



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA - UEPB  
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA - CCT  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E  
AMBIENTAL – DESA  
CURSO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL**

**ANTONIO TARDELLI GOMES DUARTE**

**POTENCIALIDADE DE REÚSO DAS ETE'S DAS  
CIDADES DE PATOS E CAJAZEIRAS NA PARAÍBA**

**CAMPINA GRANDE**

**2014**

**ANTONIO TARDELLI GOMES DUARTE**

## **POTENCIALIDADE DE REÚSO DAS ETE'S DAS CIDADES DE PATOS E CAJAZEIRAS NA PARAÍBA**

Trabalho de conclusão de curso (TCC) apresentado a coordenação do curso de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Estadual da Paraíba em cumprimento às exigências para obtenção do Título em Bacharel em Engenharia Sanitária e Ambiental.

**Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dra. Neyliane Costa de Souza**

**CAMPINA GRANDE**

**2014**

É expressamente proibida a comercialização deste documento, tanto na forma impressa como eletrônica. Sua reprodução total ou parcial é permitida exclusivamente para fins acadêmicos e científicos, desde que na reprodução figure a identificação do autor, título, instituição e ano da dissertação.

D812p Duarte, Antonio Tardelli Gomes.

Potencialidade de reúso das ETE's das cidades de Patos e Cajazeiras na Paraíba [manuscrito] / Antonio Tardelli Gomes Duarte. - 2014.

61 p. : il. color.

Digitado.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental) - Universidade Estadual da Paraíba, Centro de Ciências e Tecnologia, 2014.

"Orientação: Profa. Dra. Neyliane Costa de Souza, Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental".

1. Reúso. 2. Tratamento de esgoto. 3. Agricultura. 4. Coliformes. I. Título.

21. ed. CDD 628.3

ANTONIO TARDELLI GOMES DUARTE

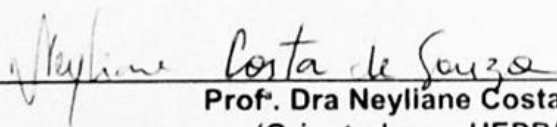
## POTENCIALIDADE DE REÚSO DAS ETE'S DAS CIDADES DE PATOS E CAJAZEIRAS NA PARAÍBA

Trabalho de conclusão de curso (TCC) apresentado a coordenação do curso de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Estadual da Paraíba em cumprimento às exigências para obtenção do Título em Bacharel em Engenharia Sanitária e Ambiental.

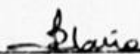
JULGADO EM: 02/12/14

NOTA: (9,9)

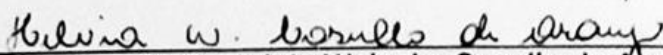
### EXAMINADORES



Prof.ª Dra Neyliane Costa de Souza  
(Orientadora – UEPB/DESA)



Prof.ª Lúcia Maria Ribeiro Lima  
(Examinadora – UEPB/DQ)



Prof.ª Helvia Waleska Casullo de Araújo  
(Examinadora – UEPB/DQ)

Campina Grande – PB  
2014

#### DEDICO.

A Deus, quem me concedeu a conclusão do meu curso, me capacitando para tal, e aos meus pais, Antonio Gilson Gomes Duarte e Francisca Gomes da Silva, que sempre me incentivaram para que eu prosseguisse na realização dos meus sonhos, acreditando que eu seria capaz de alcançar mais esta vitória em minha vida.

## AGRADECIMENTOS

A Deus, acima de todas as coisas.

A professora Neyliane Costa de Souza, pela disposição em me orientar na elaboração deste trabalho, pela oportunidade de trabalhar com o tema, pela consideração, confiança e cooperação durante todo o período de desenvolvimento do trabalho.

Aos professores Helvia Waleska Casulo e Lígia Ribeiro, por aceitarem o convite para participar da comissão examinadora deste trabalho, pela atenção, sugestões e críticas propostas com o intuito de aprimorar o mesmo.

A todos os meus amigos e colegas de curso, em especial Salomão David, Elias Junior e Ianina Gonzalez, obrigado pelos momentos de aprendizado, companheirismo, toda cumplicidade e fraternidade.

Aos funcionários e professores do Centro de Ciências e Tecnologia da Universidade Estadual da Paraíba, principalmente àqueles que fazem parte do Departamento de Engenharia sanitária e Ambiental, pelo apoio, orientação, amizade, paciência e conhecimentos transmitidos durante minha trajetória universitária, que certamente contribuíram para o meu desenvolvimento intelectual e formação profissional.

A Companhia de Água e Esgoto da Paraíba – CAGEPA, por me fornecer os dados e permitir que esse trabalho pudesse ser concluído.

A presença, o carinho e a cooperação de cada um foram essenciais para esta conquista. Obrigada a todos!

## RESUMO

A agricultura é um setor indispensável para o abastecimento mundial de alimentos, porém é uma atividade que desperdiça um recurso essencial para a vida: a água. O presente trabalho teve como objetivo, avaliar parâmetros importantes dos efluentes finais (EF) das estações de tratamento de esgotos - ETE's de Patos e Cajazeiras na região semi-árida do Estado da Paraíba, através dos padrões da OMS, para fins agrícolas. Os parâmetros analisados foram: pH, Condutividade Elétrica (CE), Sólidos Totais (ST), Coliformes Termotolerantes (CT), DBO e DQO. Os resultados obtidos foram analisados a partir de dados disponibilizados pela Companhia de Água e Esgoto da Paraíba – CAGEPA, para o período de 2012 a setembro de 2014. Os valores de pH se comportaram na sua maioria dentro da faixa ideal para irrigação. A CE dos efluentes finais das ETE's apresentaram restrições quanto ao uso de ligeira a moderada, podendo ser utilizados nas culturas se desenvolvem com uma quantidade moderada de sais, sendo necessário o cuidado com o manejo das mesmas. Os valores de ST exibiram salinidade alta, que pode comprometer o desenvolvimento das plantas e levar ao entupimento dos equipamentos de irrigação. O efluente final em relação à DBO e DQO foi comprometido devido a uma excessiva proliferação de algas nas ETE's fazendo com que o EF não se adequasse para irrigação. Quanto aos aspectos microbiológicos, de acordo com a OMS, os EF's não atenderam aos padrões sanitários ( $\leq 1000$  UFC/100ml) devido ao excesso de CT sendo impróprios portanto, para irrigação irrestrita. Para os padrões mais recentes da OMS, o EF de Cajazeiras, poderia ser usado para irrigação irrestrita para a opção B, de cultivo de folhosas ou para opção F, para agricultura de baixo nível tecnológico e mão de obra intensiva. Patos teve seus efluentes finais com média de  $1,31 \times 10^6$  UFC/100ml sendo impróprio para irrigação. Para maior certeza da qualidade microbiológica precisa de uma análise de ovos de helmintos nas ETE's estudadas, para saber se estão ausentes nos efluentes finais. Conclui-se que é necessária uma adequação nos sistemas de tratamento utilizados para a obtenção de efluentes dentro dos padrões recomendados para reúso e para irrigação com qualidade, sem comprometer o meio ambiente.

**Palavras-chaves:** Reúso; Esgoto; Agricultura; Coliformes.

## ABSTRACT

Agriculture is a vital sector for the world food supply, but it is an activity that wastes an essential resource for life: water. This study aimed to evaluate important parameters of the final effluent (EF) of sewage treatment plants - STP's Patos and Cajazeiras in the semiarid region of the State of Paraíba, through the WHO standards, for agricultural purposes. The parameters analyzed were: pH, Electrical Conductivity (EC), Total Solids (TS), thermotolerant coliforms (TC), BOD and COD. The results were analyzed from data provided by the Water and Sewage Company of Paraíba - CAGEPA for the period 2012 to September 2014. The pH values behaved mostly within the ideal range for irrigation. The EC of the final effluent of the STP's presented restrictions on the use of mild to moderate, and can be used on crops are developed with a moderate amount of salts, requiring care for the management of them. ST values exhibited high salinity, which can jeopardize the development of plants and lead to clogging of irrigation equipment. The effluent relative to the BOD and COD was compromised by excessive proliferation of algae in STP's causing no RU would fit for irrigation. Regarding the microbiological aspects, according to the WHO, EF's did not meet the sanitary standards ( $\leq 1000$  CFU/100ml) due to excess CT being unfit so for unrestricted irrigation. For the latest standards of WHO, the EF Cajazeiras, could be used for unrestricted irrigation for option B, growing hardwood or F option for low-tech and labor-intensive agriculture. Patos had their final effluent with average  $1,31 \times 10^6$  CFU/100ml being unfit for irrigation. For greater certainty of microbiological quality needs an analysis of eggs of helminths in the STP's studied, to learn if are absent in final effluents. It is concluded that there is a need for a fitness treatment systems used to obtain effluents within the standards recommended for reuse and for irrigation with quality without compromising the environment.

**Key words:** Reuse; sewer; Agriculture; Coliforms.

.

## LISTA DE FIGURAS

|                                                                                                      |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1 – Classificação da Riverside para a qualidade da água para irrigação.....                   | 34 |
| Figura 2 – Municípios do estado da Paraíba onde se localizam as ETE's analisadas.....                | 39 |
| Figura 3 – Vista aérea da ETE de Patos – PB, em 08 de julho de 2013.....                             | 41 |
| Figura 4 – Variação dos valores de pH do efluente final da ETE de Patos, PB, 2012 a 2014.....        | 46 |
| Figura 5 – Variação dos valores de pH do efluente final da ETE de Cajazeiras, PB, 2012 a 2014.....   | 46 |
| Figura 6 – Variação dos valores de CE do efluente final da ETE de Cajazeiras, PB, 2012 a 2014.....   | 47 |
| Figura 7 - Variação dos valores de CE do efluente final da ETE de Patos, PB, 2012 a 2014.....        | 47 |
| Figura 8 - Variação dos valores de ST do efluente final da ETE de Cajazeiras, PB, 2012 a 2014.....   | 49 |
| Figura 9 - Variação dos valores de ST do efluente final da ETE de Patos, PB, 2012 a 2014.....        | 49 |
| Figura 10 - Variação dos valores de CT do efluente final da ETE de Cajazeiras, PB, 2012 a 2014.....  | 51 |
| Figura 11 - Variação dos valores de CT do efluente final da ETE de Patos, PB, 2012 a 2014.....       | 51 |
| Figura 12 - Variação dos valores de DBO do efluente final da ETE de Cajazeiras, PB, 2012 a 2014..... | 53 |
| Figura 13 - Variação dos valores de DBO do efluente final da ETE de Patos, PB, 2012 a 2014.....      | 54 |
| Figura 14 - Variação dos valores de DQO do efluente final da ETE de Cajazeiras, PB, 2012 a 2014..... | 55 |
| Figura 15 - Variação dos valores de DQO do efluente final da ETE de Patos, PB, 2012 a 2014.....      | 55 |

## LISTA DE TABELAS E QUADROS

|                                                                                                                                                                |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabela 1 – Diretrizes para interpretar a qualidade da água para irrigação....                                                                                  | 21 |
| Quadro 1 – Critérios de qualidade da água e tratamentos indicadores para utilização de água residual urbana na irrigação agrícola e recreação, na Espanha..... | 22 |
| Tabela 3 – Classificação das águas de acordo com o total de sais dissolvidos.....                                                                              | 25 |
| Tabela 4 - Principais microrganismos de interesse da saúde pública.....                                                                                        | 27 |
| Tabela 5 - Diretrizes da OMS para irrigação de esgotos sanitários (1989 – 2005).....                                                                           | 30 |
| Tabela 6 - Diretrizes da OMS para irrigação com esgoto sanitário (WHO, 2006).....                                                                              | 31 |
| Tabela 7- Descrição sucinta dos principais sistemas de lagoas de estabilização.....                                                                            | 35 |
| Tabela 8 - Dados Físicos, Geográficos, Demográficos e Climatológicos das cidades de Patos e Cajazeiras, cidades em estudo.....                                 | 40 |
| Tabela 9 – Valores Máximos, mínimos e desvio padrão dos parâmetros analisados.....                                                                             | 44 |

.

## LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

|                 |                                                            |
|-----------------|------------------------------------------------------------|
| %               | Porcentagem                                                |
| °C              | Celsius                                                    |
| μS              | Microsiemens                                               |
| AESA            | Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba |
| ANA             | Agência Nacional de Águas                                  |
| CA <sup>+</sup> | Cálcio                                                     |
| CAGECE          | Companhia de Água e Esgoto do Ceará                        |
| CAGEPA          | Companhia de Água e de Esgoto do Estado da Paraíba         |
| CE              | Condutividade Elétrica                                     |
| DBO             | Demanda bioquímica de Oxigênio                             |
| DQO             | Demanda química de Oxigênio                                |
| EF              | Efluente Final                                             |
| EMBRAPA         | Empresa Brasileira de Pesquisas Agropecuária               |
| EPA             | Environmental Protection Act;                              |
| ETE             | Estação de Tratamento de Esgoto;                           |
| EUA             | Estados Unidos da América;                                 |
| FUNASA          | Fundação nacional de Saneamento;                           |
| KG              | Quilograma;                                                |
| L               | Litros;                                                    |

|        |                                                        |
|--------|--------------------------------------------------------|
| MG+    | Magnésio;                                              |
| ML     | Mililitros;                                            |
| NA+    | Sódio;                                                 |
| OMS    | Organização Mundial da Saúde;                          |
| ONU    | Organização das Nações Unidas;                         |
| PB     | Paraíba;                                               |
| PH     | Potencial Hidrogeniônico;                              |
| PROSAB | Programa de Pesquisa em Saneamento Básico;             |
| RAS    | Razão de Absorção de Sódio;                            |
| RN     | Rio Grande do Norte;                                   |
| SABESP | Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo; |
| SST    | Sólidos Suspensos Totais;                              |
| ST     | Sólidos Totais;                                        |
| STD    | Sólidos Totais Dissolvidos;                            |
| UFC    | Unidade Formadora de Colônia;                          |
| UFRJ   | Universidade Federal do Rio de Janeiro;                |
| USEPA  | Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos;      |
| USSL   | United States Salinity Laboratory;                     |
| WHO    | World Health Organization;                             |

## Sumário

|       |                                                                     |    |
|-------|---------------------------------------------------------------------|----|
| 1     | INTRODUÇÃO .....                                                    | 14 |
| 2     | OBJETIVOS .....                                                     | 16 |
| 3     | REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....                                          | 17 |
| 3.1   | Reúso de água.....                                                  | 17 |
| 3.2   | Reúso de efluentes na agricultura.....                              | 18 |
| 3.3   | Qualidade da água para irrigação .....                              | 20 |
| 3.3.1 | Parâmetros químicos da qualidade da água para irrigação.....        | 23 |
| 3.3.2 | Características microbiológicas .....                               | 27 |
| 3.4   | Padrões da OMS.....                                                 | 29 |
| 3.5   | Modelo de Riverside para classificação de água para irrigação ..... | 32 |
| 3.6   | Sistemas de tratamento de água residuária.....                      | 35 |
| 3.7   | Experiências de Reúso para Fins Agrícolas.....                      | 37 |
| 4     | METODOLOGIA .....                                                   | 39 |
| 4.1   | Localização e caracterização da área em estudo .....                | 39 |
| 4.2   | Aspectos geográficos e climatológicos.....                          | 40 |
| 4.3   | Desenvolvimento da metodologia .....                                | 42 |
| 5     | DISCUSSÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS.....                             | 43 |
| 6     | CONCLUSÃO .....                                                     | 57 |
| 7     | REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....                                     | 59 |

## 1 INTRODUÇÃO

Hoje em dia um das principais problemas enfrentados em várias regiões do mundo é a escassez de água. Um aumento populacional junto com a falta de gerenciamento adequado da água faz com que regiões sofram constantemente com a falta desse recurso. Segundo Mancuso (2003), aproximadamente 40.000.000 m<sup>3</sup>/ano são transferidos dos oceanos para a terra, quantidade superior à necessária para atender a população do planeta.

O Brasil é um país favorecido por ter grande quantidade de rios e mananciais superficiais, é considerado, em termos quantitativos, um dos mais ricos países em água doce do mundo e de acordo com a Agência Nacional de Águas - ANA (2012) possui uma vazão estimada em 180 mil m<sup>3</sup>. s<sup>-1</sup> que correspondem aproximadamente 12% da disponibilidade hídrica mundial. Porém a distribuição geográfica das bacias hidrográficas é irregular assim como o regime pluviométrico no território nacional, sendo a Região Atlântico Nordeste Oriental, a menos favorecida com vazão aproximada de 1,2 mil m<sup>3</sup>. Hab<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>.

Segundo a ANA (2012), a região Nordeste, com 18,2% do território nacional, inclui a maior parte da região do semiárido brasileiro. A população da região ultrapassa os 47 milhões de habitantes (28,1% da população do país). A estiagem, fenômeno que acontece por um período de tempo muito grande, cerca de seis a sete meses do ano, faz com que a produção agrícola seja limitada aos meses chuvosos da região. Caso ocorra uma diminuição dos níveis de precipitação, há um comprometimento da produção e sobrevivência do nordestino, gerando escassez de alimentos, problemas sociais intensos que se traduzem no êxodo rural e migração para os centros urbanos. Esta dependência climática afeta a vida das populações que têm na agricultura de subsistência o único meio de obtenção de renda e sustento familiar. (KONIG, 2007).

A utilização da água residuária tratada seria então uma alternativa para garantir a atividade agrícola por todo o ano e proporcionar geração de renda para pequenos agricultores. Segundo BEEKMAN (1996), como a demanda

pela água continua a aumentar, o retorno das águas servidas e o seu reúso vem reintegrando um componente determinante no planejamento, desenvolvimento e utilização dos recursos hídricos, tanto em regiões áridas, como em regiões úmidas. A utilização das águas servidas para propósitos de uso não potável, como na agricultura, representa um potencial a ser explorado em substituição à utilização de água tratada e potável (SANTOS, 2014).

Segundo Mota *et al.* (2007), o reúso de águas na agricultura, é uma forma de reciclagem de nutrientes e de água, reduzindo os impactos ambientais negativos nos corpos hídricos e no solo pelo lançamento de efluentes, dentre outros. Essa proposta é uma melhora para o meio ambiente e a saúde pública, evitando a sua degradação e evitando contaminação de alimentos.

Dentre esse contexto, o objetivo principal desse trabalho foi avaliar parâmetros importantes nos efluentes finais das ETE's de Cajazérias e Patos na região semiárida do estado da Paraíba para ser empregado, se dentro dos padrões da OMS, em fins agrícolas. O resultado da avaliação poderá auxiliar na implantação de sistemas de irrigação para cultivos que melhor se adaptam a região e a qualidade do efluente lançado.

## **2 OBJETIVOS**

### **Objetivo Geral**

Avaliar parâmetros importantes nos efluentes finais das ETE's de Cajazeiras e Patos na região semiárida do estado da Paraíba para ser empregado em fins agrícolas.

### **Objetivo Específico**

- Avaliar a qualidade dos parâmetros químicos e bacteriológico do efluente final para reúso agrícola.
- Analisar o tipo de cultura que melhor se desenvolve conforme o grau de salinidade do efluente final.
- Avaliar a viabilidade do reúso quanto aos coliformes 45°.

### 3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1 Reúso de água

Nas regiões áridas e semiáridas, a água tornou-se um elemento limitante para o desenvolvimento agrícola, industrial e urbano. Planejadores e entidades gestoras de recursos hídricos procuram, continuamente, novas fontes de recursos para complementar a pequena disponibilidade hídrica ainda disponível (BRAGA *et al.*, 2005).

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).

A utilização da água residuária é uma prática que vem sendo de suma importância para diminuição de problemas principalmente resultantes da escassez, da má distribuição e da má qualidade da água. A Organização Mundial da Saúde (WHO, 1989 *apud* KONIG *et al.* 2007), classifica o reúso como:

**Reúso indireto** – a água utilizada é descarregada em meio aquático, para que ocorra o processo de autodepuração para novamente ser usada;

**Reúso direto** – trata-se do uso direto e planejado dessas águas para fins específicos como: irrigação, indústria, recarga do aquífero e uso potável;

**Reciclagem interna** – é o aproveitamento pelo reúso interno da água visando ao seu uso original.

O reúso planejado e o não planejado, segundo Lavrador Filho (1987) *apud* Ribeiro (2013), indica que pode ser resultado de uma ação consciente e intencional. Segundo o mesmo descreve algumas terminologias para reúso da água:

**Reúso indireto não planejado da água:** ocorre quando a água, utilizada em alguma atividade humana, é descarregada no meio ambiente e novamente utilizada a jusante, em sua forma diluída, de maneira não intencional e não

controlada. Caminhando até o ponto de captação para o novo usuário, a mesma está sujeita às ações naturais do ciclo hidrológico (diluição, autodepuração).

**Reúso indireto planejado da água:** ocorre quando os efluentes, depois de tratados, são descarregados de forma planejada nos corpos de águas superficiais ou subterrâneas, para ser utilizada a jusante, de maneira controlada, no atendimento de algum uso benéfico.

**Reúso direto planejado das águas:** ocorre quando os efluentes, após tratados, são encaminhados diretamente de seu ponto de descarga até o local do reúso, não sendo descarregados no meio ambiente. É o caso com maior ocorrência, destinando-se a uso em indústria ou irrigação.

Segundo Bastos et. al. (2009) o tratamento adequado de esgoto, seja para obtenção de efluentes que atendam aos padrões de lançamento do corpo receptor, ou sua utilização produtiva, representa solução para os problemas de poluição da água e de escassez de recursos hídricos, contribuindo para a proteção ambiental e a geração de alimentos e outros produtos.

Embora o reúso seja uma ferramenta bastante útil para minimizar os problemas de escassez de água, principalmente em regiões urbanas e industrializadas, a adoção dessa prática deve ser devidamente planejada de maneira a minimizar os riscos sobre a saúde humana e sobre o desempenho das atividades na qual esta sendo aplicado o reúso (BRAGA *et al.*, 2005).

### **3.2 Reúso de efluentes na agricultura**

Segundo Júnior, Silva e Leite, (2003), o uso de águas residuárias é uma técnica milenar para irrigação de culturas agrícolas é atualmente difundida nos cinco países. A agricultura irrigada é lucrativa economicamente, porém requer grandes volumes de água, principalmente nas regiões de clima quente onde possui elevados índices de evapotranspiração como no Nordeste brasileiro. Com isso, o uso de águas residuárias tratadas para reúso na agricultura cresceu consideravelmente, por ser rico em nutrientes, portanto fonte natural de fertilizantes, garantindo uma boa produtividade das culturas irrigadas.

A Organização das Nações Unidas (ONU) revela que aproximadamente 70% de toda a água disponível no mundo é utilizada para irrigação. No Brasil, esse índice chega a 72%. A tendência de acordo com os últimos relatórios divulgados pela ONU, é que o gasto seja elevado em até 50% em 2025 nos países em desenvolvimento, e em 18% em países desenvolvidos. A agricultura, atividade que mais consome água, também contribui com a maior carga de nutrientes nos rios e lagos. Segundo EMBRAPA (1995) apud Medeiros (2007), 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.

Os esgotos domésticos contêm grande variedade de organismos patogênicos, os mais comuns são: bactérias, protozoários, vírus e helmintos (Metcalf & Eddy, 2003 apud Sousa et al. 2006). Desta forma, o maior agravante na utilização de esgoto doméstico na agricultura tem sido o aspecto sanitário. Portanto, os esgotos precisam ser tratados e a qualidade depende do grau de tratamento.

O reúso de águas residuárias na agricultura tem como objetivo o desenvolvimento sustentável dos recursos hídricos, controlando e minimizando a poluição, sendo esta uma alternativa que caso não exercida de maneira congruente, corre o risco de sérios impactos ambientais. Segundo König et al. (2007) podemos citar os seguintes impactos sobre o uso de águas residuárias:

#### *Impactos positivos*

- Aumento da produção agrícola – a produção de alimentos está agregada a um suprimento hídrico que assegure uma agricultura sustentável. O uso de águas residuárias na agricultura proporciona uma fonte alternativa de recursos hídricos e de nutrientes;
- Diminuição do custo da água industrial – nos processos industriais a água tem um custo elevado, com a reciclagem interna e/ou compra de águas residuárias se torna um fator de economia na produção;
- Diminuição do uso da água para limpeza urbana – o uso de águas residuárias tratadas para limpeza de ruas, irrigação de parques públicos e áreas de lazer constitui uma economia importante de recursos hídricos

já que para esta atividade não é necessário uma água de excelente qualidade;

- Aumento da disponibilidade de água para recarga de aquíferos – visa suprir a deficiência cada vez maior de recarga natural de aquíferos devido a crescente impermeabilização do solo urbano;
- Redução da poluição hídrica – a atividade do reúso diminui a carga poluente que seria destinada a rios e mananciais;
- Conservação do solo, pela acumulação do húmus – preserva o solo e o protege da desertificação e também de erosão;

#### *Impactos negativos*

- Poluição de aquíferos subterrâneos – poluição por assimilação de nitratos em aquíferos destinados a abastecimento humano;
- Aumento da salinidade do solo – a acumulação de contaminantes orgânicos e inorgânicos pode acarretar um considerável aumento na salinidade do solo;
- Riscos à saúde pública – quando não acompanhadas de medidas de planejamento e controle, o uso de águas residuárias pode levar riscos potenciais à saúde do trabalhador e do usuário de produtos irrigados.

### **3.3 Qualidade da água para irrigação**

A qualidade física, química e bacteriológica da água para reúso é fator relevante para os usos específicos dessa água. É preciso estabelecer critérios de qualidade que levem em conta a utilidade desta água, a fonte geradora e o tipo de tratamento associado. Segundo König *et al.* (2007) para se haver maior controle no uso de esgoto na agricultura, deve-se reduzir os riscos de contaminação por organismos patogênicos causadores de doenças, sendo primordial a adoção de critérios de qualidade e de controle como: a escolha do método de irrigação, o tratamento do esgoto, proteção ao trabalhador e restrição do tipo de cultura irrigada.

A água utilizada para irrigação deverá atender as necessidades da cultura e ao teor de água do solo, de forma a evitar ou minimizar a ocorrência de problemas para o crescimento das plantas. Uma preocupação constante

refere-se à salinidade do solo, tendo em vista que os sais dissolvidos na água de irrigação podem acumular-se na solução do solo e em torno da zona radicular, dificultando a absorção de água (BASTOS *et al* 2009).

Outros atributos de interesse do esgoto a ser utilizado na irrigação de culturas são:

- Concentração de matéria orgânica – expressa em DBO e DQO;
- Sólidos em suspensão totais, podendo trazer problemas ao equipamento de irrigação;
- Substâncias tóxicas como metais pesados e microrganismos;
- Nitrogênio, fósforo e outros nutrientes.

Ayers & Westcot (1999) *apud* Medeiros (2007) estabeleceram algumas diretrizes, no caso específico de agricultura irrigada, medindo seu grau de restrição para uso, mostrados na Tabela 1.

Tabela 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  |
| <b>Outros (afetam culturas sensíveis)</b>                            |       |                         |           |       |
| Nitrogênio (NO <sub>3</sub> – N)                                     | mg/L  | < 5,0                   | 5,0 – 30  | > 30  |
| Bicarbonato (HCO <sub>3</sub> ) –<br>apenas aspersão<br>convencional | meq/L | < 1,5                   | 1,5 - 8,5 | > 8,5 |
| pH                                                                   |       | Faixa normal: 6,5 - 8,4 |           |       |

Fonte: Ayers & Westcot (1999).

De acordo com Bastos *et al* (2009), a salinidade aumenta a velocidade de infiltração de água no solo. Contudo, a baixa salinidade ou elevada proporção de sódio em relação ao cálcio provoca redução na velocidade de infiltração do solo. Bastos *et al* (2009) comenta que os principais atributos utilizados na avaliação de problemas na infiltração de água no solo são: a condutividade elétrica (CE) e a razão de absorção de sódio (RAS).

A USEPA apud Araújo (2005) estabeleceu alguns critérios de qualidade da água e tratamentos indicadores para uso de água residual urbana na irrigação e recreação, mostrados no Quadro 1.

Quadro 1 – Critérios de qualidade da água e tratamentos indicadores para utilização de água residual na irrigação agrícola e recreação, Espanha.

| Tipo de Cultivo                                                                                                            | Tratamento Indicado                    | Nematóides Intestinais | Qualidade da Água                                                                           |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------|------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|
| Irrigação de gramas e plantas ornamentais com contato direto (Parques públicos, campos de golf, etc).                      | Secundário<br>Filtração<br>Desinfecção | $\leq 1/l$             | pH 6 – 9<br>SS < 10 mg/l<br>DBO <10 mg/l<br>CF<10/100ml                                     |
| Irrigação de gramas zonas de árvores e outras áreas onde o acesso ao público é restrito ou infrequente                     | Secundário<br>Desinfecção              | $\leq 1/l$             | pH 6 – 9<br>SS < 30 mg/l<br>DBO <30 mg/l<br>CF <200/100ml<br>Cl <sub>2</sub> res > 0.3 mg/l |
| Irrigação de cultivos para consumirem crus                                                                                 | Secundário<br>Filtração<br>Desinfecção | $\leq 1/l$             | pH 6 – 9<br>SS < 10 mg/l<br>DBO <10 mg/l<br>CF<10/100ml<br>Cl <sub>2</sub> res > 0.6 mg/l   |
| Irrigação de hortaliças e frutas assim como hortaliças para serem consumidas cozidas (não se deve recolher frutos do solo) | Secundário<br>Desinfecção              | $\leq 1/l$             | pH 6 – 9<br>SS < 30 mg/l<br>DBO <30 mg/l<br>CF<200/100ml<br>Cl <sub>2</sub> res > 0.3 mg/l  |
| Irrigação de cereais e cultivos industriais, forragem e pastos.                                                            | Secundário<br>Desinfecção              | $\leq 1/l$             | pH 6 – 9<br>SS < 45 mg/l<br>DBO <45 mg/l<br>CF<500/100ml<br>Cl <sub>2</sub> res > 0.1 mg/l  |

Fonte: USEPA *apud* Araújo (2005).

### 3.3.1 Parâmetros químicos da qualidade da água para irrigação

#### pH – Potencial Hidrogeniônico

O pH é uma variável muito importante pois exerce grande influência nas características dos corpos de água, ele mede a concentração ativa do íon hidrogênio, indica o quanto ácida ou básica a solução esteja. Segundo Bastos *et al* (2003), o pH exerce forte influencia no solo, está diretamente relacionado com a fertilidade, disponibilidade de nutrientes para as plantas, e pode interferir na solubilidade de elementos potencialmente tóxicos. Contudo, Almeida (2010) e Ayers & Westcot (1999), confirmam que um pH ideal para águas de irrigação situa-se entre 6,5 e 8,4, fora desta faixa é um indicador de anormalidade na

qualidade da água ou de presença de íons tóxicos podendo incidir negativamente na população microbiana do solo e danos ao sistema radicular.

### Condutividade Elétrica

A condutividade elétrica tem a capacidade de conduzir correntes elétricas, resultado de presença de íons (carbonatos, bicarbonatos, cloretos, sulfatos, nitratos, sódio, potássio, cálcio e magnésio) na água que transformam em eletrólitos capazes de transportar carga elétrica (APHA, AWWA, WEF, 1995 *apud* MEDEIROS 2007). A condutividade elétrica e o teor de sais dissolvidos na água tem uma relação de proporcionalidade, pode se estimar os sais pela condutividade. Os compostos orgânicos não se dissociam em água, não afetando a condutividade (MEDEIROS 2007).

### Sódio

O sódio, quando presente na água de irrigação, dificulta a permeabilidade do solo. Medeiros (2007) comenta que a deficiência de cálcio no solo é um fator que afeta a toxicidade do sódio, 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. De acordo com Passos (2011), a desproporcionalidade entre esses íons reduz a velocidade infiltração da água. Assim, a elevada concentração de sódio reduz à quantidade de água que atinge a zona radicular, obstruindo os vazios e causando a impermeabilidade do solo.

A sodicidade deve ser controlada através da medição das concentrações de  $\text{Na}^+$  (sódio),  $\text{Ca}^{+2}$  (cálcio), e  $\text{Mg}^{+2}$  (magnésio), o índice de Razão de Adsorção de Sódio (RAS) indica os limites de proporcionalidade entre estes elementos (PAGANINI, 2003 *apud* PASSOS 2011). A seguir é apresentada a equação (1) sobre a razão de absorção de sódio (RAS) (MOTA *et al* 2009):

$$RAS = \frac{\text{Na}^+}{\sqrt{\frac{\text{Ca}^{+2} + \text{Mg}^{+2}}{2}}} \quad (1)$$

Onde:  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{+2}$  e  $\text{Mg}^{+2}$  representam as concentrações de íons em solução, expressas em  $\text{mmol}_c.\text{L}^{-1}$ .

## **Carbonato e Bicarbonato**

Esses são os principais responsáveis pelo equilíbrio que governa o pH da água de irrigação. Os principais efeitos do excesso de carbonato e bicarbonatos são os problemas de precipitação nas tubulações, diminuindo a eficiência de aplicação de água e fertilizantes quando se utiliza a irrigação localizada e se pratica a fertirrigação (Burt et al, 1995 *apud* Medeiros 2007).

## **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 (MEDEIROS, 2007).

Jiménez (2001) *apud* Medeiros (2007) relata que os sólidos totais dissolvidos são medidas indiretas de sais inorgânicos dissolvidos e seu valor é proporcional à condutividade elétrica. A irrigação, quando feita com água que contem sais, estes ficam retidos no solo. Quando não são lixiviados, os sais se acumulam e diminuem a produtividade em níveis que podem prejudicar o rendimento das culturas, além disso, grandes quantidades de STD podem levar o entupimento dos equipamentos de irrigação.

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.

A literatura australiana recomenda a classificação das águas de irrigação de acordo com o total de sais dissolvidos, conforme mostra a Tabela 2.

Tabela 2 – classificação das águas de acordo com o total de sais dissolvidos.

| CLASSE | DESCRIÇÃO                    | *STD (mg/L) | **CE (ms/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). \* Sólidos Totais Suspensos;

\*\* Condutividade Elétrica

## Nitrogênio

O nitrogênio é o mais abundante dos elementos do ar atmosférico, os animais e as plantas não são capazes de metabolizá-lo na forma gasosa e retirá-lo diretamente do ar. Certas bactérias do solo convertem o nitrogênio do ar em amônia absorvida diretamente por algumas plantas. 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 (PELCZAR *et al.* 1996 MEDEIROS 2007).

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 (MEDEIROS 2007). Segundo Ayers & Westcot (1999) 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.

Ayers & Westcot (1999) comenta que o fator mais importante para as plantas é o nitrogênio total, mesmo que seu teor se expresse em forma de nitrato ( $\text{NO}_3^-$  - N), de amônio ( $\text{NH}_4^+$  - 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 1, o nitrogênio é expresso na forma de  $\text{NO}_3^-$  - 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 50mg N – NH<sub>4</sub>/L, principalmente as águas residuárias domésticas.

## **Fósforo**

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

Segundo Bastos *et al* (2009), 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. Segundo Medeiros (2007), 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.

### **3.3.2 Características microbiológicas**

A qualidade microbiológica da água para reúso é medido de acordo com padrões estabelecidos com intuito de minimizar os riscos à saúde pública.

Visto o uso de água residuária para irrigação, deve-se primeiro avaliar, suas características microbiológicas e bioquímicas, de acordo com as normas de saúde pública, tendo-se em consideração o tipo de cultura a ser implantado, 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 como pH e condutividade elétrica, (Ayers & Westcot, 1999 *Apud* Medeiros 2007).

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). De acordo com Medeiros, (2007), 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. A Tabela 3 apresenta os principais microrganismos de interesse da saúde pública.

Tabela 3 - Principais microrganismos de interesse da saúde pública.

| MICRORGANISMO | DESCRIÇÃO                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|---------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Bactérias     | <ul style="list-style-type: none"> <li>- São organismos unicelulares.</li> <li>- Apresentam-se em várias formas e tamanhos.</li> <li>- São os principais responsáveis pela conversão de matéria orgânica.</li> <li>- Algumas bactérias são patogênicas, causando doenças principalmente intestinais.</li> </ul>                                                           |
| Protozoários  | <ul style="list-style-type: none"> <li>- São organismos unicelulares sem parede celular.</li> <li>- A maioria é aeróbia ou facultativa.</li> <li>- Alimentam-se de bactérias, algas e outros microrganismos.</li> <li>- São essenciais no tratamento biológico para a manutenção de um equilíbrio entre os diversos grupos.</li> <li>- Alguns são patogênicos.</li> </ul> |
| Vírus         | <ul style="list-style-type: none"> <li>- São organismos parasitas formados pela associação de material genético (DNA ou RNA) e uma carapaça proteica.</li> <li>- Causam doenças e podem ser de difícil remoção no tratamento da água ou do esgoto.</li> </ul>                                                                                                             |
| Helmintos     | <ul style="list-style-type: none"> <li>- São animais superiores.</li> <li>- Ovos de helmintos presentes nos esgotos podem causar doenças.</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                      |

Fonte: Silva e Mara (1979), Tchobanoglous e Schroeder (1985), Metcalf e Eddy (1991), citados por Von Sperling (2005).

De acordo com Medeiros (2007), os microrganismos do grupo coliformes são indicadores de contaminação fecal por serem típicos do intestino do homem e de outros animais de sangue quente (mamíferos).

A detecção dos agentes patogênicos em uma amostra é extremamente difícil, em razão das suas baixas concentrações, o que demandaria o exame de grandes volumes da amostra para que fossem detectados os poucos seres patogênicos (von Sperling, 2005).

Seria extremamente trabalhoso e antieconômico realizar testes para detectar cada organismo patogênico no esgoto. Por essa razão. Determina-se apenas a presença de coliforme que, com relativa segurança, existe no meio sempre que os demais estão presentes (OMS, 2006).

Os coliformes termotolerantes 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 *apud* SILVA 2010). Segundo Jordão e Pessoa (1995), os esgotos brutos contêm cerca de  $10^9$  a  $10^{10}$  NMP/100 mL de coliformes totais e de  $10^8$  a  $10^9$  NMP/100 mL de coliformes termotolerantes, necessitando ser tratados por sistemas que permitam uma remoção de quatro a seis unidades  $\log_{10}$ , para atingir as diretrizes para reúso irrestrito.

Os Helmintos, parasitas do intestino humano, que são eliminados junto com as fezes das pessoas enfermas, segundo Medeiros (2007), 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. A OMS (WHO, 1989) inclui, como indicador de parasitas, o número de ovos deste parasito nas restrições para reutilização de água residuária na irrigação.

### **3.4 Padrões da OMS**

Em 1978, o departamento de Saúde Pública do Estado da Califórnia, EUA, publicou a norma "*Wastewater Reclamation Criteria*" a qual exigia que efluentes de estação de tratamento de esgotos que fossem ser utilizados para irrigação de culturas a serem consumida por seres humanos contivessem número de coliformes fecais menor que 2,2 ufc/100mL. No caso de pastagens para animais leiteiros, a água residuária utilizada não deveria conter mais de 23

coliformes fecais por 100mL. (State of California, 1978 *apud* JÚNIOR; SILVA; LEITE, 2003). No entanto, estudos posteriores sobre a evidência da transmissão de doenças através do uso de águas residuárias na agricultura (PASSOS, 2011) mostraram que os padrões microbiológicos adotados no Estado da Califórnia eram mais rígidos do que o necessário para se evitar riscos à saúde pública, provocando gastos desnecessários no tratamento dos esgotos.

Baseado nestes estudos, na reunião da OMS, em 1989, em Genebra – Suíça, um grupo de especialistas estabeleceu os critérios básicos para proteção dos grupos de riscos associados ao reúso agrícola e recomendou para efluentes líquidos, as diretrizes expressas na Tabela 4.

Tabela 4 - Diretriz da OMS para irrigação de esgotos sanitários (1989 – 2005)

| <b>Condições de Reúso</b>                                                                        | <b>Helmintos<br/>(ovos.L<sup>-1</sup>)</b> | <b>Coliformes<br/>fecais/100 mL</b> | <b>Processo de Tratamento</b>                                                                 |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------|-------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Culturas que são ingeridas cruas, campos esportivos e parques públicos</b>                    | ≤1                                         | ≤1000                               | Lagoas de estabilização em série, ou tratamento equivalente em termos de remoção de patógenos |
| <b>Culturas processadas industrialmente, cereais, forrageiras, pastores e arbóreas</b>           | ≤1                                         | ---                                 | Uma série de lagoas de estabilização com tempo total de 8 – 10 dias ou tratamento equivalente |
| <b>Irrigação localizada de culturas da categoria anterior quando não ocorre exposição humana</b> | ---                                        | ---                                 | Pré-tratamento (sedimentação primária)                                                        |

Fonte: WHO, (1989) *apud* MEDEIROS (2007).

Segundo Hespanhol (2003) 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) *apud* Medeiros (2007) 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.*

Ao longo do contínuo processo de avaliação das diretrizes da OMS foram sendo incorporadas, de forma cada vez mais convincente, as ferramentas de avaliação de risco, culminando com a publicação das novas diretrizes para utilização de água residuária na agricultura (WHO, 2006). Na formulação das novas diretrizes da OMS (Tabela 5), o “parâmetro de projeto” (maior risco tolerável de infecção) foi assumido que a remoção correspondente e necessária desde patógeno, garantiria suficiente proteção contra infecções bacterianas e por protozoários.

Tabela 5 - Diretriz da OMS para irrigação com esgoto sanitário (WHO, 2006).

| Categoria irrigação | Opção <sup>(1)</sup> | Tratamento de esgotos e remoção de patógenos (log10) <sup>(2)</sup> | Qualidade do efluente                     |                                   |
|---------------------|----------------------|---------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------|-----------------------------------|
|                     |                      |                                                                     | <i>E. coli</i> 100ml <sup>-1</sup><br>(3) | Ovos de helmintos L <sup>-1</sup> |
| Irrestrita          | A                    | 4                                                                   | $\leq 10^3$                               | $\leq 1^{(4) (5)}$                |
|                     | 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                                                                  | $\leq 10^6$                               |                                   |

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 \_ 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: \_ 0,1 ovo/L, utilização de equipamentos de proteção individual, tratamento quimioterápico. No caso da garantia da remoção adicional de 1 log10 na higiene dos alimentos pode-se admitir \_ 10ovos/L. (5) Média aritmética em pelo menos 90% do tempo, durante o período de irrigação. A remoção requerida de ovos de helmintos (log10) 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 \_ 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.

### 3.5 Modelo de Riverside para classificação de água para irrigação

Um dos critérios mais aceitos e usados para classificar a água para uso na irrigação é o de Riverside do United States Salinity Laboratory (USSL) (Figura 1). Essa classificação é baseada na condutividade elétrica (CE), medida em  $\mu\text{mhos/cm}$ , e na RAS. As categorias de água para irrigação segundo o USSL (RICHARDS, 1954 *apud* PASSOS 2011) 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  $\text{mg.L}^{-1}$ ). 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. Necessita de alguma lixiviação, porém esta se consegue em condições normais de irrigação, exceto em solos de muito baixa permeabilidade.

**C2 - águas de salinidade média** (CE entre 250 e 750  $\mu\text{mhos/cm}$  a 25°C, sólidos dissolvidos: 160 a 480  $\text{mg.L}^{-1}$ ). Devem ser usadas com precaução, podendo ser utilizadas em solos silto-arenosos, siltosos ou areno-argilosos quando houver uma lixiviação moderada do solo, na maioria dos casos não necessita de práticas especiais de controle de salinidade. 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  $\text{mg.L}^{-1}$ ). Só podem ser utilizadas em solos bem drenados. Mesmo em solos bem cuidados, devem ser tomadas precauções especiais de controle da salinização e selecionar unicamente 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 e sólidos dissolvidos: 1440 a 3200  $\text{mg.L}^{-1}$ ). 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  $\text{mg.L}^{-1}$ ). São águas utilizáveis apenas em solos excessivamente permeáveis e muito bem cuidados. Com única exceção no cultivo de palmeiras;

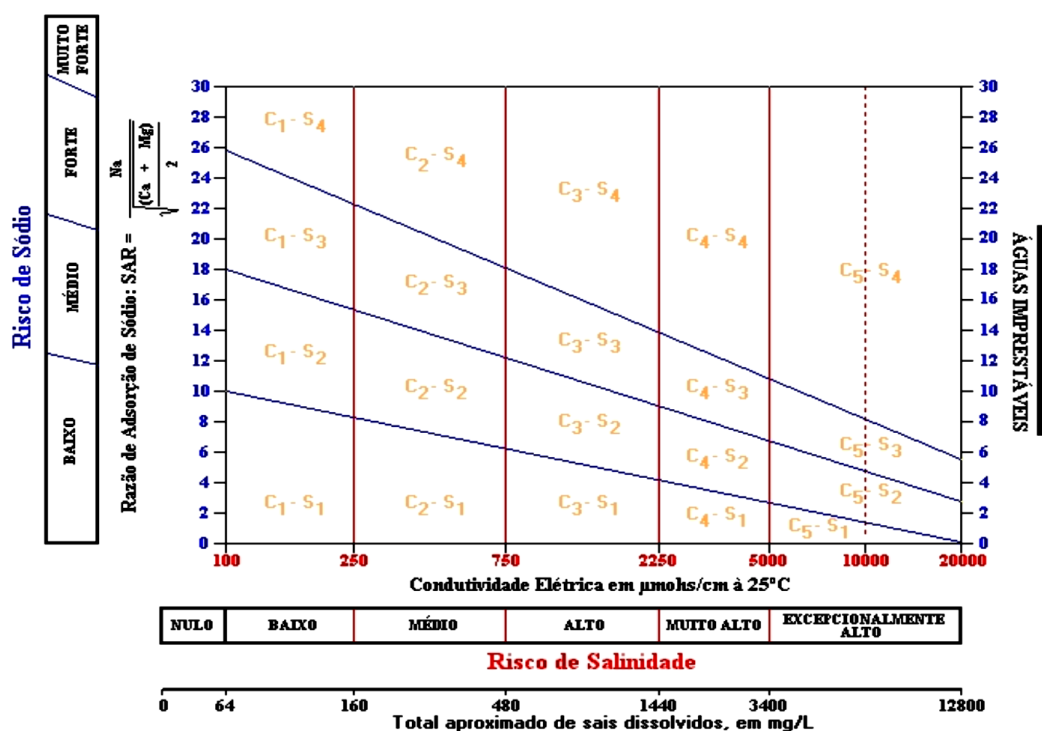
**S1 - águas fracamente sódicas;** podem ser utilizadas na maioria dos solos com pouca probabilidade de formação de teores nocivos de sódio susceptível de troca. Prestam-se ao cultivo de quase todos os vegetais;

**S2 - águas medianamente sódicas;** apresentam perigo de sódio para solos de textura fina e alta capacidade de troca de cátions, especialmente em condições de lixiviação deficiente, a menos que o solo contenha gesso. 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 1 – Classificação da Riverside para a qualidade da água para irrigação.



Fonte: Passos (2011)

### 3.6 Sistemas de tratamento de água residuária

O tratamento de águas residuárias tem como objetivo a conversão da matéria orgânica biodegradável em material inorgânico, a remoção de sólidos em suspensão e a redução ou eliminação dos microrganismos patogênicos de transmissão hídrica (MEDONÇA, 2000 *apud* MEDEIROS, 2007).

As lagoas de estabilização são uma maneira de tratar os efluentes sem que haja processos mecânicos ou artificiais no sistema de operação, processo biológico no qual, gera facilidade operacional e baixo custo de implantação, e quando projetado e operado de forma congruente, produz efluente final de qualidade notável com resultados satisfatórios. Segundo Medonça (2000) *apud* Passos (2010), os esgotos são tratados dentro do sistema por fenômenos totalmente naturais que são processos de autodepuração idênticos dos que ocorrem no ambiente natural, de biodegradação e recuperação de águas poluídas.

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 que limita a eficiência da lagoa (BASTOS *et al*, 2009). A Tabela 6 apresenta uma descrição sucinta dos principais sistemas de lagoas de estabilização.

Tabela 6 – Descrição sucinta dos principais sistemas de lagoas de estabilização

| SISTEMA           | DESCRIÇÃO                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
|-------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Lagoa facultativa | A lagoa facultativa possui uma grande área superficial, e opera em fluxo contínuo, com o esgoto afluente entrando em uma extremidade e o esgoto tratado saindo na extremidade oposta. Neste percurso, o líquido permanece na lagoa por vários dias, nos quais ocorrem processos físicos e bioquímicos que contribuem para a remoção de poluentes. A matéria orgânica associada a sólidos menores, não sedimentáveis, tende a permanecer na coluna de água e é convertida a gases e líquidos por mecanismos predominantemente aeróbios, conduzidos principalmente por bactérias. O oxigênio requerido na respiração das bactérias aeróbias é fornecido pelas algas, através da fotossíntese. A matéria orgânica associada aos sólidos sedimentáveis, tende a ir para o fundo da lagoa, onde é convertida aerobiamente por microrganismos presentes no lodo de fundo. Ocorre ainda sedimentação bastante expressiva de ovos de |

|                                     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|-------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                     | helmintos e decaimento parcial de bactérias e vírus patogênicos. A remoção de nitrogênio e fosforo é baixa.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| Lagoa anaeróbia - lagoa facultativa | A lagoa anaeróbia é mais profunda e tem menor volume e área superficial — o que dificulta a ocorrência de uma fotossíntese expressiva. Em consequência, predominam condições anaeróbias, que são responsáveis por uma remoção de cerca de 50 a 70% da matéria orgânica. A lagoa facultativa, situada a jusante, recebe, portanto, uma menor carga de matéria orgânica, o que propicia a que tenha uma menor área superficial. O sistema como um todo ocupa uma área inferior a demandada por sistemas compostos apenas por lagoas facultativas. A remoção de matéria orgânica e coliforme é um pouco mais elevada do que nos sistemas que tenham apenas lagoas facultativas, mas a remoção de nitrogênio e fosforo permanece baixa.                                                                                                                                                                                       |
| Lagoa de maturação                  | O objetivo principal da lagoa de maturação é a remoção de organismos patogênicos, após a remoção da maior parte da matéria orgânica nas lagoas precedentes (anaeróbia e facultativa). Estas lagoas são mais rasas que as lagoas facultativas, e nelas a atividade fotossintética das algas predomina com relação à respiração dos microrganismos. Ocorrem nelas condições ambientais adversas para bactérias patogênicas, como radiação ultravioleta, elevado pH, elevado OD, temperatura mais baixa que a do corpo humano, falta de nutrientes e predação por outros organismos. Ovos de helmintos e cistos de protozoários tendem a sedimentar. As lagoas de maturação são usualmente projetadas como uma série de lagoas, ou como uma lagoa única com divisões por chicanas. A eficiência na remoção de coliformes é elevadíssima. Ocorre ainda remoção parcial de nitrogênio, mas a remoção de fosforo não é elevada. |
| Lagoa de polimento                  | As lagoas de polimento se assemelham às lagoas de maturação, e de fato são projetadas como tal. Recebem esta designação por proporcionarem um polimento na qualidade do efluente de reatores anaeróbios, principalmente os reatores tipo UASB, mais utilizados em nosso país. Além da função típica de lagoas de maturação (elevada remoção de organismos patogênicos e remoção parcial de nitrogênio), é esperado que cumpram ainda com o polimento da matéria orgânica efluente dos reatores UASB, mas a elevada proliferação de algas dificulta a obtenção de efluentes com baixos teores de matéria orgânica e sólidos suspensos.                                                                                                                                                                                                                                                                                     |

Fonte: Adaptado parcialmente de Von Sperling (2002).

A OMS reconheceu que o tratamento de esgotos por SLE é a metodologia mais eficiente de remoção de organismos patogênicos (vírus, bactérias, protozoários e helmintos) e o mais recomendado para países em desenvolvimento quando se visa o reúso na agricultura (WHO, 2006). Von Sperling (2005) comenta que, somente quando bem projetados e operados os SLE podem produzir efluente com a qualidade exigida para irrigação irrestrita, atendendo os critérios da OMS.

Em um trabalho publicado por Júnior; Silva; Leite (2003), o mesmo estudou um sistema de lagoas de estabilização na cidade de Campina Grande - Pb verificando sua eficiência para alguns parâmetros (coliformes fecais, nitrogênio e fosforo) para o reúso do efluente na agricultura. Os resultados obtidos mostraram-se dentro dos padrões exigidos pela OMS, como na remoção de coliformes fecais e no excesso de nitrogênio possibilitando através desse tratamento de lagoas de estabilização eliminar o uso de fertilizantes artificiais reduzindo os custos e sem causar danos à saúde pública.

### **3.7 Experiências de Reúso para Fins Agrícolas**

A utilização de esgoto tratado para agricultura é uma estratégia para enfrentar o desperdício de água tratada em atividades que não necessitam desse grau de potabilidade.

No mundo existem vários países que a reutilização planejada esta inserida em políticas governamentais e otimização de recursos hídricos. Países como Estados Unidos da América, Israel, Austrália, Japão, Alemanha, já tem a reutilização como prática corrente.

Paulo Nobre, superintendente de tratamento de esgoto da Região Metropolitana da SABESP, fala que no Brasil, a legislação não é específica para reúso, ao contrário dos outros países que tem essa prática de longas datas e têm legislações específicas que criam parâmetros que dão ordem como fazer isso atribuindo responsabilidades, dão segurança às áreas executivas para que elas possam agir.

Para Luciano Borges, especialista da UFRJ quando a água vira política pública os resultados aparecem rápido. Hoje menos de 0,1% da água produzida no país é de reúso. Em Cingapura, por exemplo, o percentual de água reciclada chega a 30%. Israel consegue utilizar 70% do esgoto tratado aponta Luciana Borges.

Segundo a ANA, se uma cidadezinha de 20.000 habitantes tivesse o esgoto tratado, era possível assegurar água para irrigar uma área equivalente a 60 campos de futebol.

Souza *et al* (2009), em pesquisa realizada em área anexa a estação de tratamento de esgoto (ETE) da cidade de Aquiraz, na região metropolitana de Fortaleza de propriedade da CAGECE, avaliou em escala real os aspectos produtivos da cultura de mamona irrigada com esgoto doméstico tratado. Através do sistema de micro aspersão, foram testados quatro tratamentos: T1: água do poço e adubação recomendada; T2: esgoto doméstico tratado e adubação recomendada; T3: somente esgoto doméstico tratado e T4: esgoto doméstico tratado e metade da adubação recomendada. Verificou-se que as unidades irrigadas com esgoto tratado superaram as irrigadas com água, em quase todas as variáveis analisadas. A produtividade foi maior nos tratamentos irrigados com esgoto e adubação (T2) e (T4), alcançando produtividade de 1.986 e 1.412 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente. O teor de óleo contido nas sementes foi analisado e não apresentou nenhuma diferença significativa entre os tratamentos com adubação (T1, T2 e T4), sendo que o tratamento com esgoto tratado (T3) forneceu baixíssimos teores de óleo na semente.

Konig e Saraiva (2013), em pesquisa realizada entorno da ETE do município de Pendências/RN, foi conduzido um experimento de fevereiro a novembro de 2012, em escala real, numa área de 1 ha, com o objetivo de avaliar o desenvolvimento e a produtividade de Capim-elefante-Roxo, para alimentação animal e matéria prima para produção de biomassa com fins energéticos. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, com dois tratamentos: um irrigado diariamente (duas fases) e outro irrigado três vezes por semana (uma fase). A cada 20 dias foram analisados 10 plantas em cada fase. As variáveis avaliadas foram: altura da planta, diâmetro caulinar, tamanho e largura da folha. Aos 160 dias após o plantio foi feito o corte e determinada a massa verde e massa seca do capim. Os resultados obtidos foram bastante animadores, pois a produtividade nas duas fases do primeiro tratamento foi de 136 ton/ha e 121,6 ton/ha de massa verde; no tratamento (2), o rendimento foi similar, 136 ton/ha. A quantidade de matéria seca foi de 43,5 e 39 ton/ha no tratamento 1, e 37 ton/ha no tratamento 2. O resultado indica que o cultivo de capim-elefante-Roxo deve ser aprimorado no meio rural produtivo do semiárido potiguar, e, por conseguinte, na região nordeste do Brasil.

## 4 METODOLOGIA

A metodologia foi desenvolvida a partir de dados das ETE's de Patos e Cajazeiras, inseridas na região sertaneja da Paraíba, com intuito de avaliar as potencialidades do efluente final das ETE's para reúso na agricultura da região.

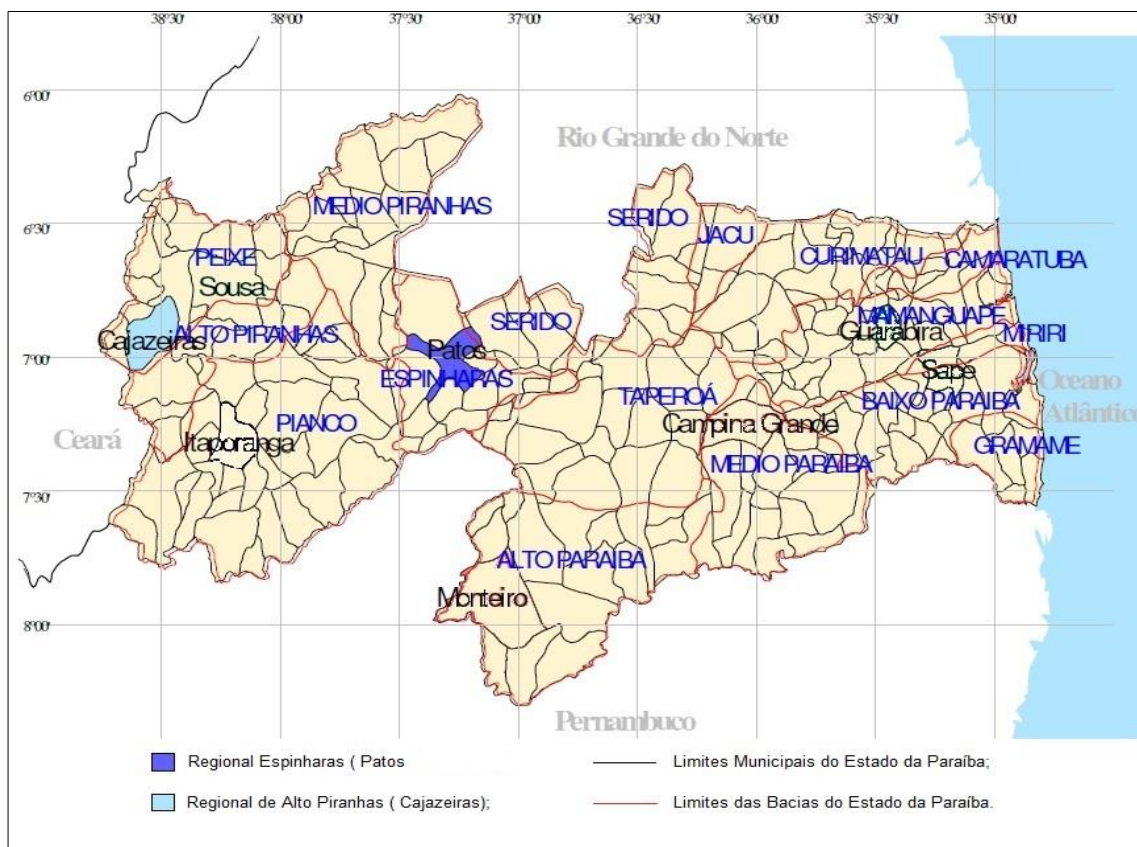
### 4.1 Localização e caracterização da área em estudo

O estudo contemplou duas (02) estações de tratamento biológico, inseridas na região da Paraíba, cujo processo se define por lagoas de estabilização, de responsabilidade da Companhia de Água e Esgoto da Paraíba (CAGEPA).

- Espinharas – ETE's de Patos;
- Alto Piranhas – ETE de Cajazeiras.

A Figura 2 mostra a localização dos municípios onde estão inseridas as referidas ETE's nas suas respectivas regionais.

Figura 2 – Municípios do estado da Paraíba onde se localizam as ETE's analisadas.



Fonte: Medeiros (2007).

## 4.2 Aspectos geográficos e climatológicos

Os dados físicos, geográficos, demográficos e climatológicos de cada um dos municípios avaliados, tais como: área, coordenadas geográficas, população, temperatura do ar (média anual) e pluviosidade estão apresentadas na Tabela 7.

Tabela 7 - Dados Físicos, Geográficos, Demográficos e Climatológicos das cidades de Patos e Cajazeiras, cidades em estudo.

| DADOS                   |                                | PATOS      | CAJAZEIRAS |
|-------------------------|--------------------------------|------------|------------|
| <b>**FÍSICO</b>         | Área (Km <sup>2</sup> )        | 508,7      | 569,9      |
| <b>**GEOGRÁFICOS</b>    | Latitude                       | 7 °01'     | 6°53'      |
|                         | Longitude                      | 37°17'     | 38°34'     |
|                         | Altitude                       | 250        | 291        |
| <b>*DEMOGRÁFICOS</b>    | Pop Total                      | 100.674    | 58.446     |
|                         | Pop Urbana                     | 97.278     | 47.501     |
|                         | Pop Rural                      | 3.396      | 10.945     |
| <b>**CLIMATOLÓGICOS</b> | T <sub>média anual</sub> (°C)  | 32,0       | 28,1       |
|                         | P <sub>pluviosidade</sub> (mm) | 800 - 1000 | 800 - 1000 |

Fonte: \* IBGE (2010), \*\* Atlas Geográfico do Estado da Paraíba.

### Município de Patos

O município de Patos está localizado na microrregião geográfica do sertão paraibano caracterizado por um clima quente e úmido, com chuvas de verão e outono. Localizado à margem esquerda do Rio Espinharas. A economia baseia-se na cultura do algodão e do feijão. As principais indústrias são as de calçado, extração de óleos vegetais e beneficiamento de algodão e cereais.

A ETE de Patos foi projetada em duas etapas, sendo a primeira de 1969 a 1977 e a segunda até 1990 para atender uma população de 110.000 habitantes. Segundo CAGEPA o sistema existente tem capacidade para atender uma população de até 142.630 habitantes até o fim de 2010. O tratamento é feito por processo biológico, com duas lagoas aeradas com dua

células funcionando em paralelo, numa área de 0,204 hectares e 2,5 de profundidade. O sistema não dispõe de tratamento preliminar (gradeamento e caixa de areia).

Figura 3 – Vista aérea da ETE de Patos – PB, em 08 de julho de 2013.



Fonte: Google Earth.

### **Município de Cajazeiras**

O município de Cajazeiras está localizado na planície sertaneja, caracterizado por um clima quente e úmido. A pluviosidade média anual de 880,6 milímetros, sendo março o mês mais chuvoso e agosto o mais seco segundo a Agência Executiva de Gestão de Águas do Estado da Paraíba (AESA). Inserido na sub-bacia hidrográfica do Rio do Peixe, na bacia do Rio Piranhas, abriga dois importantes cursos de água do estado da Paraíba: o Açude Engenheiro Ávidos e a Lagoa do Arroz. O tipo de solo predominante é o bruno não cálcico. A vegetação predominante é a Caatinga do tipo xerofítica, com espécie de plantas de médio e pequeno porte, como arbustos e cactáceas.

Segundo a Prefeitura Municipal, na agricultura, Cajazeiras produziu, na lavoura permanente de 2012, 240 toneladas de banana (em cacho), 125 toneladas de goiaba e doze toneladas de manga. Na lavoura temporária do mesmo ano foram produzidas duzentas toneladas de cana de açúcar.

A ETE d Cajazeiras é composta de uma lagoa de estabilização, do tipo facultativo, com área de 5,4 hectares e 1,5 m de profundidade, que tem forma irregular e alguns aspectos construtivos que propiciam a formação de uma extensa zona morta. A vazão de esgoto efluente é pequena e representa 14,5% de cobertura esgotada (2.389 ligações). Em razão disto, está operando com uma carga muito abaixo de sua capacidade prevista em projeto. Além disso, há direcionamento dos ventos favorecendo o crescimento de algas em zona morta dessa unidade. O sistema possui tratamento preliminar (grade e caixa de areia) e seu efluente é despejado no riacho Belo Horizonte, que pertence a Bacia Hidrográfica Piranhas. Para a ETE de Cajazeiras não obtivemos imagens de satélite pelo Google Earth para visualização.

### **4.3 Desenvolvimento da metodologia**

O trabalho iniciou com a pesquisa bibliográfica sobre a aplicação de reúso na agricultura, e em seguida coletou-se dados das ETE's selecionadas, para comparação com os parâmetros de reúso da literatura.

Para avaliação dos parâmetros, foram utilizados os laudos das análises físico-químicas e bacteriológicas disponibilizado pela CAGEPA. Os dados foram analisados por meio de ferramentas disponíveis no software da Microsoft, Office Excel (2010). No que se refere aos gráficos gerados neste trabalho, utilizou-se como recurso os gráficos disponível no mesmo software. A análise foi aplicada para o efluente final a fim de visualizar e avaliar os valores obtidos para a possibilidade de aplicação do efluente para irrigação.

O estudo foi desenvolvido para os dados dos anos de 2012 a Setembro de 2014. As amostras foram coletadas e analisadas mensalmente pelo órgão responsável pelas ETE's.

#### 4 DISCUSSÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

O Brasil não possui políticas que abrangem a utilização de águas residuárias tratadas como parte da gestão de recursos hídricos no país. Na Paraíba, as ETE's de Cajazeira e Patos lançam seus efluentes em corpos receptores, caracterizando reúso indireto. A alternativa para desenvolver a sustentabilidade ambiental seria através de ações visando o reúso das águas de esgoto na irrigação e/ou produção de alimentos, é a mais adequada para ser adotada na região semiárida paraibana. 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.

Variáveis importantes como Salinidade, Razão de Absorção de Sódio (RAS) e Teor de Boro, refletem na produtividade e na qualidade de diversas culturas, na manutenção da produtividade do solo e na proteção ao meio ambiente. Teores excessivos de sais podem diminuir a absorção de água pela planta. Altos teores de Sódio ( $\text{Na}^+$ ) em relação à concentração de Cálcio ( $\text{Ca}^+$ ) e concentração de sais solúveis diminuem a capacidade de infiltração, a desproporcionalidade entre esses íons reduz a velocidade de infiltração da água no solo. O RAS indica os limites de proporcionalidade entre esses elementos.

No efluente final das ETEs foram avaliados os seguintes parâmetros: pH, Condutividade Elétrica, Sólidos Totais, Coliformes Termotolerantes, Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) e Demanda Química de Oxigênio (DQO). Alguns parâmetros importantes como: Helmintos, Amônia, Magnésio, Sódio, Cálcio, Nitrogênio, Fósforo, não foram analisados, assim, não sendo possível sua avaliação. A análise desses dados seria de extrema importância para a prática de reúso, para avaliar o potencial de irrigação, e reduzir a problemática de poluição ambiental através dos esgotos, preservando a saúde pública e grandes volumes de águas.

Na Tabela 9 são apresentados os parâmetros de qualidade do efluente final das ETES de Patos e Cajazeiras nos anos de 2012 a 2014, com desvio padrão, valores máximos e mínimos de cada parâmetro analisado.

Tabela 9 – Qualidade do efluente final das ETES de Patos e Cajazeiras, PB.

| PARÂMETRO                                              | CAJAZEIRAS        |                   |                    | PATOS             |                   |                    |
|--------------------------------------------------------|-------------------|-------------------|--------------------|-------------------|-------------------|--------------------|
|                                                        | Máximo            | Mínimo            | Desvio Padrão      | Máximo            | Mínimo            | Desvio Padrão      |
| pH                                                     | 10                | 7,7               | 0,60               | 8,2               | 7,5               | 0,22               |
| Condutividade Elétrica ( $\mu\text{S.cm}^{-1}$ )       | 874               | 552               | 81,5               | 2710              | 1475              | 318,3              |
| Sólidos Totais ( $\text{mg.L}^{-1}$ )                  | 3345              | 474               | 559,9              | 1653              | 824               | 194,4              |
| Coliformes Termotolerantes ( $\text{UFC.100ml}^{-1}$ ) | $1,0 \times 10^5$ | $5,0 \times 10^1$ | $2,43 \times 10^4$ | $1,5 \times 10^7$ | $4,9 \times 10^3$ | $3,13 \times 10^6$ |
| *DBO ( $\text{mg.L}^{-1}$ )                            | 211,4             | 22,8              | 38                 | 95,6              | 19,5              | 17,9               |
| **DQO ( $\text{mg.L}^{-1}$ )                           | 3057,4            | 77                | 592,6              | 375,3             | 71,8              | 80,6               |

Fonte: CAGEPA (2014); \*Demanda Química de Oxigênio; \*\*Demanda Biológica de Oxigênio.

Segundo Ayeres e Westcott (1991) *apud* Passos (2011), os íons tóxicos mais frequentes nas águas de irrigação são o sódio, o cloreto e o boro. Os danos podem ser provocados pelos íons individualmente ou pela sua combinação. Ainda o mesmo autor fala que pequenas concentrações desse elemento é fundamental para o crescimento das plantas, mas em grandes quantidades esse elemento é tóxico, o Boro em pó muito fino, é duro e abrasivo para a pele. Portaria nº 2914 do Ministério da Saúde, que estabelece padrões de qualidade para água de consumo humano, não faz referência a este parâmetro, no entanto, o CONAMA recomenda valor máximo de  $0,5 \text{ mg.L}^{-1}$  para água potável.

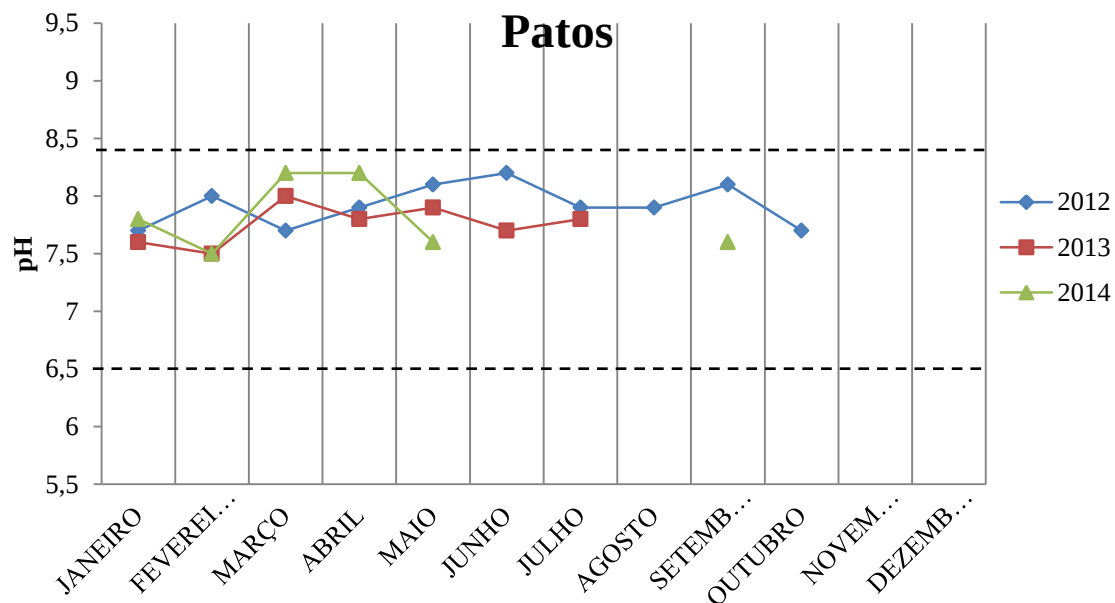
Segundo Medeiros (2007), o Nitrogênio contido na água residuária é um excelente fertilizante, mas o seu excesso, além de prejudicar o desenvolvimento das plantas, é percolado através do solo podendo chegar a altas concentrações nas águas subterrâneas, pois o solo não tem capacidade de retê-lo. O fósforo constitui um importante componente dos seres vivos, pois está ligado ao metabolismo respiratório e fotossintético, daí sua importância como adubo. De acordo com Medeiros (2007), 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.

## pH

As Figuras 4 e 5 configuram os valores de pH dos efluentes finais das cidades de Patos e Cajazeiras. Os resultados mostram distinção entre as duas ETE's, onde a Estação de Tratamento de Patos apresenta continuidade nos anos analisados ficando dentro da faixa ideal segundo Ayres & Westcot (1999), para uso do efluente final na irrigação com um valor máximo alcançado de 8,2 e mínimo de 7,5 e com média de 7,8. Cajazeiras mostra certa dispersão dos dados, se mantendo mais alcalino, tendo valor máximo e mínimo de 10 e 7,7, respectivamente, ficando com média de 8,8. Segundo Araújo et al. (2005), este comportamento pode estar associado a algum fator interferente no meio, como presença de bicarbonatos e ácido carbônico em quantidades tais que exerçam a ação tamponante.

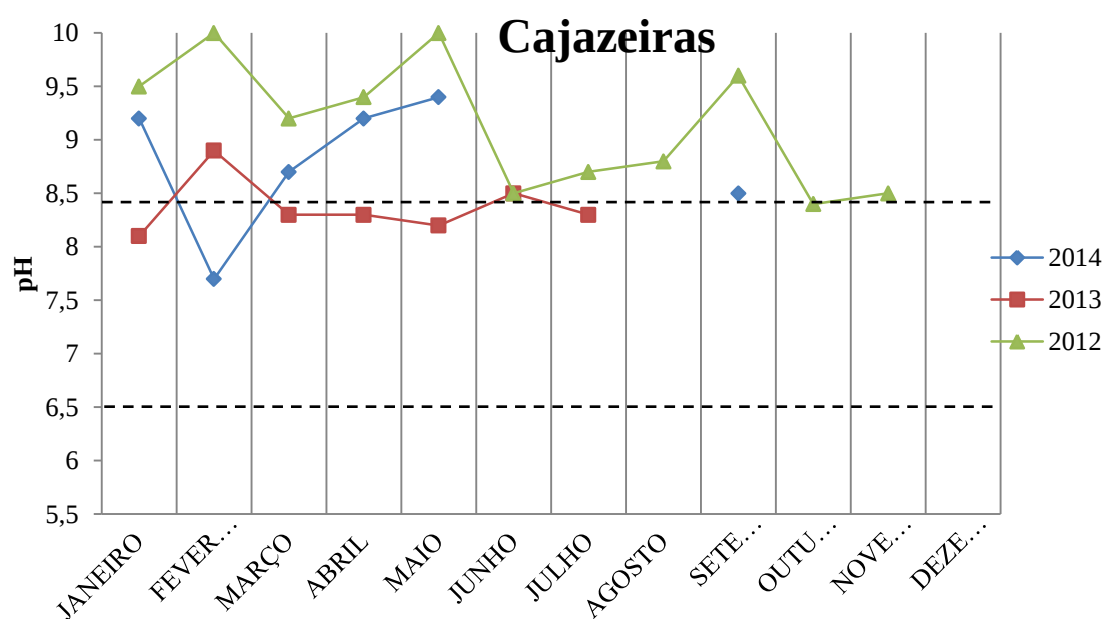
O pH fora da faixa ideal pode ser corrigido mediante aplicação de corretivos na água, embora muitas vezes se aplique a correção do pH diretamente no solo (AYRES & WESTCOT 1999). Segundo Bastos *et al* (2009), o pH exerce forte influencia no solo, está diretamente relacionado com a fertilidade, disponibilidade de nutrientes para as plantas, e pode interferir na solubilidade de elementos potencialmente tóxicos.

Figura 4 – Variação dos valores de pH do efluente final da ETE de Patos, PB, 2012 a 2014.



Fonte: Autoria própria

Figura 5 – Variação dos valores de pH do efluente final da ETE de Cajazeiras, PB, 2012 a 2014.

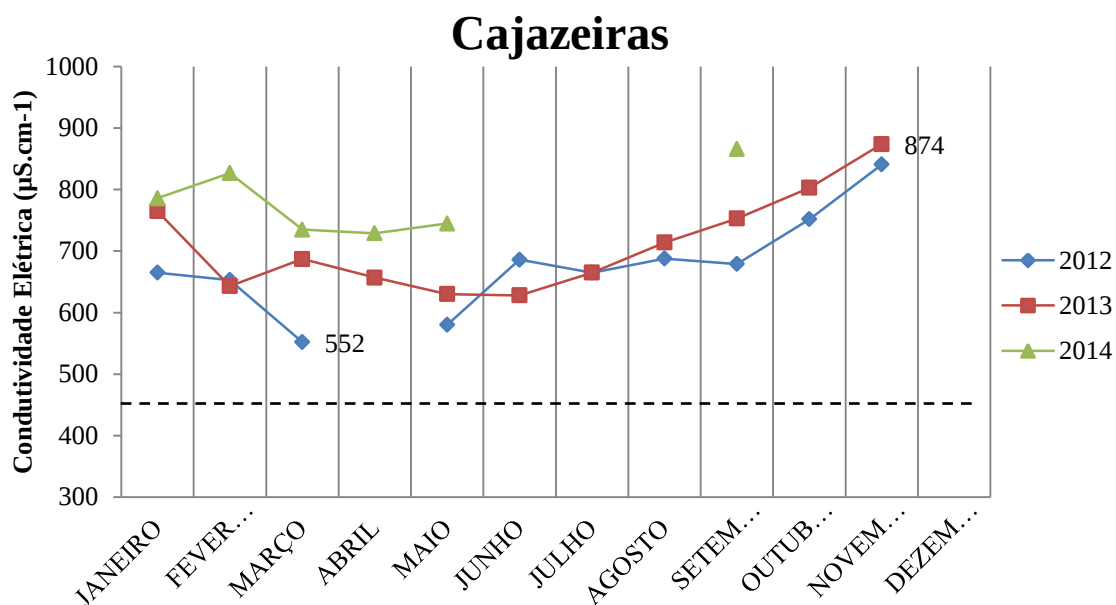


Fonte: Autoria própria

## Condutividade Elétrica

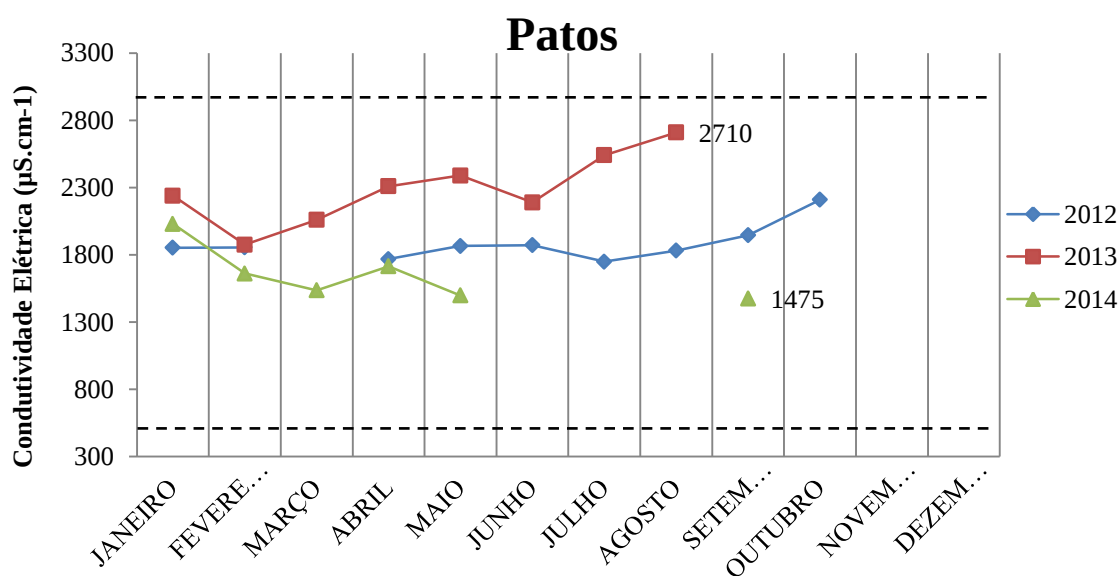
Os valores de CE dos efluentes finais das ETEs de Cajazeiras e Patos são apresentados nas Figuras 6 e 7. A CAGEPA não realizou coleta nos meses de junho a agosto nas ETE's de Cajazeiras e Patos durante o ano de 2014.

Figura 6 – Variação dos valores de CE do efluente final da ETE de Cajazeiras, PB, 2012 a 2014.



Fonte: Autoria própria

Figura 7 - Variação dos valores de CE do efluente final da ETE de Patos, PB, 2012 a 2014.



Fonte: Autoria própria

Os efluentes finais das ETE's ambas apresentaram condutividade elétrica apresentando grau de restrição para uso de ligeiro à moderada segundo a Tabela 1 descrita por Ayers e Westcot (1999).

A ETE de Patos mostrou valores altos, chegando próximo ao limite do grau de salinidade severo, tendo CE chegado a um valor máximo de  $2710 \mu\text{S.cm}^{-1}$ , média de  $1964,5 \mu\text{S.cm}^{-1}$ . De acordo com Bastos *et al.* (2009), quando 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, esse risco potencial de salinização do solo é avaliado com base na salinidade da água de irrigação que é medida através da Condutividade Elétrica.

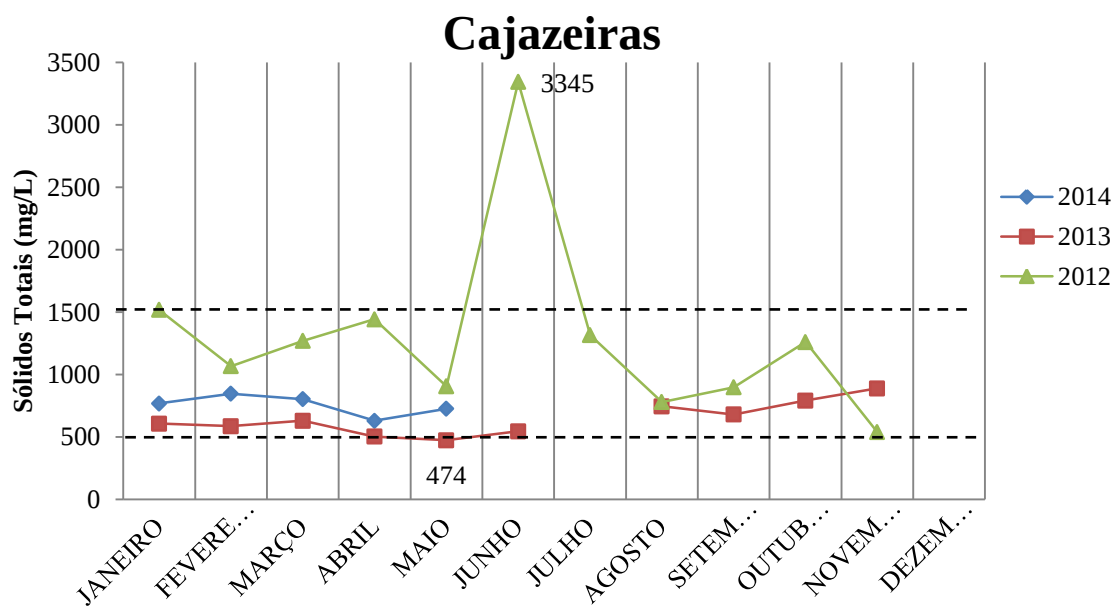
O valor médio de CE na ETE de Cajazeiras, foi de  $713,6 \mu\text{S.cm}^{-1}$ , e seus valores máximo e mínimo de  $874 \mu\text{S.cm}^{-1}$  e  $552 \mu\text{S.cm}^{-1}$ , respectivamente. Mostrou certo grau de restrição quanto ao uso desta água, de ligeiro a moderada, porém com valores menores que a ETE de Patos. Este fator pode se dar, devido a forte insolação da região tendo seus maiores valores nos períodos de seca da região que resultou numa maior concentração de sais contidos nessa água. Souza *et al.* (2000) e Abujamra *et al.* (2005) utilizaram CE com restrição de ligeiro a moderado, em culturas de arroz irrigado e forragem hidropônica do milho, como exemplo.

Os efluentes finais das ETE's analisadas só poderiam ser utilizada para irrigação de culturas com moderada tolerância salina, o que corresponde com as culturas normalmente cultivadas na região. Patos com sua produção de feijão (moderadamente tolerante) e algodão (bastante tolerante) poderia usar esse efluente para a produção durante períodos de seca da região. Cajazeiras produz cana de açúcar, também com moderada tolerância.

### **Sólidos Totais**

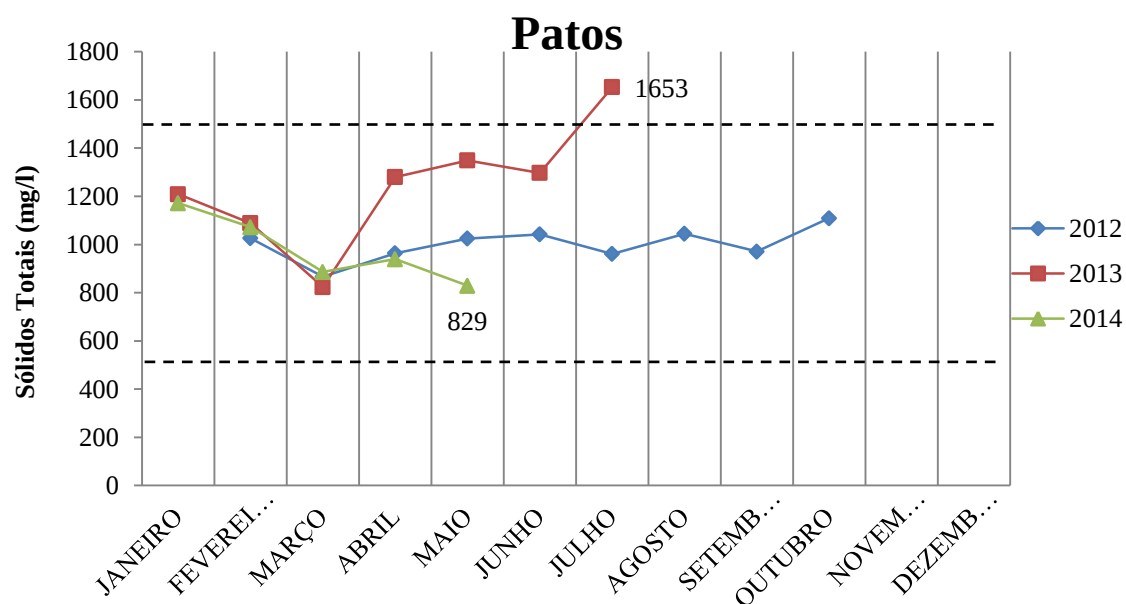
Os valores de ST dos efluentes finais das ETEs de Cajazeiras e Patos são apresentados nas Figuras 8 e 9, para o período de 2012 a 2014.

Figura 8 - Variação dos valores de ST do efluente final da ETE de Cajazeiras, PB, 2012 a 2014.



Fonte: Autoria própria

Figura 9 - Variação dos valores de ST do efluente final da ETE de Patos, PB, 2012 a 2014.



Fonte: Autoria própria

A adequação para uso em irrigação do efluente final proveniente das ETE's foi avaliada de acordo com a EPA (1991) *apud* Mancuso (2003). A presença maciça de algas influenciou a qualidade do efluente final, em destaque pra ETE de Cajazeiras.

O efluente final das ETE's analisadas apresentou descrição de um efluente com salinidade alta. A cidade de Cajazeiras obteve valor médio de ST de 945,9 mg/l, chegando a um valor máximo de 3345 mg/l, alcançado no ano de 2012 durante o mês de junho, fora de um padrão que vinha mostrando de acordo com os outros valores. Patos apresentou média de 1076,6 mg/l, tendo seu valor máximo de 1653 mg/l.

Segundo Paganini (2003), os valores de ST que se enquadrou em salinidade alta, são recomendados um maior rigor na definição da cultura a ser irrigada, essa água com esse teor de salinidade não aconselha a utilização em solos com dificuldade de drenagem. Além disso, um elevado valor de ST na agricultura pode levar o entupimento dos equipamentos de irrigação.

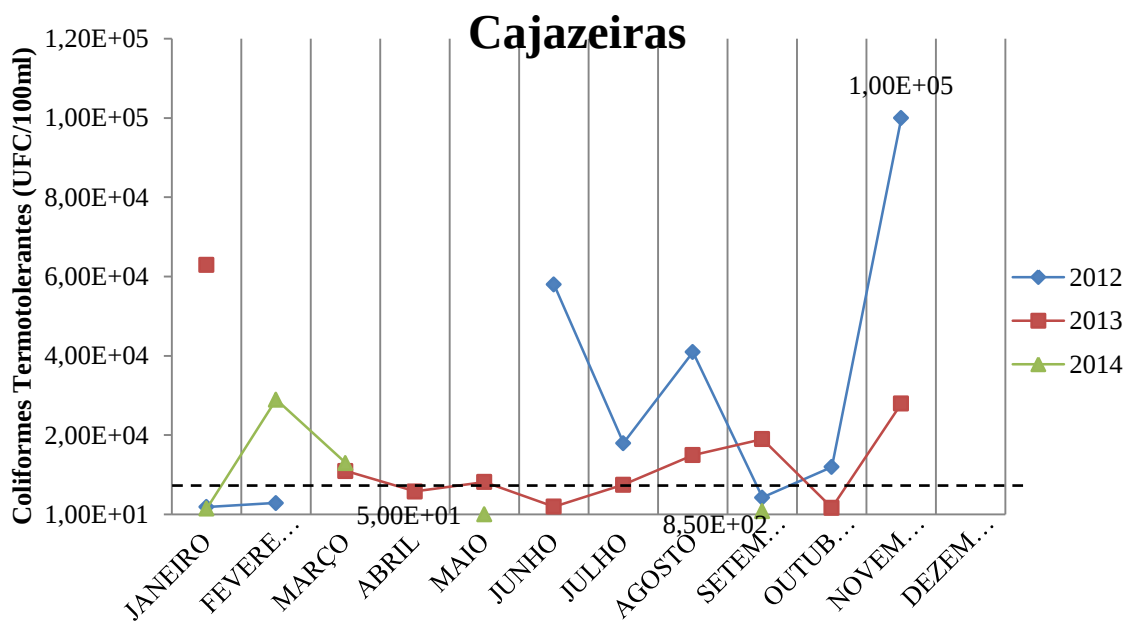
### **Coliformes Termotolerantes**

Os valores de CT dos efluentes finais das ETEs de Cajazeiras e Patos são apresentados nas Figuras 10 e 11, para o período de 2012 a 2014.

Os meses de junho a agosto não foram analisados pela CAGEPA no ano de 2014.

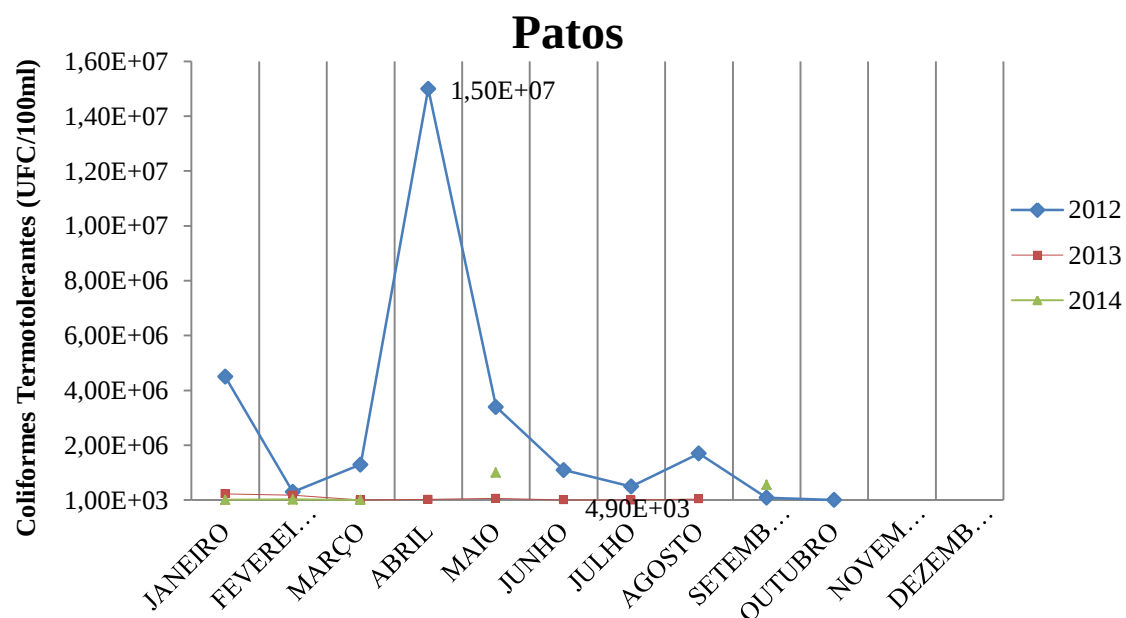
Os valores de coliformes encontrados no efluente final das ETE's em estudo mostraram variância entre  $10^1$  e  $10^7$  UFC/100ml. A maioria dos efluentes analisados não atingiu o padrão recomendado pela OMS (WHO, 2006), para ser utilizado na irrigação irrestrita na agricultura.

Figura 10 - Variação dos valores de CT do efluente final da ETE de Cajazeiras, PB, 2012 a 2014.



Fonte: Autoria própria

Figura 11 - Variação dos valores de CT do efluente final da ETE de Patos, PB, 2012 a 2014.



Fonte: Autoria própria

O efluente final de Cajazeiras mostrou variância entre  $10^3$  e  $10^4$  UFC/100ml, se comportando muito próximo a faixa para irrigação irrestrita, com média de  $1,93 \times 10^4$  UFC/100ml, segundo a OMS (2006) o valor ideal para reúso seria de  $10^3$  UFC/100ml.

O efluente de Patos, mostrou valores maiores, uma elevada concentração de coliformes termotolerantes, em torno de  $10^5$  e  $10^7$  UFC/100ml, com valor médio de  $1,31 \times 10^6$  UFC/100ml evidenciando mau funcionamento dos sistemas de tratamento, e está acima dos padrões sanitários recomendados pela OMS (2006). Segundo Bastos (2003), essas concentrações mais altas estariam próximas aos valores típicos de esgoto bruto ( $10^6 - 10^9$  UFC/100ml).

Quanto aos aspectos bacteriológicos, de acordo com a OMS, o efluente final não pode ser usados na irrigação irrestrita, pois valores de coliformes termotolerantes estavam acima do recomendado ( $\leq 10^3$  UFC/100ml). Ovos de Helmintos não foram analisado por falta de dados, sendo esse um parâmetro microbiológico importante para a OMS quanto a avaliação para a saúde pública.

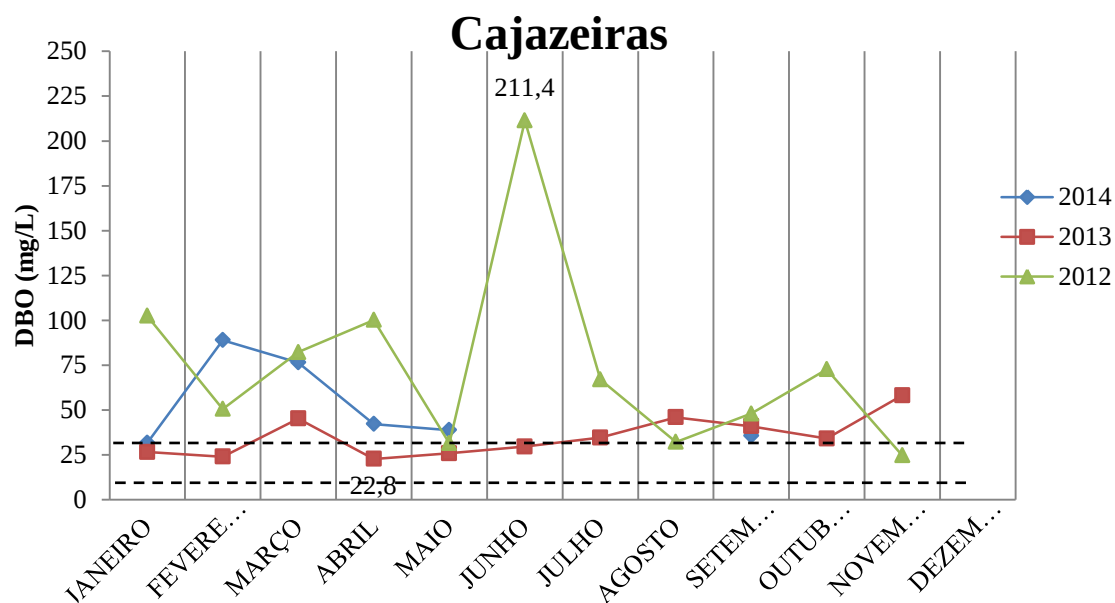
Quanto a OMS (2006), o efluente de Cajazeiras com média de  $1,93 \times 10^4$  pode ser usado na irrigação irrestrita de acordo com a opção B, de cultivo de folhosas ou na opção F, para agricultura de baixo nível tecnológico e mão de obra intensiva. Patos teve seus efluentes finais com média de  $1,31 \times 10^6$  UFC/100ml sendo impróprio para irrigação.

Os dois sistemas analisados geraram efluentes com concentrações de Coliformes Termotolerantes elevados, concluindo que os sistemas estão comprometidos, não se adequando para irrigação irrestrita ( $\leq 1000$  UFC/100ml) aos padrões da OMS (2006). Para maior qualidade microbiológica da água para irrigação, precisa de uma análise de ovos de helmintos nas ETE's estudadas, para saber se estão ausentes nos efluentes finais, se adequando aos padrões de até 1 ovo/L, tanto para irrigação irrestrita quanto para restrita.

## DBO

Os valores de DBO dos efluentes finais das ETEs de Cajazeiras e Patos são apresentados nas Figuras 12 e 13, para o período de 2012 a 2014.

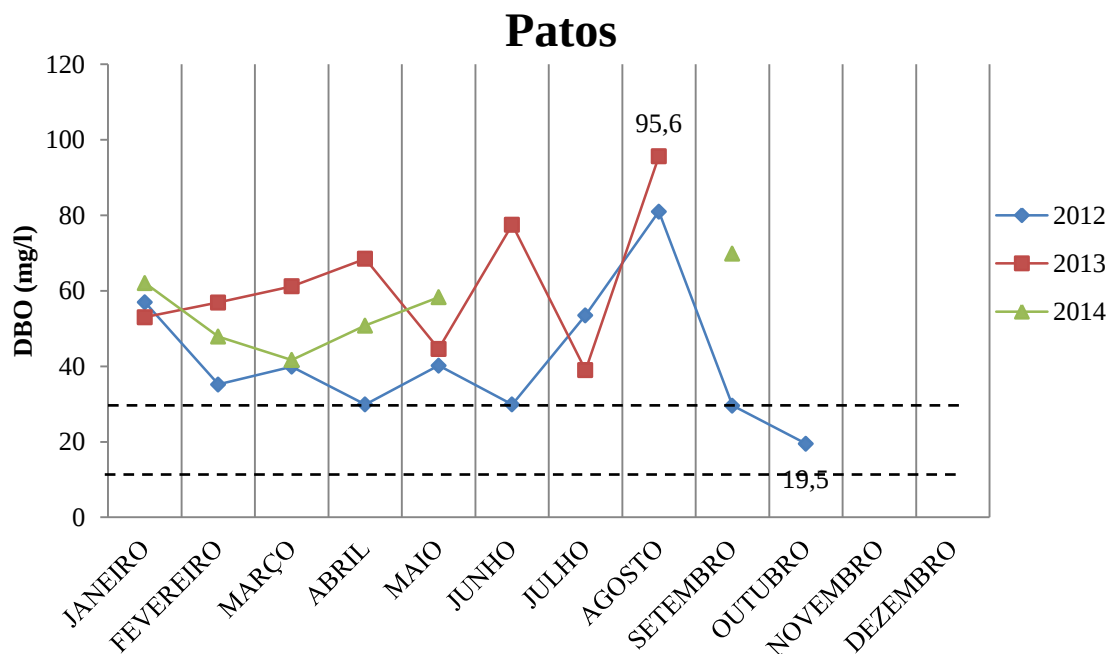
Figura 12 - Variação dos valores de DBO do efluente final da ETE de Cajazeiras, PB, 2012 a 2014.



Fonte: Autoria própria

Os valores de DBO nos sistemas de tratamento apresentaram uma variabilidade, quanto aos valores dos EF's. A ETE de Cajazeiras apresentou um efluente final com valor médio de 54,5 mg/l. Sua eficiência variou entre - 6,6% e 92,3% nos três anos avaliados, chegando a um valor máximo de 211,4 mg/l e mínimo de 31,5 mg/l, caracterizando um efluente com baixa remoção ao longo do sistema com presença elevada de biomassa de algas contribuindo para altas concentrações de DBO. Quando a DBO aumenta ocorre redução nos teores de OD, pois há um consumo de oxigênio pelos microrganismos heterótrofos aeróbicos envolvidos na biodegradação da matéria orgânica, podendo até provocar déficit de oxigênio.

Figura 13 - Variação dos valores de DBO do efluente final da ETE de Patos, PB, 2012 a 2014.



Fonte: Autoria própria

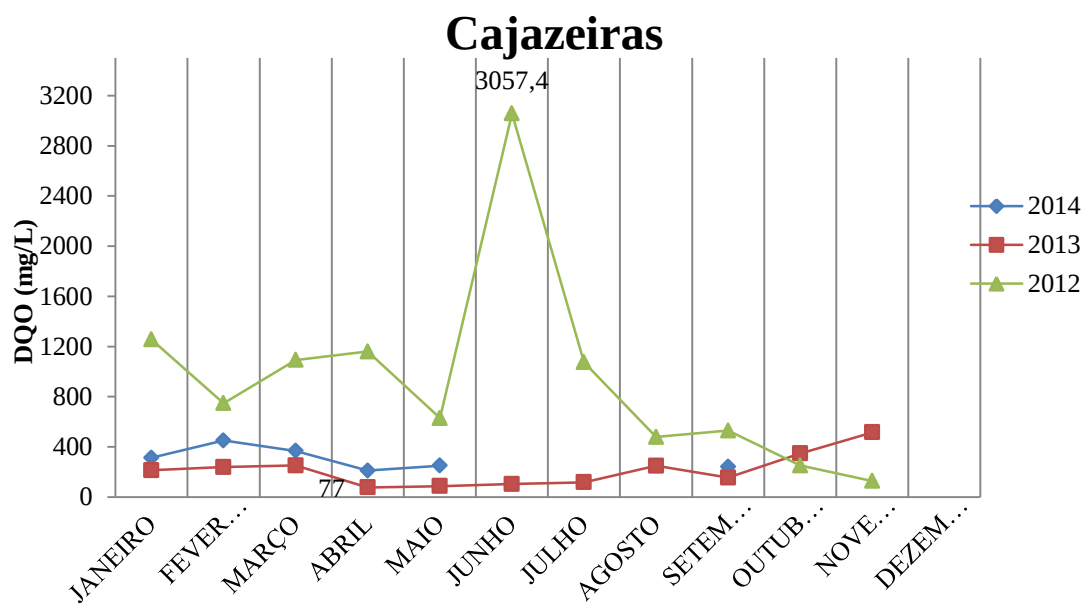
A ETE de Patos se manteve variando entre 47,9 e 88,6 % na remoção de DBO, com média de 51,8 mg/L, obteve valores máximo de 95,6 mg/l no ano de 2013 e mínimo de 19,5 mg/l no ano de 2012.

Os valores médios de DBO obtidos nas ETE's, apresentaram concentrações de DBO acima dos critérios dispostos pela USEPA (1992) *Apud* Araújo (2005), para irrigação agrícola e recreação, não sendo adequado para o uso.

## DQO

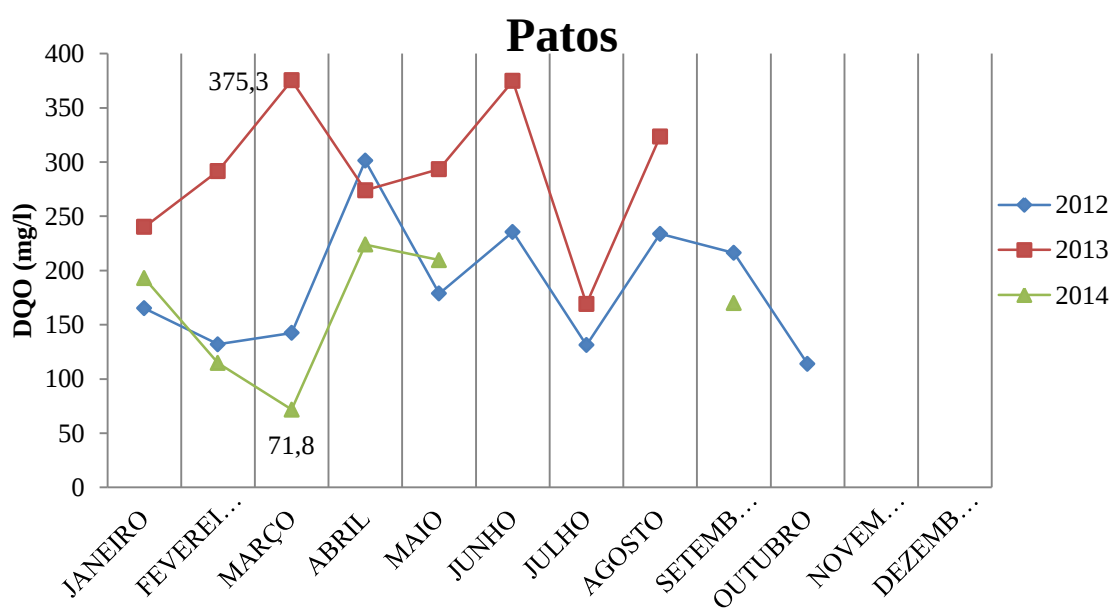
As Figuras 14 e 15 apresentam os valores de DQO dos efluentes finais das ETEs de Cajazeiras e Patos no período de 2012 a 2014.

Figura 14 - Variação dos valores de DQO do efluente final da ETE de Cajazeiras, PB, 2012 a 2014.



Fonte: Autoria própria

Figura 15 - Variação dos valores de DQO do efluente final da ETE de Patos, PB, 2012 a 2014.



Fonte: Autoria própria

As Figuras 14 e 15 mostram que as ETE's apresentaram baixíssima remoção de DQO, muitas vezes apresentando efluente final superior ao afluente da ETE. Situação possível pela presença considerável de algas no Efluente Final que interferiu negativamente na eficiência. Cajazeiras chegou a obter -618,6% de eficiência, chegando a um valor máximo de 3057,4 mg/l no mês junho do ano de 2012. Patos apresentou eficiência de -146% chegando a um valor máximo de 375,6 mg/l, ou seja, a presença de biomassa algal contribuiu para o aumento considerável dos valores de DQO.

Quanto a DQO dos efluentes finais, mostrou que as ETE's apresentaram baixíssima remoção, uma concentração expressiva de algas contribuiu para obtenção de menores eficiências, às vezes negativamente, nos períodos estudados, caracterizando um efluente final não adequado para o reúso.

## 6 CONCLUSÃO

Os dados disponibilizados pela Companhia de Águas e Esgoto da Paraíba – CAGEPA permitiu concluir que:

Os valores de pH, para Patos com média de 7,8 se comportou dentro da faixa considerada adequada para irrigação e para Cajazeiras a média de 8,8 ficou acima da faixa adequada para irrigação;

A avaliação através de Condutividade Elétrica mostra que os efluentes finais da ETE de Cajazeiras e Patos, podem ser usados em culturas que se desenvolvem com uma quantidade moderada de sais, como feijão, cana de açúcar e algodão, tendo necessidade de cuidados com o manejo dessas culturas;

Quanto aos valores de Sólidos Totais, apresentaram salinidade alta, podendo comprometer o desenvolvimento das plantas e levar ao entupimento dos equipamentos de irrigação;

De acordo com os valores de CE e ST os efluentes finais das ETE's, poderiam ocasionar problemas de infiltração do solo;

As ETE's apresentaram concentrações de DBO acima dos critérios dispostos pela USEPA, para irrigação agrícola e recreação, não sendo adequado para o uso;

Para DQO as ETE's apresentaram baixíssima remoção, e uma concentração expressiva de algas, que contribuiu para obtenção de menores eficiências, caracterizando um efluente final não adequado para o reúso;

A excessiva proliferação de algas nas lagoas influenciou diretamente sobre as outras variáveis que quantificam o material orgânico (DBO, DQO e ST);

Para qualidade bacteriológica, os dois sistemas analisados geraram efluentes com concentrações de Coliformes Termotolerantes elevados, concluindo que os sistemas estão comprometidos, não se adequando para irrigação irrestrita aos padrões da OMS (2006);

Exceto o efluente de Cajazeiras com média de  $1,93 \times 10^4$  que pode ser usado na irrigação irrestrita para cultivo de folhosas ou para agricultura de baixo nível tecnológico e mão de obra intensiva. Para ETE de Patos, todos seus efluentes finais apresentaram valores impróprios para irrigação;

Ainda, para a maior qualidade bacteriológica da água para irrigação, precisa de uma análise de ovos de helmintos nas ETE's estudadas, para saber se estão ausentes nos efluentes finais;

Contudo, é necessária uma adequação nos Sistemas de Tratamento para a obtenção de efluentes dentro dos padrões sugeridos para de maneira sustentável, ter condições de reúso para irrigação com qualidade e sem comprometer o meio ambiente.

## 7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, O. A. **Qualidade da Água de Irrigação**. Cruz das Almas – BA. Embrapa. 2010. 234p.
- ANA – Agência Nacional de Águas. **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil: Informe 2012**. Ed. Especial. 215 p. Brasília, 2012.
- ANDRADE, N. L. S. de. A cobrança pelo uso dos recursos hídricos. **Revista de Direito Ambiental**, São Paulo, n. 4, 1996.
- ARAÚJO, Germário Marcos et al. **Avaliação do Potencial do Reúso Das Águas Residuárias Tratadas, Provenientes do Sistema de Lagoas de Estabilização de Ponta Negra dm Natal – Rn**. In: **23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental**, 23., 2005, Campo Grande/MS: Abes, 2005. p. 1 - 11.
- ATHAYDE JÚNIOR, Gilson Barbosa; SILVA, João Batista Pereira da; LEITE, Valderi Duarte. Tratamento de Águas Residuárias Domésticas para Reúso na Agricultura: Alternativa para o Nordeste do Brasil. **Revista Roteiro**, Campina Grande - Pb, v. 7, n. 8, p.67-73, 2003.
- 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.
- BASTOS, Francisco Suetônio et al. **Nutrientes de esgoto sanitário: utilização e remoção**. Rio de Janeiro: Abes, 2009. 428 p. (PROSAB).
- 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. METCALF & EDDY. Inc. **Wastewater Engineering Treatment Disposal Reuse**. 4. ed. New York, McGraw - Hill Book, 2003. 1815p.

- BEEKMAN, G. B. **Qualidade e conservação da água**. In: ENCONTRO NACIONAL DE ASSISTÊNCIA TÉCNICA E EXTENSÃO RURAL, 1996, Brasília. Conferência Brasília: Associação Brasileira de Entidades de Assistência técnica e Extensão Rural, 1996.
- BRAGA, Benedito et al. **Introdução a Engenharia Ambiental**. 2. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2005. 628 p.
- FREITAS, V. P. de. **Questões vigentes de Direito Ambiental**. Seminário. [S.l.]: Centro de Estudos Judiciários do Conselho da Justiça Federal, out. 1997.
- 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.
- JORDÃO, E. P.; PESSOA, C. A. **Tratamento de esgotos domésticos**. Rio de Janeiro: ABES, 1995. v. 1.
- KONIG, Anne Marie; SARAIVA, Vanda. **Produtividade do Capim-Elefante-Roxo Irrigado com Efluente Doméstico Tratado no Semiárido Potiguar e suas Utilidades**. Pendências/RN: Holos, 2013. 46 p.
- KONIG, Annemarie et al. **Aplicação Controlada de Água Residuária e Lodo de Esgoto no Solo, para Melhorar e Incrementar a Agricultura do Semi-Árido Nordeste**. Brasília: Fundação Nacional de Saúde (funasa), 2007. 120p.
- MANCUSO, P. C. S., SANTOS H. F., **Reúso de Água**. Barueri, SP: Manole, 2003.
- MEDEIROS, Giselaíne Maria Gomes de. **Condições de Reúso dos Efluentes Finais das ETE's do Estado da Paraíba**. 2007. 108 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande - Pb, 2007.
- METCALF & EDDY. Inc. **Wastewater Engineering Treatment Disposal Reuse**. 4. ed. New York, McGraw - Hill Book, 2003. 1815p.
- MOTA, S.; AQUINO, M. D.; SANTOS, A. B. **Reúso de águas: conceitos; importância; tipos**. In: MOTA, S.; AQUINO, M. D.; SANTOS, A. B.

(Organizadores). Reúso de águas em irrigação e piscicultura. Fortaleza: Universidade Federal do Ceará – Centro de Tecnologia, 2007. cap. 1.

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.

PASSOS, Cícera Robstânia Laranjeira dos. **Avalização do impacto ambiental de efluentes de estações de tratamento de esgotos em corpos receptores no estado da Paraíba**. 2011. 105 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-graduação em Eng. Civil e Ambiental, Departamento de Centro de Tecnologia em Recursos Naturais - CTNR, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande - Pb, 2011.

RIBEIRO, José Ítalo Carneiro. **Proposta de implantação de um sistema de lagoas de estabilização conjugadas no tratamento de esgoto para fins de reúso em aquicultura e agricultura na cidade de tavares/PB**. 2013. 68 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Sanitária e Ambiental, Departamento de Centro de Ciências Tecnológicas, Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande, 2013.

SANTIAGO, Fábio dos Santos et al. **Bioágua Familiar: Reúso de água cinza para produção de alimentos no Semiárido**. Recife - Pe: Projeto Dom Helder Camara, 2012. 13 p.

SANTOS, Emanuela Araújo dos. **Reúso de Efluentes de Filtros Intermitentes Tratando Águas Residuárias para Produzir Tomate Cereja**. 2014. 54 f. Monografia (Especialização) - Curso de Engenharia Sanitária e Ambiental, Departamento de Centro de Ciências Tecnológicas, Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande - Pb, 2014.

SILVA, José Geraldo Delvaux. **Fertirrigação do Capim-Mombaça com diferentes lâminas de efluentes de tratamento primário de esgoto sanitário estabelecidas com base na dose aplicada de sódio**. 2010. 64 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais, 2010.

SOUSA, José Tavares de et al. Tratamento de águas residuárias: uma proposta para a sustentabilidade ambiental. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, Campina Grande - Pb, v. 6, n. 1, p.90-95, 2006.

SOUZA, Neyliane C. de et al. Produtividade da mamona irrigada com esgoto doméstico tratado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande/pb, v. 5, n. 14, p.478-484, 26 nov. 2009.

VON SPERLING, M. **Princípios básicos do tratamento de esgotos**. Belo Horizonte. DESA/UFGM, 2005. 211p.

WHO - World Health Organization. **Health Guidelines for the Use of Wastewater in Agriculture and Aquaculture**. Technical Report series nº 778. Geneva, World Health Organization, 1989.

WHO - World Health Organization. **WHO guidelines for the safe use of wastewater, excreta and greywater**. Geneva, World Health Organization, 2006.