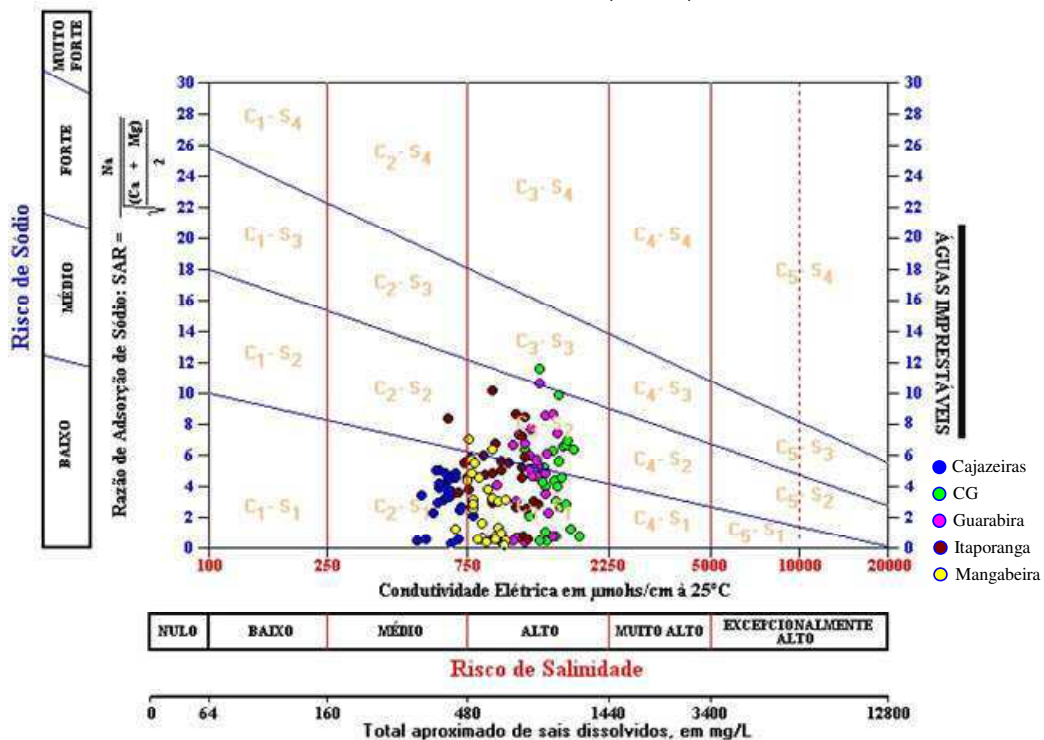


Figura 4.14 – Classificação de Riverside quanto ao grau de salinidade e sodicidade dos efluentes finais das ETE's do estado da Paraíba.

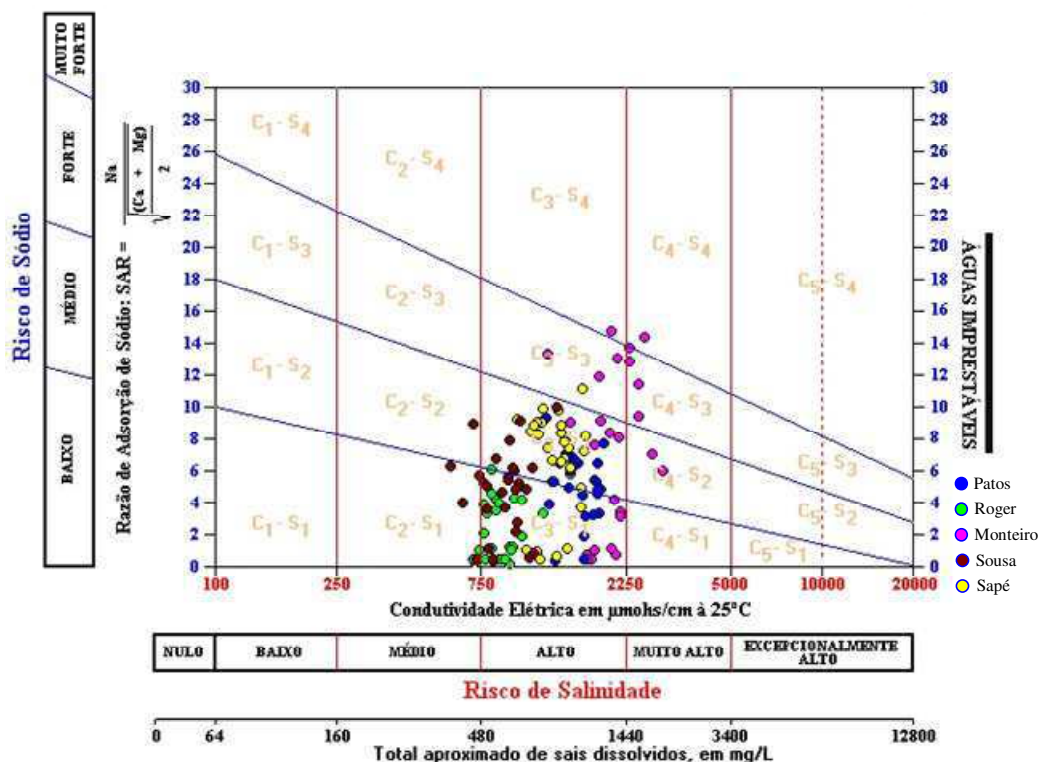


Figura 4.15 – Classificação de Riverside quanto ao grau de salinidade e sodicidade dos efluentes finais das ETE's do estado da Paraíba.

Amônia

Nos períodos das secas 1, 2 e 3 (Figura 4.16a, 4.16b e 4.17a), a distribuição em “box plot” mostrou que as ETE's de Guarabira, Monteiro e Patos (seca 1), Campina Grande, Guarabira, Monteiro, Patos e Sapé (seca 2), Campina Grande, Guarabira, Itaporanga, Mangabeira, Róger, Monteiro, Patos e Sapé (seca 3) e na seca 4 (Figura 4.17b) todos os efluentes inseridos na seca 3 com exceção de Sapé, não se enquadraram no padrão de qualidade citado por Ayers & Westcot (1999) de até 30mgN – NH₄/L. Os valores médios de amônia dos efluentes finais das ETE's, na seca 1, que não se enquadraram no padrão, foram de 45,4mg/L (Guarabira), 58,6mg/l (Monteiro) e 61,8mg/L (Patos). Na seca 2 esses valores não adequados variaram entre 31,1mg/L (Sapé) e 70,0mg/L (Patos), para seca 3, entre 31,5mg/L (Sapé) e 68,2mg/L (Monteiro), e na seca 4 de 38,9mg/L (Itaporanga) a 72,2mg/L (Monteiro).

Valores próximos foram encontrados por Rego *et al.* (2005) no período de março a maio de 2005 no Centro de Pesquisa sobre Tratamento e Reúso de Águas Residuárias da Companhia de Água e Esgoto do Ceará (CAGECE), localizado no município de Aquiraz. Um valor de 5,3mgN-NH₃/L foi encontrado no efluente de lagoas de estabilização utilizado no

desenvolvimento da cultura da melancia, se enquadrando no padrão citado. Henrique *et al.* (2005), num estudo localizado no Sítio Pau D'Arco no município de Lagoa Seca – PB no período de fevereiro a maio de 2003 encontraram no efluente da lagoa de polimento um valor de 6,0mgN-NH₃/L que foi utilizado na cultura do pimentão.

No período de chuva (Figura 4.18), a representação gráfica em “box-plot” mostrou que os efluentes de Campina Grande, Guarabira, Itaporanga, Mangabeira, Róger, Monteiro e Patos apresentaram valores de amônia acima do padrão (>30mgN – NH₄/L) recomendado por Ayers & Westcot (1999). Os valores médios da amônia nestes efluentes finais variaram entre 30,2 mg/L (Itaporanga) e 52,2 mg/L (Monteiro) e valores pontuais (box plot) de 78,4mg/L (Guarabira), 83,4mg/L (Monteiro) e 74,9mg/L (Patos) mostrando que efluentes de sistemas de tratamento de esgotos são ricos em nutrientes que estão sendo lançados no meio ambiente, promovendo a eutrofização dos corpos receptores.

Nos períodos da seca 1, seca 2, seca 3 e seca 4 os valores médios de nitrogênio amoniacal variaram entre 6,1 e 61,8mg/L, 4,4 e 70mg/L, 3,3 e 68,2mg/L e entre 1,9 e 72,2mg/L respectivamente, e 4,3 e 52,2mg/L no período de chuva, mostrando que o valor médio máximo no período da chuva foi inferior aos demais, devido à diluição causada pela água da chuva.

Os resultados da literatura mostram uma variabilidade de valores de amônia, dependendo do tipo do sistema adotado para o tratamento do esgoto. Pivelli *et al.* (2005) encontraram um valor de 25,48mg/L de nitrogênio amoniacal no efluente da lagoa facultativa do sistema de tratamento de esgotos sanitários do município de Lins – SP composto por três módulos paralelos de lagoa anaeróbia seguida de lagoa facultativa. Wanderley (2005) estudando o efluente do reator UASB mais filtro biológico anaeróbio com um valor de amônia de 22mg/L foi utilizado na irrigação de cultivares de batata-doce. Abujamra *et al.* (2005) encontraram concentrações de amônia de 20,28mg/L no efluente tratado usado no cultivo de forragem hidropônica do milho. Estes tratamentos produziram efluentes com concentrações de nitrogênio abaixo do limite padrão de 30mgN – NH₄/L (AYERS & WESTCOT, 1999) e adequado para reúso em irrigação. Uma variação no valor da amônia de 21,5 a 42,1mg/L foi encontrada por Perin *et al.* (2005) em pesquisa realizada em Vitória – ES, utilizando efluente tratado de uma lagoa de polimento na irrigação de feijão.

A presença de amônia nos efluentes usados para irrigação é considerada como estimulante de crescimento das plantas, mas o seu excesso pode prejudicar o desenvolvimento da planta, comprometendo a produtividade e a qualidade das culturas, por exemplo, as

culturas sensíveis, como, a videira e a beterraba açucareira poderão ser afetadas por concentrações de nitrogênio superiores a 5mg/L, enquanto que a maior parte das outras culturas não é afetada até que as concentrações excedam 30mg/L. Na Líbia, as videiras irrigadas com águas contendo mais de 50mg/L de nitrogênio não frutificaram (AYERS & WESTCOT, 1999). Além disso, através da lixiviação, o nitrogênio na forma de nitrato pode contaminar águas subterrâneas, particularmente em zonas áridas, com solos permeáveis e rasos (BASTOS *et al.*, 2003). Andrade Neto *et al.* (2002) encontraram nos efluentes de filtros anaeróbios valores elevados de amônia com valor de 37,58mg/L para alimentar a forragem hidropônica de milho realizado no PROSAB/RN. Sousa *et al.* (2000), em estudo realizado na EXTRABES em Campina Grande – PB encontraram no efluente de lagoa de estabilização um valor de nitrogênio amoniacal de 37 mg/L.

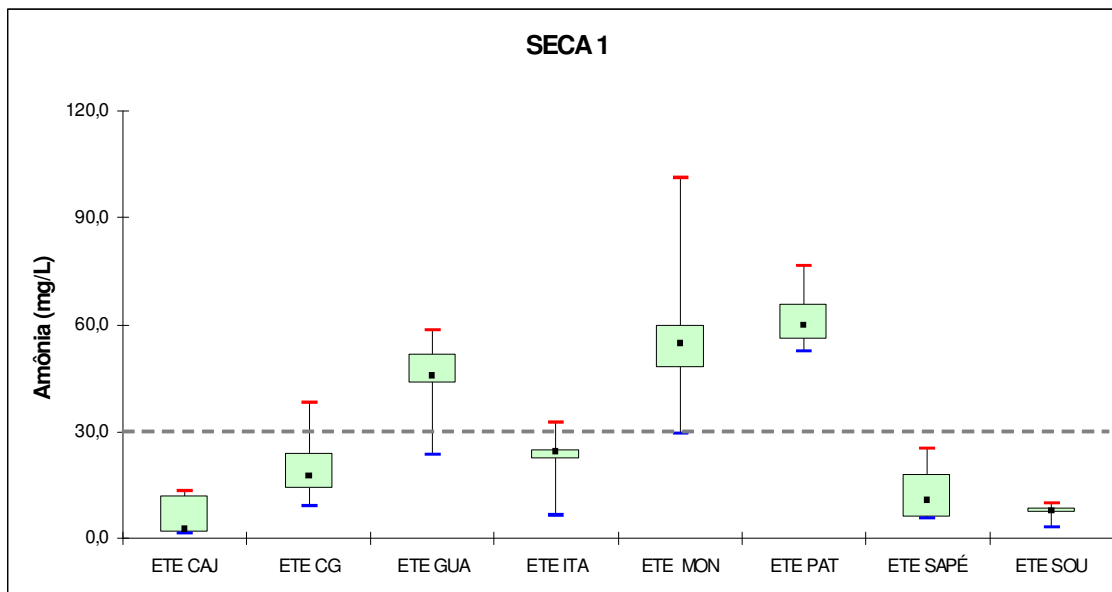


Figura 4.16a – Representação, em “box plot” dos valores de amônia nos efluentes finais de 08 ETE´s do estado da Paraíba no período da seca 1.

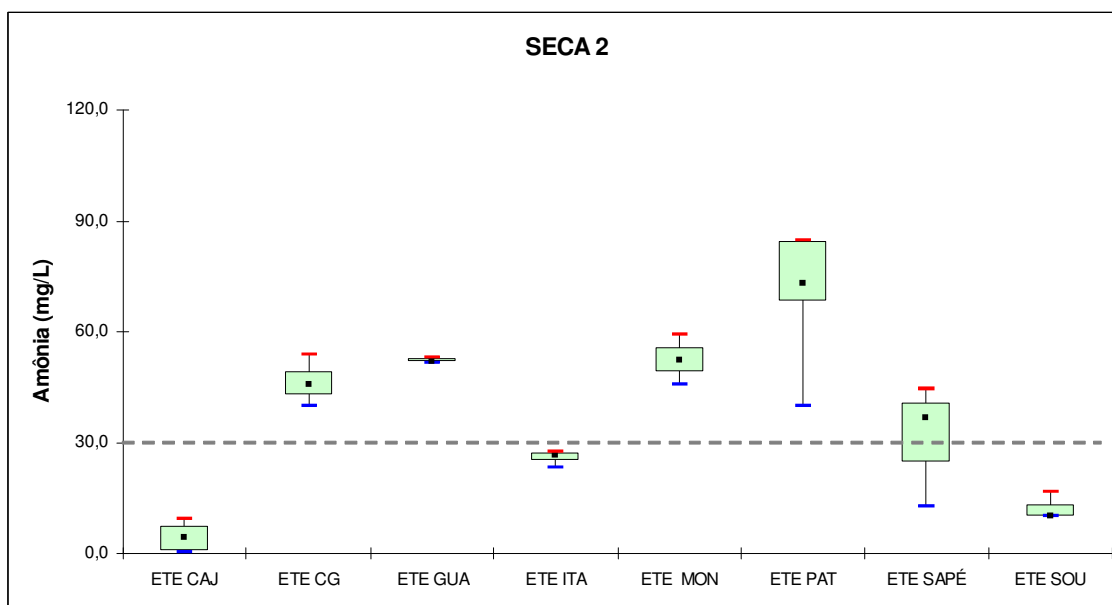


Figura 4.16b – Representação, em “box plot” dos valores de amônia nos efluentes finais de 08 ETE´s do estado da Paraíba no período da seca 2.

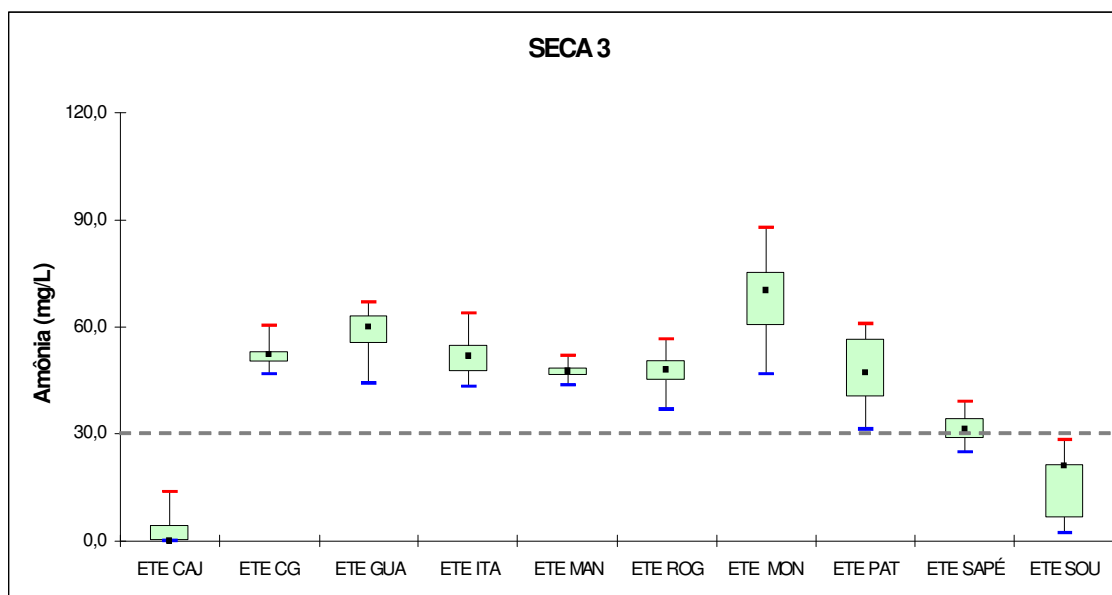


Figura 4.17a – Representação, em “box plot” dos valores de amônia nos efluentes finais de 10 ETE’s do estado da Paraíba no período da seca 3.

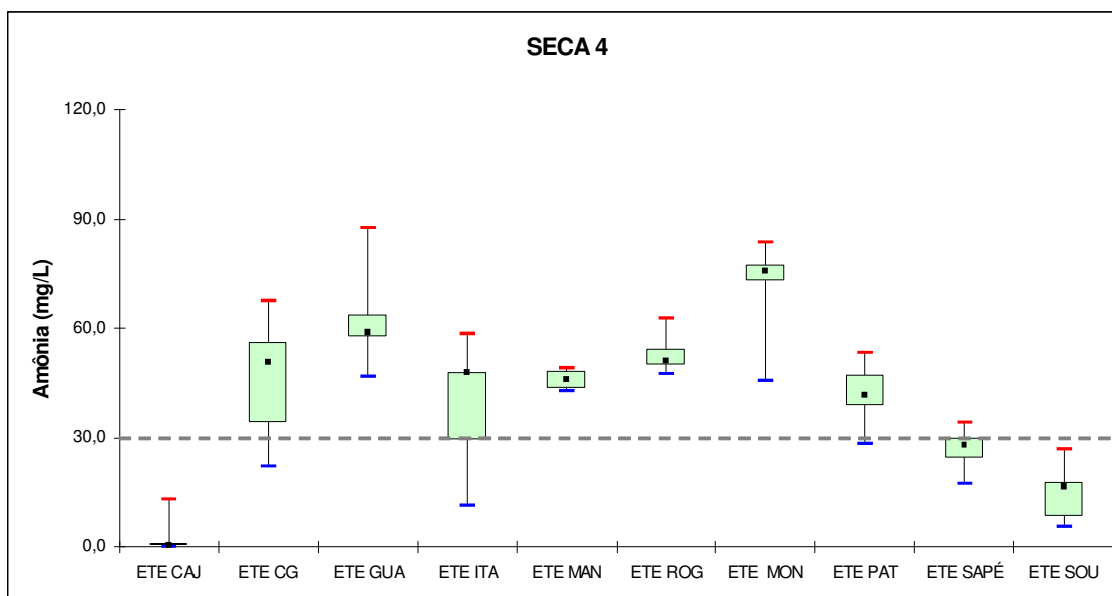


Figura 4.17b – Representação, em “box plot” dos valores de amônia nos efluentes finais de 10 ETE’s do estado da Paraíba no período da seca 4.

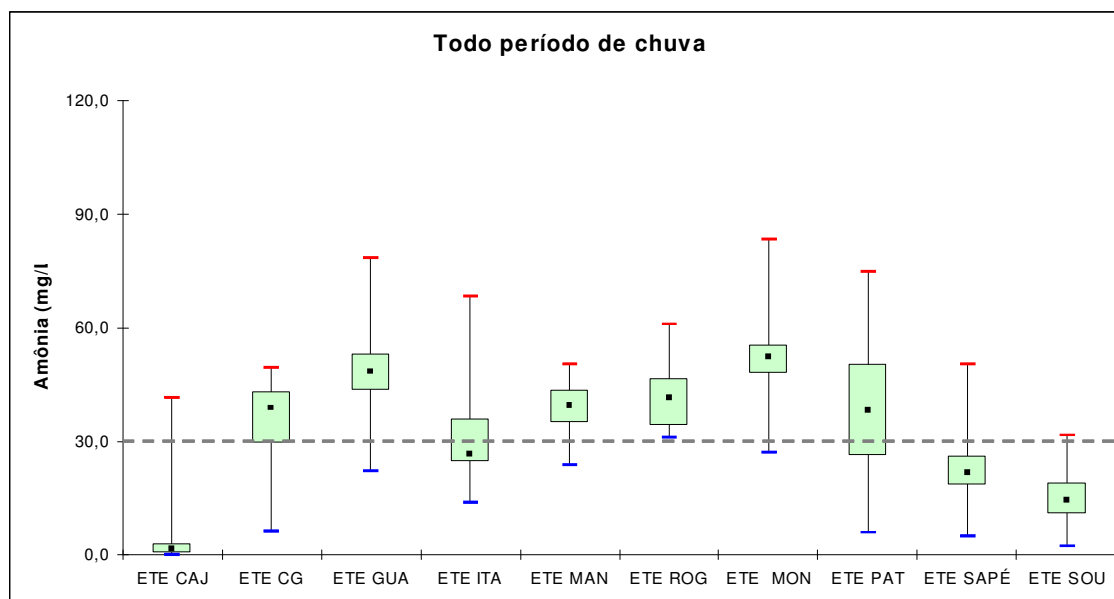


Figura 4.18 – Representação, em “box plot” dos valores de amônia nos efluentes finais de 10 ETE’s do estado da Paraíba em todo o período de chuva.

Coliformes Termotolerantes

Os valores de coliformes termotolerantes encontrados nos efluentes finais para todas as secas (Figura 4.19a e b; Figura 4.20a e b) e para o período de chuva (Figura 4.21) foram muito elevados, entre 10^4 e 10^7 UFC/100ml e mostraram grande variabilidade. Segundo Bastos *et al.* (2003), essas concentrações mais altas estariam próximas aos valores típicos de esgoto bruto (10^6 – 10^9 UFC/100ml). A elevada concentração de coliformes termotolerantes nos efluentes, em particular aquelas em torno de 10^6 – 10^7 UFC/100ml, evidencia o mau funcionamento dos sistemas de tratamento e está muito acima dos padrões sanitários recomendados pela Organização Mundial da Saúde, que estabelece para irrigação irrestrita um limite máximo de 1000UFC/100ml (WHO, 1989). O efluente final de Cajazeiras na seca 4 (Figura 4.20b), apesar da distribuição dos dados estar dentro da faixa de irrigação irrestrita (<1000 UFC/100ml), apresentou uma média de $4,0 \times 10^3$ UFC/100ml devido ao valor pontual máximo de $2,7 \times 10^4$ UFC/100ml, registrado em novembro de 2003, no conjunto de dados. Mas como a média é um valor representativo na distribuição, este efluente foi considerado fora do padrão.

Analisando os valores médios dos coliformes termotolerantes no período das quatro secas, o valor médio mínimo de $4,0 \times 10^3$ UFC/100ml foi encontrado no efluente de Cajazeiras no período da seca 4; o efluente de Monteiro apresentou o valor médio máximo de

2,6 x 10⁷ UFC/100ml no período da seca 3. Em todo o período de chuva foi encontrado um valor médio mínimo de 4,0 x 10⁴ UFC/100ml no efluente de Cajazeiras e valor médio máximo no efluente do Róger de 4,7 x 10⁶ UFC/100ml, não havendo diferenças nos valores médios entre os períodos de seca e em todo o período de chuva.

Estrada *et al.* (2000) estudando efluentes de lagoas de estabilização para fins de reúso na agricultura no estado de Morelos – México, encontraram no efluente da lagoa facultativa um valor de coliformes termotolerantes igual a 7,3 x 10³ UFC/100ml. Bezerra *et al.* (2004) estudando os parâmetros operacionais de um sistema de quatro lagoas de estabilização em série, na EXTRABES, em Campina Grande – PB, sendo a primeira facultativa e as demais de maturação, encontraram valor médio de 5,77 x 10⁵ UFC/100ml de coliformes termotolerantes no efluente da lagoa facultativa e no efluente da terceira lagoa de maturação valor médio de 6,23 x 10³ UFC/100ml, não se adequando aos padrões exigidos para irrigação irrestrita.

Para que os efluentes finais tenham qualidade microbiológica (< 1000UFC/100ml) conforme os padrões da OMS (WHO, 1989) para serem usados na irrigação irrestrita, é necessário que ocorra dentro dos sistemas de lagoas de estabilização um decréscimo bacteriano mais elevado, isto é, a morte dos organismos patogênicos. Von Sperling (1996) cita que isto acontece quando estes organismos são submetidos às condições de temperatura e pH elevados, intensa radiação solar, ausência de nutrientes, sedimentação, predação e competição. Os sistemas que oferecem estas condições ambientais desfavoráveis aos organismos patogênicos são as lagoas de maturação. König (2000) enfatiza que a principal função destas lagoas é a destruição dos microrganismos patogênicos (vírus, bactérias, cistos de protozoários e ovos de helmintos). Sistemas de lagoas de estabilização em série do tipo anaeróbia seguida de uma facultativa e, por último, de maturação com tempo de detenção entre 5 e 8 dias, em cada uma das lagoas, produzem efluentes de excelente qualidade microbiológica (WHO, 1989).

Leite *et al.* (2005), estudando o efluente de uma série de lagoas de estabilização (uma facultativa e três de maturação), na EXTRABES em Campina Grande – PB, encontraram concentração de coliformes termotolerantes no efluente final de 1,0 x 10³ UFC/100ml para ser aplicado na fertirrigação. Trujillo *et al.* (2000) em pesquisa realizada na Universidade de Zulia, Maracaibo – Venezuela, usando água residuária proveniente de uma série de lagoas de estabilização (uma facultativa seguida de duas de maturação), na irrigação da cultura da lima persa encontraram no efluente final 9,0 x 10² UFC/100ml de coliformes termotolerantes.

Todos os efluentes finais das ETE's em estudo poderiam ser utilizados para irrigação restrita (irrigação de cereais, culturas industriais, forragem, pastos e árvores), já que não existe critério segundo a OMS (WHO, 1989) quanto aos coliformes termotolerantes. Porém, estariam indicando que tempos de detenção hidráulica de 8 a 10 dias poderiam fornecer efluentes de melhor qualidade sanitária. Para árvores frutíferas irrigados com águas de reúso, a OMS indica claramente que a irrigação deve cessar duas semanas antes da colheita da fruta e esta não deve ser colhida se estiver sobre o solo; e que não se recomenda irrigação por aspersão.

Foi observado que as lagoas de estabilização, das estações de tratamento de esgoto não produziram efluentes para irrigação irrestrita, mas a irrigação restrita deveria ser conduzida com precaução.

Para que o reúso do efluente final seja viável dependerá do bom funcionamento das lagoas e de orientação técnica com os trabalhadores; e para que os sistemas de lagoas de estabilização sejam capazes de reduzir a concentração de coliformes termotolerantes nos efluentes finais para que estes se enquadrem no padrão de <1000UFC/100ml da OMS (WHO, 1989) para irrigação irrestrita, recomenda-se um tratamento terciário nas 10 ETE's, no qual, o mais adequado é a lagoa de maturação.

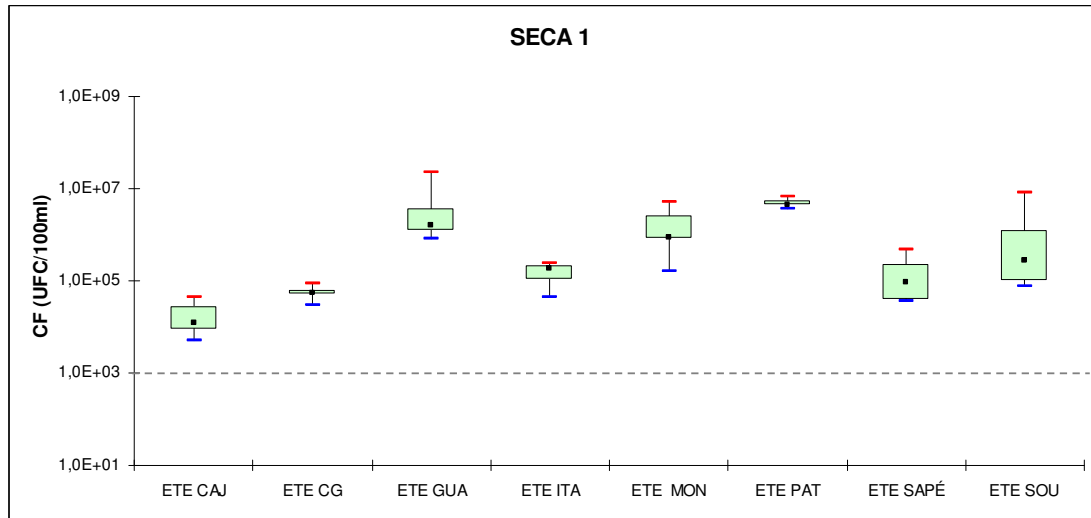


Figura 4.19a – Representação, em “box plot” dos valores de coliformes fecais nos efluentes finais de 08 ETE’s do estado da Paraíba no período da seca 1.

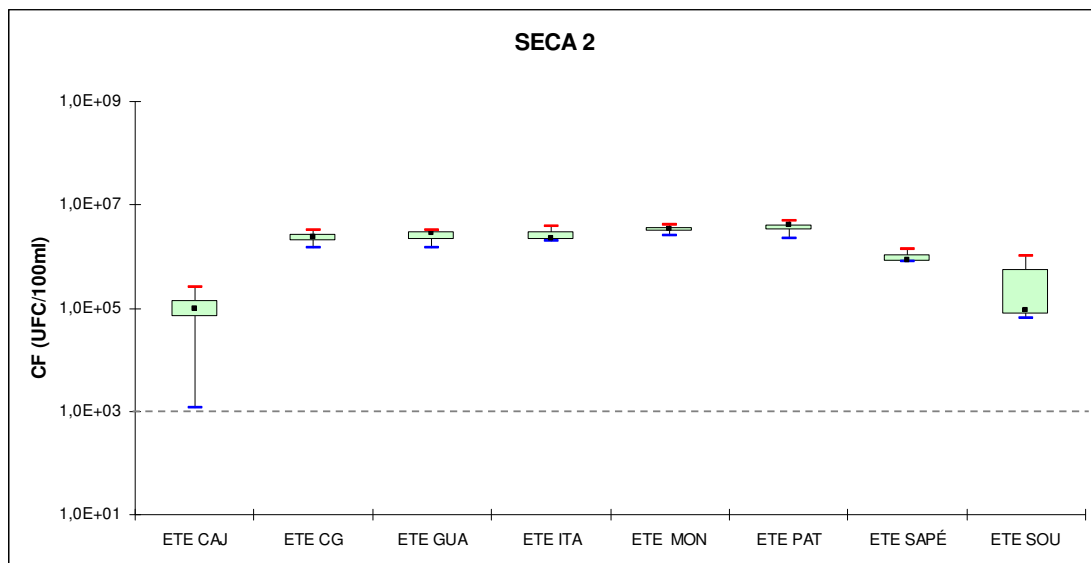


Figura 4.19b – Representação, em “box plot” dos valores de coliformes fecais nos efluentes finais de 08 ETE’s do estado da Paraíba no período da seca 2.

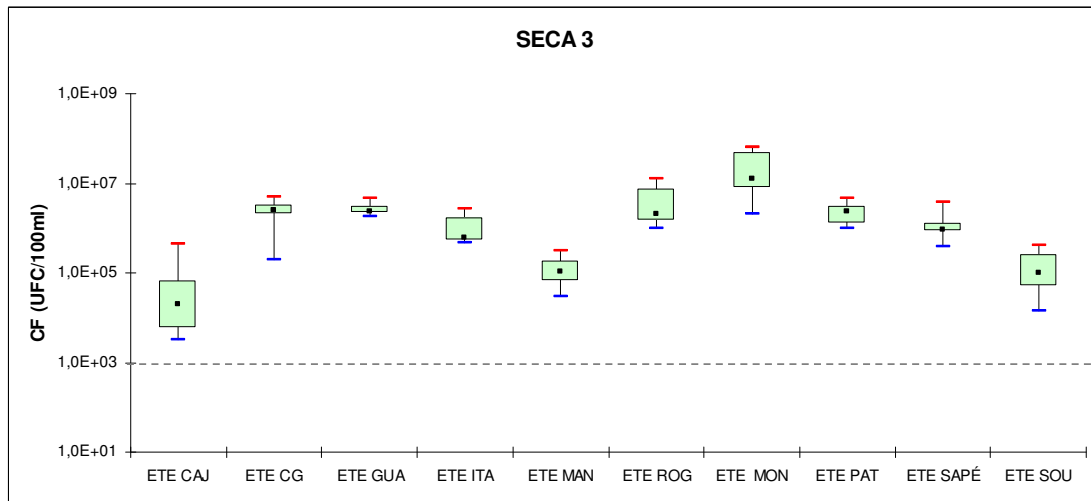


Figura 4.20a – Representação, em “box plot” dos valores de coliformes fecais nos efluentes finais de 10 ETE’s do estado da Paraíba no período da seca 3.

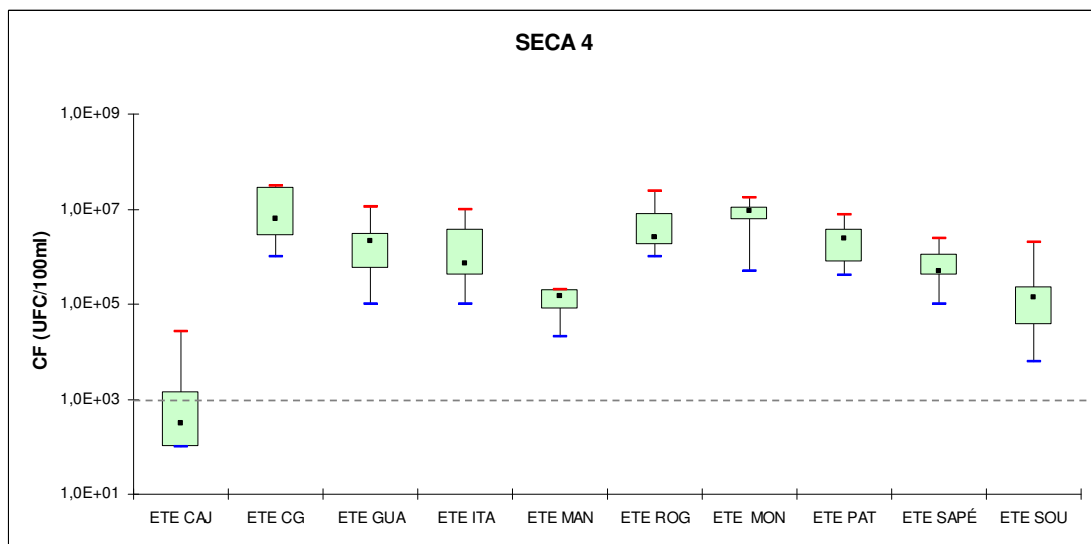


Figura 4.20b – Representação, em “box plot” dos valores de coliformes fecais nos efluentes finais de 10 ETE’s do estado da Paraíba no período da seca 4.

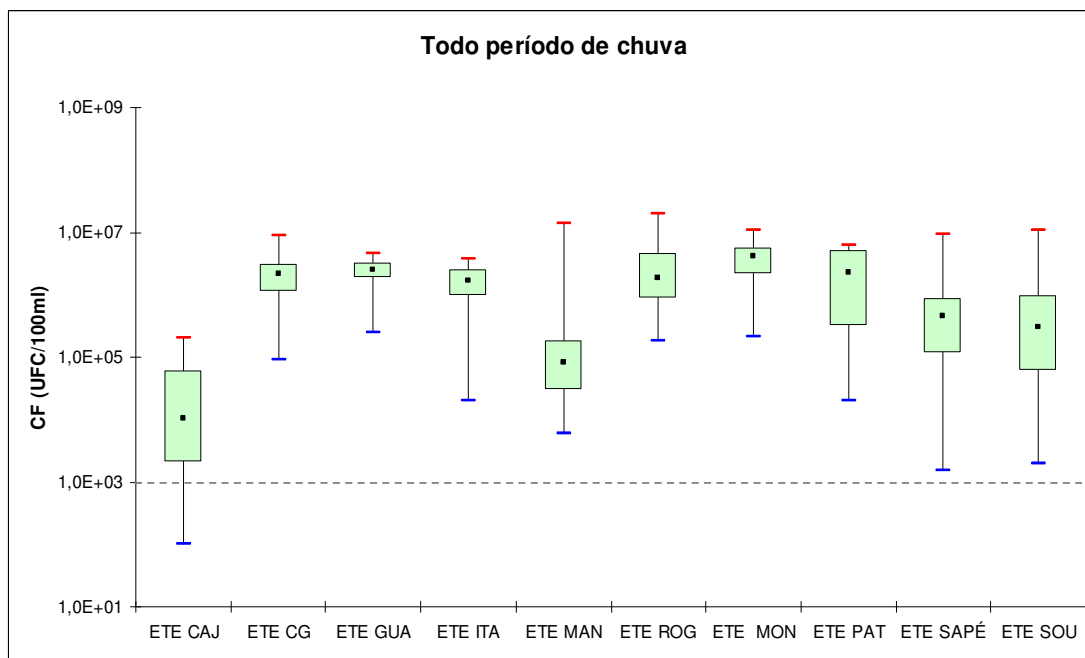


Figura 4.21 – Representação, em “box plot” dos valores de coliformes fecais nos efluentes finais de 10 ETE’s do estado da Paraíba em todo o período de chuva.

Escherichia coli

As concentrações de *Escherichia coli* foram utilizadas para analisar a qualidade microbiológica dos efluentes finais segundo os padrões da OMS (WHO, 2006 *apud* BASTOS E BEVILACQUA, 2006). Nos períodos das secas 1 e 2 as concentrações desta variável não foram quantificadas.

A representação gráfica em “box plot” para os períodos de seca 3 e 4 (Figuras 4.22a e b) e para o período de chuva (Figura 4.23), mostrou que os efluentes de Cajazeiras (seca 3 e chuva) e Mangabeira (seca 3), para irrigação irrestrita, se enquadrariam na categoria C da OMS (Tabela 2.5) podendo ser usados na irrigação de plantas que se desenvolvem distantes do solo e para irrigação restrita, se enquadrariam na categoria G, podendo ser usados em agricultura de alto nível tecnológico e altamente mecanizada, com nenhuma exposição dos trabalhadores. Na seca 4 (Figura 4.22b), a distribuição em “box plot” indicou que o efluente de Cajazeiras estaria na categoria de A (irrigação irrestrita) e D (irrigação restrita) segundo os padrões da OMS (WHO, 2006 *apud* BASTOS E BEVILACQUA, 2006). Porém, o valor médio de *E. coli* (de $3,5 \times 10^3$ NMP/100mL), foi superior ao padrão de $\leq 10^3$ NMP/100ml, se enquadrando no padrão de $\leq 10^4$ NMP/100ml (categoria B – irrigação irrestrita), indicando que

este efluente poderia ser usado no cultivo de folhosas e, na irrigação restrita pode ser utilizado quando se tem exposição dos trabalhadores (categoria F – agricultura de baixo nível tecnológico e mão de obra intensiva). Da mesma forma que em Cajazeiras, os efluentes de Sapé e Sousa no período de chuva (Figura 4.23) apresentaram valores médios de $1,1 \times 10^6$ NMP/100mL e $1,2 \times 10^6$ NMP/100mL, não se enquadrando nos padrões da OMS (WHO, 2006 *apud* BASTOS E BEVILACQUA, 2006). Os efluentes de Itaporanga e Sousa (seca 3), Mangabeira, Sapé e Sousa (seca 4) e Mangabeira (chuva), se enquadraram na categoria H (irrigação restrita) podendo ser usados apenas se a técnica de irrigação for subsuperficial. Os demais efluentes continham *E. coli* em concentração muito superior aos padrões da OMS (WHO, 2006 *apud* BASTOS E BEVILACQUA, 2006), não se enquadrando em nenhuma categoria.

Bastos *et al.* (2002), em estudo realizado na Universidade Federal de Viçosa - MG, em uma unidade experimental de tratamento de esgoto (três lagoas de estabilização - em escala piloto) obteve qualidade microbiológica no efluente das três lagoas de $2,1 \times 10^5$ *E.coli*/100mL, $2,9 \times 10^3$ *E.coli*/100mL e de $1,6 \times 10^1$ *E.coli*/100mL, respectivamente, sendo este último adequado para a irrigação de alfaces. Em estudo realizado no município de Aquiraz – CE, Rego *et al.* (2005) utilizaram, para reúso, um efluente de lagoa de estabilização com $7,6 \times 10^2$ *E. coli*/100mL na irrigação de melancia, sendo esse valor recomendado pelos padrões da OMS (WHO, 2006 *apud* BASTOS E BEVILACQUA, 2006).

Os novos padrões da Organização Mundial da Saúde (WHO, 2006 *apud* BASTOS E BEVILACQUA, 2006) incluem diferentes opções de tratamento de esgotos em combinação com várias alternativas de manejo. Os efluentes com qualidade microbiológica entre $\leq 10^0$ até 10^6 *E. coli*/100mL e provenientes de tratamentos avançados e até os mais simples (tanques sépticos), podem ser usados em irrigação desde que obedeçam às técnicas de irrigação sugeridas naqueles padrões.

A maioria dos efluentes finais das ETE's avaliadas não se adequou aos novos padrões por apresentarem valores superiores a 10^6 *E. coli*/100mL (Campina Grande, Guarabira, Róger, Monteiro, Patos e Sapé - seca 3; Campina Grande, Guarabira, Itaporanga, Róger, Monteiro e Patos - seca 4; Campina Grande, Guarabira, Itaporanga, Róger, Monteiro, Patos, Sapé e Sousa - chuva), apesar da recomendação apresentar uma grande variação na concentração desse indicador microbiológico.

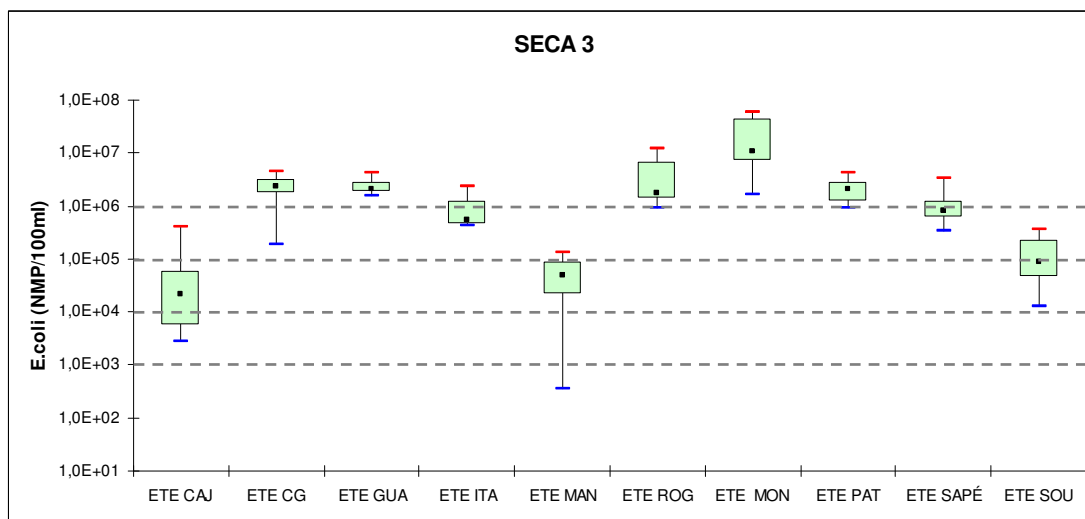


Figura 4.22a – Representação, em “box plot” dos valores de *Escherichia coli* nos efluentes finais de 10 ETE’s do estado da Paraíba no período da seca 3.

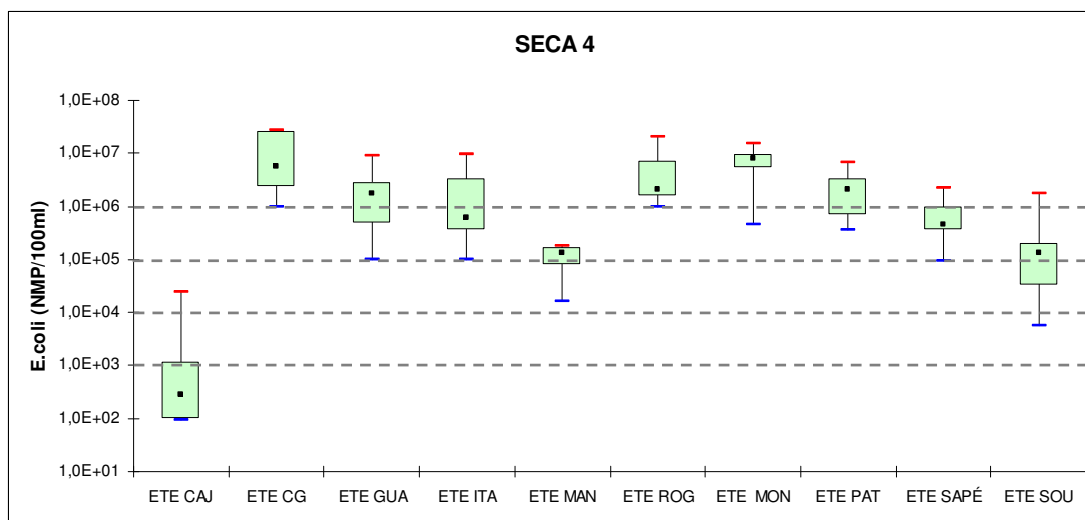


Figura 4.22b – Representação, em “box plot” dos valores de *Escherichia coli* nos efluentes finais de 10 ETE’s do estado da Paraíba no período da seca 4.

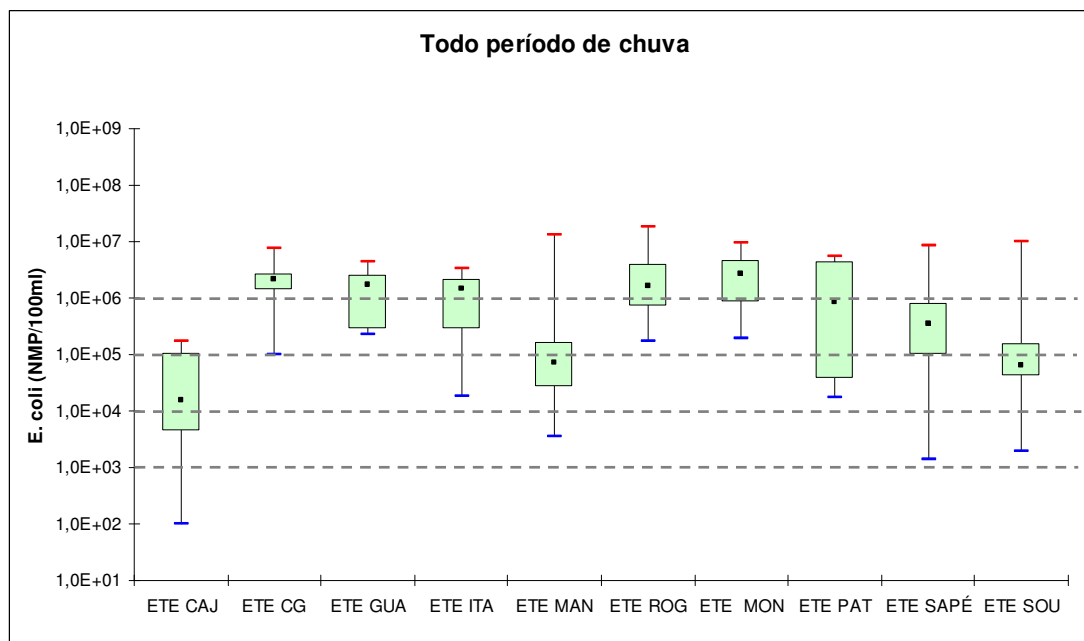


Figura 4.23 – Representação, em “box plot” dos valores de *Escherichia coli* nos efluentes finais de 10 ETE’s do estado da Paraíba em todo o período de chuva.

Ovos de helmintos

Nas 10 ETE’s estudadas, em todas as épocas secas e em todo o período de chuva (Tabela 4.3), houve ausência de ovos de helmintos nos efluentes finais, e portanto foram adequados aos padrões microbiológicos recomendados pela Organização Mundial da Saúde (WHO, 1989) para irrigação irrestrita. A ausência de ovos de helmintos em efluentes de séries de lagoas de estabilização (lagoa anaeróbia seguida de facultativa e maturação) também foi observada no estado do Ceará por Brandão *et al.* (2002) em experimentos visando avaliar as possibilidades de reúso; por Tavares (2005) em Campina Grande – PB, num estudo na irrigação de alface e por Rego *et al.* (2005) no município de Aquiraz – CE, acompanhando o desenvolvimento da cultura da melancia irrigada com água residuária tratada em lagoas de estabilização.

Recomenda-se o uso dos efluentes finais em irrigação restrita como de culturas processadas industrialmente, cereais, forragens, pastagens, árvores frutíferas, haja vista que a OMS não se manifesta quanto ao padrão bacteriológico necessário nesta atividade, porém, os ovos de helmintos devem ser inferiores a 1ovo/litro (WHO, 1989) quando há exposição dos trabalhadores e do público. No caso da categoria C (WHO, 1989) quando não há grupos de risco na irrigação restrita, a OMS não aplica restrição de uso para os helmintos e nem para os coliformes termotolerantes.

4.3 Análise de variância dos parâmetros físicos, químicos e microbiológicos

Com o propósito de se fazer análise de variância (ANOVA) de fator único dos parâmetros analisados nas 10 ETE's, fez-se necessário simplificar o banco de dados utilizando a técnica estatística de análise de clusters no *software* SPSS que mostra a similaridade entre os grupos formados. O dendograma formado, para um nível de significância de 0,05, no período de seca (Figura 4.24) e no período de chuva (Figura 4.25) resultou em 6 (seis) grupos de ETE's na seca e 5 (cinco) grupos na chuva, conforme Tabela 4.4.

Tabela 4.4 – Grupos de ETE's formados através do dendograma.

Grupos	Seca	Chuva
G1	ETE's de Campina Grande, Guarabira, Itaporanga e Patos	ETE's de Itaporanga, Mangabeira, Sapé e Sousa
G2	ETE's de Sapé e Sousa	ETE's de Campina Grande, Guarabira e Patos
G3	ETE de Mangabeira	ETE de Cajazeiras
G4	ETE de Cajazeiras	ETE do Róger
G5	ETE do Róger	ETE de Monteiro
G6	ETE de Monteiro	-

A análise de variância (ANOVA) de fator único, ao nível de significância de 5% ($\alpha = 0,05$), aplicada aos dados físico-químicos e microbiológicos dos efluentes finais, demonstrou que houve diferenças significativas entre os grupos formados, pois a estatística F foi superior ao F_{cr} ($F > F_{cr}$). Na seca (Tabela 4.5) e na chuva (Tabela 4.6) houve diferenças significativas entre os grupos nos parâmetros: pH, CE, STD e amônia.

Tabela 4.5 – Análise de variância para os conjuntos de dados de pH, CE, STD, RAS, amônia, CF, *E. coli* e ovos de helmintos - período de seca.

Parâmetros	Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico
pH	Entre grupos	8,0005	5	1,600100	8,39790066	0,00075171	2,9582452
	Dentro dos grupos	2,6675	14	0,190536			
	Total	10,6680	19				
CE	Entre grupos	3,8155	5	0,763100	13,6529073	5,7809E-05	2,9582452
	Dentro dos grupos	0,7825	14	0,055893			
	Total	4,5980	19				
STD	Entre grupos	712862,20	5	142572,44	7,05857198	0,00173028	2,9582452
	Dentro dos grupos	282778,75	14	20198,48			
	Total	995640,95	19				
RAS	Entre grupos	0,54266667	5	0,10853333	1,12707692	0,41160386	3,48165941
	Dentro dos grupos	0,86666667	9	0,0962963			
	Total	1,40933333	14				
Amônia	Entre grupos	9333,9055	5	1866,78110	55,1762814	1,0228E-08	2,95824891
	Dentro dos grupos	473,6625	14	33,83304			
	Total	9807,5680	19				
CF	Entre grupos	2,8233E+14	5	5,6466E+13	2,10488	0,12527352	2,9582452
	Dentro dos grupos	3,7557E+14	14	2,6826E+13			
	Total	6,579E+14	19				
<i>E. coli</i>	Entre grupos	3,676E+14	5	7,3519E+13	3,25354261	0,09164737	4,38737419
	Dentro dos grupos	1,3558E+14	6	2,2597E+13			
	Total	5,0318E+14	11				
Hel	Entre grupos	1,8	5	0,36	2,52	0,07926223	2,9582452
	Dentro dos grupos	2,0	14	0,14285714			
	Total	3,8	19				

Tabela 4.6 – Análise de variância para os conjuntos de dados de pH, CE, STD, RAS, amônia, CF, *E. coli* e ovos de helmintos - período de chuva.

Parâmetros	Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico
pH	Entre grupos	3,44991	4	0,862478	13,39153	0,0001074	3,112248
	Dentro dos grupos	0,90167	14	0,064405			
	Total	4,35158	18				
CE	Entre grupos	3,31947	4	0,829868	89,37045	8,3534E-10	3,112248
	Dentro dos grupos	0,13000	14	0,009286			
	Total	3,44947	18				
STD	Entre grupos	869828,37	4	217457,093	14,54455	6,8607E-05	3,112248
	Dentro dos grupos	209315,42	14	14951,101			
	Total	1079143,79	18				
RAS	Entre grupos	36,2666667	4	9,06666667	0,81164956	0,54562623	3,47804985
	Dentro dos grupos	111,7066667	10	11,1706667			
	Total	147,9733333	14				
Amônia	Entre grupos	5343,58465	4	1335,89616	87,90374	9,3329E-10	3,112248
	Dentro dos grupos	212,76167	14	15,19726			
	Total	5556,34632	18				
CF	Entre grupos	5,5294E+13	4	1,3823E+13	2,75123203	0,07038164	3,11224824
	Dentro dos grupos	7,0342E+13	14	5,0245E+12			
	Total	1,2564E+14	18				
<i>E. coli</i>	Entre grupos	2,9074E+13	4	7,2686E+12	1,59112662	0,25090699	3,47804969
	Dentro dos grupos	4,5682E+13	10	4,5682E+12			
	Total	7,4756E+13	14				
Hel	Entre grupos	1,10964912	4	0,27741228	2,74148607	0,07104784	3,11224824
	Dentro dos grupos	1,41666667	14	0,10119048			
	Total	2,52631579	18				

O método GT-2 foi aplicado para mostrar graficamente em quais grupos ocorreram diferenças significativas. A Figura 4.26a mostra que para o parâmetro pH, no período de seca, os grupos G1, G3 e G5 são estatisticamente diferentes do G4. Os grupos formados na época de seca foram diferentes dos grupos formados no período de chuva (Figura 4.26b) onde as diferenças significativas ocorreram entre G3, G1, G2 e G4 e as médias de pH do G3 foram muito superiores em relação aos demais grupos. No entanto, o G5 foi estatisticamente diferente apenas de G4.

O efluente final de Cajazeiras representada por G4 (no período da seca) e por G3 (no período chuvoso), apresentou valores médios de pH 8,8 e 8,2, respectivamente, valores elevados em relação aos demais grupos. Isso se deve à atividade fotossintética através das algas presentes nas lagoas de estabilização facultativas. Os grupos que apresentaram valores

médios de pH próximos da neutralidade foram: G1 (7,3), G3 (7,3) e G5 (6,7) no período de seca e G1 (7,4), G2 (7,3) e G4 (6,8) no período de chuva.

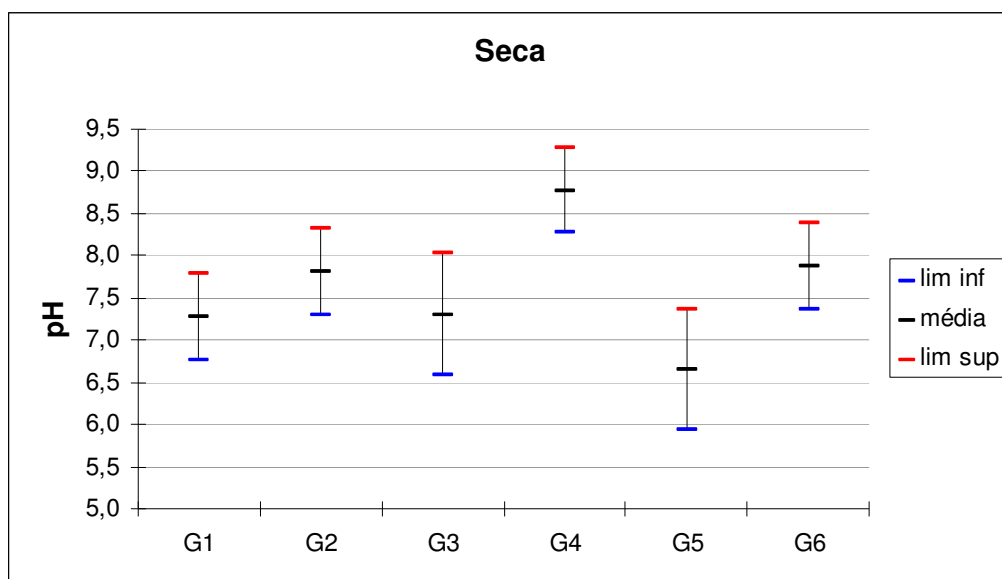


Figura 4.26a – Gráfico GT2 do parâmetro pH no período de seca.

G1 (Campina Grande, Guarabira, Itaporanga e Patos); G2 (Sapé e Sousa); G3 (Mangabeira); G4 (Cajazeiras); G5 (Róger); G6 (Monteiro).

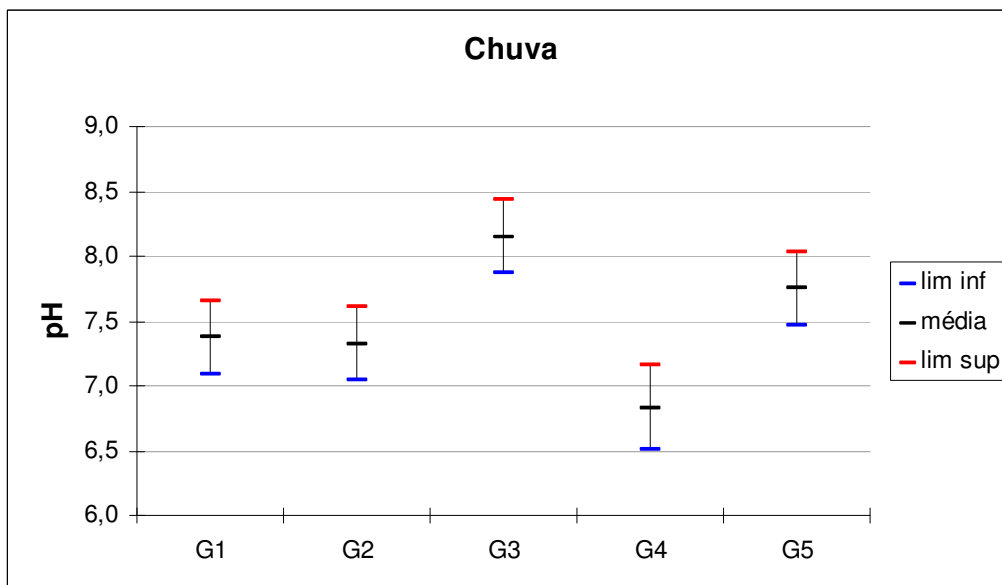


Figura 4.26b – Gráfico GT2 do parâmetro pH no período de chuva.

G1 (ETE's de Itaporanga, Mangabeira, Sapé e Sousa); G2 (Campina Grande, Guarabira e Patos); G3 (Cajazeiras); G4 (Róger) e G5 (Monteiro).

A Figura 4.27 mostra que para a CE, no período de seca, o G4 se mostrou estatisticamente diferente apenas de G1 e G6 e ocorreram diferenças significativas entre o G6 e os demais grupos, apresentando valores médios elevados. No período de chuva (Figura 4.28), houve uma grande variabilidade entre os grupos, e observou-se que o G2 foi estatisticamente diferente dos demais grupos, como também o G5, que apresentou os maiores valores de condutividade elétrica. Mas, G1 apresentou diferenças estatísticas com relação a G2, G3 e G5.

Os cátions (cálcio, magnésio, sódio, potássio) e ânions (carbonatos, bicarbonatos, cloretos e sulfatos), presentes nos esgotos brutos são provenientes da água de abastecimento e da decomposição do material fecal (fezes e urina) e de produtos de limpeza e responsáveis pelos valores de CE. O efluente da ETE de Monteiro representada nos grupos G6 (seca) e G5 (chuva) apresentou elevados valores de CE (2,0dS/m e 1,8dS/m, respectivamente), em relação aos demais grupos, mostrando que no período de seca (insolação elevada) com o baixo consumo de água ocorreu uma concentração dos sais na massa líquida da lagoa os quais não foram diluídos com a chegada das chuvas.

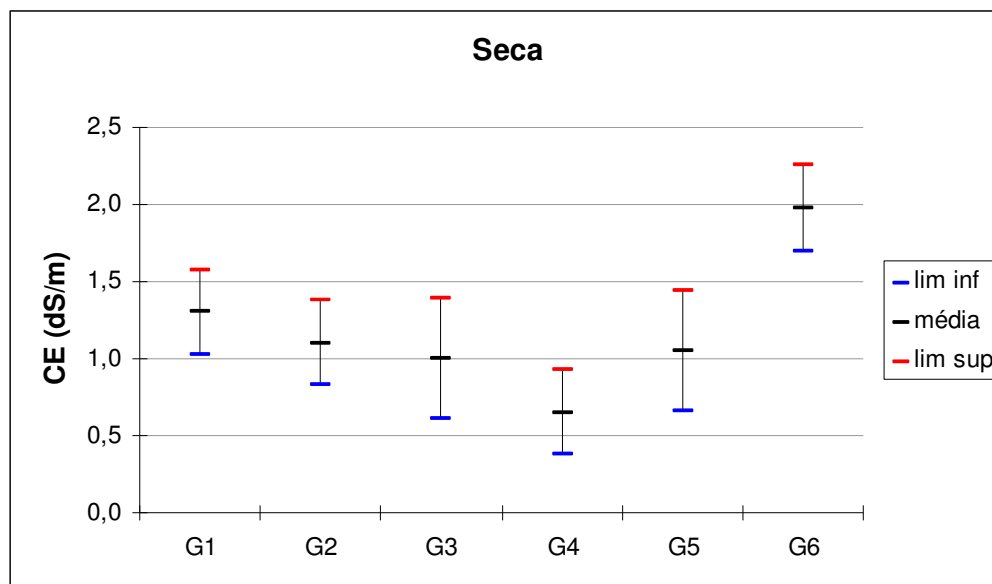


Figura 4.27 – Gráfico GT2 do parâmetro CE no período de seca.

G1 (Campina Grande, Guarabira, Itaporanga e Patos); G2 (Sapé e Sousa); G3 (Mangabeira); G4 (Cajazeiras); G5 (Róger); G6 (Monteiro).

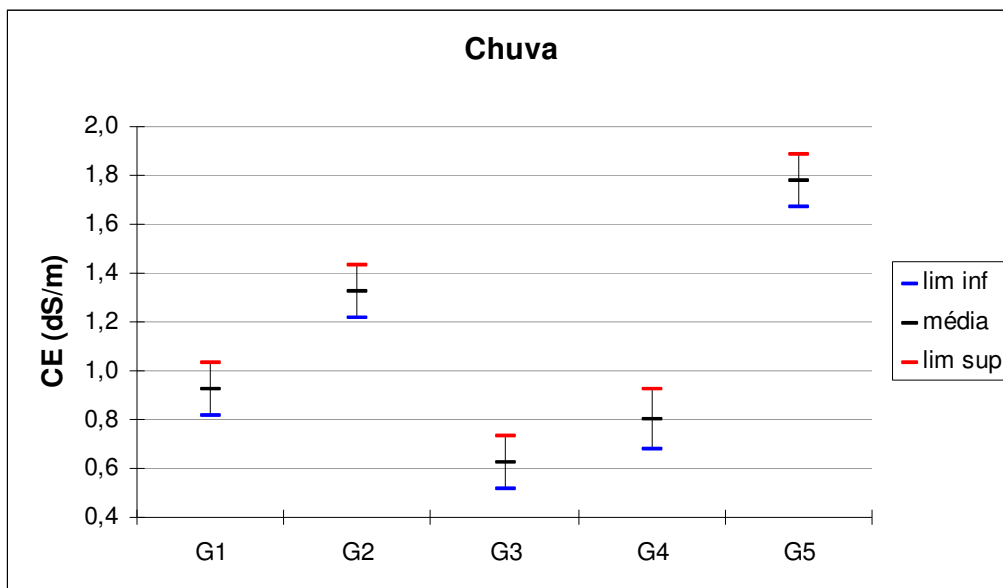


Figura 4.28 – Gráfico GT2 do parâmetro CE no período de chuva.

G1 (ETE's de Itaporanga, Mangabeira, Sapé e Sousa); G2 (Campina Grande, Guarabira e Patos); G3 (Cajazeiras); G4 (Róger) e G5 (Monteiro).

A variação dos valores médios de sólidos totais dissolvidos (STD) no período de seca (Figura 4.29a) mostrou que ocorreram diferenças significativas entre G6 (valor médio de 1002mg/L) e os demais grupos com exceção de G1. A Figura 4.29b (chuva) mostra que G1 foi estatisticamente diferente apenas de G5 e que houve diferenças significativas de G5 com relação a G1, G3 e G4.

Nos grupos G6 na seca e G5 na chuva, efluente de Monteiro, foram observados valores médios elevados de STD (1002 e 937mg/L, respectivamente) em relação aos demais grupos e a ocorrência de chuvas não conseguiu diluir esses sólidos.

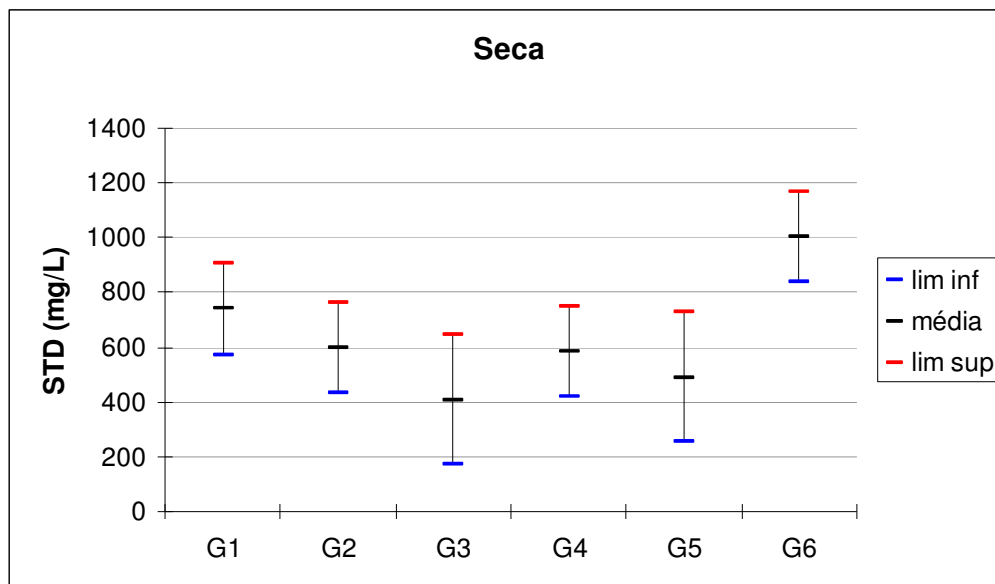


Figura 4.29a – Gráfico GT2 do parâmetro STD no período de seca.

G1 (Campina Grande, Guarabira, Itaporanga e Patos); G2 (Sapé e Sousa); G3 (Mangabeira); G4 (Cajazeiras); G5 (Róger); G6 (Monteiro).

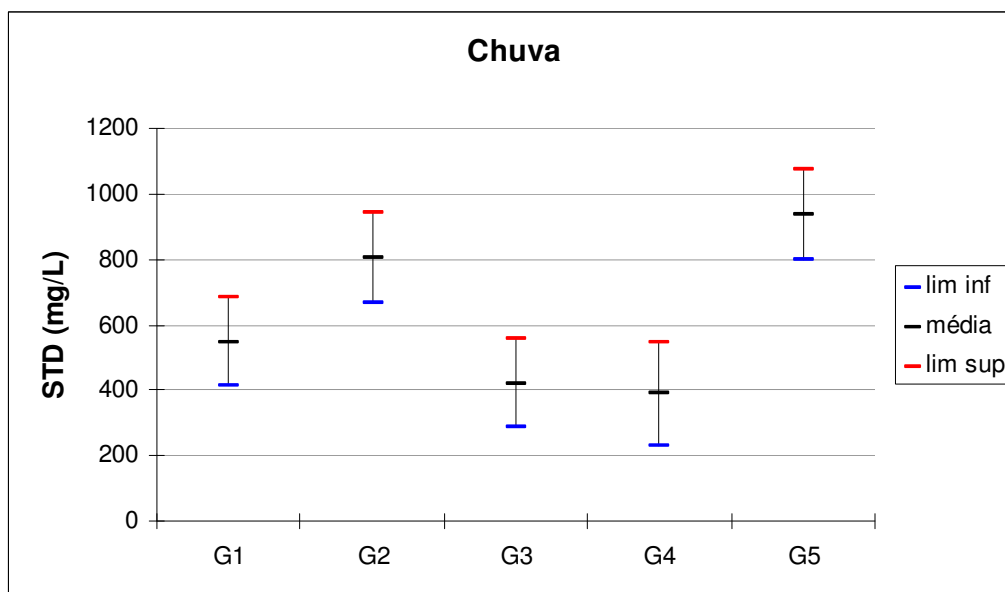


Figura 4.29b – Gráfico GT2 do parâmetro STD no período de chuva.

G1 (ETE's de Itaporanga, Mangabeira, Sapé e Sousa); G2 (Campina Grande, Guarabira e Patos); G3 (Cajazeiras); G4 (Róger) e G5 (Monteiro).

A Figura 4.30 ilustra a variação dos valores médios de nitrogênio amoniacal entre os grupos para o período da seca. O G2 apresentou diferenças significativas em relação aos demais grupos (G1, G3, G4, G5 e G6), da mesma forma, houve diferenças significativas entre G4 e G1, G2, G3, G5 e G6. O valor médio de amônia do G6 (62,9mg/L) foi elevado em relação aos demais grupos. A comparação gráfica pelo método GT-2 (Figura 4.31) no período de chuva mostrou grande heterogeneidade entre os grupos e apenas entre os grupos G2 e G4 é que não ocorreram diferenças significativas.

Os menores valores de amônia foram observados em G4 (3,9mg/L) na seca e em G3 (4,4mg/L) na chuva, que associados aos valores de pH de 8,8 e 8,2 respectivamente, (Figuras 4.26a e 4.26b), poderiam favorecer o processo de remoção da amônia por volatilização.

Os grupos G6 (seca) e G5 (chuva) formados pela ETE de Monteiro apresentaram os maiores valores de amônia, na ordem de 62,9 e 52,2mg/L, respectivamente. E está associado ao processo de decomposição da fração nitrogenada da matéria orgânica por organismos heterotróficos no interior da lagoa.

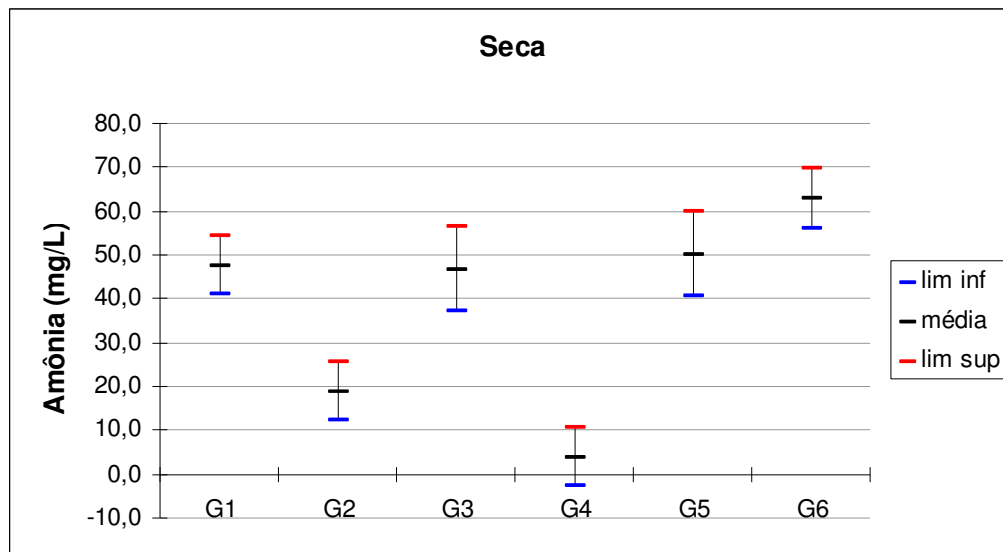


Figura 4.30 – Gráfico GT2 do parâmetro amônia no período de seca.

G1 (Campina Grande, Guarabira, Itaporanga e Patos); G2 (Sapé e Sousa); G3 (Mangabeira); G4 (Cajazeiras); G5 (Róger); G6 (Monteiro).

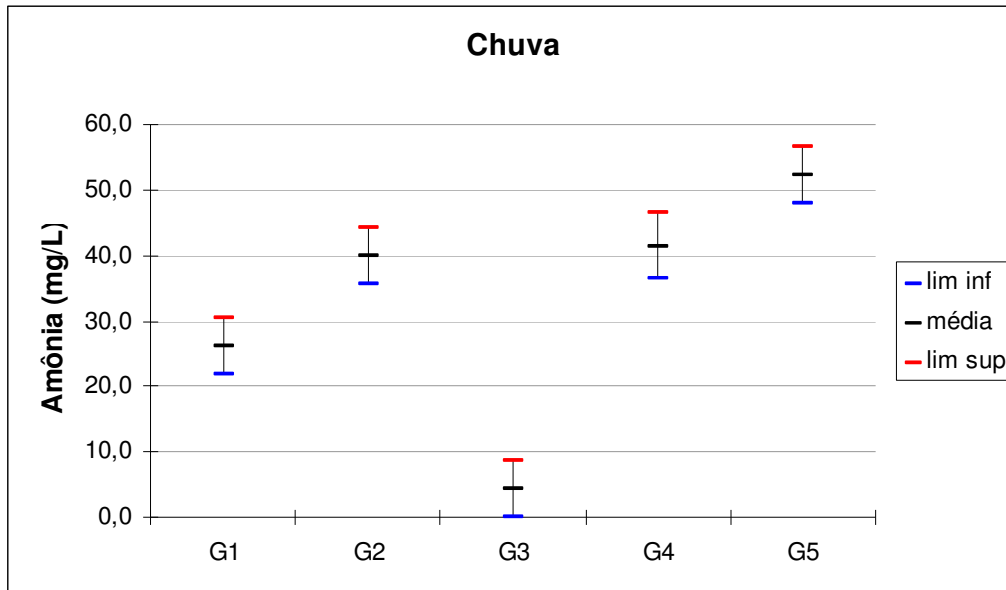


Figura 4.31 – Gráfico GT2 do parâmetro amônia no período de chuva.

G1 (ETE's de Itaporanga, Mangabeira, Sapé e Sousa); G2 (Campina Grande, Guarabira e Patos); G3 (Cajazeiras); G4 (Róger) e G5 (Monteiro).

5.0 Discussão

A água é um dos recursos naturais mais utilizados pelo homem e sua demanda vem crescendo com o aumento da população e do consumo *per capita*, do desenvolvimento industrial e das atividades agrícolas. A agricultura, como atividade que mais consome água (em torno de 70%) também contribui com a maior parte da carga de nutrientes nos rios e lagos. Segundo EMBRAPA (1995) *apud* Andreoli (2003), 43% do nitrogênio, 41% do fósforo e 100% do potássio são oriundos de fertilizantes inorgânicos que de forma difusa chegam aos corpos de água acelerando sua eutrofização. Esse aporte de nutrientes está relacionado tanto com o uso indiscriminado de fertilizantes, como também, pelas descargas sem controle e sem acompanhamento técnico dos efluentes finais de estações de tratamento de esgotos.

As estações de tratamento de esgoto do estado da Paraíba geram grandes volumes de efluentes finais que são lançados em corpos receptores e utilizados à jusante de maneira indiscriminada, caracterizando o reúso indireto. Em regiões semi-áridas, como no estado da Paraíba, essa água contaminada é a única fonte disponível para atividades agrícolas diversas durante as épocas de seca, devido, principalmente, à falta de políticas que contemplem a utilização de águas residuárias tratadas como parte da gestão de recursos hídricos no país. Para que isso se torne realidade, os esgotos devem ser tratados por métodos eficazes, para que os efluentes finais atinjam os padrões de qualidade requeridos pelas normas internacionais para seu reúso.

Sob aspecto microbiológico, a maioria dos efluentes finais das ETE's estudadas não atingiu o padrão recomendado pela OMS (WHO, 2006 *apud* BASTOS E BEVILACQUA, 2006) para ser utilizado na irrigação irrestrita na agricultura, evidenciando a sobrecarga do sistema de tratamento - lagoas de estabilização, devido principalmente, ao aumento da população urbana e a falta de investimento na expansão do sistema de tratamento. Esses efluentes também se caracterizaram pela elevada concentração de sais. Caso fossem utilizados em irrigação sem as devidas práticas de manejo, poderiam propiciar, ao longo do tempo, a salinização do solo. Dessa forma, o reúso somente será uma prática sustentável, se houver a preocupação com a qualidade microbiológica e a consciência de que a aplicação desses efluentes finais sobre o solo, é nada mais, do que uma fertirrigação salina.

A idéia de que irrigação é adicionar água sobre o solo não é coerente com a busca da sustentabilidade do sistema solo – água – planta. Esta deve ser uma prática agrícola que contemple fatores como a qualidade da água, o tipo de solo, a cultura a ser irrigada e os

métodos de irrigação. A partir dessa idéia, os novos padrões para reúso da Organização Mundial da Saúde (WHO, 2006 *apud* BASTOS E BEVILACQUA, 2006), seja reúso irrestrito ou restrito, contemplam várias opções de qualidade microbiológica do efluente final, usando como indicadores vírus, *E. coli* e ovos de helmintos associados com diferentes métodos de tratamento dos esgotos, desde tanque séptico até sistemas avançados de tratamento. Os efluentes podem ser utilizados na irrigação, desde que obedçam a diversas técnicas de irrigação (sub-superficial até gotejamento) e vários tipos de culturas (folhosas, raízes e tubérculos).

Segundo a classificação de Riverside, quanto ao risco de salinidade, os efluentes das ETE's se enquadraram em categorias de médio (C2), alto (C3) e muito alto (C4) risco. A utilização de águas com essas características, em solos com propriedades granulométricas bastantes distintas, deve ser criteriosa e com acompanhamento técnico contínuo, a fim de observar a evolução do conteúdo salino, para assim, adotar a tempo, práticas de manejo. O solo, uma vez salinizado, pode ser recuperado, porém exige altos investimentos. A maioria dos efluentes finais das ETE's da Paraíba, aqui pesquisadas, só poderia ser utilizada na irrigação de vegetais de alta tolerância salina, o que não corresponde com as espécies normalmente cultivadas na região, que são feijão (sensível aos sais), arroz, milho e cana-de-açúcar (moderadamente sensíveis) e abacaxi (moderadamente tolerante). Essas águas são apenas adequadas para o cultivo do algodão já que esta cultura é bastante tolerante aos sais.

A maioria dos efluentes dos sistemas de lagoas de estabilização investigados apresentou elevados valores de nitrogênio amoniacal, superiores ao padrão de 30mgN – NH₄/L (AYERS & WESTCOT, 1999). Essa alta concentração os torna impróprios para ser utilizado na agricultura devido ao risco de contaminar águas subterrâneas por lixiviação, e contaminar águas superficiais pelo escoamento e por prejudicar o desenvolvimento da planta, comprometendo a produtividade e a qualidade das culturas.

As concentrações de *E. coli* (nas diferentes épocas climáticas - seca e chuva) mostraram que a qualidade dos efluentes finais das ETE's avaliadas, foi bastante variada, e em algumas ETE's se adequou em várias categorias, tanto para uso irrestrito (ETE's de Cajazeiras – seca 3 e 4, e chuva; e Mangabeira – seca 3) quanto ao restrito (ETE's de Cajazeiras – seca 3 e 4, e chuva; Mangabeira – seca 3 e 4, e chuva, Itaporanga – seca 3; Sousa – seca 3 e 4). Os demais efluentes excederam a concentração máxima recomendada de 10⁶ *E. coli*/100mL, não se adequando a qualquer uso. Em regiões com escassez de água, a utilização de efluentes tratados de esgotos domésticos nas épocas de secas seria sustentável, desde que,

se adequasse aos padrões exigidos de qualidade da água para reúso, no que se refere aos parâmetros físicos, químicos e microbiológicos.

A qualidade microbiológica da maioria dos efluentes finais, ao longo do tempo, foi muito variada. Entretanto, apresentou qualidade bacteriológica ou sanitária adequada para várias modalidades de irrigação em alguns meses, mais pelo fato de não permitir a irrigação contínua, apresentam-se de pouco valor para investimentos em culturas irrigadas de porte médio e alto. Desse modo, a prática do reúso contínuo deveria incluir o armazenamento dos efluentes finais sem qualidade microbiológica em reservatórios profundos durante períodos de seca e de chuva para serem utilizados nas épocas secas subsequentes. Caso o uso de reservatórios profundos não seja possível (custo de construção, indisponibilidade de área, por ex.), a ampliação do sistema já existente se faz necessária, com a inclusão de lagoas de maturação nos sistemas existentes, ou pela implantação de um tratamento primário, do tipo reator UASB, com as lagoas existentes (facultativas primárias e secundárias) funcionando como lagoas de polimento. Este tipo de sistema promoveria uma remoção significativa de coliformes termotolerantes e organismos patogênicos, além de reduzir a quantidade de nitrogênio amoniacal. Com os tratamentos melhorados, os efluentes finais estariam adequados para serem utilizados na agricultura em todas as épocas climáticas.

Os efluentes finais produzidos em ETE's devem ser considerados como insumos importantes na gestão sustentável dos recursos hídricos. O reúso de águas residuárias é uma das sugestões da Agenda 21.

Todos os efluentes aqui avaliados são despejados em águas superficiais e utilizados de maneira indiscriminada em diversas atividades humanas, sendo a irrigação a mais importante. A elevada contaminação microbiológica compromete qualquer uso posterior dessas águas superficiais, seja na produção agrícola, de peixe, camarão, caranguejo ou no desenvolvimento do turismo (recreação de contato primário e secundário), dessedentação de animais, e manutenção paisagística.

A falta de aplicação de uma política de gestão dos recursos hídricos no país, e a ausência de controle sobre o reúso destes efluentes finais na agricultura, ocasiona contaminação das culturas irrigadas, prejudica a saúde dos trabalhadores e consumidores, saliniza o solo, eutrofiza corpos d'água superficiais e contamina águas subterrâneas, comprometendo o meio ambiente.

6.0 Conclusões

As conclusões deste trabalho foram:

Aspectos físico-químicos:

- quanto ao pH, todos os efluentes finais no período de chuva e a maioria (94,4%) nos quatro períodos de seca, estiveram dentro da faixa de 6,5 a 8,4 considerada como adequada para irrigação;
 - quanto à salinidade, avaliada através da condutividade elétrica, somente os efluentes finais da ETE de Cajazeiras (seca 2 e período de chuva) e da ETE de Sousa (seca 2) poderiam ser usados sem causar problemas nas culturas ou no solo; para os demais efluentes, há necessidade de maiores cuidados tanto na seleção das culturas quanto nas alternativas de manejo para obtenção de rendimento adequado;
 - quanto à salinidade, expressa pela concentração dos sólidos totais dissolvidos, os efluentes finais das ETE de Sousa (seca 1), Cajazeiras e Mangabeira (seca 3), Cajazeiras, Mangabeira e Róger (seca 4 e chuva), apresentaram salinidade média (STD entre 125 e 500mg/L) e os demais salinidade alta (STD entre 500 e 1500mg/L);
 - devido aos valores elevados de CE e RAS, os efluentes finais das ETE's de Cajazeiras, Itaporanga, Róger, Sapé e Sousa (seca 3); Cajazeiras, Itaporanga e Sousa (seca 4) e Cajazeiras, Guarabira, Itaporanga, Mangabeira, Monteiro Sapé e Sousa (chuva) ocasionariam problemas de infiltração de água no perfil do solo;
 - de acordo com a classificação de Riverside, nos períodos das secas 3 e 4, os efluentes finais se enquadraram em C3 – S1 (50,8%) e C3 – S2 (31,2%) mostrando que esses efluentes apresentaram alto risco quanto à salinidade (C3) e de baixo (S1) a médio (S2) risco de sodicidade. No período de chuva, foram inseridos na classificação C2 – S1 (15,4% - médio risco de salinidade e baixo de sodicidade), na classificação C3 – S1 (51,5% - alto risco de salinidade e baixo de sodicidade) e C3 – S2, (26,9% - alto risco de salinidade e médio de sodicidade);
 - de acordo com Riverside e independente de período climático, os efluentes das ETE's estudadas se enquadraram nas classificações de: C3 – S1 (Mangabeira e
-

Róger), C3 – S1 e C3 – S2 (Campina Grande, Guarabira e Sapé) e C2 - S1 (Cajazeiras);

- a concentração do nitrogênio amoniacal da maioria dos efluentes finais foi elevada (até 72,2mg/L) muito acima daquela recomendada de 30mg/L, para uso em agricultura; somente se adequaram os efluentes finais de Cajazeiras, Campina Grande, Itaporanga, Sapé e Sousa (seca 1), Cajazeiras, Itaporanga e Sousa (seca 2), Cajazeiras e Sousa (seca 3), Cajazeiras, Sapé e Sousa (seca 4 e período de chuva) e seu uso não causaria risco de contaminação da água subterrânea e nem prejudicaria o desenvolvimento das culturas;
- o efluente final de Monteiro apresentou elevados valores de condutividade elétrica (2,5dS/m) e amônia (72,2mg/L), característicos de esgoto de concentração forte (matéria orgânica) e associados ao baixo consumo de água da população atendida.

De acordo com a OMS (WHO, 1989), os efluentes finais não poderiam ser usados na irrigação irrestrita, pois os valores de coliformes termotolerantes estavam acima daqueles recomendados ($\leq 1000\text{UFC}/100\text{mL}$), apesar da ausência de ovos de helmintos. Os efluentes finais das 10 ETE's estariam adequados apenas para uso na irrigação restrita.

Aspectos microbiológicos – padrões da OMS (WHO, 2006 *apud* BASTOS E BEVILACQUA, 2006):

- o efluente final de Cajazeiras (seca 3 e chuva) e Mangabeira (seca 3), poderiam ser usados em irrigação irrestrita de plantas que se desenvolvem distantes do nível do solo (opção C) e, na irrigação restrita, poderiam ser usados em agricultura de alto nível tecnológico e altamente mecanizada (opção G), com exposição menos acentuada dos trabalhadores;
 - no período da seca 4, o efluente de Cajazeiras poderia ser usado no cultivo de folhosas (opção B) e, na irrigação restrita, ser utilizado em agricultura de baixo nível tecnológico e mão de obra intensiva (opção F), com elevada exposição dos trabalhadores;
 - os efluentes de Itaporanga e Sousa (seca 3), Mangabeira, Sapé e Sousa (seca 4) e Mangabeira (chuva), poderiam ser usados apenas se a técnica de irrigação for subsuperficial, na irrigação restrita (opção H) com minimização da exposição (contato solo-água-planta-trabalhadores);
-

- os demais efluentes finais não se adequaram ao padrão de até 10^6 *E.coli*/100mL, sendo impróprios para a irrigação;
- quanto aos ovos de helmintos, nas 10 ETE's estudadas para todas as secas e para a chuva, estiveram ausentes nos efluentes finais, se adequando aos padrões de até 1ovo/L (tanto para irrigação irrestrita como para a restrita).

O crescimento acelerado da população urbana e a falta de investimento na recuperação das ETE's avaliadas fazem com que essas gerem efluentes finais de má qualidade que estão sendo lançados em águas superficiais, contaminando os recursos hídricos disponíveis ao consumo humano. Os 10 (dez) sistemas de tratamento de esgotos do estado da Paraíba geraram efluentes finais com elevadas concentrações de coliformes termotolerantes e *E. coli*, mostrando que estão sobrecarregados e, como consequência, seus efluentes não se adequaram para reúso de acordo com as novas recomendações da Organização Mundial da Saúde (WHO, 2006 *apud* BASTOS E BEVILACQUA, 2006). Recomenda-se uma ampliação desses sistemas a fim de se obter efluentes finais dentro dos padrões sugeridos para que possam ser utilizados na irrigação de maneira sustentável para a população e o meio ambiente.

7.0 Referências Bibliográficas

ABUJAMRA, R. C. P., ANDRADE NETO, C. O., MELO, H. N. S., **II – 162 – Reúso de águas residuárias tratadas no cultivo de grama hidropônica.** 23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental (ABES), 2005.

AESA - AGÊNCIA EXECUTIVA DE GESTÃO DAS ÁGUAS DO ESTADO DA PARAÍBA (2006). **Dados climatológicos oficiais.** Governo do Estado da Paraíba.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). **A evolução da gestão dos recursos hídricos no Brasil.** Ed. comemorativa do Dia Mundial da Água. 64 p. Brasília, 2002.

AGENDA 21 BRASILEIRA. **Agricultura Sustentável.** 158p. Brasília, 2000.

ANDRADE NETO, C. O., MELO FILHO, C. P., MOURA, L. R. B., MIRANDA, R. J. A., PEREIRA, M. G., MELO, H. N. S., LUCAS FILHO, M., **II – 081 – Hidroponia com esgoto tratado – forragem hidropônica de milho.** VI Sibesa – Simpósio Ítalo Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2002.

ANDREOLI C. V., **Mananciais de abastecimento: planejamento e gestão. Estudo de caso do altíssimo Iguaçu.** Curitiba: Sanepar. Finep, 2003.

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

ARRUDA, C. B. A., Dissertação de Mestrado, **Título: Estudo do desempenho da lagoa anaeróbia profunda da Pedreira nº 7 do pólo de tratamento de esgotos da bacia do Rio Paraíba na grande João Pessoa.** AESA/UFCG, Campina Grande, 2004.

ARTHUR, J. P., **Notes on the Design and Operation of Waste Stabilization Ponds in Warm Climates of Developing Countries.** The World Bank, Washington, 1983. (Technical Paper, n. 7).

AYERS, R. S., WESTCOT, D. W. **A qualidade da água na agricultura.** “Water Quality for Agriculture”. FAO. Tradução H. R. Ghery e J. F. de Medeiros, UFPB. Campina Grande – PB, 1999.

ATLAS GEOGRÁFICO DO ESTADO DA PARAÍBA, Governo do Estado da Paraíba, 1ª edição, João Pessoa, 2003, SEPLAN/IDEME.

BASTOS, R. K. X., BEVILACQUA, P. D., **Normas e Critérios de Qualidade para Reúso da Água.** In: SANTOS M. L. F., Tratamento e Utilização de Esgotos Sanitários - PROSAB 4, 2006.

BASTOS, R. K. X., NEVES, J. C. L., BEVILACQUA, P. D., SILVA, C. V., CARVALHO, G. R. M., **Avaliação da contaminação de hortaliças irrigadas com esgotos sanitários.** XXVIII Congresso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental. Cancun – México, 2002.

BASTOS, R. K. X., MARQUES, M. O., **Utilização de esgoto tratado em fertirrigação, hidroponia e piscicultura – Uma análise crítica.** In: Utilização de esgoto tratado em fertirrigação, hidroponia e piscicultura/ Rafael Kopschitz Xavier Bastos (coordenador). – Rio de Janeiro: ABES, Rima, 2003. 267 p. : il. Projeto PROSAB.

BEZERRA, E. B., OLIVEIRA, J. B., LEITE V. D., OLIVEIRA, J. S., SOUSA, M. A., SOUZA, S. F., **II – 122 – Avaliação dos parâmetros operacionais e microbiológicos de um sistema de lagoas de estabilização tratando esgotos domésticos.** XI Silubesa – Simpósio Luso-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2004.

BLUM, C. R. J., **Critérios e padrões de qualidade da água.**, In: MANCUSO P. C. S., SANTOS, H. F. dos (eds). Reúso de Água. Barueri, SP: Manole, 2003.

BLUMENTHAL, U. J.; MARA, D. D.; PEASEY, A.; PALACIOS, G. R.; STOOT, R., **Guidelines for the Microbiological Quality of Treated Wastewater used in Agriculture: Recommendations for revising WHO guidelines.** Bulletin of the health Organization, 2000.

BRANDÃO, L. P., MOTA, S., MAIA, L. F., **II – 073 – Perspectivas do uso de efluentes de lagoas de estabilização em irrigação.** VI SIBESA – Simpósio Ítalo Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2002.

BRITO, L. P., TINÔCO J. D., COSTA, J. T., **II – 019 – Reúso planejado de esgoto no semi-árido nordestino: Serra Negra do Norte – RN um estudo de caso.** XI Silubesa – Simpósio Luso-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2004.

CAGEPA (2006) – **Companhia de Água e Esgotos da Paraíba. Informações sobre o número de ligações de água e esgoto e dados sobre as ETE's** – Comunicação Pessoal.

CEBALLOS, B. S. O., **Microbiología sanitaria y ambiental.** In: MENDONÇA, S. R., Sistemas de Lagunas de Estabilización. Colombia, 2000.

DAMACENO, F. A. V., **Seminário: Caracterização das águas residuárias para fins de irrigação.** Doutorado em Recursos Naturais, Campina Grande, 1999.

ESTRADA, V. E. E., HERNÁNDEZ, D. E. A., **I – 170 – Tratamiento de efluentes porcícolas en lagunas de estabilización.** XXVII Congreso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental - AIDIS, 2000.

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

HENRIQUE, I. N., SOUSA, J. D., LEITE, V. D., FIDELES FILHO, J., DANTAS, J. P., **II – 116 – Utilização de esgotos tratados no desenvolvimento da cultura pimentão (*Capsicum annuum L.*).** 23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental (ABES), 2005.

HESPANHOL, I. **Potencial de reúso de água no Brasil: agricultura, indústria, município e recarga de aquíferos.** In: MANCUSO P. C. S., SANTOS, H. F. dos (eds). Reúso de Água. Barueri, SP: Manole, 2003.

HESPANHOL, I. **Saúde pública e reúso agrícola de esgotos e biossólidos.** In: MANCUSO P. C. S., SANTOS, H. F. dos (eds). Reúso de Água. Barueri, SP: Manole, 2003a.

INMET - INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA DA AGRICULTURA E REFORMA AGRÁRIA (1992). **Normas climáticas** (1961/1990). Ministério da Agricultura e Reforma Agrária. Secretaria Nacional de Irrigação. Departamento Nacional de Meteorologia.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo demográfico 2000: resultados preliminares.** Rio de Janeiro, 2000.

JIMÉNEZ CISNEROS, BLANCA E., **La contaminación ambiental en México: causas, efectos y tecnología apropiada.** México: Limusa, Colégio de Ingenieros Ambientales de México, A. C., Instituto de Ingeniería de la Unam y Femisca, 2001.

KONIG A., **Biología de las lagunas de estabilización: algas.** In: MENDONÇA, S. R., Sistemas de Lagunas de Estabilización. Colombia, 2000.

KONIG A., O. E. FERREIRA, N. E. DE M.BELTRÃO, B.S.O. CEBALLOS, **Waste stabilization ponds effluent as nitrogen and water sources for cotton growth in northeast Brazil.** 6th International IWA Conference on Waste Stabilization Ponds Avignon, France, 2004.

LEITE V. D., ATHAYDE JÚNIOR G. B., SOUSA J. T., LOPES W. S., PRASAD S., SILVA S. A., **Tratamento de águas residuárias em lagoas de estabilização para aplicação na fertirrigação.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.9 (suplemento), p.71 - 75, 2005, Campina Grande, PB, DEAg/UFCG.

LÉON S. G., **Tratamento e uso de águas residuárias.** G. Leon S., J. Moscoso Cavallini, tradução de H. R. Gheyi, A. Konig, B. S. O. Ceballos, F. A. V. Damaceno, Campina Grande, UFPB, 1999.

LUCAS FILHO M., PEREIRA M. G., LIMA A. M., SILVA D. A., **II – 071 - Avaliação preliminar do potencial de reúso de águas residuárias tratadas em culturas de milho (*Zea mays*).** 21º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental (ABES), 2001.

-
- MANCUSO, P. C. S., SANTOS H. F., Reúso de Água. Barueri, SP: Manole, 2003.
- MANN, P. S., Introdução à Estatística, Rio de Janeiro: LTC, 2006.
- MARA, D. D. **Sewage Treatment in Hot Climates**. Chichester, Jonh Wiley & Sons, 1976.
- MARQUES, B. C. D, Dissertação de Mestrado, **Título: Estudo do potencial produtivo do capim elefante sob diferentes lâminas com água residuária tratada**. AESA/UFCG, Campina Grande, 2004.
- MEDEIROS, S. S., SOARES, A. A., FERREIRA, P. A., NEVES, J. C. L., MATOS, A. T., SOUZA, J. A. A., **Utilização de água residuária de origem doméstica na agricultura: Estudo das alterações químicas do solo**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.9, n.4, p.603-612, 2005, Campina Grande, PB, DEAg/UFCG.
- MENDONÇA, S. R., **Lagunas de estabilización**. In: In: MENDONÇA, S. R., Sistemas de Lagunas de Estabilización. Colombia, 2000.
- MIRANDA, R. J. A., MELO, H. N. S., NETO, C. O. A., FILHO, M. L., **II – 106 – Evolução da salinidade em solo irrigado com esgoto sanitário tratado**. 21º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental (ABES), 2001.
- MOTA, S., BEZERRA, F. C., TOMÉ, L. M., **I – 003 - Avaliação do desempenho de culturas irrigadas com esgoto tratado**. 21º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental (ABES), 2001.
- NASCIMENTO JÚNIOR, E. N., Dissertação de Mestrado, **Título: Comportamento de forma de Enxofre, Fósforo e Nitrogênio em um reservatório profundo de estabilização tratando águas residuárias domésticas**. AESA/UFPB, Campina Grande, 1998.
- OLIVEIRA, M. DE, MAIA, C. E., **Qualidade físico-química da água para irrigação em diferentes aquíferos na área sedimentar do estado do Rio Grande do Norte**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.2, n.1, p.17-21, 1998, Campina Grande, PB, DEAg/UFPB.
-

PAGANINI, WANDERLEY DA SILVA, **Disposição de esgotos no solo (escoamento à superfície)**, São Paulo, 1997.

PAGANINI, W. S. **Reúso de água na agricultura**. In: MANCUSO P. C. S., SANTOS, H. F. dos (eds). **Reúso de Água**. Barueri, SP: Manole, 2003.

PELCZAR, CHAN E KRIEG, **Microbiologia Conceitos e Aplicações**. vol. 1, Makron Books, 1996.

PERIN, K., SILVA, M. B., GONÇALVES, R. F., CASSINE, S. T. A., KELLER, R., **II – 153 – Reúso de efluentes de lagoa de polimento em cultivos agrícolas**. 23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental (ABES), 2005.

PIVELLI, R. P., LÉO, L. F. R., FABRETI, A. A., MACEDO, M. F., **II – 384 – Pós-tratamento de efluentes de lagoas de estabilização através de processos físico-químicos objetivando reúso**. 23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental (ABES), 2005.

PROGRAMA DE SALUD AMBIENTAL, CENTRO PANAMERICANO DE INGENIERÍA SANITÁRIA Y CIENCIAS DO AMBIENTE (CEPIS) / ORGANIZACIÓN PANAMERICANA DE LA SALUD (OPS) / ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD (OMS), **Manual de Disposición de Aguas Residuales: Origen, Descarga, tratamiento y Análisis da las Aguas Residuales - Tomo II**, Lima, 1991.

RAMOS, R., SILVA, L. A., AQUINO, F. S., PAIVA, T. O., COSTA, A. C. P., **II – 155 – Estudo da viabilidade do reúso de efluentes sanitários tratados para fins não potáveis**. 23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental (ABES), 2005.

REGO, J. L., OLIVEIRA, E. L. L., CHAVES A. F., ARAÚJO A. P. B., BEZERRA F. M. L., SANTOS A. B., MOTA S., **Uso de esgoto doméstico tratado na irrigação da cultura da melancia**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.9, (Suplemento), p.155-159, Campina Grande, PB, DEAg/UFCG, 2005.

RICHARDS, L. A. (Ed.) **Diagnosis and improvement of saline and alkali soils.** Washington, DC: US Department of Agriculture, 1954. (USDA Agriculture Handbook, 60).

SANTIAGO, R. G., MOTA, S., SILVA, F. J., **III – 013 – Avaliação da qualidade do efluente do sistema de lagoas de estabilização do distrito industrial de Maracanaú, Ceará, visando reúso na agricultura.** IX Silubesa – Simpósio Luso-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2000.

SANTOS, A. P. R., **Efeito da irrigação com efluente de esgoto tratado, rico em sódio, em propriedades químicas e físicas de um argissolo vermelho distrófico cultivado com capim – Tifton 85.** Dissertação de Mestrado. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2004.

SAWYER, C. N., McCARTY, P. L. and PARKIN, G. F. 1994. **Chemistry for Environmental Engineering**, 4th edition. New York: McGraw-Hill.

SILVA JR., L. G. de A., GHEYI, H. R., MEDEIROS, J. F., **Composição Química de Águas do Cristalino do Nordeste Brasileiro.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 3, n. 1, p.11-17, Campina Grande, PB, DEAg/UFPB, 1999.

SOUSA, J. T., HAANDEL, A. C., GUIMARÃES A. V. A., **II – 056 – Comparação entre sistemas wetlands tratando efluente anaeróbico.** 21º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental (ABES), 2001.

SOUSA, J. T., LEITE, V. D., DANTAS, J. P., DIONÍSIO, J. A., MENEZES, F. G., **III – 073 – Reúso de efluente de esgoto sanitário na cultura do arroz.** IX Silubesa – Simpósio Luso-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2000.

SOUSA, J. T., LEITE, V. D., LUNA, J. G., **Desempenho da cultura do arroz irrigado com esgotos sanitários previamente tratados.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 5, n. 1, p.107-110, 2001. Campina Grande, PB, DEAg/UFPB.

TAVARES, T. L., **Reúso controlado de água na irrigação da cultura de alface (*Lactuca sativa*, L.)**. Dissertação de mestrado em Engenharia Sanitária e Ambiental. UFCG/CCT, 2005.

TRUJILLO, A., FLORES, C. H. C., VALBUENA, M., HERRERA, L., ARAUJO, I., SAULES, L., **I – 193 – Tratamiento de águas residuales en el tropico mediante lagunas de estabilización y su reúso para riego agrícola**. XXVII Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental – AIDIS, 2000.

TSUTIYA, M. T., **II – 007 - Uso agrícola dos efluentes das lagoas de estabilização do estado de São Paulo**. . 21º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental (ABES), 2001.

VON SPERLING, Marcos, **Introdução a qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**., 2ª edição, Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Minas Gerais, 1996.

WANDERLEY, T. F., **Avaliação dos efeitos do reúso de águas de esgoto sobre a produtividade e qualidade microbiológica de cultivares de bata-doce visando à produção de biomassa**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Tocantis, 2005.

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