



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS
PÓS-GRADUAÇÃO EM RECURSOS NATURAIS



DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

**QUALIDADE SANITÁRIA E AMBIENTAL DO GERGELIM IRRIGADO COM
ÁGUA RESIDUÁRIA TRATADA**

Mestrando: ADEMAR DE ASSIS CABRAL.

Orientador: Prof. Dr. CARLOS ALBERTO VIEIRA DE AZEVEDO.

**CAMPINA GRANDE – PB
Agosto2014**

ADEMAR DE ASSIS CABRAL

**QUALIDADE SANITÁRIA E AMBIENTAL DO GERGELIM IRRIGADO COM
ÁGUA RESIDUÁRIA TRATADA.**

Pós-Graduação em Recursos Naturais, do Centro de Tecnologia e Recursos Naturais da Universidade Federal de Campina Grande - UFCG, em cumprimento às exigências de defesa de dissertação em Recursos Naturais.

Dissertação apresentada ao curso de Mestrado em Recursos Naturais da UFCG, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Recursos Naturais.

Área de Concentração: Processos Ambientais.

Linha de Pesquisa: Qualidade, Tratamento e Uso de Resíduos Ambientais.

ORIENTADOR:

Prof. Dr. Carlos Alberto Vieira de Azevedo.

CAMPINA GRANDE–PB.

Agosto 2014



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS
PÓS-GRADUAÇÃO EM RECURSOS NATURAIS**



PARECER FINAL DO JULGAMENTO DA DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Ademar de Assis Cabral

Qualidade Sanitária e Ambiental do Gergelim Irrigado com Água Residuária Tratada.

APROVADO EM ____/____/____

BANCA EXAMINADORA:

Dra. Helvia Waleska Casullo de Araújo
UEPB

Dra. Marcia Rejane de Queiroz Almeida de Azevedo
UEPB

DR. José Dantas Neto
UFCG

DR. Patrício Marque de Sousa
UFCG

Dr. Carlos Alberto Vieira de Azevedo
UFCG – Orientador

PARECER:

CAMPINA GRANDE–PB.

Agosto 2014

DEDICATÓRIA

Dedico aos meus pais. In: memória.

Vivos: minhas desculpas por qualquer erro ou omissão.

Aos que já se foram: minhas homenagens e saudades.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, a meus professores, a meus colegas, e minha família por terem ajudado na construção desse trabalho.

Agradeço ao Professor orientador Dr. Carlos Alberto Vieira de Azevedo pela paciência e dedicada orientação, pela competência e amizade.

Aos Professores: Dr. José Dantas Neto, Dra. Helvia Waleska Casullo de Araújo, Dra. Márcia Rejane de Queiroz Almeida de Azevedo, Dr. Patrício Marque de Souza, componentes da banca examinadora, pelas importantes observações apresentadas.

EPÍGRAFE

Não aceitar nada como verdadeiro sem
saber evidentemente que o é.
Descartes

RESUMO

O objetivo desta pesquisa experimental foi verificar aspectos sanitário, ambiental e de produção do gergelim (*Sesamum indicum L.*), cv. BRS – G4, irrigado com água residuária tratada, observando-se a concentração microbiológica das sementes em comparação com o padrão *Coliformes a 45°C*, sem causar danos à saúde humana e dos animais. O experimento foi conduzido em casa de vegetação localizada no Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, da Universidade Federal de Campina Grande - UFCG, Campus de Campina Grande – PB. O delineamento experimental adotado foi do tipo blocos casualizados, num esquema fatorial 3x3 com 4 repetições, totalizando 36 parcelas experimentais, de esquema fatorial com dois fatores: duas águas residuárias tratadas pelos sistemas Wetland e UASB pós-tratado com wetland, e água de abastecimento como testemunha. No outro fator, foram três tipos de irrigação localizada, por gotejamento superficial, gotejamento subsuperficial e microaspersão. Na segunda análise do solo, realizada imediatamente após a colheita do gergelim, após cinco meses de uso de irrigação com água residuária tratada, apresentou alterações em suas propriedades físico-químicas, evoluindo para um solo salino, C3 de salinidade média, com a RAS igual a 4,23 e com percentagem de saturação de 27%. O pH de 6,6 a 6,8. Em análise microbiológica com amostras de solo coletadas após a colheita do gergelim, foi detectado concentração de $(6,6 \times 10^5 \text{ UFC}/100\text{ mL } \textit{Coliformes a 45}^\circ\text{C})$, enquanto que no solo nativo, a concentração foi de $(0,405 \times 10^3 \text{ UFC}/100 \text{ mL } \textit{Coliformes a 45}^\circ\text{C})$, atribuindo-se relação desses níveis de UFC/100mL no solo, com o uso de água residuária, que apresentou concentrações de $(\leq 1069 \text{ NMP}/100 \text{ mL } \textit{Coliformes a 45}^\circ\text{C})$ e uma taxa de remoção de bactérias de 58,31%. Entretanto, na comparação desse solo com água tratada pelo sistema UASB pós-tratado com wetland, verificou-se que a taxa de remoção de bactérias foi de 54,00% e apresentou em média, concentrações de $(\leq 989 \text{ NMP}/100 \text{ mL } \textit{Coliformes a 45}^\circ\text{C})$, para as amostras de água analisadas no período de 90 dias após o plantio (DAP), confirmando assim, de acordo com o padrão recomendado pela legislação vigente, que é de $(\leq 1000 \text{ NMP}/100 \text{ mL } \textit{Coliformes a 45}^\circ\text{C})$. Os resultados microbiológicos das sementes de gergelim, pelas análises em laboratório, nas parcelas que receberam água do sistema Wetland, revelou uma concentração $(>10^2 \text{ NMP/g } \textit{Coliformes a 45}^\circ\text{C})$, acima do padrão adotado para alimentos de origem vegetal. Embora a análise microbiológica, confirme a presença de *Coliformes a 45°C* e de *E. coli*, para os tratamentos (T_1, T_4, T_7), com valores menores ao padrão recomendado para alimentos de origem vegetal, $(\leq 100 \text{ NMP/g})$, por medida de segurança, considerou-se *Coliformes totais*. Entretanto, os resultados microbiológicos dos grãos de gergelim, produzidos com água de abastecimento, as análises de laboratório apresentam resultados semelhante aos resultados do UASB. Os tratamentos ($T_{3=1,4 \text{ nmp/g}}$, $T_{6=1,1 \text{ nmp/g}}$, $T_{9=0,36 \text{ nmp/g}}$), para as amostras analisadas, estão de acordo com o padrão e são adequadas, e devem ser recomendadas para uso na alimentação humana e de animais de sangue quente. A eficiência do sistema de irrigação, apresenta um grau de aceitabilidade regular para os sistemas de irrigação localizada, quando analisados cada sistema individualmente, para gotejamento subsuperficial, microaspersão e gotejamento superficial, com coeficiente de uniformidade de distribuição (cud) de 80%, 77% e 73% respectivamente, em relação à vazão de emissores; entretanto, apresentou um grau de aceitabilidade ruim, quando os três sistemas foram analisados em conjunto, obtendo-se um percentual de 67% (cud). A vazão dos emissores usados no experimento não foi afetada pelo tipo de água utilizado.

Palavras-chave: *Coliformes a 45°C*. Saúde humana. Água residuária. *Sesamum indicum, L.*

ABSTRACT

The purpose of this experimental research was to investigate health, environmental and production of sesame (*Sesamum indicum* L.) cv aspects. BRS - G4, irrigated with treated wastewater, observing microbiological concentration of seeds in comparison with the standard Coliforms at 45 ° C, without causing harm to human and animal health. The experiment was conducted in a greenhouse located at the Center for Technology and Natural Resources, the Federal University of Campina Grande - UFCG, Campus de Campina Grande - PB. The experimental design was randomized blocks of type, in a 3x3 factorial design with four replications, totaling 36 experimental plots of factorial design with two factors: two wastewater treated by UASB Wetland and post-treated with wetland systems, and water supply as witness. The other factor, were three types of localized irrigation, surface drip, subsurface drip and spray. In the second soil analysis performed immediately after harvesting of sesame, after five months of use of irrigation with treated wastewater, showed changes in their physicochemical properties, evolving into a saline soil, C3 medium salinity, with the same RAS 4.23 and the percent saturation of 27%. The pH of from 6.6 to 6.8. Microbiological analysis of soil, soil samples collected after harvest of sesame was detected concentration (6.6×10^5 UFC / 100mL Coliforms at 45 ° C), while in the native soil, the concentration was ($0,405 \times 10^3$ UFC / 100 mL coliforms at 45 ° C), assigning these relative levels of CFU / 100mL in the soil, with the use of wastewater, which showed concentrations ($\leq 1\ 069$ MPN / 100 ml coliforms at 45.) and a removal rate of 58 bacteria 31%. However, in comparison with that soil water treated by the UASB post-treated wetland system, it was found that the bacteria removal rate was 54.00% and showed an average concentrations (≤ 989 MPN / ml Coliforms at 100 45 ° C) for water samples analyzed at 90 DAP, thus confirming, in accordance with the standards recommended by the current legislation, the concentration (≤ 1000 NMP / 100 ml Coliforms at 45 ° C). The microbiological results of the grains of sesame, the analysis in the laboratory, for plots that received water from the wetland system, revealed a concentration (> 102 NMP / g Coliforms at 45°C) above the adopted standard. Although the microbiological analysis, confirm the presence of Coliforms at 45 ° C and *E. coli*, for the treatments (T1, T4, T7), with the lower recommended standard for plant foods, (≤ 100 NMP / g) values, measured by safety, it is considered Coliform bacteria. And the microbiological results of grain sesame, produced with the water supply, the laboratory analysis showed similar results to the results of UASB. The treatments (T3 = 1,4 nmp / g T6 = 1,1 nmp / T9 = 0,36 nmp g / g) for the samples, are in accordance with standard and are suitable, it should be recommended for use in food and of warm-blooded animals. The efficiency of the irrigation system, shows a degree of acceptability for regular drip irrigation systems, where each system individually analyzed for subsurface drip, surface drip and micro sprinkler with uniformity coefficient distribution (cud) of 80%, 77% and 73% respectively, compared to flow transmitters; however, showed a high degree of acceptability bad when the three systems were combined to give a percentage of 67% (cud). The flow rate of the emitters used in the experiment was not affected by the type of water used.

Keywords : Coliform bacteria at 45. Human health. Wastewater. *Sesamum indicum*, L.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1** - Distribuição das Parcelas ou Lisímetros na Casa de Vegetação – UFCG.....Pág.44
- Figura 2** - Vista Aérea - CTRN/UFCG. Localização da Estação de Tratamento de Esgoto (ETE). Esgoto Doméstico. Local de Extração do Solo Usado. Casa de Vegetação (7° 12' 54''S e 35° 54' 23''W. Altitude: 531m.).....Pág. 46
- Figura 3** - Foto - “A” da ETE, dos sistemas construídos UASB e Wetland, com caixa de brita. Foto “B” lateral da ETE, dos sistemas construídos UASB e Wetland, com caixa de brita, vegetadas com *Tipha sp.*.....Pág.47
- Figura 4** - Mudanças de Gergelim (*Sesamum indicum L.*) cv. BRS G4 aos 30 Dias Após o Plantio (DAP) (03/10/2013).....Pág. 48
- Figura 5** - Variável de Crescimento - Medição da altura da planta e do número de folhas do Gergelim (*Sesamum indicum, L.*).....Pág. 49
- Figura 6** -Varável de Crescimento - Medição do diâmetro do caule da planta.Pág. 49
- Figura 7** - Varável de Crescimento - Medição da Largura e do Comprimento das folhas.....Pág. 50
- Figura 8** - Lisímetros de Plantio com detalhes dos gotejadores e do microaspersor, usados no experimento.....Pág. 55
- Figura 9** - Detalhes das linhas de irrigação pressurizadas, adaptadas aos lisímetros de plantio e drenagem, usados no experimento.....Pág. 56
- Figura 10** - Sistema de Irrigação Pressurizado com detalhe de eletrobombas, tubulação de saída, registros, manômetros e linhas laterais.....Pág. 57
- Figura 11** – Concentrações de *Coliformes* a 45°C em Sementes de Gergelim.....Pág. 62
- Figura 12** – Concentrações de *Coliformes* a 45°C em Sementes de Gergelim.....Pág. 65
- Figura 13** - Concentrações de *Coliformes* a 45°C em Sementes de Gergelim.....Pág. 65
- Figura 14:** Contração de *Coliformes* a 45°C na Água de Irrigação do Gergelim.....Pág. 67
- Figura 15** – Potencial Hidrogeniônico (pH) dos Efluentes Usados na Irrigação do Gergelim.....Pág. 72
- Figura 16** – Condutividade Elétrica (CE) das Águas Usadas na Irrigação do Gergelim *Sesamum indicum. L.*).....Pág. 73
- Figura 17** – Demanda Química de Oxigênio (DQO), Encontradas nos Efluentes Tratados Usados na Irrigação do Gergelim (*Sesamum indicum, L.*).....Pág. 74

Figura 18 – Concentrações de Fósforo Total Encontrados no Esgoto Bruto e nos Efluentes Tratados Usados na Irrigação do Gergelim (<i>Sesamum indicum, L</i>) no Experimento.....	Pág. 76
Figura 19 – Concentrações de Nitrogênio Total Encontrados no Esgoto Bruto e nos Efluentes Tratados Usados na Irrigação do Gergelim.....	Pág. 78
Figura 20 -. Desenvolvimento Fenológico de Plantas de Gergelim aos 30, 45 e 75 Dias Após o Plantio (DAP).....	Pág. 79
Figura 21 – Resultados das Estruturas do Gergelim no Período Fenológico da Planta.....	Pág. 89
Figura 22 – Área Foliar do Gergelim Durante o Experimento.....	Pág. 91
Figura 23 – Evolução do Peso Seca e da Fitomassa Total do Gergelim Irrigado com Água Residuária Tratada e Água de Abastecimento.....	Pág. 92
Figura 24 – Representação Gráfica da Produtividade do Gergelim Irrigado com Água Residuária Tratada e Água de Abastecimento.....	Pág.93

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Distribuição dos Tratamentos e Repetições.....	Pág. 44
Tabela 2 - Tratamentos em Blocos Inteiramente Casualizados.....	Pág. 45
Tabela 3 - Fórmulas para cálculo de índices utilizados na análise de crescimento do gergelim.....	Pág. 50
Tabela 4 - Análise de Solo – Características Químicas e Físicas do Solo Usado no Experiment.....	Pág. 52
Tabela 5 – Qualidade de Água Usada no Início do Experimento Conforme Índices Encontrados na Água de Abastecimento e nos Efluentes Tratados.....	Pág. 53
Tabela 6 - Adubação para vasos em Casa de Vegetação.....	Pág. 53
Tabela 7 - Critérios Utilizados na Caracterização dos Resultados do CUD.....	Pág. 59
Tabela 8 - Padrões Microbiológicos Sanitários para Alimentos de Origem Vegetal.....	Pág. 63
Tabela 9 - Diretrizes de Qualidade Microbiológica para Águas Residuárias Tratadas e Uso na Irrigação de Culturas ^a	Pág. 69
Tabela 10 - Alcalinidade e Ácidos Graxos Voláteis na Água de Irrigação.....	Pág. 71
Tabela 11 – Condutividade Elétrica (CE). Concentração de Cálcio, Magnésio e Sódio. Relação de Adsorção de Sódio (RAS) e Classe de Água, Encontrados nos Efluentes Tratados e Usados na Irrigação do Gergelim (<i>Sesamum indicum</i> , L) no Experimento.....	Pág. 80
Tabela 12 – Parâmetros de Salinidade e Sodicidade na Interpretação da Qualidade da Água de Irrigação.....	Pág. 81
Tabela 13 – Padrões de Lançamento de Efluentes de Esgotos Sanitários.....	Pág. 83
Tabela 14 – Resultado de Análise Inicial e Final Referente às Características Químicas o Solo Usado no Experimento.....	Pág. 84
Tabela 15 - Critérios para Classificação de Salinidade e Sodicidade do Solo.....	Pág. 85
Tabela 16 - Influência da Salinidade do Solo no Crescimento das Plantas.....	Pág. 85
Tabela 17 – Concentração Microbiológica, Antes e Pós o Uso do Solo com Água Residuária Tratada.....	Pág. 87
Tabela 18 - Valores Médios das Variáveis da Cultura do Gergelim, Encontrados aos 120 Dias Após Plantio (DAP).....	Pág. 89
Tabela 19 – População de Plantas por Hectare (ha), de Acordo com Espaçamentos Entre Fileiras e o Número de Plantas por Metro (m) Linear.....	Pág. 94

Tabela 20 – Vazão Média de Emissores em Testes no Experimento de Gergelim.....Pág. 95

Tabela 21 – Resultados dos Cálculos de CUD e EA, em Função dos Tipos de Água Tratada, dos Sistemas de Irrigação Localizada e da Pressão do Sistema Pressurizado.....Pág. 97

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

IDH - Índice de Desenvolvimento Humano.....	Pág. 19
Wetland construído - são sistemas que utilizam plantas (macrófitas) em substratos: solo, areia, brita ou cascalho, onde em condições ambientais adequadas, ocorrem processos físicos, químicos, e bioquímicos de tratamento de água residuárias.....	Pág. 19
UASB - Upflow Anaerobic Sludge Blanket: Reator anaeróbico de fluxo ascendente, usado no tratamento de água residuária.....	Pág. 19
<i>Sesamum indicum</i> L. - Nome científico do gergelim	Pág. 20
cv. BRS G4 - Cultivar Brasil G4.....	Pág. 20
CNPA G4 - Centro Nacional de Pesquisa do Algodão, deu origem à sigla BRS G4.....	Pág. 21.
Zirra FAO 51284 - Cultivar de gergelim que deu origem à cv. BRS G4.....	Pág. 21
kg - Abreviatura referente à unidade de medida quilograma	Pág. 22
ha - Abreviatura da unidade de área hectare.....	Pág. 22
m - Referente à unidade de medida metro.....	Pág. 22
% - Referente à porcentagem.....	Pág. 22
LSGI-5 - Um tipo de linhagem genética de gergelim.....	Pág. 23
mm - Referente a unidade de medida em milímetro.....	Pág. 25
Fe - Abreviatura de ferro, elemento químico da tabela periódica.....	Pág. 27
t.ha ⁻¹ - Unidade de medida que significa tonelada por hectare (ha).....	Pág. 29
N-P-K - Fórmula de adubação onde nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K).....	Pág. 29
GEE - Gases de Efeito Estufa, que influenciam no aquecimento global.....	Pág. 32
CO ₂ - Óxido de Carbono (gás carbônico).....	Pág. 32
CH ₄ - Hidróxido de carbono.....	Pág. 32
N ₂ O - Óxido de Nitrato.....	Pág. 32
NH ₃ - Gás metano.....	Pág. 32

M ha - Mega Hectare (ha), significa grandeza (1ha x 10 ⁶).....	Pág. 32
M t - Mega Tonelada (t) ou (1tonelada x 10 ⁶	Pág. 32
C - Elemento da tabela periódica, designa carbono (C).....	Pág. 32
mg.L ⁻¹ - Unidade de medida, significa miligrama(mg) por litro (L).....	Pág. 33
P ₂ O ₅ - Encontrado em adubo químico: Fósforo(P) na forma assimilável pelas plantas.....	Pág. 33
K ₂ O - Encontrado em adubo químico: Potássio(K) na forma assimilável pelas plantas.....	Pág. 33
pH - Unidade de medida de alcalinidade ou de acidez de um meio.....	Pág. 33
H ⁺ , Ca ²⁺ , Mg ²⁺ , K ⁺ e Na ⁺ íons de Hidrogênio (H), Cálcio (Ca), Magnésio (Mg), Potássio (K) e Sódio (Na).....	Pág. 34
h.ano ⁻¹ - Medida de luminosidade: horas por ano ou período luminoso de 1 ano.....	Pág. 34
CONAMA - Conselho Nacional de Meio Ambiente.....	Pág. 35
UFC/100 mL) - Unidade Formadora de Colônia (UFC) por 100 mililitros (mL).....	Pág. 36
TDH - Tempo de Detenção Hidráulico.....	Pág. 38
mg O ₂ . L ⁻¹ - Miligrama (mg) de Oxigênio por Litro (L).....	Pág. 38
Macrófitas aquáticas - Formam um conjunto de plantas que crescem em meio aquático, nos solos saturados ou alagados.....	Pág. 40
N-NO ₃ - Fórmula química do nitrato.....	Pág. 41
(NO ₂ -) - Representação química do nitrito.....	Pág. 41
O ₂ - Representação química do oxigênio.....	Pág. 41
OMS - Organização Mundial de Saúde.....	Pág. 42
Lisímetro - Vasos de polietileno usados para o plantio, usados com mesmo tipo de solo, plantas e para medição da água drenada.....	Pág. 44
ETE - Estação de Tratamento de Esgoto.....	Pág.46
DAP - Dias Após o Plantio.....	Pág. 47
(NMP/g) - Número Mais Provável por grama.....	Pág. 60
(NMP/mL) - Número Mais Provável por mililitro.....	Pág. 67
ANVISA - Agencia Nacional de vigilância Sanitária.....	Pág. 69

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	18
2 OBJETIVO	20
2.1 Objetivo Geral	20
2.2 Objetivo Específico	20
3 REVISÃO DE LITERATURA	21
3.1 Origem, Introdução e Importância do Gergelim (<i>Sesamum indicum L</i>)	21
3.1.1 Aspectos Gerais da cultura	22
3.1.2 Características de Produção do Gergelim	22
3.1.3 Material Genético do Gergelim	23
3.1.4 A Importância Social e Econômica do Gergelim	24
3.2 A Importância da água e Impacto na Irrigação	25
3.2.1 Efeitos da Água nas Culturas Irrigadas	26
3.2.2 Problemas Relacionados à Qualidade da Água de Irrigação	27
3.2.3 Manejo da Irrigação Localizada	28
3.2.4 Irrigação Localizada e Água Residuária no Cultivo do Gergelim	29
3.2.5 Efeitos da Água Residuária Tratada no Crescimento do Gergelim	30
3.2.6 Desenvolvimento Vegetativo do Gergelim em Função do Reuso	31
3.3 Impacto ambiental do solo Irrigado com Água residuária Tratada	31
3.3.1 Disponibilidade de Nutrientes	33
3.3.2 Potencial Hidrogeniônico	34
3.3.3 Matéria Orgânica em Solos Irrigados com Água Residuária Tratada	35
3.3.4 Contaminação do Solo por Termotolerantes	35
3.3.5 Contaminação do Solo por outros Biocontaminantes	36
3.4 Demanda Química de Oxigênio (DQO)	37
3.5... Água Residuária Tratada e os Impactos na Saúde Humana	38
3.5.1 Impactos Relacionados à Presença de <i>Coliformes. termotolerantes</i>	41
3.5.2 Impactos Relacionados à Presença de Outros Biocontaminantes	42

4	MATERIAL E MÉTODO	44
4.1	Delineamento Experimental Inteiramente Casualizado	44
4.2	Localização do Experimento	45
4.3	Condução do Experimento	46
4.4	Manejo da Cultura do Gergelim (<i>Sesamum indicum L</i>)	47
4.4.1	Escolha Genética, Plantio e Controle Fitossanitário	48
4.4.2	Variáveis de Crescimento do Gergelim	48
4.4.3	Variáveis de Produção e Fitomassa do Gergelim	51
4.5	Material de Solo Usado no Experimento	51
4.5.1	Plano de Adubação Usado no Experimento	53
4.5.2	Impacto do Uso do Solo Durante o Experimento	54
4.6	Avaliação dos Sistemas de Irrigação Localizada	55
4.6.1	Variáveis Sobre a Eficiência de Irrigação Localizada	56
4.6.2	Manejo de Irrigação	59
4.7	Reuso de Água Residuária Tratada na cultura do Gergelim	60
4.8	Qualidade Microbiológica dos Grãos de Gergelim	60
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	61
5.1	Qualidade Sanitária do Gergelim Irrigado com Efluentes Tratados	61
5.2	Qualidade Sanitária do Efluente Bruto e das Águas Residuárias Tratadas	66
5.2.1	Concentração de <i>Coliformes a 45°C</i> na Água de Irrigação	66
5.2.2	Características Físico-químicas dos Efluentes Utilizados	69
5.2.2.1	Potencial Hidrogeniônico das Águas de Irrigação	71
5.2.2.2	Condutividade Elétrica das Águas Usadas na Irrigação	72
5.2.2.3	Demanda Química de Oxigênio (DQO)	74
5.2.2.4	Concentração de Fósforo	75
5.2.2.5	Concentração de Nitrogênio	77
5.2.2.6	Concentração de Compostos Complexos das Águas Usadas	79

5.3	Qualidade Sanitária e Ambiental do Solo Usado	82
5.3.1	Atributos Físico-químicos do Solo Após Reuso	83
5.3.2	Características Microbiológicas do Solo Após Reuso	86
5.4	Crescimento, Desenvolvimento e Produção do Gergelim	88
5.4.1	Efeitos da Água Residuária Tratada na Cultura de Gergelim	89
5.5	Avaliação da Irrigação Localizada com Água Residuária Tratada	94
6	CONCLUSÕES	99
7	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	101

1. INTRODUÇÃO

A tendência de suprir a crescente demanda de alimentos, ocasionada pela expansão demográfica e exigências pela qualidade de produtos saudáveis, o homem vem modificando intensamente o ambiente em que vive. Para aumentar a produção e atender às exigências dos consumidores, utiliza-se de tecnologias que ocasionam impactos na natureza, que acabam por interferir na saúde das pessoas, no meio ambiente e na vida do planeta.

Investimentos em alternativas de baixo custo e de alta eficiência, no tratamento de águas contaminadas pelo excessivo lançamento de efluentes industriais, domésticos e de resíduos originados da atividade agrícola, que passa a ser de fundamental importância, com vistas a minimizar o cenário de carências já existente no país, de modo particular nas comunidades rurais, que diante da limitada disponibilidade de água doce de qualidade, utilizam-se qualquer água de fácil acesso, sem nenhum critério, na irrigação de plantas destinadas à alimentação, que possibilitam a disseminação de doenças, à população consumidora.

Fator relevante na América Latina, em particular no Brasil, é a excessiva poluição dos corpos aquáticos, decorrente do inadequado controle de poluentes lançados em efluentes industriais e nos esgotos domésticos.

Nos países em desenvolvimento, a falta de saneamento básico acarreta graves problemas de saúde pública e ambiental. Sendo assim, é de fundamental importância, destinar recursos para a execução de redes de saneamento básico e incentivar as linhas de pesquisas que levem em consideração as realidades ambiental, social e econômica, coerente com as realidades de cada país.

Além da questão sanitária, é relevante considerar a problemática da eutrofização, que entre outros fatores, é recorrente a utilização de agrotóxicos e o excesso de produtos nitrogenados na fertirrigação das terras agrícolas, cujos resíduos acabam contaminando os corpos d'água, como os rios, lagoas, lagos e aquíferos.

A degradação ambiental nesses locais atingem os mananciais de água doce e agridem também os solos, aumentando os problemas de erosão que podem piorar, mais ainda à falta de drenagem pluvial, além do lançamento direto de esgotos, nos cursos d'água, que recebem os resíduos depositados no solo e são arrastados pelas águas pluviais. Logo, a combinação dessas pressões agravam as resultantes da degradação dos solos, e a poluição dos corpos d'água,

afetando o sistema produtivo agrícola em função do sistema solo-água-planta, com graves consequências à saúde pública.

Independentemente do sistema de cultivo, o consumo de vegetais “in natura” ou crus, como as frutas e hortaliças, constituem importante meio de transmissão de várias doenças infecciosas, agravando-se esse quadro, em regiões de baixo IDH e de elevada escassez d’água, como por exemplo, na região nordeste do país. A água de irrigação pode apresentar grande quantidade de Biocontaminantes como *Coliformes termotolerantes*, *Salmonelas*, *ovos de Helminths*, cistos de *Protozoários* e outros, associados às descargas de esgotos ou até mesmo à presença de animais que pastam próximos às áreas agrícolas.

Portanto, a água como importante indicador de degradação do meio ambiente, torna-se relevante seu estudo aliado a novas técnicas e desenvolvimento de pesquisa, como no caso em estudo, no reuso de água de esgotos domésticos ou de áreas úmidas, também conhecidas como wetland, para uso em atividades agrícolas, em particular nos sistemas Wetland construído e um reator UASB, com pós-tratamento por wetland, utilizando-se efluentes de esgoto sanitário para obter água residuária tratada, e reusar na irrigação de culturas, para alimentação humana e animal.

Entre outras culturas, pode-se utilizar o cultivo do gergelim (*Sesamum indicum*, L.), nesse processo, que é uma planta considerada pelos estudiosos, como boa fonte de alimento e de renda, cujas sementes ou grãos, são usados na indústria química de óleos, podendo ainda ser aproveitado como fonte de matéria prima na produção de energia renovável, como é o caso do biodiesel.

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GERAL

Verificar os aspectos, sanitário, ambiental e de produção do gergelim (*Sesamum indicum* L.), cv. BRS G4, irrigado com de água residuárias tratadas.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a) Analisar a qualidade microbiológica e físico-química das águas residuárias tratadas pelos sistemas Wetland, e pelo UASB no pós-tratamento com Wetland construído.
- b) Avaliar os efeitos de irrigação com água residuárias tratadas pelos sistemas Wetland e UASB no pós-tratamento com Wetland construídas e aplicadas pelos sistemas gotejamento superficial, gotejamento subsuperficial e microaspersão, quanto ao crescimento, desenvolvimento e produção do gergelim;
- c) Verificar aspectos sanitários, com impacto na saúde humana, na qualidade das sementes do gergelim, irrigado com água residuárias tratadas pelos sistemas Wetland e UASB no pós-tratamento com Wetland construído;
- d) Verificar possível impacto ambiental no solo, do uso da irrigação com água residuárias tratadas pelos sistemas Wetland e UASB no pós-tratamento com Wetland construído.

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Origem, Introdução e Importância do Gergelim (*Sesamum indicum* L.).

O Gergelim (*Sesamum indicum* L.) é uma planta produtora de óleo de excelente qualidade, Pertence à família *Pedaliaceae*, e foi possivelmente originária do continente Africano. É considerada uma planta relativamente tolerante à seca, por esse motivo passou a ser cultivada comercialmente no Nordeste do Brasil a partir de da década de 80, após o declínio da cultura do algodão e a expansão do “bicudo”, a praga do algodoeiro. O principal produto do gergelim é o grão (semente), que fornece óleo e farinha, contém vitaminas A, B e C, e possuem bom teor de cálcio, fósforo e ferro. Os grãos apresentam-se pequenos, achatados, de coloração variando do branco ao preto (BELTRÃO, 1989).

Anteriormente foi introduzido no Brasil pelos portugueses no século XVI, é plantado tradicionalmente na Região Nordeste para consumo local, na maioria das vezes sua exploração ainda é de forma artesanal, e vem sendo explorado comercialmente no Centro-Oeste e Sudeste, especialmente no Estado de São Paulo, há mais de 60 anos, para atender ao segmento agroindustrial de óleos e de alimentos in natura.

A cultivar de gergelim que em sua origem recebeu o nome de CNPA G4, passando depois a ser conhecida como cv. BRS G4, foi obtida através de seleção genealógica na cultivar Zirra FAO 51284, efetuando-se seleção visando a resistência à mancha angular e à murcha de macrofomina, além de produtividade e precocidade. É uma cultivar adaptada às condições de cultivo da Região Nordeste e Cerrados de Goiás. Apresenta ciclo de 120 dias, altura de 2,0m, rápido crescimento entre 30 e 80 dias, sistema radicular pivotante, floração entre 35 e 60 dias, flores completas e axilares, variando de 1 a 3 por axila foliar, possui haste de cor verde, ausência de pêlos nas folhas e nas hastes, as folhas apresentam-se alternadas ou opostas, sendo as da parte inferior da planta adulta, mais largas, irregularmente dentadas ou lobadas, ao passo que as da parte superior são lanceoladas, crescimento ramificado, sementes de cor creme, predominantemente um fruto por axila foliar, mas normalmente o fruto é uma cápsula alongada pilosa deiscente ou indeiscente, de 2 a 8 cm de comprimento, dependendo da variedade. As sementes são pequenas, 1000 sementes, pesam de 2 a 4 g dependendo da planta e do ambiente, apresentam teor de óleo entre 48 e 50% e peso médio de 3,10g por planta (EMBRAPA ALGODÃO, 2006).

3.1.1 Aspectos Gerais da Cultura

Esta é uma planta cultivada em 71 países, em especial na Ásia e África. Estima-se a que a produção mundial esta em torno de 3,16 milhões de toneladas, para uma área de aproximadamente 8 milhões de hectares, com uma produtividade de 481,40kg ha⁻¹. A Índia e Myanmar são responsáveis por 49% da produção mundial. O Brasil se caracteriza por ser pequeno produtor de gergelim, com 15 mil toneladas, produzidas numa área de 25 mil hectares e com rendimento em torno de 600,00 kg ha⁻¹ a campo, por ser geralmente cultivado em solos pobres. A verticalização da produção do gergelim depende de modificações dos costumes alimentares e sociais da população, pois o mercado nacional é limitado e por este motivo não valoriza tanto a qualidade do gergelim como no mercado internacional. Atualmente, mais de 60% do consumo de gergelim no Brasil é importado (QUEIROGA; GONDIM; QUEIROGA NÓBREGA, 2009).

A grande maioria das cultivares de gergelim produz bem até altitudes de 1.250 m, além desta, as plantas tornam-se pequenas, pouco ramificadas e com baixa produção (BRASIL, EMBRAPA ALGODÃO, 2004).

3.1.2 Características de Produção do Gergelim (*Sesamum indicum L.*)

De acordo com Eliemerson et al., (2012), que avaliou a produção do gergelim na Zona da Mata de Pernambuco em condições de sequeiro, obteve o peso total de sementes por plantas de 5,3 e 8,3g por planta, obtendo-se assim uma produtividade de grãos 212kg ha⁻¹ e 332 kg ha⁻¹ para as cultivares BRS Seda e BRS G4, respectivamente. A cultivar BRS G4, quando adubada com esterco bovino (10 t/ha) apresenta melhor produtividade em condições de cultivo.

Para Michele et al., (2010), ao pesquisar a produção de gergelim irrigado com água residuária tratada e adubação com torta de mamona, conclui que a cultivar tem efeito sobre o número e massa de frutos de gergelim e que a cv. BRS G4 superou em mais de 40%, em comparação com a cv. BRS G3, obtendo-se a melhor resposta da cultura quando as plantas foram submetidas à irrigação com água residuária tratada em relação à água de abastecimento. E ainda, o gergelim responde positivamente à adubação com torta de mamona, até a dose de 4 t. ha⁻¹.

Grilo & Azevedo, (2013), afirmam que a produtividade de grãos do gergelim, é a variável mais importante para se avaliar se uma cultura é viável do ponto de vista econômico.

O resultado obtido em experimento foi de uma produtividade de $1600 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$, que é superior à encontrada por Pereira et al. (2002), que conseguiram a média de $757 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ de grãos com a cv. BRS G3. No entanto, Lima (2011), em uma área de 15 m^2 , utilizando a linhagem LSGI-5, com espaçamento de 10 cm entre plantas e 60 cm entre fileiras, com apenas 70 cápsulas por planta, estimaram para uma população de 400.000 plantas por hectare, uma produtividade de $2.929 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$. Deve-se esclarecer que este valor é bastante elevado por ter sido realizado em uma área reduzida. Caso o experimento fosse realizado em escala real, o controle sobre o manejo do solo, da água e das plantas não teria sido tão eficaz, diminuindo, com isso, a produtividade.

Em cultivo irrigado com água do lençol freático, numa população de 80.000 plantas da cv. BRS Seda, ao avaliar o crescimento e o desenvolvimento vegetativo do gergelim, considerando-se que esses parâmetros são indicadores de produtividade, obteve-se ao final do ciclo produtivo, em média, 95,70 cápsulas e 20,40 g de grãos por planta. Esses valores estão correlacionados à produtividade dos grãos, que corresponde a $1.600 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ (GRILO & AZEVEDO, 2013).

No Nordeste brasileiro o cultivo de oleaginosas é praticado, sobretudo de modo extensivo em regime de sequeiro. Com o propósito de avaliar a produção do gergelim em condições de sequeiro, Zona da Mata de Pernambuco, com as cv. BRS Seda e cv. BRS G4, com adubação orgânica na proporção de $10 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ de esterco bovino, verificou-se com base nos valores médios, que a produtividade em peso de frutos foi de $525 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ e de $387 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ para as cultivares citadas, respectivamente. A cultivar BRS G4, quando adubada com esterco bovino ($10 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$), apresentou melhor produtividade nas condições de cultivo. (FREITAS et al., 2012).

3.1.3 Material Genético do Gergelim (*Sesamum indicum L.*)

O programa de melhoramento genético do gergelim da Embrapa Algodão, em Campina Grande, PB, já viabilizou o desenvolvimento de quatro cultivares comerciais (BELTRÃO et al. 1994; EMBRAPA..., 2000; ARRIEL et al. 1998; EMBRAPA ALGODÃO, 2006).

As principais cultivares de gergelim (*Sesamum indicum L.*), desenvolvidas pela Embrapa, em distribuição de sementes no Nordeste, com suas principais características são as seguintes: cultivar BRS G2 - cultivar de porte mediano (1,60m), ciclo médio (100 dias) e hábito de crescimento ramificado; apresenta três frutos por axila foliar, semente de coloração creme; possui tolerância à mancha angular e susceptibilidade à *Cercosporiose sp.* É

recomendada para plantio de sequeiro e irrigado em todos os estados do Nordeste, devido à sua alta estabilidade produtiva. A cultivar BRS G3 - cultivar de porte médio (1,60m), ciclo 90 a 100 dias, hábito de crescimento ramificado, floração e maturação uniformes. Apresenta 1 fruto/axila e semente de coloração creme. Possui resistência à mancha angular e susceptibilidade à cercosporiose e à macrofomina. É indicada para a região semiárida nordestina, onde a mancha angular é a principal doença da cultura (BRASIL, EMBRAPA ALGODÃO, 2006).

A cultivar BRS G4 que foi a selecionada e utilizada nesse experimento, tem como características o porte mediano (1,55m), ciclo 90 dias, hábito de crescimento ramificado com floração e maturação uniformes, 1 fruto/axila e sementes de cor creme, com teor de óleo variando de 48% a 50%. Tolerante à murcha de macrofomina, mancha angular e Cercosporiose. Indicada para cultivo na região nordeste e cerrados de Goiás. A cv. BRS G4 foi a cultivar selecionada para esta pesquisa, em função de suas características apresentadas (BRASIL, EMBRAPA ALGODÃO, 2006).

O Sesamo apresenta ampla adaptabilidade às condições edafoclimáticas de clima quente, tem bom nível de resistência à seca e facilidade de cultivo, características que o transformam em excelente opção de diversificação agrícola, podendo ainda ser utilizada como alternativa de cultivo em áreas degradadas, em função da sua importância econômica e nutricional, como sendo uma opção de sustentabilidade ambiental e social.

3.1.4 A Importância Social e Econômica do Gergelim.

A região do Semiárido no Nordeste do Brasil caracteriza-se pelo baixo índice pluviométrico, chuvas irregulares, alta taxa de evaporação e solos pobres de matéria orgânica, com a deficiência de nutrientes essenciais. Nesse contexto o reuso planejado da água de esgoto doméstico como água residuárias tratadas, que se transformam em alternativa para produção de alimentos, por servirem como adubo natural, podendo gerar retorno ambiental, social e econômico, contribuindo para reduzir a poluição dos mananciais e do solo agrícola.

Atualmente, já é possível o cultivo do gergelim em bases mais racionais de manejo, possibilitando a diversificação agrícola a partir da exploração de uma cultura com excelentes potencialidades econômicas, agronômicas e sociais, em decorrência de suas características de tolerância à seca, facilidade de manejo e obtenção de sementes com teores de óleo superior a 50% de elevada estabilidade química com aplicações nas indústrias alimentícias e de óleo

química, e potencialmente, para a produção de energia, via biodiesel (BRASIL, EMBRAPA ALGODÃO, 2006).

A semente é importante fonte de óleo comestível e largamente usada como tempero. Constitui-se em uma rica fonte de alimentos por apresentar teor de óleo, variando de 46 a 56% de excelente qualidade nutricional, medicinal e cosmética. O óleo é rico em ácidos graxos insaturados, como oleico (47%) e linoleico (41%), com vários constituintes secundários que são importantíssimos na definição de suas propriedades químicas, como sesamol, a sesamina e a sesamolina. O sesamol com suas propriedades antioxidantes confere ao óleo elevada estabilidade química evitando a rancificação, sendo o de maior resistência à oxidação entre os demais óleos de origem vegetal (BELTRÃO et al., 1994; FIRMINO, 1996).

A qualidade assim como a quantidade do óleo extraído dos grãos ou sementes de Gergelim, pode ser prejudicada devido a danos causados por fito patógenos. Portanto, a identificação de espécies fúngicas associadas às sementes de gergelim, é de fundamental importância. Os resultados indicaram que os gêneros *Aspergillus sp.*, *Fusarium sp.*, *Penicillium sp.*, *Rhizopusstolonifer* e *Cladosporium sp.*, são os mais prevalentes (SOUZA JUNIOR et al., 2012).

O grande potencial econômico do gergelim em decorrência da elevada qualidade do óleo, com aplicações nas indústrias alimentícias e de óleo-química, com aumento anual de aproximadamente 15% na quantidade de produtos industrializáveis.

O cultivo de gergelim se desenvolve principalmente em sistemas de produção de pequena escala, que utilizam a mão-de-obra familiar e normalmente é consorciado com milho, feijão ou caupi, servindo de fonte alternativa de renda e alimento. Neste segmento, a exploração da cultura representa uma excelente opção agrícola por exigir práticas agrícolas simples e de fácil assimilação. Mantendo-se os atuais níveis de produtividade regional, pode-se expandir a área cultivada e abrir a possibilidade de se conquistar parcela do mercado externo com o excedente de produção em virtude da alta cotação dessa oleaginosa no comércio internacional, garantindo ao Nordeste e a outras regiões, mais uma fonte de divisas. Em alguns países asiáticos, esta oleaginosa tem importância econômica e social significativa (BRASIL, EMBRAPA ALGODÃO, 2006).

3.2 A Importância da Água e Impacto da Irrigação.

Conforme afirma Azevedo et al., (1999), a grande quantidade de água requerida para a prática da irrigação, o decréscimo de sua disponibilidade e o alto custo da energia necessária à sua aplicação têm aumentado o interesse na racionalização desse recurso, de forma a minimizar as suas perdas, sem contudo, comprometer a produção final. Nos dias atuais, a irrigação localizada vem sendo muito aplicado com esse objetivo (SOUZA et al., 2005).

No entanto, para que a irrigação seja eficiente, é imperativo que os sistemas apresentem alta uniformidade de aplicação da água. Uma vez instalado um projeto de irrigação, é necessário verificar se as condições previstas inicialmente são confirmadas em campo. Para tanto, deve-se avaliar as condições de pressão, vazão e lâminas d'água aplicadas (SILVA & SILVA, 2005).

Um dos fatores que influenciam o manejo adequado da irrigação é o desempenho hidráulico do sistema, verificando-se assim, esse desempenho, periodicamente, por meio de avaliações hidráulicas.

Para analisar a qualidade da irrigação em campo são utilizadas algumas variáveis de desempenho, como a uniformidade de distribuição e eficiência do sistema. Segundo Miranda e Pires, (2003), o termo uniformidade refere-se às variáveis de desempenho associadas à variabilidade de lâmina de irrigação aplicada.

É uma grandeza que caracteriza todo o sistema de irrigação e intervêm no projeto, agrônomo, afetando o cálculo da quantidade de água necessária para irrigar, quanto no hidráulico, pois em função dela define-se o espaçamento dos emissores de água, a vazão do sistema e o tempo de irrigação (NASCIMENTO et al., 2009).

3.2.1 Efeitos da Água de Irrigação nas culturas Irrigadas

Para o crescimento e desenvolvimento das plantas de modo geral e do gergelim em particular, o ideal é que a precipitação seja bem distribuída durante todo o ciclo da cultura. Com relação ao Sesamo, que tolera uma insolação em torno de 2.700 horas (brilho solar por ano) e suporta precipitações inferiores a 300 mm (BELTRÃO et al., 1994).

A água é o elemento principal no metabolismo dos vegetais, pois é responsável pelo desenvolvimento celular das plantas, quando disponível em quantidade suficiente, mas com a qualidade desejada. A água atua nas plantas como o veículo de solutos absorvidos pela raiz, além de transportar estes até às folhas da planta, e ainda regula o murchamento das folhas, controlando a abertura e fechamento dos estômatos (KERBAURY, 2004).

De acordo com Mantovani; Bernardo e Palaretti, (2007), a qualidade d'água é fundamental para o êxito da utilização de sistemas de irrigação, tendo-se em vista evitar efeitos indesejáveis na cultura a ser irrigada e que essa água não sirva de veículo na contaminação da população no momento em que ocorre a ingestão dos alimentos que receberam a água contaminada.

3.2.2 Problemas Relacionados à Qualidade da Água de Irrigação

Os principais problemas vinculados à qualidade da água de irrigação estão relacionados nos itens a seguir, conforme enumerados por Mantovani; Bernardo e Palaretti, (2007):

a) Alta concentração total de sais, que causa a salinização do solo, por meio do aumento do potencial osmótico e da redução do potencial hídrico, dificultando a absorção de água pela planta. As altas concentrações de sais na água de irrigação e na solução do solo podem causar toxidez às plantas.

b) A Sodificação que ocorre quando elevada proporção da concentração de sódio em relação à outros cátions, em particular ao cálcio e magnésio, acarreta problemas na estrutura do solo, dificultando o processo de infiltração da água, devido à obstrução ou extinção dos poros. A capacidade de infiltração de um solo cresce com o aumento da salinidade e decresce com o incremento da razão de adsorção de sódio.

c) Altas concentrações de bicarbonatos promovem precipitação de cálcio e magnésio, na forma de carbonatos, reduzindo a sua concentração no solo. Pode elevar a proporção relativa de sódio, ou seja, a Razão de Adsorção de Sódio (RAS), uma vez que a solubilidade do carbonato de sódio é maior que a dos carbonatos de cálcio e magnésio, provocando também, problemas de infiltração da água no solo. A precipitação de carbonatos de cálcio e magnésio pode ocorrer dentro das tubulações, ocasionando obstrução, parcial ou total, destas e dos emissores.

d) A concentração de íons de Fe^{+2} , quando dissolvidos na água, encontra em estado reduzido, principalmente nas águas subterrâneas, porém, ao oxidar-se, precipita-se na forma de Fe^{+3} e pode obstruir emissores, pois se trata de um processo de oxidação que ocorre pela ação de bactérias e pelo contato com o ar ou oxidantes contidos na água, em ambientes aeróbico e anaeróbico (CORDEIRO et. al., 2003; CITADO EM MANTOVANI; BERNARDO E PALARETTI, 2007).

e) A presença de elementos tóxicos como o boro, cloro e sódio, em altas concentrações, pode ocasionar toxidez às plantas. O grau de toxidez ou índice de dano depende da concentração do elemento, da sensibilidade da cultura e da evapotranspiração diária.

f) Deve-se avaliar a possibilidade de ocorrer contaminação do irrigante, de pessoas da comunidade vizinha à irrigação e dos consumidores dos produtos irrigados, por agentes patogênicos, tais como, *verminoses*, *esquistossomoses*, *Coliformes termotolerantes* e outros.

3.2.3 Manejo da Irrigação Localizada

É fundamental que, antes que qualquer estratégia de manejo de irrigação seja definida, se proceda a uma avaliação de desempenho do sistema de irrigação. A partir daí, então será possível avaliar a adequação do equipamento, em relação aos requerimentos de água dos cultivos utilizados, e a eficiência de aplicação (SILVA et al., 1998).

A avaliação de um sistema de irrigação visa: (a) determinar com qual eficiência de irrigação o sistema vem sendo utilizado; (b) como efetivamente o sistema pode ser operado e se ele pode ser aperfeiçoado; (c) obter informações que vão auxiliar em planejamentos futuros; (d) obter informações para possibilitar a comparação entre vários métodos, sistemas e procedimentos de manejo, como bases para decisões de ordem econômica (MERRIAM et al., 1983).

A necessidade de realizar avaliação da uniformidade de emissão d'água aumenta de acordo com o tempo de uso do equipamento, pois o prolongamento do uso dos mesmos provoca uma maior suscetibilidade para a obstrução dos orifícios, afetando a uniformidade de distribuição d'água, e por consequência, também o rendimento da cultura, que interfere na qualidade do produto e na produção (NASCIMENTO et al., 2009).

Na irrigação localizada, a uniformidade de aplicação d'água, ao longo da linha lateral esta intimamente relacionada à variação de vazão dos emissores, variação essa devida às perdas de carga ao longo do tubo e das inserções dos emissores, dos ganhos e perdas de energia de posição, da qualidade do tubo, das obstruções e efeitos da temperatura d'água sobre o regime de escoamento, e a geometria do emissor (HOWELL & HILLER, 1974; GOMES, 1999).

Segundo Sousa, (2003), os problemas que afetam a uniformidade de distribuição, são divididos em duas classes que são: a) causas hidráulicas - todas aquelas que afetam a pressão de operação dos emissores e poderão ser oriundas de projeto hidráulico mal concebido, da falta de reguladores de pressão ou desajuste destes reguladores, elevada perda de carga, elevado desnível geométrico; b) baixa uniformidade dos emissores - decorrente do alto coeficiente de variação de fabricação e/ou da obstrução dos emissores.

Para que a irrigação seja bem conduzida, sem desperdício d'água, é importante que o irrigante quantifique o volume de água requerida pela planta, realizando dessa forma o manejo adequado da irrigação.

O presente trabalho teve como um dos objetivos, avaliar o desempenho hidráulico e o manejo da irrigação localizada, verificando-se os efeitos da irrigação com águas residuárias

tratadas pelos sistemas Wetland e UASB com pós-tratamento pelo Wetland, no crescimento, desenvolvimento e produção do gergelim. Portanto, verificou-se a uniformidade de aplicação de água e a eficiência de irrigação dos sistemas de microaspersão, gotejamento superficial e gotejamento subsuperficial, utilizados durante o experimento em casa de vegetação.

3.2.4 Irrigação Localizada e Água Residuária Tratada no Cultivo do Gergelim

O cultivo do gergelim, com águas residuárias tratadas, assim como o de qualquer outra planta alimentar, requer cuidados especiais quanto ao reuso desses tipos de águas, por vários motivos. As águas residuárias tratadas e destinadas ao reuso agrícola, devem ser avaliadas, sob os aspectos de sodicidade, salinidade, excesso de nutrientes e, sobretudo, sob os aspectos sanitários com relação às bactérias, cistos de protozoários, ovos de helmintos e vírus que criam graves problemas de saúde pública, uma vez que acarretam enfermidades (METCALF & EDDY, 2003).

Particularmente, o esgoto doméstico quando utilizado sem tratamento adequado pode contaminar o meio ambiente, os trabalhadores das áreas cultivadas, e os consumidores das culturas irrigadas (SHUVAL et al., 1997).

Os esgotos detêm teores consideráveis de nutrientes, pois em estudos realizados mostraram que a produtividade ($t.ha^{-1}$) de culturas irrigadas com esgotos tratados aumentou em torno de 15 a 30% quando comparadas com as provenientes de culturas irrigadas com água de abastecimento, utilizando-se de solo adubado com NPK, demonstrando, por este ângulo, a viabilidade do uso de esgoto na irrigação (MOTA et al. 1997; MONTE; SOUSA, 1992; SOUSA & LEITE, 2003; VAZQUEZ-MONTIEL; HORAN; MARA, 1996).

No entanto, o aumento do consumo de água nos centros urbanos gera, simultaneamente, maior volume de esgotos sanitários. Estes, por sua vez, exigem destinação adequada; caso contrário, haverá risco de poluição do solo e contaminação dos ecossistemas aquáticos. Essa realidade corrobora com a necessidade urgente de se utilizar tecnologias economicamente viáveis de tratamento de águas residuárias, de modo particular na irrigação de cultivos agrícolas, cuja demanda por água chega a setenta por cento do consumo deste líquido precioso. Considerando-se esse foco, poderíamos ter a solução econômica, social, sanitária e ambiental, de dois grandes problemas na atualidade, que por um lado, é a escassez e a demanda, por outro lado, a poluição das águas, com maior ênfase para o Nordeste do Brasil.

A solução seria dar destino adequado das águas de esgotos e suprir a demanda de água para a irrigação de grande número de culturas irrigadas, especialmente no entorno das pequenas, médias e grandes cidades brasileiras, gerando emprego e renda, além de se ter uma saída técnica, econômica, ambiental e social para o problema dos esgotos sanitários. Para tanto, poderia ser utilizada a tecnologia de irrigação com água residuárias tratadas pelos sistemas Wetland e UASB com pós-tratamento pelo sistema Wetland.

O Nordeste brasileiro é uma região onde a irradiação solar é constante durante quase todo o ano, condição que favorece o processo fotossintético das plantas de modo geral, em especial, das macrófitas, planta essencial na utilização de sistemas wetlands. Isso poderá vir a ser uma tecnologia viável, já que foram positivos os resultados dos estudos sobre a aplicabilidade de sistemas wetlands construídos com fluxos subsuperficiais, após tratamento de efluentes de reatores anaeróbios (SOUSA; HANDEL; CABRAL, 2000; SOUSA; LEITE, 2003). Estudos realizados por Ceballos et al. (2000, 2001) e Meira et al. (2000, 2002), também apresentaram resultados satisfatórios sobre outros sistemas wetlands vegetados, construídos com leito de brita, para o tratamento de água residuária.

De acordo com Sousa et al. (2004), em relação ao sistema wetland, constatou-se que no primeiro ano, a eficiência da remoção de nutrientes foi satisfatória para 60% de nitrogênio e 80% de fósforo. A remoção de fósforo em sistema wetland contendo areia lavada como substrato diminuiu, à medida que aumentou o tempo de operação do sistema. Nos meses iniciais, a remoção foi máxima, com eficiência de 90% que tendeu a diminuir nos meses subsequentes.

3.2.5 Efeitos da Água Residuária Tratada no Crescimento do Gergelim

Segundo Santos et al. (2010), conclui que as cultivares de modo geral, têm efeito sobre o número e massa de frutos do gergelim e que a cv. BRS G4 superou em mais de 40% à cv. BRS G3 nas mesmas condições de produção. A qualidade da água de irrigação tem influência, quanto ao número e massa dos frutos do gergelim, mas que a melhor resposta dessa cultura é obtida quando as plantas são submetidas à irrigação com água residuária tratada em relação à água de abastecimento. E de acordo com Pereira et al. (2003), verificaram que o número de frutos por planta de Gergelim no módulo irrigado com esgoto tratado, foi significativamente melhor.

3.2.6 Desenvolvimento Vegetativo do Gergelim em Função do Reuso de Água.

Para Souza et al. (2002), estudando o efeito de águas residuárias tratadas sobre a produção de fitomassa da parte aérea do gergelim, obtiveram também um incremento de massa foliar, quando comparada às plantas irrigadas por água de abastecimento.

De acordo com Cruz et al. (2010), também afirmam que a fitomassa seca da parte aérea do Gergelim, foi influenciada de forma significativa pelo tipo de água de irrigação e respondeu positivamente às aplicações de doses de torta de mamona, em adubação residual, com comportamento linear. Os maiores valores da variável estudada foram obtidos na maior dose de torta de mamona estudada, corresponde a 4t.ha⁻¹. As plantas irrigadas com água residuária tiveram uma massa seca da parte aérea, superior às plantas irrigadas com água de abastecimento da ordem de 129,4%.

Portanto, percebe-se que o gergelim quando cultivado em sistemas irrigados, e em especial com reuso de água residuária tratada, com quantidades de água que atenda às necessidades hídricas da cultura, apresenta resultados significativos de produção, mas, enquanto em cultivos de sequeiro, no geral a produtividade média, ainda é baixa.

Segundo Lima (2011) e Nascimento et al., (2010), ao ser avaliado o crescimento e desenvolvimento do gergelim com a cv. BRS Seda, irrigado com água residuárias tratadas, obtidas de esgoto doméstico, e com água de abastecimento, contribui-se com a preservação do meio ambiente e acarreta efeito positivo no crescimento vegetativo e desenvolvimento do gergelim, visto ter proporcionado um melhor crescimento e maior produção das plantas, quando comparada com outras parcelas experimentais, de diferentes tratamentos.

3.3 Impacto Ambiental do Solo Irrigado com Água Residuária Tratada.

No Brasil, tentativas de gestão das águas, iniciaram-se em 1934, com o Código das Águas. Contudo, somente a partir de 1997, com a promulgação da Lei 9433/97, instituiu-se a cobrança pelo uso d'água, que consiste no conceito de “usuário pagador” e de “poluidor pagador”, de forma que quem desperdiça e polui paga mais. O reuso tem sido incentivado como forma de minimizar a escassez de água potável e a degradação de mananciais causada pelo despejo direto de esgotos e resíduos. A falta de tratamento de esgoto e dejetos animais na zona rural tem forçado a busca por soluções práticas, econômicas e eficientes para tratamento e reuso d'águas servidas. A combinação de fossa-pogo é comum, aumentando os riscos de

proliferação de doenças e parasitas por meio da contaminação da água subterrânea. A irrigação e a lavagem de verduras, hortaliças e frutas com água de mananciais contaminados com esgotos domésticos e uso direto no solo de resíduos, como a cama-de-frango e resíduos de suínos e bovinos, são fontes de contaminação do produto agrícola e das águas subterrâneas (BERTONCINI, 2008).

Entretanto, há outros fatores a considerar, que envolvem a degradação e a contaminação do solo, provocado pela ação antrópica e de práticas lesivas ao meio ambiente causadas por uma agricultura predatória em detrimento de práticas agroecológicas sustentáveis. Os fertilizantes causam danos ao meio ambiente, no ar, à água e no solo. Formam uma fonte introdutora de substâncias ou elementos prejudiciais à saúde do animal e do homem. O enfoque neste caso é a participação da agricultura e do fertilizante, em geral, na emissão dos gases de efeito estufa (GEE) e no aquecimento global - CO₂, CH₄, N₂O, NH₃, CFC (MALAVOLTA, 2008).

Para Norse, (2003), que mostra a contribuição da agricultura na emissão dos GEE, pois no total, a agricultura contribui com cerca de 30% e o restante, fica debitado a outras fontes, particularmente, aos combustíveis fósseis. Dentro de cada componente a participação dos adubos minerais é menor que a de outras fontes mais poluidoras, exceto no caso da amônia, o que, entretanto, pode ser largamente atribuído ao uso inadequado de adubos nitrogenados.

Várias práticas agrícolas podem ser usadas para reduzir ou eliminar as emissões, como lembra Bruinsma (2003). O papel positivo da nutrição mineral no manejo de nutrientes, podendo-se conseguir, por exemplo: a) redução do impacto da agricultura na mudança climática via diminuição na emissão de gases (GEE); b) o aumento na produtividade das culturas e pastagens, e assim, diminuir a necessidade de desflorestamento e drenagem de áreas úmidas, reduzindo a emissão de óxidos de nitrogênio, dos adubos minerais e orgânicos; c) aumentar o sequestro de Carbono, através de várias práticas, como plantio direto e melhoramento da estrutura do solo mediante elevação do teor de matéria orgânica.

Os solos do mundo inteiro, de acordo com Melfi (2005), contém 1.500-2.000 gigatoneladas de Carbono, a atmosfera tem 750 gigatoneladas, enquanto que a vegetação possui 470-655 gigatoneladas de Carbono.

Ainda de acordo com Bruinsma (2003), ao quantificar a contribuição da agricultura no sequestro de Carbono, afirmando que no plantio direto há aumento desse sequestro. Estima-se que no ano de 2030, serão cultivados 150-217 (M ha), desse modo representando 30 (M t) de Carbono por ano adicional. Outros benefícios, como a economia de terra, menor erosão e

menor consumo de combustíveis fósseis. Observa-se que no plantio direto, mais que no convencional, apresenta maior contribuição para o sequestro de C e para a economia de terra, representando uma soma, não uma substituição e talvez uma interação positiva.

3.3.1 Disponibilidade de Nutrientes

Com relação aos nutrientes disponíveis no solo, observa-se que concentrações de nitrogênio amoniacal maiores que 30 mg.L^{-1} não são recomendadas para a irrigação e, tratando-se de culturas sensíveis, teores de nitrogênio amoniacal acima de 5 mg.L^{-1} causam efeitos negativos, para ditas culturas (AYERS E WESTCOT, 1991).

A adubação, veículo da nutrição mineral, pode contaminar água potável? O acidente, neste caso, é a chamada eutrofização, que é atribuída ao nitrato e ao fosfato do adubo (e do solo), que aumentam o teor dos mesmos, “enriquecendo” lagos, lagoas e reservatórios, que leva ao desenvolvimento de algas e à mortalidade dos peixes (MALAVOLTA; MORAES, 2007).

No entanto, pode ocorrer que quantidade de nitrogênio disponível por hectare pode ser insuficiente, por exemplo, para irrigação de gramíneas durante a estação quente, em solos com teor de matéria orgânica menor que 2,5%, pois segundo relata Malavolta et al (2002), necessita-se nesse caso, de adubação mineral na ordem de 200kg de N/ha por ciclo.

Com relação ao fósforo e ao potássio, expressos em P_2O_5 e K_2O , respectivamente, estes, encontram-se em quantidades consideráveis. No entanto, no caso específico, do fósforo, observa-se uma menor quantidade para o efluente advindo do sistema wetland. Sabe-se que o fósforo é um constituinte fundamental que armazena e transfere energia à planta, e sem a presença deste, não ocorre nenhum processo metabólico. Sabe-se também que se deve evitar fixação do fósforo na formação de complexos que a planta não consegue absorver (SOUSA et al., 2005).

Segundo Primavesi (2002), afirma que são três fatores que contribuem para manter a disponibilidade do fósforo para a planta: manutenção do pH perto da neutralidade, solo adequadamente arejado e a permanente incorporação da matéria orgânica que permite a humificação, aumentando o tamponamento e possibilitando a ligação do fósforo em compostos de húmus que mantêm formas de fósforo disponíveis para a maioria das plantas. Dessa forma, a fertirrigação com efluentes tratados, fica favorecida devido à constante dos macronutrientes e matéria orgânica, durante todo o ciclo da planta.

Outro fator preocupante no reuso agrícola seria o excesso de sais e de sódio em efluentes sanitários e outros tipos de efluentes. O excesso de sais pode ocasionar a salinidade do solo e a deficiência hídrica das plantas, isto é, mesmo havendo água disponível no solo, as plantas não conseguem absorvê-la. O excesso de sódio em efluentes sanitários e outros efluentes agroindustriais, como os da indústria cítrica, de papel e celulose, de gelatinas e curtumes, dentre outros, pode ocasionar dispersão das argilas, dificuldade de infiltração de água no solo e formação de camadas de impedimento no perfil do solo (BERTONCINI, 2008).

3.3.2 Potencial Hidrogeniônico (pH)

O Potencial Hidrogeniônico (pH), diz-se que um solo é ácido quando possui muitos íons H^+ e poucos íons de Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ e Na^+ adsorvidos nas suas partículas. Na prática, o pH, torna-se relevante quando se conhece a textura e a estruturado solo. A absorção dos nutrientes pela raiz capilar depende do pH da água, do solo e da espécie vegetal. A faixa de pH adequado à irrigação está entre 6,5 e 8,4. Efluentes de sistemas biológicos de tratamento de esgotos com pH fora dessa faixa poderão causar desequilíbrios nutricionais à planta. Nesse contexto, apenas o pH do efluente final das lagoas de polimento se encontra fora da recomendação (AYERS & WESTCOT 1991)

Observa-se que os valores do pH do efluente final das lagoas determinados durante período de maior insolação (entre 12:00 e 14:00 horas), quando a atividade fotossintética é máxima e ocorre o máximo do consumo de CO_2 pelas algas. Conseqüentemente o pH é máximo nesse período. No entanto, o efluente produzido à noite e nos períodos de menor insolação poderia ser utilizado, tendo-se ainda como benefício a redução de perdas por evaporação (CAVALCANTI et al, 2000; CAVALCANTI, 2003).

De acordo com Sousa et al. (2005), lagoas rasas, com localização geográfica, no Nordeste do Brasil, possibilitam o aproveitamento de mais de 84% da radiação incidente, com uma duração média de insolação de 2.800 h.ano^{-1} . Esses fatores favorecem o processo de fotossíntese, reduzindo sobremaneira a concentração de CO_2 . Com a diminuição da acidez, ocorre a elevação do pH, prevalecendo a fase gasosa da amônia e o desprendimento de gás amônia da fase líquida, associado à precipitação de sais insolúveis de fósforo, tais como a estruvita ($Mg(NH_4)PO_4$) e a apatita ($Ca_{10}(OH)_2(PO_4)_6$).

3.3.3 Matéria Orgânica em Solos Irrigados com Água Residuária Tratada.

A matéria orgânica estabilizada, de efluentes advindos de leito de brita e de sistema wetland é fonte de energia para os microrganismos, de forma que a bioestrutura granular aumenta a capacidade de armazenar umidade, reter e fixar fósforo e nitrogênio, aumento da capacidade de troca de cátions (CTC), que ajuda a reter potássio, cálcio, magnésio, entre outros nutrientes disponíveis para a fertirrigação (SOUSA et al., 2005).

Quanto a adubação orgânica, de acordo com Santos et al. (2010), consideram que a cultura do gergelim, responde à adubação, com torta de mamona, até a dose de 4 t. ha⁻¹, enquanto Eliemerson et al. (2010) afirma que a cv. BRS G4, quando adubada com esterco bovino na quantidade de 10 t.ha⁻¹, apresentou melhor produtividade em condições de cultivo.

De acordo com Michele et al (2010), ao pesquisar a produção do gergelim, afirmam também que a cv. BRS G4 superou em mais de 40%, comparando-se com a cv. BRS G3, ao obter a melhor resposta da cultura quando as plantas foram submetidas à irrigação com água residuária tratada e adubação com torta de mamona, até a dose de 4 t.ha⁻¹.

A Resolução CONAMA N° 54/2005, define efluentes líquidos de agroindústrias tratados ou não como água residuária, e o reuso da água como sendo a utilização de águas residuárias (CONAMA, 2005).

Assim, o uso de vinhaça em solos brasileiros configura-se como maior exemplo de reuso da água, talvez até em nível mundial. A vinhaça é constituída de 98% de água e 2% de sólidos. A parte sólida compreende material orgânico facilmente degradável em solos e teores de potássio na faixa de 0,1 a 0,2% (BERTONCINI, 2008).

A pecuária confinada é outra atividade que consome grande volume de água, gerando resíduos, especialmente nos casos em que a limpeza de baias, efetuadas por meio de lavagem. No caso da suinocultura talvez seja o mais grave. Nas granjas de suínos, o consumo de água para dessedentação dos animais e lavagem de baias varia de 7 a 45 litros de água para cada animal por dia. A água de lavagem das baias, impregnadas de fezes, urina, restos de ração, pêlos, fármacos e hormônios utilizados na criação dos animais.

3.3.4 Contaminação do Solo por Termotolerantes.

O uso direto de água residuária em solos agrícolas tem causado problemas de contaminação do solo com metais pesados, como o cobre e zinco, além do sódio, que estão

presentes na ração animal. Contudo, a maior preocupação seria a contaminação do solo e água subterrânea com nitrato e patógenos (BERTONCINI, 2008).

De acordo com estudos de Nishi et al., (2000), os dejetos de suínos apresentam concentrações elevadas de (10^6 UFC/100 mL) de *Coliformes termotolerantes*, cerca de (3×10^3) ovos de *helminthos* e (10^3 /g) cistos de *protozoários*, em dejetos secos. E segundo Lohmann et al., (1999), no Oeste de Santa Catarina, estima-se que 85% das fontes de água estão contaminadas por coliformes termotolerantes oriundos do lançamento direto de dejetos suínos em cursos de água, que consequentemente contamina os solos agrícolas.

Atividades agropecuárias, como a suinocultura, representam elevado potencial poluidor sendo necessário licenciamento ambiental para seu funcionamento (CONAMA, 1997). Cabe ressaltar, que a Resolução CONAMA No 375/2006 proíbe o uso de lodo de esgoto e derivados no cultivo de verduras, hortaliças e pastagens (CONAMA, 2006).

3.3.5 Contaminação do Solo por outros Biocontaminantes.

Valores elevados de nitrato na água de consumo humano estão associados à ocorrência de metahemoglobinemia infantil. O nitrato causa oxidação da hemoglobina normal à metahemoglobina, que não é capaz de transportar oxigênio para os tecidos. Em organismos adultos, tais compostos são responsáveis por elevados índices de câncer de estômago. A legislação brasileira, segundo o Ministério da Saúde (2004), estabelece valores máximos de 10 miligramas por litro de nitrogênio na forma de nitrato para água de consumo humano. Nos Estados Unidos estimou-se que 75.000 crianças abaixo de 10 anos estavam expostas ao consumo de água contaminada com nitrato (U. S. EPA, 1999).

O tempo de sobrevivência dos microorganismos é variável nos diferentes tipos de solos, sendo relativamente elevado, no solo úmido e sombreado. Leventhal et al. (2000), relatam que ovos de *Ascaris lumbricoides* podem permanecer infectantes no solo por anos.

De acordo com Shuval et al. (1986), e outros autores, o tempo de sobrevivência dos microorganismos nas superfícies das plantas é menor do que no solo, fato justificado pela maior exposição à luz solar. No entanto, esses autores destacam que o tempo de sobrevivência pode ser prolongado, em função de áreas úmidas e sombreadas.

A Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (EPA, 1992), dando destaque a ovos de *Helminthos*, consideram que estes, por serem mais resistentes a uma variedade de condições físicas e químicas, capazes de sobreviver por sete anos no solo, destacando-se os ovos de *Ascaris*, *Toxocara* e *Trichuris*.

Muitos ovos resistem às técnicas de tratamento de esgotos e são encontrados nos efluentes lançados nos rios, ou nos lodos secos empregados como adubos, após seis meses (REY, 1991).

3.4 Demanda Química de Oxigênio (DQO) nos Sistemas Wetland e UASB.

De acordo com Bertoncini, (2008), o tratamento primário de esgotos e dejetos, que visa a remoção de sólidos e matéria orgânica, de modo a reduzir os valores de DBO (Demanda Bioquímica de Oxigênio) e DQO (Demanda Química de Oxigênio). A DBO representa a quantidade de oxigênio necessária para estabilizar a matéria orgânica biodegradável existente na água por meio da ação de microrganismos, enquanto que a DQO representa a quantidade de oxigênio necessária para estabilizar a matéria orgânica total presente na água. Em termos comparativos podem-se citar os exemplos do esgoto doméstico e dos dejetos de suínos, que apresentam valores de DBO de 500 e 90.000 miligramas de oxigênio para cada litro de resíduo, respectivamente. Valores elevados de DBO e DQO indicam que os resíduos são mais poluentes e seu tratamento mais complicado.

A eficiência da remoção de matéria carbonácea, expressa como DQO, variou de 70 a 86% em três sistemas wetlands, não se observando diferenças significativas ($p > 0,05$) entre os sistemas wetlands vegetados e os não vegetados. Já para o wetland vegetado, apresentou maior eficiência para redução de coliformes termotolerantes. O efluente produzido durante os três anos no wetland vegetado manteve-se variando entre 800 e 2000 UFC/100 mL. Dessa forma, este efluente pode ser destinado à irrigação de culturas não consumidas cruas. Assim, a qualidade sanitária de esgotos tratados tem que ser estabelecida, para garantir o uso seguro na irrigação (BASTOS; BEVILCQUA; KELLER, 2003; SHUVAL et al., 1986).

Para o uso adequado de esgotos na irrigação se faz necessário o seu tratamento, além de garantir a qualidade higiênica, corrigir certas características indesejáveis, tais como: alta concentração de sólidos e matéria orgânica putrescível. Uma boa opção é a utilização de reatores anaeróbios de alta taxa, como por exemplo, o reator UASB seguidos de unidades de pós-tratamento, que atualmente vêm sendo largamente utilizados para tratamento de esgoto doméstico (SOUSA et al., 2005).

Para Sousa et al., (2005), a baixa concentração de sólidos suspensos voláteis definidos como 75 mg.L^{-1} SSV e o reduzido valor de Demanda Química de Oxigênio (DQO), equivalente a 220 mg.L^{-1} apresentados no efluente de reator UASB, são fatores que contribuem para que a lagoa de polimento tenha baixa turbidez e apresente maior

transparência para a passagem de luz solar, favorecendo desta forma, a intensa atividade fotossintética com grande produção de oxigênio pelas algas.

Segundo Sousa et al., (2005), embora não removendo bem, organismos patogênicos e nutrientes, o reator UASB, com TDH de 6 horas, apresentou desempenho na remoção de DQO e SSV superior a 60 e 70%, respectivamente. Essa considerável remoção representa uma significativa diminuição de carga orgânica, favorecendo, portanto, o pós-tratamento em sistemas wetlands, lagoas de polimento, e leito de brita. Devido à baixa qualidade higiênica, efluentes de reatores UASB só devem ser usados na irrigação com restrição.

Enquanto que Cavalcanti (2003), estudando a remoção de matéria orgânica, em diferentes lagoas de polimento em função do tempo de detenção hidráulica, para diferentes profundidades, observou que a DQO oriunda do reator UASB foi rapidamente reduzida na lagoa de polimento, devido, sobretudo, ao processo físico de sedimentação de flocos de lodo anaeróbio. No entanto, à medida que aumentava a profundidade da lagoa, a diminuição da DQO ocorreu mais lentamente.

Os efluentes advindos do leito de brita e do sistema wetland apresentaram DQO relativamente baixas, 78 e 60 mg O₂. L⁻¹, respectivamente. A análise de variância, testando os valores médios entre os sistemas de tratamento, não detectou diferença significativa ($p < 0,05$), entre os efluentes do wetland e do leito de brita. Estes efluentes quando utilizados na fertirrigação têm valores nutritivos (nitrogênio e fósforo) superiores ao efluente da lagoa de polimento, bem como uma DQO mais estabilizada (SOUSA et al., 2005).

3.5 Água Residuária Tratada e os Impactos na Saúde Humana

Aspectos relacionados ao meio ambiental e à qualidade sanitária da população, que envolve doenças microbiológicas de veiculação hídrica, podem estar relacionadas no da água na agricultura, pois a sobrevivência de patógenos em plantas cultivadas e nos solos agrícolas, as enteroparasitoses humanas e os bioindicadores de contaminação higiênico-sanitária são indicadores importantes em atividades tecnicamente viáveis na produção de alimentos, tanto do ponto de vista econômico, mas também social e ambiental, na agricultura de modo geral, devendo por isso ser levado em conta no cultivo do gergelim com água residuária e seus impactos na saúde humana.

No Brasil, 65% das internações hospitalares de crianças menores de 10 anos estão associadas à falta de coleta e tratamento de esgotos (BNDES, 1998). Nos países em desenvolvimento, estima-se que 80% das doenças e mais de um terço das mortes estejam associados ao contato e uso de águas contaminadas (GALAL-GORCHEV, 1996).

Conflitos ambientais são criados a partir de equívocos provocados por políticas públicas inadequadas, que visam o econômico e que geram como consequência, a degradação dos recursos naturais, dentre estes, a poluição das águas de superfícies e os aquíferos de águas subterrâneas, agravando ainda mais, o quadro de miséria e pobreza nos países menos desenvolvidos.

Os principais contaminantes de água no meio rural consistem de argilas suspensas, matéria orgânica, patógenos originados de fossas sépticas, além de pesticidas e fertilizantes utilizados nas culturas agrícolas. A argila, material orgânico e patógeno, que podem ser eliminados por meio de processos de tratamento. Pesticidas, fármacos e hormônios dissolvidos na água, raramente são eliminados, mesmo por processos de tratamentos de água utilizados pelas companhias de abastecimento público. Processos de decantação, filtração e desinfecção são utilizados na sequência do tratamento de água (BERTONCINI, 2008).

Afirma Sanches (2009), que parcelas de nutrientes, matéria orgânica, substâncias químicas, bactérias e vírus presentes no efluente, após o tratamento de esgotos, podem contribuir, de alguma forma, para os seguintes problemas ambientais: eutrofização, depleção do oxigênio dissolvido e toxicidade no meio aquático, principalmente. Alguns processos de tratamento de esgotos estariam vinculados, direta ou indiretamente, aos gases de efeito estufa (GEE), contribuintes do aquecimento global e da acidificação.

A tecnologia de tratamento de águas residuárias em área alagada construída tem crescido muito desde a década de 70. A técnica está baseada em processos bióticos e abióticos. Os processos bióticos contemplam a ação de microrganismos, que crescem aderidos à fração sólida do substrato ou na raiz e no colo das plantas, ou seja, é o processo de mineralizar o material orgânico presente na água residuária, transformar as formas químicas, como a nitrificação e desnitrificação, e o processo em que plantas absorvem nutrientes colocados em solução no meio (BRASIL; MATOS; SOARES, 2007).

Com relação ao aspecto qualitativo, as opções para tratamento ou recuperação de água residuárias, envolvem inúmeras e diferentes alternativas, algumas onerosas e complexas e outras de baixo custo e simples. Dentre essas alternativas, deve-se destacar o uso de Sistema Alagado Construído (SAC) ou sistemas Wetland, por ser de baixo custo, de tecnologia simples, de fácil operação e manutenção, no tratamento de água residuárias ricas em material orgânico suscetível à biodegradação (ABRAHÃO, 2006).

Ainda em relação à qualidade do tratamento de água residuária, atentar para a afirmativa de Novaes (2005), quando diz que os detergentes e sabões das águas de lavagens prejudicam o desenvolvimento dos microrganismos decompositores de matéria orgânica.

Ainda de acordo com Abrahão (2006), os SAC ou Wetland são sistemas projetados para utilizar plantas cultivadas em substratos, tais como solo, areia, brita ou cascalho, onde naturalmente, em condições ambientais adequadas, ocorrem processos físicos, químicos, e bioquímicos de tratamento de água residuárias.

Segundo Paganini (1997), as espécies vegetais a serem selecionadas para cultivo em SAC ou Wetland, devem ser perenes, ter alta tolerância ao excesso de água e a ambientes eutrofizados, ser de fácil propagação e crescimento rápido, ser de fácil colheita e manejo, possuir alta capacidade de remoção de nutrientes e poluentes.

Uma grande variedade de macrófitas aquáticas que podem ser úteis no tratamento de água residuárias em SAC ou Wetland, com fluxo subsuperficial. Todavia, é necessário que essas plantas apresentem tolerância nas condições de alagamento contínuo, conjugado com altas concentrações de poluentes presentes em água residuárias (DAVIS, 1995).

De acordo com Souza et. al. (2000 e 2003), as macrófitas aquáticas utilizadas nos sistemas wetlands construídos podem ser de dois tipos: emergentes e flutuantes. Para escolhê-las, devem-se observar os seguintes critérios: fácil propagação e crescimento rápido; alta capacidade de absorção de poluentes; tolerância a ambiente eutrofizado; fácil colheita e manejo, e valor econômico.

As macrófitas aquáticas formam um conjunto de plantas que crescem em meio aquático, nos solos saturados ou alagados, independente do aspecto taxonômico, sendo constituídas por espécies do gênero *Chara*, por angiospermas do gênero *Typha* e até de árvores ciprestes como a *Taxodium sp.*. Contudo, as maiores representantes das macrófitas são as plantas aquáticas vasculares florescentes (APHA, 1995; VALENTIM, 2003).

Segundo Lorenzi (1982), a macrófita do gênero *Typha sp.*, é popularmente conhecida como taboa, capim-de-esteira, tabebuia e outros, são plantas aquática encontradas frequente nas margens de lagoas, ou represas e baixadas pantanosas. Tem elevados índices de saturação luminosa e suporta altas temperaturas. É bastante agressiva chegando a produzir 7 mil kg.ha⁻¹ de rizomas, possui um teor de proteína igual ao milho e de carboidratos igual ao da batata, além de propriedades medicinais (adstringente, diurético e emoliente).

As macrófitas aquáticas devem desempenhar os seguintes papéis, na remoção de poluentes: facilitar transferência de gases (O₂, CH₄, CO₂, N₂O e H₂S) do sistema; estabilizar superfície de leitos pela formação do sistema radicular denso, protegendo o sistema do processo erosivo e impedir a formação de canais de escoamento, preferencialmente na superfície do SAC ou Wetland; absorver macronutrientes (N e P), e micronutrientes, incluindo-se metais. Suprir, com subprodutos da decomposição de plantas e exsudados das

raízes, carbono biodegradável para possibilitar a ocorrência do processo de desnitrificação; atuar como isolante térmico nas regiões de clima temperado; proporcionar habitat para vida selvagem, onde os banhados naturais foram destruídos, ou para melhoria no aspecto estético de unidades de tratamento em residências, hotéis e hospitais (REDDY; D'ANGELO; De BUSK, 1989; BRIX1994; 1997).

O elevado teor de $N-NO_3^-$ na água de beber, nos alimentos, ou na forrageira, utilizada como ração animal, pode produzir nitrito (NO_2^-) no tubo digestivo. E ainda o (NO_2^-) se combina com a hemoglobina do sangue produzindo methemoglobina, que é incapaz de transportar O_2 , causando a doença denominada de methemoglobinemia, especialmente em bebês (MALAVOLTA; MORAES, 2007).

3.5.1 Impactos Relacionados à Presença de *Coliformes termotolerantes*

Esgoto doméstico bruto pode conter até mais de (3×10^6 UFC/100 mL) *Coliformes termotolerantes*, microrganismos esses considerados bioindicadores de contaminação fecal.

A Organização Mundial da Saúde (OMS, 1989), recomenda que para a irrigação irrestrita, segue o padrão, (1 ovo de *helminos* $\times 10^3 \cdot L^{-1}$) e ($\leq 10^3$ UFC.100 mL^{-1}) *Coliformes termotolerantes*). Essas recomendações parecem muito rigorosas, mesmo tratando-se de irrigação de alimentos que podem ser ingeridos crus. No entanto, a recomendação é, ao mesmo tempo, omissa em relação aos protozoários e vírus (SOUSA et al., 2005).

Ainda segundo Sousa et al. (2005), em unidades de tratamento investigadas, apenas o efluente final das lagoas de polimento apresentou concentração média de *Coliformes termotolerantes* ($\leq 10^3$ UFC.100 mL^{-1}). Observou-se também que, especificamente nessas lagoas, a temperatura variou entre $26^\circ C \pm 2^\circ C$ e o pH entre 8,3 e 9,2, apresentando características hidráulicas (pouca mistura), a pequena profundidade, favoreceram o rápido decaimento bacteriano. O tempo de detenção hidráulica (TDH), nesses sistemas, foi de apenas 7 dias, menos da metade daquele da lagoa de polimento. O decaimento bacteriano, nesse caso, deve-se a fatores físicos e químicos como mecanismo de filtração, fixação de biofilme no substrato, sedimentação, oxidação e adsorção devido à presença de matéria orgânica. Efluentes com essas características sanitárias podem ser utilizados na irrigação irrestrita.

Mas para os efluentes oriundos do leito de brita e do sistema wetland, que apresentaram concentrações médias similares de *Coliformes termotolerantes*, na faixa de (9,8

$\times 10^3$ e $7,9 \times 10^3$ UFC/100 mL), respectivamente, dessa forma, poderão apenas ser utilizados na fertirrigação de culturas de cereais e forrageiras (BAILENGER, 1996).

De acordo com Sousa et al. (2005), nos sistemas wetlands com leito de brita, quando apresentam concentrações de *Coliformes termotolerantes* na faixa de ($\geq 10^3$ UFC/100 mL), não são recomendados para uso na irrigação irrestrita, e que o efluente final produzido nas lagoas de polimento apresentou boa qualidade sanitária de baixa concentração de *Coliformes termotolerantes* ($\leq 10^3$ UFC/100 mL) e ausência de ovos de *helminos*, podendo nesse caso, ser usado na irrigação irrestrita. (OMS, 1989; APHA, 1998; CONAMA, 2005).

Conforme descreve Dixon et al. (1995), a combinação do UASB com um sistema de lodo ativado permite obter uma qualidade excelente do efluente, e que dessa maneira, tanto no caso de se aplicar lagoas de estabilização como no caso de lodo ativado é sempre uma excelente providência ter um reator UASB com pós-tratamento pelo sistema wetland construído, no tratamento de efluente de esgotos domésticos.

3.5.2 Impactos Relacionados à Presença de Outros Biocontaminantes

Os patógenos humanos, como, por exemplo, ovos de helmintos, cistos de protozoários e vírus, presentes em efluentes sanitários, como já visto, podem contaminar plantações, os trabalhadores rurais e o lençol freático. Estes efluentes contêm elevadas quantidades de patógenos intestinais, como helmintos, protozoários, bactérias e vírus. Os principais helmintos presentes no esgoto doméstico são do gênero *Ancilostomose*, que causa o amarelão, os *Ascaris lumbricoides*, e as *tênias*, ou *solitárias*.

A *ascaridíase* é uma das helmintoses de maior prevalência, sobretudo na Região Nordeste do Brasil, sendo que a espécie *Ascaris lumbricoides* prevaleceu sobre as outras no esgoto bruto, com frequência relativa de 56,5%. Valores similares (55%) foram obtidos em esgotos brutos, na área do canal de Suez. No efluente do reator UASB, a frequência desses helmintos foi de 61,5%. Não foi observada a presença dos helmintos investigados nos efluentes dos sistemas de pós-tratamento. A remoção de ovos de helmintos acontece por sedimentação discreta e, portanto, depende da carga hidráulica superficial (SOUSA et al., 2005).

Segundo a OMS (1989) e também Souza et al. (2005), a ausência de ovos de helmintos nos efluentes pós-tratados, indica a remoção de organismos sedimentáveis, incluindo cistos de *protozoários*, a exemplo de *Entamoeba*, *Giárdia* e *Cryptosporidium*.

Porém de acordo com Dixon et al. (1995), uma significativa desvantagem do UASB seria sua baixa eficiência quanto à remoção de patógenos e nutrientes, sendo isto bastante compreensível, considerando-se o baixo tempo de detenção hidráulica deste tipo de reator.

Entretanto, ainda de acordo com Dixon et al. (1995), afirmam que já foi demonstrado que este tipo de reator pode ser usado, por exemplo, em combinação com lagoas de estabilização, podendo-se obter um efluente de boa qualidade higiênica em um sistema que ocupa menos que metade da área necessária para um sistema de lagoas convencionais.

Dos protozoários que vivem em esgotos, citam-se as amebas, a *Giardia sp* e o *Cryptosporidium sp*, que causam diarreia e desnutrição. As principais bactérias patogênicas são as *salmonelas* e o *Vibrio cholerae*, causador da cólera. Os vírus presentes em esgotos e efluentes podem causar hepatite infecciosa (vírus da hepatite A), gastroenterite aguda (rotavírus) e infecções respiratórias (reovírus). Estes patógenos podem sobreviver na superfície do solo por períodos de dias, meses e até anos, pois possuem em seu ciclo de vida formas de resistência que os protegem dos efeitos adversos do ambiente. Há indícios de que os vírus percolam e atingem as águas subterrâneas, explicando os casos de hepatite em pessoas que consomem água de poço na zona rural. Assim, justifica-se o tratamento e a desinfecção de efluentes sanitários como sendo de extrema importância para o sucesso do reuso agrícola (BAILENGER, 1996).

4 MATERIAL E MÉTODOS

As características marcantes dessa pesquisa quanto às metodologias e materiais usados tiveram como finalidade qualificar os procedimentos de amostragem, colheita, acondicionamento e transporte, para garantir uma boa prática das análises microbiológicas das amostras de água, de solo e das sementes de gergelim, utilizados durante o experimento.

4.1 Delineamento Experimental

O delineamento experimental aplicado foi do tipo blocos casualizados, num esquema fatorial 3x3 com 4 repetições, totalizando 36 parcelas experimentais.

A seguir estão relacionados os tipos de tratamentos definidos na pesquisa:

- T1 – gotejamento superficial com água residuária tratada pelo sistema wetland;
- T2 – gotejamento superficial com água residuária tratada pelos sistemas wetland e UASB;
- T3 – gotejamento superficial com água de abastecimento;
- T4 – gotejamento subsuperficial com água residuária tratada pelo sistema wetland;
- T5 – gotejamento subsuperficial com água residuária tratada pelos sistemas wetland e UASB;
- T6 – gotejamento subsuperficial com água de abastecimento;
- T7 – microaspersão com água residuária tratada pelo sistema wetland;
- T8 – microaspersão com água residuária tratada pelos sistemas wetland e UASB;
- T9 – microaspersão com água de abastecimento.

As Tabelas 1 e 2 mostram as configurações das 36 parcelas. A Figura 1 apresenta a área experimental.

Tabela 1 - Distribuição dos Tratamentos e Repetições

T1R1	T2R1	T3R1	T4R1	T5R1	T6R1	T7R1	T8R1	T9R1
T1R2	T2R2	T3R2	T4R2	T5R2	T6R2	T7R2	T8R2	T9R2
T1R3	T2R3	T3R3	T4R3	T5R3	T6R3	T7R3	T8R3	T9R3
T1R4	T2R4	T3R4	T4R4	T5R4	T6R4	T7R4	T8R4	T9R4

Figura 1 - Distribuição das Parcelas ou Lisímetros na Casa de Vegetação – UFCG.



Fonte: Lisímetros com gergelim (*Sesamum indicum* L.), aos 45 dias após plantio. Plantas com altura média de 23 cm em 18/10/2013.

Tabela 2 - Tratamentos em Blocos Inteiramente Casualizados

	A1(*)	A2(**)	A3 (***)
B1	T1R1	T2R1	T6R1
	T7R1	T8R1	T3R1
	T4R1	T5R1	T9R1
B2	T4R2	T2R2	T3R2
	T7R2	T8R2	T9R2
	T1R2	T5R2	T6R2
B3	T4R3	T2R3	T3R3
	T7R3	T5R3	T9R3
	T1R3	T8R3	T6R3
B4	T7R4	T2R4	T3R4
	T1R4	T5R4	T9R4
	T4R4	T8R4	T6R4

(*): A1 = Água Residuária tratada pelo sistema wetland construído

(**): A2 = Água Residuária tratada pelo sistema UASB + Wetland

(***): A3 = Água de Abastecimento (Testemunha).

4.2 Localização do Experimento

Este experimento foi desenvolvido em condições de ambiente protegido de casa de vegetação, na Universidade Federal de Campina Grande - UFCG, localizado na área do Centro de Tecnologia e Recursos Naturais - CTRN, de acordo com as coordenadas geográficas de latitude Sul 7° 13' 11" e de longitude Oeste 35° 53' 31", com altitude de 547,56 metros em relação ao nível do mar, conforme Figura 2, representada no Google Earth, (2013). O município localiza-se na Microrregião Homogênea Agreste da Borborema do Estado da Paraíba e ocupa uma área aproximada de 644,1 Km². Sua geologia representada por terrenos do Pré-Cambriano e, de acordo com a classificação de Köppen, o clima predominante é do tipo As'- quente e úmido com chuvas de outono a inverno. De acordo com o Instituto Nacional Meteorologia (INMET), o município apresenta precipitação pluviométrica em média de 700 mm anuais, chegando a ter total anual de 802,7 mm. A temperatura média máxima anual é de 26°C, podendo variar para 27,5°C, com média das mínimas inferior a 22°C, podendo chegar a 19,5°C. Quanto à umidade relativa do ar, apresenta-se em torno de 80% a 83%. A vegetação é composta pela floresta caducifólia, que transiciona para caatinga hipoxerófila. Com relação aos solos predominantes na área, apresentam características do tipo Solonetz Solodizado, Regossolo Eutrófico, Vertissolos e Solos Litólicos Eutróficos.

Figura 2 - Vista Aérea - CTRN/UFCG. Localização da Estação de Tratamento de Esgoto (ETE), Esgoto Doméstico. Local de Extração do Solo Usado. Casa de Vegetação (7° 12' 54''S e 35° 54' 23''W. Altitude: 531m.).



Fonte: Google Earth (2013).

4.3 Condução do Experimento

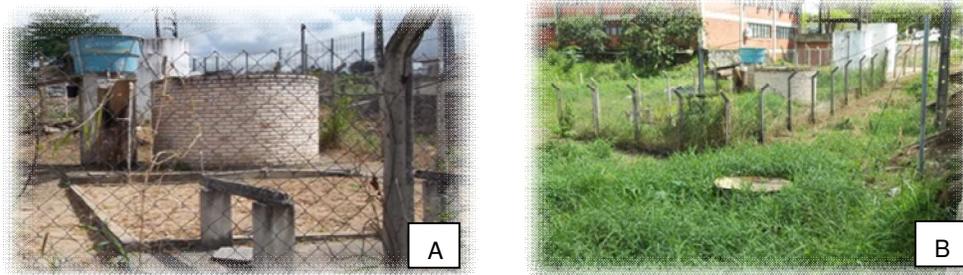
Neste trabalho foram coletados e analisados os dados quanto às variáveis relacionadas ao crescimento das plantas e à produção de grãos, as lâminas de água aplicadas e os dados dos testes de vazão do sistema de irrigação localizada, para obtenção da produtividade do gergelim, a fim de avaliar os efeitos da aplicação de água sobre a produção de grãos da cultivar cv. BRS G4, utilizando-se três sistemas de irrigação, qual sejam o gotejamento superficial, o gotejamento subsuperficial e o de microaspersão.

A fase experimental foi estruturada em duas etapas conduzidas de forma simultânea. Na primeira etapa, utilizou-se o efluente do esgoto doméstico, após tratamento da água bruta nos sistemas UASB e Wetland construídos. Estes sistemas de tratamento de água residuária para reuso na agricultura, recebe água bruta do córrego que atravessa o Campus da UFCG conforme representado na Figura 2, com água drenada do esgoto doméstico dos bairros Monte Santo, Jeremias, e Bela Vista, da cidade de Campina Grande.

Os sistemas denominados wetlands construídos foram instalados com dispositivos de alimentação, de distribuição e de saída. O tanque foi construído em alvenaria de 5m de comprimento, por 2m de largura e 0,65m de profundidade, com substrato de areia e o tipo de vegetação usado nos sistemas deste wetlands construídos é a *Typha sp*, que foi obtido da

lagoa de estabilização, alimentada pelo córrego onde esta localizada a ETE, conforme representados na Figura 3, “A” e “B”.

Figura 3 - Foto - “A” da ETE, dos sistemas construídos UASB e Wetland, com caixa de brita. Foto “B” lateral da ETE, dos sistemas construídos UASB e Wetland, com caixa de brita, vegetadas com *Tipha sp.*



Fonte: Estação de Tratamento de Esgoto (ETE)/ CTRN/UFMG, (2013).

A outra etapa do experimento consistiu no reuso dos efluentes tratados e utilizados na irrigação do gergelim (*Sesamum indicum L.*) cultivado em lisímetros de drenagem no ambiente de casa de vegetação submetido a três sistemas de irrigação pressurizados: gotejamento superficial, gotejamento subsuperficial e microaspersão de acordo.

4.4 Manejo da Cultura do Gergelim (*Sesamum indicum, L.*)

O plantio do gergelim foi realizado em 27/08/2013, cujas sementes foram depositadas diretamente em cada tubete que recebeu em média 6 sementes, a uma profundidade de 4 centímetros. A germinação ocorreu aos 4-6 dias após o plantio, em 03/09/2013. As mudas de gergelim cv. BRS G4, proveniente desses tubetes, após trinta dias da germinação, em 03/10/2013 (Figura 4), depois de selecionadas as mais vigorosas e com altura variando entre 8 a 15 cm foram transplantadas para lisímetros de vasos plásticos de 66 litros de volume e 40 cm de diâmetro, com 66 kg de solo cada, em ambiente controlado. A adubação química com N-P-K, foi em função da análise físico-química para esse tipo de solo, e de acordo com Novais et al. (1991). Foi adicionado mais humos de minhoca na dosagem de 1kg por vaso. O P foi colocado de uma única vez 30 dias antes do transplante das mudas, e o N, K com o adubo orgânico, foram incorporados ao solo aos 30 e 60 dias após plantio (DAP).

4.4.1 Escolha Genética, Plantio e Controle Fitossanitário.

O gergelim (*Sesamum indicum*, L.) cv. BRS G4, foi escolhida para esse experimento por apresentar fatores de precocidade, por ser resistente às baixas precipitações pluviométricas, adaptada ao semiárido e apresentar boas características de produção. As sementes, na quantidade de 200g, devidamente selecionadas e tratadas foram doadas pela EMBRAPA ALGODÃO. Realizou-se de forma preventiva o controle fitossanitário da cultura, com a finalidade de evitar doenças e pragas, com fungicidas de contato e sistêmico, a intervalos de sete dias. Utilizou-se os fungicidas (Ditane + Ridomil) na dosagem de 10 g para 5 litros de água e 3 ml de Adesil (adesivo) para fixar os fungicidas. Foi realizado também o controle da mosca branca, utilizando-se produto orgânico, à base de Óleo de Nim, em aplicações no intervalo de três dias, nas quantidades de 10 ml por 10 litros de água.

Figura 4 - Mudas de Gergelim (*Sesamum indicum* L.) cv. BRS G4 aos 30 Dias Após o Plantio (DAP) (03/10/2013).



Fonte: Casa de Vegetação – UFCG, 2013.

4.4.2 Variáveis de Crescimento do Gergelim Durante o Experimento

Aos 30, 45, 60, 75 e 90 dias após o plantio (DAP), foram determinados os parâmetros de crescimento: i) altura de planta; ii) diâmetro de caule; iii) nº de folhas; iv) área foliar. Na avaliação da altura da planta, considerou-se o comprimento longitudinal do caule ou ramo principal das plantas, indo-se do colo da planta até o ápice e cuja medida, em centímetro, foi tomada utilizando-se de uma fita métrica e régua graduada, dependendo da situação. O diâmetro de caule foi obtido mediante o uso de paquímetro manual de 0,05 mm representados nas Figuras 5 e 6.

Figura 5 - Variável de Crescimento - Medição da altura da planta e do número de folhas do Gergelim (*Sesamum indicum*, L).



Fonte: Casa de Vegetação – UFCG, 2013.

Figura 6 - Varável de Crescimento - Medição do diâmetro do caule da planta.



Fonte: Casa de Vegetação – UFCG, 2013.

A área foliar da planta foi estimada de acordo com as medidas de largura do limbo e do comprimento longitudinal das folhas (Figura 7), coletadas durante o ciclo da cultura. Para determinação da área foliar, a partir dos dados coletados, utilizou-se a equação proposta por Silva et al. (2002), que afirmam ser as estimativas de área das folhas de plantas mais precisas quando se usam as dimensões de comprimento e maior largura do limbo em que, ao analisarem diversos modelos matemáticos, concluíram que esta equação fornece o valor da área foliar com melhor precisão.

Equação de Silva:

$$\rightarrow S = \emptyset \times C \times L \quad \text{Eq.(1).}$$

S: área foliar: (cm²);

L: maior largura da folha (cm);

\emptyset : fator área p/ cultura (0,70);

C: comprimento transversal da folha (cm).

Figura 7 - Varável de Crescimento - Medição da Largura e do Comprimento das folhas.



Fonte: Casa de Vegetação – UFCG, 2013.

Para análises de outras variáveis de crescimento do gergelim, nesta pesquisa, utilizou-se os índices e as fórmulas matemáticas que constam da Tabela 3.

Tabela 3 - Fórmulas para cálculo de índices utilizados na análise de crescimento do gergelim.

ÍNDICE	FÓRMULA	LEGENDA
Taxa de Crescimento Relativo (TCR)	$TRC = \frac{W}{S \times T}$ Eq. (2)	W: Peso seco total (g) T: Tempo (dias)
		S: Área foliar (cm ²) → Eq. (1)
Razão de Área Foliar (RAF)	$RAF = \frac{W}{S}$ Eq. (3)	
Taxa Assimilatória Líquida (TAL)	$TAL = \frac{W}{S \times T}$ Eq. (4)	S: Área foliar (cm ²) → Eq. (1)

Fonte: Reis e Muller (1979), Aguiar Netto et al. (2000), Apud Severino et al., (2002).

4.4.3 Variáveis de Produção e Fitomassa do Gergelim Durante o Experimento

Durante o ciclo fenológico da planta, foram medidos os seguintes parâmetros de produção: i) altura de inserção da flor; ii) nº de flores p/ planta; iii) nº de vargens p/ planta; iiiii) massa de 1000 grãos. Com relação às variáveis de Fitomassa, avaliou-se os dados referentes à massa seca das folhas; massa seca de caule mais pecíolo; massa seca da parte aérea; massa seca das raízes; massa seca total; razão entre massa seca da parte aérea e massa seca total.

4.5 Material de Solo Usado no Experimento

Neste experimento, o solo usado, apresentou características de um solo de Associação de Vertisol, com horizonte “A”, moderado, fase floresta caducifólia, relevo ondulado + Solos Litólicos Eutróficos, com horizonte “A”, fraco, textura arenosa, fase pedregosa e rochosa, floresta caducifólia, relevo forte ondulado, substrato gnaisse e granito (BRASIL, 1978; EMBRAPA SOLOS, 2006). As análises físico-químicas do solo realizadas no início em 26/08/2013 e final em 12/03/2013, do experimento, nas respectivas datas, no Laboratório de Irrigação e Salinidade/Departamento de Engenharia Agrícola da UFCG, em Campina Grande-PB, apresentadas na Tabela 4.

Tabela 4 - Análise de Solo – Características Químicas e Físicas do Solo Usado no Experimento.

Características químicas	
Cálcio (meq/100g de solo)	3,55
Magnésio(meq/100g de solo)	3,10
Sódio (meq/100g de solo)	0,20
Potássio (meq/100g de solo)	0,25
S (meq/100g de solo)	7,10
Hidrogênio (meq/100g de solo)	0,00
Alumínio (meq/100g de solo)	0,00
T (meq/100g de solo)	7,10
Carbonato de Cálcio Qualitativo	Ausência
Carbono Orgânico %	0,56
Matéria Orgânica %	0,96
Nitrogênio %	0,05
Fósforo assimilável mg/100g	4,97
pH H ₂ O (1:2,5)	7,04
pHKCl (1:2,5)	
Cond. Elétrica–mmhos/cm(Susp. Solo-Água)	0,10
pH (Extrato de Saturação)	7,00
Cond. Elétrica–mmhos/cm(Extrato/Saturação)	0,45
Cloreto (meq/l)	1,75
Carbonato (meq/l)	0,00
Bicarbonato (meq/l)	3,00
Sulfato (meq/l)	Ausência
Cálcio (meq/l)	1,37
Magnésio (meq/l)	1,13
Potássio (meq/l)	0,48
Sódio (meq/l)	2,10
Porcentagem de Saturação	23,33
Relação de Adsorção de Sódio	1,87
PSI	2,81
Salinidade	Não Salino
Classe do Solo	Normal

Características físicas	
Granulometria: (%) –Areia	85,05
Granulometria: (%) – Silte	8,04
Granulometria: (%) – Argila	6,91
Classificação Textural	Areia Franca
Densidade do Solo g/cm ³	1,33
Densidade de Partículas g/cm ³	2,67
Porosidade (%)	50,19
Umidade (%) Natural	0,45
A 0,33 atm	15,86
A 15,0 atm	3,99
Água Disponível	11,87

Fonte: Laboratório de Irrigação e Salinidade (LIS) – UFCG, 2013.

Tabela 5 – Qualidade de Água Usada no Início do Experimento Conforme Índices Encontrados na Água de Abastecimento e nos Efluentes Tratados.

Classificação	Água de Abastecimento	Água Residuária Tratada (Wetland)	Água Residuária Tratada (UASB+Wet)
pH	6,83	8,09	8,09
Condutividade Elétrica ($\mu\text{S.Cm}^{-1}$)	498	769	831
Cálcio e Magnésio (meq.L^{-1})	4,80	5,91	4,80
Nitrogênio total (meq.L^{-1})	1,8	5,5	5,6
Nitrogênio amoniacal (meq.L^{-1})	1,1	4,5	4,8
Fósforo solúvel (meq.L^{-1})	4,27	4,24	3,67
Fósforo total (meq.L^{-1})	0,019	0,029	0,034
Sódio (meq.L^{-1})	4,80	5,70	5,00
Potássio (meq.L^{-1})	0,10	0,36	0,43
Carbonatos (meq.L^{-1})	0,00	1,12	5,28
Bicarbonatos (meq.L^{-1})	0,82	2,42	2,15
Cloretos (meq.L^{-1})	6,82	8,25	6,85
Sulfatos (meq.L^{-1})	Ausência	Ausência	Ausência
Relação de Adsorção de Sódio (RAS)	3,10	3,31	3,22
Classe de Água	C ₃	C ₃	C ₃

Fonte: Laboratório do Programa de Saneamento Básico (PROSAB)–UEPB/UFCG - Campina Grande-PB, 2013.

4.5.1 Plano de Adubação Usado no Experimento

Em função das análises de solo (Tabela 4) e das necessidades nutricionais do gergelim cv. BRS G4, foi estabelecido adubação química com N - P - K e adubação orgânica com humos de minhoca. A adubação química teve como referência Novais et. al. (1991), que recomendam adubação para vasos em ambiente controlado de casa de vegetação, conforme discriminado na Tabela 6.

Tabela 6 - Adubação para vasos em Casa de Vegetação.

Nutrientes	Recomendação ¹ (mg/kg solo)	Adubo utilizado	Adubo (mg/kg solo)	Adubo para 100 Kg de solo (g)
P ₂ O ₅	300	S. Triplo (40% P ₂ O ₅)	750,00	75,00
S	40	NH ₄ SO ₄ (22% S; 20%N)	182,00	18,20
N	100	Ureia (45% N)	141,33	14,14
K ₂ O	150	KCl (58% K ₂ O)	258,62	25,87

Fonte: NOVAIS et al., (1991).

Os cálculos de adubação na formulação N-P-K, foram usados de acordo com Novais et al. (1991), usando-se vasos de capacidade de 66 kg de solo, nas quantidades de 10 g de N por 66 kg de solo com Ureia (45% N) que foi aplicado de duas vezes, 5 g após 30 dias das plantas germinadas por ocasião do transplante das mudas de gergelim e 5 gramas por 66 kg de solo,

20 dias após o transplante. Para o Potássio nas quantidades de 8 g de KCl por 66 kg de solo com Cloreto de Potássio (60% KCl), aplicados conjuntamente com o Nitrogênio, também de 2 vezes, sendo 4 g por 66 kg de solo cada vez. O Fósforo (P), na quantidade de 49,5 g de P_2O_5 por 66 kg de solo com S. Triplo (40% P_2O_5) ou 100 g de P_2O_5 por 66 kg de solo quando usar S. Simples (18% P_2O_5), que foi aplicado em fundação, todo de uma só vez em cada vaso, 30 dias antes do transplante das mudas de gergelim.

Quanto à adubação orgânica, considerando-se o uso de águas residuárias tratadas que são ricas em matéria orgânica, adicionou-se ainda, na proporção de 1 Kg de Húmus de minhoca por 66 kg de solo ou por vaso, na quantidade de 500 g por vaso de cada vez, com as plantas a 30 e 60 dias após a germinação. A recomendação é de que 1 kg de húmus de minhoca corresponde a 5 kg de esterco bovino (AGRONOMIA.NET, 2013).

A cultivar BRS G4, quando adubada com esterco bovino (10 t. ha^{-1}), apresentou melhor produtividade nas condições de cultivo. (EMBRAPA ALGODÃO, 2012).

A adubação do gergelim durante o experimento foi planejada de acordo com os atributos químicos do solo encontrados na primeira análise de solo, de acordo com Novais, (1991). Como adubo orgânico, foi utilizado o húmus de minhoca, que foi incorporado ao solo nos lisímetros, visando suprir às necessidades das plantas e melhorar a capacidade de troca de cátions e as propriedades físicas desse solo, considerando-se ainda que a água residuária é uma rica fonte de nutrientes para as plantas e que o gergelim necessita em média de 10 toneladas de matéria orgânica por hectare de esterco bovino ou de torta de mamona.

4.5.2 Impacto do Uso do Solo Durante o Experimento

Para a agricultura, o reuso de efluentes fornece, além de água, alguns nutrientes de plantas. Entretanto, o uso de resíduos em solos deve ser constantemente monitorado, para que não haja contaminação do sistema solo-água-planta.

Foi realizado análises físicas, químicas e microbiológicas do solo em estudo. As análises físico-químicas deste solo foram realizadas de acordo com a metodologia citada no item 4.5 à pág. 46. E nas análises microbiológicas, utilizou-se o método das membranas filtrantes (UFC/mL), para detectar os níveis de contaminação por *Coliformes termotolerantes*. Para tanto, com relação a todas as análises, foram coletadas amostras do solo antes do uso de água residuária tratada e amostras do mesmo solo após o uso com água residuária tratada, adubação com N-P-K e adubação orgânica com húmus de minhoca.

As amostras simples de solo para avaliação microbiológica foram coletadas diretamente dos lisímetros, misturadas pelas repetições de tratamento de forma a se obter uma amostra composta de cada tratamento, totalizando-se nove amostras compostas (T1, T2, T3 – gotejamento superficial; T4, T5, T6 - gotejamento subsuperficial; T7, T8, T9 – microaspersão)

4.6 Avaliação dos Sistemas de Irrigação Localizada

No sistema de irrigação localizada, a água é aplicada diretamente na região radicular em pequenas intensidades (baixa pressão) e alta frequência (turno de rega pequeno), mantendo o solo próximo à capacidade de campo. No experimento utilizou-se os sistemas de gotejamento e microaspersão (figura 8). Com relação ao gotejamento, que é composto por emissores, denominados de gotejadores, através dos quais a água escoou após ocorrer uma dissipação de pressão ao longo da rede de condutos, cujas vazões são usualmente pequenas, variando de 2 a 20 L.h⁻¹. E quanto ao sistema microaspersão, é composto por emissores, denominados de microaspersores, através dos quais a água é aspergida. Neste caso, as vazões são usualmente pequenas, variando de 20 a 150 L.h⁻¹.

As linhas de irrigação dos sistemas utilizados são de polietileno de 16 mm contendo para cada linha de 12 lisímetro, 3 linhas de irrigação com 4 emissores para cada linha, com espaçamento de 1,0 m entre os emissores, sendo 4 gotejadores superficiais, 4 gotejadores subsuperficiais e 4 microaspersores. As linhas foram colocadas sob os lisímetros. Os lisímetros foram construídos com baldes de plástico, tipo polietileno (Figuras 8 e 9), com capacidade de 66 kg. de solo, com dispositivo para drenagem. Cada lisímetro corresponde à parcela experimental.

Figura 8 - Lisímetros de Plantio com detalhes dos gotejadores e do microaspersor, usados no experimento.



Fonte: Casa de Vegetação – UFCG, 2013.

Figura 9 - Detalhes das linhas de irrigação pressurizadas, adaptadas aos lisímetros de plantio e drenagem, usados no experimento.



Fonte: Casa de Vegetação – UFCG, 2013.

4.6.1 Variáveis Sobre a Eficiência da Irrigação Localizada

Na irrigação é importante que o irrigante quantifique o volume de água requerido pela planta e o momento correto para a aplicação da água, realizando dessa forma o melhor manejo da irrigação. Diante disso, avaliou-se o desempenho hidráulico e o manejo da irrigação localizada por microaspersão e gotejamento nos lisímetros, em casa de vegetação com a cultura do gergelim. Na avaliação hidráulica foram realizadas coletas de vazão e pressão dos sistemas. Foram utilizadas as lâminas de aplicação de água nos lisímetros, por meio dos emissores, em coletores de pet usados nos testes e medido o tempo de funcionamento para cada sistema, em cada teste realizado, a fim de avaliar o efeito do uso de águas residuárias domésticas na hidráulica dos sistemas de irrigação por gotejamento superficial e subsuperficial, e por microaspersão, por meio de medição da vazão dos emissores durante os testes realizados no experimento.

No teste de campo realizado em casa de vegetação no Campus da UFCG, utilizou-se um cronômetro e uma proveta e foi realizado medições dos emissores em 4 pontos determinados no início da linha, no primeiro $1/4$, no meio, em $3/4$ e no final da linha, repetindo-se nas 3 linhas laterais de cada linha de lisímetros do sistema de irrigação localizado (4 gotejadores superficiais, 4 gotejadores subsuperficial e 4 microaspersores), com o sistema operando em condição real de projeto. Para medir a vazão dos emissores, utilizou-se uma proveta graduado de 1000 mL, um becker graduado de 500 mL, três manômetros, com escala de 0 a 1000 kPa.

Durante o experimento as água drenada dos lisímetros, foram coletadas em recipientes pet acoplados aos lisímetros, medidas em provetas de 100, 1000 e 2000mL, cujos valores anotados em planilhas, para posterior tratamentos dos dado anotados.

Segundo Silva et al. (1998), e Merriam et al. (1983), deve-se avaliar a adequação dos equipamentos, em relação aos requerimentos de água dos cultivos utilizados, e a eficiência de aplicação para se determinar com qual eficiência de irrigação o sistema vem sendo utilizado; bem como efetivamente o sistema pode ser operado, e ainda, se ele pode ser aperfeiçoado .

As metodologias para coleta de lâminas de água e determinação dos distintos parâmetros de eficiência, para os diversos sistemas, foram baseadas em MANTOVANI, BERNARDO e PALARETTI (2007); BURT et al. (1997); BERNARDO (1995); TARJUELO MARTÍN-BENITO, (1995); e KELLER e BLIESNER (1990); MERRIAM (1983); DENICULI et al., (1980).

Avaliação Hidráulica.

Nesta avaliação, usou-se a coleta das lâminas de irrigação aplicadas, as pressões e vazão do equipamento. Com esses dados, calculou-se a eficiência e a uniformidade de aplicação de água residuária tratada. A determinação das vazões e das pressões dos emissores foi realizada em toda área, com três repetições.

Os gotejadores foram dispostos na superfície do lisímetro, outros gotejadores enterrados na parte mediana dos lisímetros e os microaspersores localizados na superfície central dos lisímetro. A condução do teste foi feita com o uso de cronômetro e recipientes calibrados, realizando-se três repetições com intervalos de pressão entre 10; 15 e 20 mca, utilizando-se de monômetros fixos em cada linha, na saída da tubulação (Figura 10). Cada lisímetro possui um diâmetro (D) de 40 cm ou 0,40m, que equivale a um raio ϕ de 0,20m.

Figura 10 - Sistema de Irrigação Pressurizado com detalhe de eletrobombas, tubulação de saída, registros, manômetros e linhas laterais.



Fonte: Casa de Vegetação – UFCG, 2013.

O conceito de uniformidade de emissão (UE) foi originalmente apresentado por Keller & Karmeli (1975), sendo a sua definição baseada na razão entre as vazões mínima e média dos emissores, conforme expresso pela equação 5.

$$UE = \frac{q_n}{q} \times 100 \quad \text{Eq. 5}$$

Sendo,

UE: uniformidade de emissão;

q_n : média das 25% menores vazões observadas;

q : média das vazões observadas.

A partir do conceito original de uniformidade de emissão (UE), que resultou na Eq. 5, obteve-se de forma mais apropriada, a determinação do Coeficiente de Uniformidade de Distribuição (CUD), que deu origem a equação 6, proposta por Mantovani, Bernardo e Palaretti, (2007); Keller e Karmelli (1975), que consiste também, no quociente da média das 25% de menores vazões (L_q) e na média de todas as vazões (L_m) dos emissores testados. Estes coeficientes, ambos são indicados para avaliação em sistemas de irrigação localizada, que considera a vazão dos emissores. Para calcular os valores de CUD utilizou-se a seguinte expressão:

$$CUD = \frac{L_q}{L_m} \times 100 \quad \text{Eq. (6)}$$

CUD = Coeficiente de Uniformidade de Distribuição;

L_q = média dos primeiros 25% menores valores de lâminas coletadas (mm);

L_m = lâmina média de todas as vazões coletadas (mm).

Com relação a eficiência de aplicação (EA) da unidade operacional foi estimada, conforme apresentado por Merriam & Keller (1978), a equação 7.

$$EA = 0,9 \times CUD \quad \text{Eq. (7)}$$

As equações usadas neste caso foram: Eq.(6) e Eq. (7)

Para efeito de dimensionamento, conforme observou Bralts (1986), a equação 1 foi posteriormente modificada e redefinida, de forma a incluir o coeficiente de variação de fabricação e o número de emissores por planta, resultando na Tabela 7, que vai ser utilizada

mais adiante, nas análises dos resultados desta pesquisa. Mas para efeito de avaliação a partir dos testes de campo, prevalece a equação 5 ou 6, que são semelhantes.

Tabela 7 - Critérios Utilizados na Caracterização dos Resultados do CUD.

CUD	Grau de Aceitabilidade
>90%	Excelente
80% a 90%	Bom
70% a 80%	Regular
< 70%	Ruim

Fonte: Bralts, (1986).

Para a aplicação da água de irrigação, seguiu-se o turno de irrigação em função da necessidade da cultura do gergelim e o uso de lâmina d'água que correspondeu à necessidade de reposição de água pela evapotranspiração da cultura, determinada pelo balanço hídrico realizado em cada lisímetro e pela contagem da quantidade de água drenada em cada lisímetro.

4.6.2 Manejo de Irrigação

Para a realização do acompanhamento do manejo da irrigação foram instalados nos 36 lisímetros preparados com drenos e coletores de garrafas pet de volume conhecido equivalente a 2 litros, para acompanhar os volumes de água drenados, com o objetivo de monitorar a umidade do solo, bem como acompanhar a quantidade de água aplicada antes das irrigações. As leituras das águas drenadas de cada lisímetro, foram realizadas em provetas como citado no item 4.6.1.

Durante o período de realização das irrigações, 03/10/2013 a 01/01/2014, observou-se que o consumo médio de água no sistema de microaspersão foi de 3 a 4 litros por lisímetro e o tempo médio de irrigação foi de 7 minutos; para o gotejamento superficial foi em média de 2 a 3 litros por lisímetro e o tempo médio de 62 minutos (1h:2min); no gotejamento subsuperficial obteve-se um consumo de água em média de 2 a 3 litros e o tempo médio de irrigação de 44 minutos. O turno de irrigação variou de 2 a 3 dias em períodos de nebulosidade baixa e na fase de crescimento do gergelim, e foi de 3 a 4 dias nos demais períodos vegetativos da cultura, chegando-se a um consumo médio de 4 litros de água por planta, no ciclo produtivo, na floração e formação dos grãos, nos meses de novembro e dezembro, com temperaturas máximas entre 32 e 34°C.

4.7 Reuso de Águas Residuárias Tratadas na Cultura do Gergelim (*Sesamum indicum*, L.)

Foram utilizados na irrigação do gergelim, três tipos de água: a água residuária tratada pelo sistema Wetland construído, água residuária tratada pelo sistema de tratamento com reator do tipo UASB, e água de abastecimento.

Durante o experimento, foram coletadas amostras de água bruta de esgoto doméstico e das águas residuárias tratadas pelo UASB e pelo Wetland construídos na Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) localizada no CTRN/UFCG, campus de Campina Grande-PB. As amostras foram colhidas diretamente nesses locais e levadas até ao laboratório de análise de água, seguindo a metodologia e a legislação recomendada (APHA/AWWA/WEF, 2005); (APHA. AWWA. WPCF 1998; CONAMA 357/2005).

4.8 Qualidade Microbiológica das Sementes de Gergelim (*Sesamum indicum*, L.)

Foram utilizadas nestas análises, nove amostras compostas de sementes (grãos) de Gergelim, obtidas durante o experimento, no CTRN da UFCG do Campus de Campina Grande-PB. As análises foram realizadas no período de 17 a 20 de março de 2014, seguindo a metodologia recomendada pelo Bacteriological Analytical Manual for Foods (1984), no Laboratório de Análises Microbiológica da Universidade Estadual da Paraíba – UEPB, em Campina Grande-PB.

A estimativa do Número Mais Provável (NMP/g) de *Coliformes* totais e *Coliformes* a 45°C foi realizada pelo método dos tubos múltiplos, usando-se a tabela do NMP de McCrady, através dos tubos positivos no CLBVB e EC, respectivamente.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos nesse experimento estão apresentados neste item, de maneira descritiva e na forma de gráficos e tabelas, que caracterizam a qualidade sanitária e microbiológica dos grãos ou sementes do gergelim, as propriedades físico-químicas e microbiológicas das análises realizadas no esgoto doméstico, nos efluentes tratados e no solo, utilizados no experimento.

Apresentam-se ainda os atributos de fertilidade do solo, o nível de degradação do solo no início e no final do experimento e a eficiência do sistema de irrigação.

Quanto ao crescimento e desenvolvimento do gergelim, obteve-se em função do estágio fenológico do gergelim, a altura da planta, a altura de inserção da flor, o diâmetro caulinar, o número de folhas, número de ramos e a área foliar. Quanto à fitomassa, destacam-se a massa seca de folhas e flores, do caule ou haste e ramos laterais, vagens e frutos, que juntos constituem a massa seca da parte aérea (MSPA). Coletou-se também o peso seco das raízes (PSR), a massa seca total (MST) e a razão entre massa seca da parte aérea e massa seca total (MSPA/MST). Para os dados referentes à produção do gergelim, considerou-se o número de vagens e frutos por planta (NVP), o peso seco de grãos por planta (PSGP) e o peso seco de 1000 grãos ou sementes (M1000) por planta.

5.1 Qualidade Sanitária das Sementes de Gergelim (*Sesamum indicum* L.) Irrigado com Efluentes Tratados e Água de Abastecimento

Uma das maneiras de conseguir um resultado microbiológico satisfatório, aliado à prevenção de doenças veiculadas por alimentos, é o uso de organismos indicadores de condições higiênico-sanitárias. Os alimentos são expostos a mudanças de condições durante várias fases, como plantação, colheita, beneficiamento, preparação e distribuição. Essas etapas são importantes, pois podem potencialmente ampliar a contaminação microbiana. *Escherichia coli* é o micro-organismo de escolha como indicador de contaminação fecal, uma vez que é de fácil isolamento nos meios de cultura convencional e mais resistente por um período de tempo maior. Por isso, tem sido usado como padrão para definir a qualidade sanitária de alimentos (SOUSA, 2006).

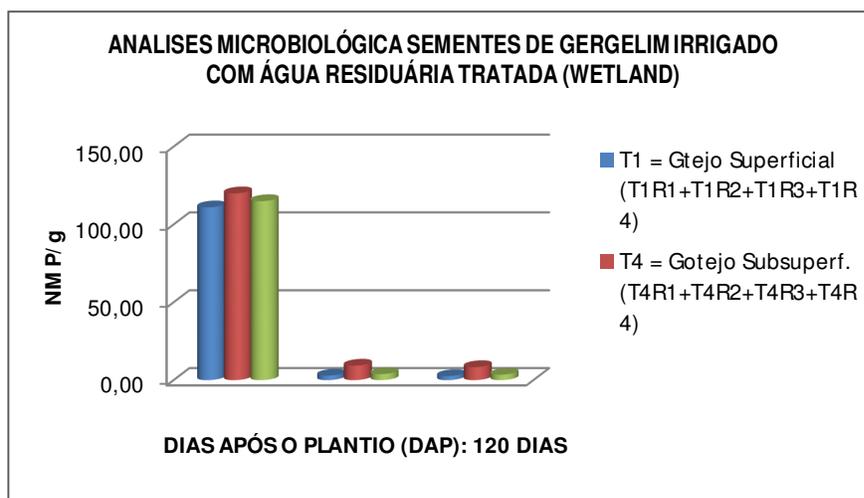
A Figura 11 apresenta resultado microbiológico das sementes de gergelim, obtidas após as análises em laboratório, produzidos pela irrigação localizada, utilizando-se efluente tratado

pelo sistema Wetland, evidenciou a concentração de *Coliformes totais* acima do padrão de 100NMP/g, ou seja, ($>10^2$ NMP/g).

Embora a análise microbiológica, confirme a presença de *Coliformes* a 45°C e de *E. coli*, para os tratamentos (T₁, T₄, T₇), com valores menores ao padrão recomendado para alimentos de origem vegetal, (≤ 100 NMP/g), por medida de segurança, considera-se *Coliformes totais*. Portanto, conclui-se que para os tratamentos (T₁, T₄, T₇), as amostras analisadas, não se apresentam adequadas para o consumo humano.

De acordo com o padrão estabelecido, que determina o máximo de (10^2 NMP/g) *Coliformes* a 45°C por grama, para culturas consumidas cruas. Portanto, não deve ser recomendado para uso na alimentação humana e de animais de sangue quente. (APHA, 1998; ANVISA, 2001).

Figura 11 – Concentrações de *Coliformes* a 45°C em Sementes de Gergelim.



Fonte: Laboratório de Microbiologia da Universidade Estadual da Paraíba - UEPB. Campina Grande-PB, 2014.

De acordo com a ANVISA, (2001, 2005), a Tabela 8 apresenta os padrões microbiológicos sanitários para alimentos de origem vegetal, e que se deve considerar:

a) a tolerância é máxima e os padrões são mínimos para os diferentes grupos de produtos alimentícios, constantes na Tabela citada, para fins de registro e fiscalização de produtos alimentícios. Estes limites e critérios podem ser complementados quando do estabelecimento de programas de vigilância e rastreamento de microrganismos patogênicos e de qualidade higiênica e sanitária de produtos alimentícios.

b) no caso de análise de produtos não caracterizados na mesma Tabela citada, considera-se a similaridade da natureza e do processamento do produto, como base para o

enquadramento nos padrões estabelecidos para um produto similar, constante no referido regulamento.

Tabela 8 - Padrões Microbiológicos Sanitários para Alimentos de Origem Vegetal.

GRUPO DE ALIMENTOS	MICRORGA NISMO	Tolerância INDICAT.	TOLERANCIA/AMOSTRA REPRESENTATIVA			
			n	c	m	M
1 - FRUTAS, PRODUTOS DE FRUTAS e SIMILARES						
b) frescas, "in natura", preparadas (descascadas ou selecionadas ou fracionadas) 'sanificadas, refrigeradas ou congeladas, para consumo direto	Coliformes a 45°C/g	5x10 ² Ausente	5	2	10 ² Aus	5x10 ² -
c) branqueadas ou cozidas, inteiras ou picadas, estáveis a temperatura ambiente, refrigeradas ou congeladas, consumidas diretamente; passa, com ou sem adição de açúcar ou mel;	Salmonella sp/25g		5	0		
desidratadas, secas (excluídas as passas), liofilizadas; com ou sem adição de açúcar ou mel, incluindo as cristalizadas ou glaceadas e similares); polpa de frutas concentradas ou não, ou sem tratamento térmico, refrigeradas ou congeladas.	Coliformes a 45°C/g	10 ²	5	2	10	10 ²
d) Nozes, amêndoas, amendoim e similares, cruas, inteiras ou descascadas.	Salmonella sp/25g	Ausente	Aus	0	Aus	-
2- HORTALIÇAS, LEGUMES E SIMILARES.						
b) frescas, "in natura", preparadas (descascadas ou selecionadas ou fracionadas) sanificadas; refrigeradas ou congeladas, para consumo direto.	Coliformes a 45°C/g	10 ²	5	2	10	10 ²
d) branqueadas ou cozidas, inteiras ou picadas, estáveis a temperatura ambiente, refrigeradas ou congeladas ambiente, consumidas diretamente,	Salmonella sp/25g	Ausente	Aus	0	Aus	-
f) secas, desidratadas ou liofilizadas	Coliformes a 45°C/g	10 ²	5	2	10	10 ²
4) OUTROS PRODUTOS VEGETAIS:	Salmonella sp/25g	Ausente	Aus	0	Aus	-
semi conservas de vegetais em embalagens herméticas, que necessitam refrigeração (azeitonas, fundo de alcachofra, fungos comestíveis e similares	Coliformes a 45°C/g	10 ²	5	2	10	10 ²
	Salmonella sp/25g	Ausente	Aus	0	Aus	-

Fonte: ANVISA, (2001).

Por tanto, a importância da utilização desse parâmetro microbiológico é a possibilidade da avaliação higiênico-sanitária de água e alimentos.

Escherichia *sf* *Bacter* gênero (*Escherichia*) da família das *Enterobacteriaceas*, constituído de bactérias aeróbias, gram-negativas, com forma de bastonete. Inclui formas, como a espécie *Escherichia coli*, ou simplesmente *E. coli*, normalmente presentes nos intestinos do homem e de vários outros vertebrados, sendo ocasionalmente patogênicas e indicativas de contaminação fecal, quando encontradas na água.

Na atualidade, *Coliformes fecais* é uma denominação em desuso, pois foi alterada para *Coliformes* a 45°C. São definidos como *Coliformes* capazes de fermentar a lactose com produção de gás em 48 h a 45°C. A *Escherichia coli*, juntamente com algumas cepas de *Enterobacter* e *Klebsiella*, podem apresentar essas características. Entretanto, apenas a presença de *Escherichia coli* em alimentos indica contaminação fecal por ser encontrada em

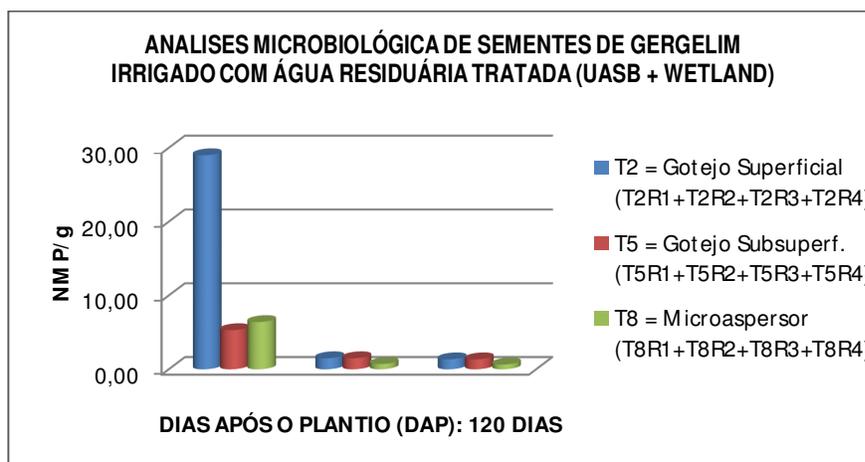
grande quantidade no trato gastrointestinal do homem e animais de sangue quente, não sendo isolada normalmente em outros nichos animal (SILVA, CAVALLI & OLIVEIRA, 2006).

O Ministério da Saúde, através da Resolução nº 12, de 2 de janeiro de 2001, da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA), adotou a denominação *Coliformes* a 45°C, considerando os padrões “*Coliformes* de origem fecal” e “*Coliformes termotolerantes*” como equivalentes a *Coliformes* a 45°C. Em caso de ser determinada a presença de *Escherichia coli*, este fato deve constar no laudo analítico”, a sua presença (MS – ANVISA, 2001). Ainda de acordo com MS-ANVISA, (2001), quando os resultados forem obtidos por contagem em placa, estes devem ser expressos em UFC/ g ou UFC/mL (Unidades Formadoras de Colônias por grama ou mililitro). Da mesma forma, devem indicar NMP/ g ou NMP/mL (Número Mais Provável por grama ou mililitro), quando forem obtidos por esta metodologia.

O método convencional dos tubos múltiplos foi eficiente para a determinação de *Coliformes totais* nas amostras de alimentos de origem vegetal analisadas. Porém essa mesma técnica, apresentou resultados falso-negativos para *E. coli* ou, em algumas amostras de alimentos de origem animal (SILVA, CAVALLI & OLIVEIRA, 2006).

Analisando a Figura 12, que apresentam resultados microbiológicos das sementes de gergelim, obtidos após as análises em laboratório, produzidos pela irrigação localizada, utilizando-se efluente tratado pelo sistema UASB pós-tratado com wetland construído, evidenciou uma baixa contaminação por *Coliformes* a 45°C para os tratamentos ($T_2 = 2,5_{nmp/g}$, $T_5 = 1,5_{nmp/g}$, $T_8=0,72_{nmp/g}$), cujos valores se apresentam abaixo do padrão recomendado pela legislação vigente que é de ($\leq 10^2$ NMP/g) para alimentos de origem vegetal, de culturas consumidas cruas. Portanto, conclui-se que para os tratamentos (T_2 , T_5 , T_8), as amostras analisadas, estão adequadas, e deve ser recomendadas para uso na alimentação humana e de animais de sangue quente. (APHA, 1998; ANVISA, 2001).

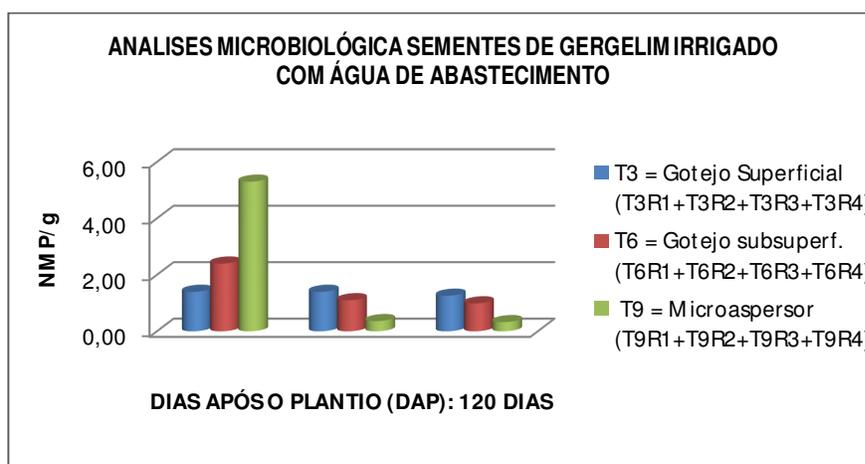
Figura 12 – Concentrações de *Coliformes* a 45°C em Sementes de Gergelim.



Fonte: Laboratório de Microbiologia da Universidade Estadual da Paraíba - UEPB. Campina Grande-PB, 2014.

Na Figura 13 os resultados microbiológicos das sementes de gergelim, produzidos pela irrigação localizada, com água de abastecimento, após as análises de laboratório apresentaram resultados semelhante à discussão anterior, conclui-se que os tratamentos ($T_3=1,4\text{ nmp/g}$, $T_6=1,1\text{ nmp/g}$, $T_9=0,36\text{ nmp/g}$), para as amostras analisadas, estão de acordo com o padrão e são adequadas, deve ser recomendadas para uso na alimentação humana e de animais de sangue quente. (APHA, 1998; ANVISA, 2001, 2005).

Figura 13 - Concentrações de *Coliformes* a 45°C em Sementes de Gergelim.



Fonte: Laboratório de Microbiologia da Universidade Estadual da Paraíba - UEPB. Campina Grande-PB, 2014.

Segundo Franco & Landgraf (2000), a contagem de *Coliformes* totais para produtos alimentícios, também é significativa, pois estes micro-organismos são indicadores de contaminação, podendo entre eles existir a presença de micro-organismos deterioradores e/ou patogênicos.

Um alimento pode transformar-se de forma alterada, com perda das características organolépticas próprias e de seu valor comercial, e até ocasionar, no consumidor, infecções e intoxicações alimentares dependendo do seu nível de contaminação microbiana e de suas características (SOUSA, 2005). Pode-se definir como um alimento seguro aquele cujos constituintes ou contaminantes que podem causar perigo à saúde estão ausentes ou em concentrações abaixo do limite de risco (SOUZA et al., 2005).

Para Hagler; Hagler, (1988) e Landgraf, (1996), o grupo dos *Coliformes* constitui o indicador de contaminação fecal mais frequentemente utilizado, sendo empregado, há mais de cem anos, como parâmetro bacteriano, na definição de padrões para a caracterização e avaliação da qualidade de águas e alimentos.

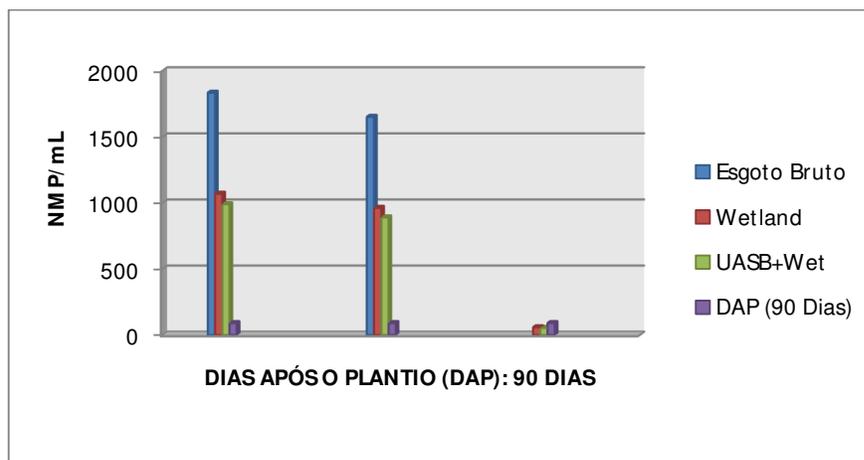
5.2 Qualidade Sanitária do Efluente Bruto e das Águas Residuárias Tratadas Utilizadas na Irrigação do Experimento

A determinação da concentração de bactérias consideradas como bioindicadores de contaminação fecal no esgoto bruto e efluentes tratados, em particular, quando destinados à irrigação, é essencial para se caracterizar o estado sanitário dessas águas, para estabelecer limites de uso e efetuar um planejamento sustentável e correto do ponto de vista sanitário.

5.2.1. Concentração de *Coliformes a 45°C* na Água de Irrigação do Gergelim

Com relação à contaminação bacteriológica da água, nesta pesquisa foi realizada a avaliação de *Coliforme termotolerante* ou simplesmente *Coliforme a 45°C*. Portanto, é de fundamental importância o uso de *Coliformes a 45°C*, como indicadores de poluição sanitária, visto que são bactérias restritas ao trato intestinal de animais de sangue quente, conforme resultados na Figura 14.

Figura 14: Contração de *Coliformes a 45°C* na Água de Irrigação do Gergelim



Fonte: Laboratório de Análises de Água do Programa de Saneamento Básico (PROSAB) – UEPB/UFCG, Campina Grande-PB, 2014.

Analisando a Figura 14, a concentração de *Coliformes a 45°C*, esteve presente nas amostras de água do esgoto bruto, sem tratamento, no nível de (≤ 1833 NMP/100 mL), evidenciando que essa água apresenta características não recomendadas para uso na irrigação, incluindo-se as Classes 1, 2 e 3 de qualidade da água, com exceção para o uso de recreação de contato secundário, que não deverá ser excedido um limite de (≤ 2500 NMP/100mL), Classe 3, e significa que seu reuso na agricultura, somente mediante tratamento com uso de tecnologias recomendadas (CONAMA, 2011, 2005, 2000; APHA, 1998).

Com relação às amostras do efluente tratado pelo sistema Wetland construído (Figura 14), verifica-se que a taxa de remoção de bactérias, foi de 58,31% e que apresentou concentrações de *Coliformes a 45°C*, no nível de (≤ 1069 NMP/100mL), evidenciando que nesse caso, o reuso dessas águas podem ser recomendadas para irrigação restrita em culturas do tipo arbóreas, cerealíferas e forrageiras, mediante tratamento (CONAMA, 2005, 2000; APHA, 1998).

Ainda conforme as amostras do efluente tratado pelo sistema conjugado UASB + Wetland construídos, conforme representado na Figura 14, verifica-se que apesar da taxa de remoção de bactérias, ter sido de 54,00% mas apresentou em média, concentrações de *Coliformes a 45°C*, no nível de (≤ 989 NMP/100mL), em três amostras de água analisadas para o período de 90 dias após o plantio (DAP), no caso do gergelim, configurando-se assim, dentro do padrão recomendado que é de (≤ 1000 NMP/100mL). Quanto à *E. coli*, cuja avaliação normalmente é de 90% dos parâmetros encontrados para *Coliformes a 45°C*, mas que poderá

ser determinada em substituição ao parâmetro *Coliformes a 45°C* de acordo com limites estabelecidos pelo órgão ambiental competente (CONAMA, 2005, 2000; APHA, 1998; OMS, 1996).

Entretanto, de acordo com a legislação vigente no país, na qualidade das águas de Classe 1, verifica-se que em relação a *Coliformes termotolerantes ou Coliformes a 45°C*, para o uso de recreação de contato primário deverão ser obedecidos os padrões de qualidade de balneabilidade, previstos na legislação vigente. Para os demais usos, não deverá ser excedido um limite de (≤ 200 NMP/100mL), em 80% ou mais, de pelo menos 6 amostras, coletadas durante o período de um ano, com frequência bimestral. A presença ou não de *Escherichia coli* poderá ser determinada em substituição ao parâmetro *Coliformes a 45°C* de acordo com limites estabelecidos pelo órgão ambiental competente (CONAMA, N° 274/2000; N° 357/2005); (APHA, 1998).

Na qualidade das águas Classe 2, a legislação vigente recomenda que em relação a *Coliformes a 45°C*, para uso de recreação de contato primário deverá ser obedecida a Resolução CONAMA, (2000). Para os demais usos, não deverá ser excedido um limite de (≤ 1000 NMP/100mL) *Coliformes a 45°C*, em 80% ou mais de pelo menos 6 (seis) amostras coletadas durante o período de um ano, com frequência bimestral. A *E. coli* poderá ser determinada em substituição ao parâmetro *Coliformes a 45°C* de acordo com limites estabelecidos pelo órgão ambiental competente (CONAMA, N° 274/2000; N° 357/2005); (APHA, 1998).

As águas doces de classe C3, *Coliformes a 45°C*, para o uso de recreação de contato secundário não deverá ser excedido um limite de (≤ 2500 NMP/100mL) *Coliformes a 45°C*, em 80% ou mais de pelo menos 6 amostras, coletadas durante o período de um ano, com frequência bimestral. Para dessedentação de animais criados confinados não deverá ser excedido o limite de (≤ 1000 NMP/100mL) *Coliformes a 45°C*, em 80% ou mais, de pelo menos 6 amostras, coletadas durante o período de um ano, com frequência bimestral. Para os demais usos, não deverá ser excedido um limite de (≤ 4000 NMP/100mL) *Coliformes a 45°C* em 80% ou mais, de pelo menos 6 amostras coletadas durante o período de um ano, com periodicidade bimestral. A *E. coli* poderá ser determinada em substituição ao parâmetro coliformes termotolerantes de acordo com limites estabelecidos pelo órgão ambiental competente (CONAMA, N° 274/2000; N° 357/2005); (APHA, 1998).

A Tabela 9 apresenta as recomendações da Organização Mundial de Saúde, (1996) para os níveis de *Coliformes a 45°C* como padrão a ser utilizado, para uma orientação mais rigorosa (≤ 200 NMP/100 ml) *Coliformes a 45°C*, em culturas irrigadas para consumo cru,

gramados públicos, tais como gramados de hotel, com o qual o público pode entrar em contato direto, enquanto que a ANVISA, (2000; 2005) e APHA, (1998), de forma semelhante, porém mais clara, afirmam que este limite caracteriza a qualidade de água de Classe 1, apropriada para irrigação de hortaliças que são consumidas cruas e de frutas que se desenvolvem rentes ao solo e que sejam ingeridas cruas.

Tabela 9 - Diretrizes de Qualidade Microbiológica para Águas Residuárias Tratadas e Uso na Irrigação de Culturas^a

Categoria	Condições de reuso	Grupo exposto	helintos(média de por litro ^c)	Coliformes45°C f(média/100 ml)	Águas residuárias qualid. microbiológica
A	Culturas consumo cru,campo/esportepa rques públicos	Trabalhador consumidor público	≤ 1	≤ 1000 ^d	Lagoas de estabilização projetadas p/ alcançar a qualidade microbiológica
B	culturas cereais, industriais, forrageiras, pastagens e árvores ^e	Trabalhador	≤ 1	Padrão recomendado	Retenção em lagoas de estabilização para 8-10 dias ou por helmintos remoção de Coliformes a 45°C
C	Irrigação localizada ^f culturas categoria B se a exposição dos trabalhadores e do público não ocorre	Nenhum	Não aplicável	Não aplicável	Pre-tratamento conforme exigido pela tecnologia de irrigação, mas não inferior a sedimentação primária

FONTE: Organização Mundial de Saúde (1996).

^aEm casos específicos, fatores epidemiológicos, socioculturais e ambientais locais, devem ser levados em conta as diretrizes e alterado conforme a situação. ^b*Ascaris* e *Trichuris* espécies e *Tênias*. ^cDurante o período de irrigação. ^dUma orientação mais rigorosa (Menor / Igual 200 *coliformes fecais* por 100 ml) é apropriado para gramados públicos, tais como gramados de hotel, com o qual o público pode entrar em contato direto. ^eNo caso de árvores frutíferas, a irrigação deve cessar duas semanas antes do fruto ser colhido, e nenhuma fruta devem ser colhido em contato com a terra. Irrigação por aspersão, não deve ser usado. ^fTambém chamado de irrigação por gotejamento.

5.2.2. Características Físico-químicas dos Efluentes Utilizados no Experimento

O uso adequado de esgotos na irrigação se faz necessário o tratamento de seus efluentes para garantir a qualidade higiênica, corrigir certas características indesejáveis, tais como: alta concentração de sólidos e matéria orgânica putrescível. Para tanto, recomenda-se a utilização de reatores anaeróbios, como por exemplo, o reator UASB seguidos de unidades de pós-tratamento, que atualmente vêm sendo largamente utilizados para tratamento de esgoto doméstico (SOUSA et al., 2005).

Para Sousa et al., (2005), a baixa concentração de sólidos suspensos voláteis definidos como 75 mg.L⁻¹ SSV e o reduzido valor de Demanda Química de Oxigênio (DQO),

equivalente a 220 mg.L^{-1} apresentados no efluente de reator UASB, são fatores que contribuem para que a lagoa de polimento tenha baixa turbidez e apresente maior transparência para a passagem de luz solar, favorecendo desta forma, a intensa atividade fotossintética com grande produção de oxigênio pelas algas.

Ainda Sousa et al., (2005), conclui em seus estudos sobre tratamento de esgoto para uso na agricultura no semi-árido brasileiro, que embora não removendo significativamente, organismos patogênicos e nutrientes, o reator UASB, com TDH de 6 horas, apresentou desempenho na remoção de DQO e SSV em torno de 60 e 70%, respectivamente. Essa considerável remoção representa uma significativa diminuição de carga orgânica, favorecendo, portanto, o pós-tratamento em sistemas wetlands, lagoas de polimento, e leito de brita. Devido à baixa qualidade higiênica, efluentes de reatores UASB só devem ser usados na irrigação com restrição.

Enquanto que Cavalcanti (2003), estudando a remoção de matéria orgânica, em diferentes lagoas de polimento em função do tempo de detenção hidráulica, para diferentes profundidades, observou que a DQO oriunda do reator UASB foi rapidamente reduzida na lagoa de polimento, devido, sobretudo, ao processo físico de sedimentação de flocos de lodo anaeróbio. No entanto, à medida que aumentava a profundidade da lagoa, a diminuição da DQO ocorreu mais lentamente.

Os efluentes advindos do leito de brita e do sistema wetland apresentaram DQO relativamente baixas, 78 e $60 \text{ mg O}_2. \text{ L}^{-1}$, respectivamente. A análise de variância, testando os valores médios entre os sistemas de tratamento, não detectou diferença significativa ($p < 0,05$), entre os efluentes do wetland e do leito de brita. Estes efluentes quando utilizados na fertirrigação têm valores nutritivos (nitrogênio e fósforo) superiores ao efluente da lagoa de polimento, bem como uma DQO mais estabilizada (SOUSA et al., 2005).

A Tabela 10 apresenta características de alcalinidade para as amostras analisadas, com resultados sobre as concentrações de bicarbonatos e ácidos graxos voláteis encontrados nas águas de irrigação usadas durante o experimento. Estas informações, conjuntamente com outras que seguem na sequência, como potencial hidrogeniônico, condutividade elétrica, demanda química de oxigênio e as concentrações de nitrogênio e fósforo, definem a qualidade da água obtida dos efluentes tratados, importantes no crescimento, desenvolvimento e produtividade do gergelim.

Tabela 10 - Alcalinidade e Ácidos Graxos Voláteis na Água de Irrigação.

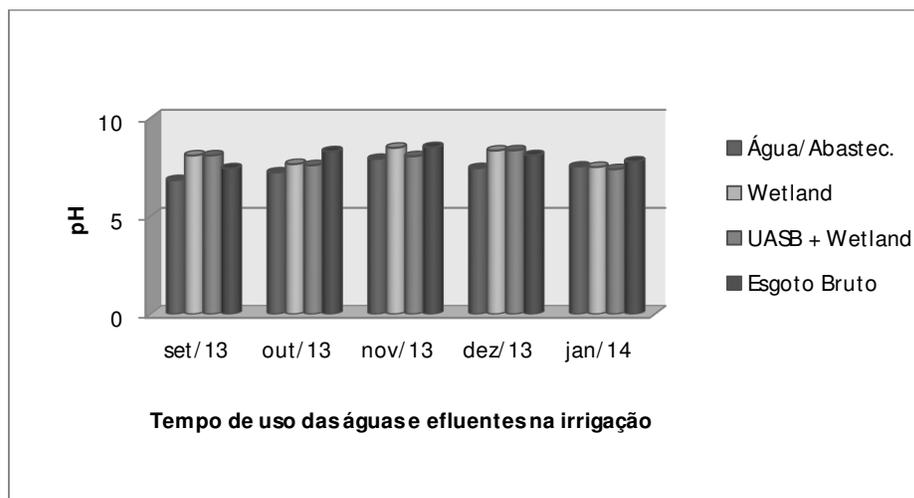
Alcalinidade – Otu/13			
Amostra	Alcalinidade Total ppm CaCO₃	Alcalinidade Bicarbonato ppm HCO₃	Ácidos Graxos Voláteis AGV (mg/L Hac)
Água/Abastecimento	94	82	8,72
Wetland	253,8	242,24	8,75
UASB + Wetland	235,0	215,48	24,72
Esgoto Bruto	263,6	252,79	7,18
Alcalinidade – Dez/13			
Amostra	Alcalinidade Total ppm CaCO₃	Alcalinidade Bicar bonato ppm HCO₃	Ácidos Graxos Voláteis AGV (mg/L Hac)
A.A	94	82	8,72
Wetland	213,6	201,01	6,8
Uas+W	205,0	189,98	18,9
Esg.Br.	345,0	264,06	7,18

Fonte: Laboratório de Análises de Água do Programa de Saneamento Básico (PROSAB) – UEPB/ UFCG. Campina Grande-PB, 2014.

5.2.2.1. Potencial Hidrogeniônico das Águas de Irrigação

A Figura 14 apresenta os níveis de pH, que indicam a intensidade das condições de acidez ou de alcalinidade de um meio qualquer, representado pela concentração ativa de íons hidrogênio (SAWYER et al.,1994). Nos ambientes com presença de algas em grande quantidade, é comum ocorrer limitação do processo de fotossíntese, motivado pela falta de CO₂. Nessa situação o íon bicarbonato, dissocia-se para fornecer CO₂ liberando íons hidroxilas, responsáveis pelo aumento do pH (SAWYER et al.,1994). A Figura 15 apresenta os valores de pH na água de abastecimento, no esgoto bruto e nos efluentes tratados, utilizados no experimento. Observa-se que a água de abastecimento apresentou pH 7,38 na média, com variação entre (6,83 a 7,91). O esgoto bruto apresentou efluente com pH 8,02 em média, oscilando entre (7,43 a 8,51). Para os efluentes tratados pelos sistemas Wetland construído e wetland precedido de UASB, obteve-se as médias de pH 8,02 (Wetland) e pH 7,89 (UASB + Wetland), com variações de (7,50 a 8,48) e de (7,39 a 8,35) respectivamente.

Figura 15 – Potencial Hidrogeniônico (pH) dos Efluentes Usados na Irrigação do Gergelim.



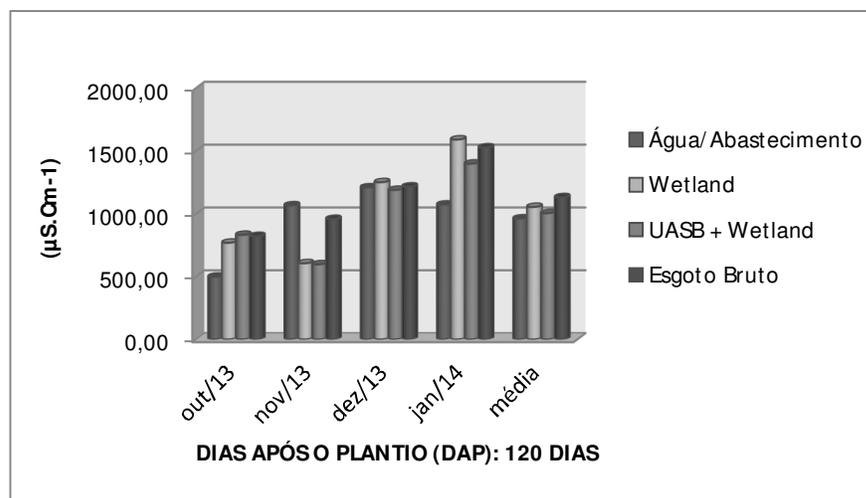
Fonte: Laboratório de Irrigação e Salinidade – Departamento de Engenharia Agrícola – CTRN da UFCG. Laboratório de Análises de Água do Programa de Saneamento Básico (PROSAB) – UEPB/UFCG. Campina Grande-PB, 2013.

Segundo Ayres e Westcot (1991), o pH adequado do efluente para ser utilizado na irrigação deve variar entre (6,5 a 8,4). Fora dessa faixa poderá favorecer desequilíbrio nutricional na planta. Portanto, em termos comparativos, o pH encontrado nos tipos de água residuária tratada, nas condições deste experimento, não causou desequilíbrio nutricional das plantas irrigadas, conseqüentemente, proporcionou um bom desenvolvimento do gergelim, com reflexos positivos na produtividade da cultura.

5.2.2.2 Condutividade Elétrica das Águas Usadas na Irrigação

Analisando-se a Figura 16, o parâmetro indicador de risco para salinização, definido como Condutividade Elétrica (CE), verificou-se uma CE de 1,07 ($\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ a 25°C) na água de abastecimento, 1,59 ($\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ a 25°C) na água residuária tratada pelo sistema Wetland, e o valor de 1,40 ($\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ a 25°C) para o UASB pós-tratado com wetland. Portanto, segundo Richards, (1954), que classificou a água para irrigação, por este padrão (CEa), as águas analisadas, conforme as condições desta pesquisa, classificam-se como sendo C3 – água com salinidade alta (CE entre 0,75 e 2,25 dS/m^{-1} , a 25 °C), e que não podem ser usadas em solos com deficiência de drenagem, mas nos solos com drenagem adequada, pode necessitar de práticas especiais para o controle da salinidade. Podendo ser usadas somente para irrigação de plantas com boa tolerância aos sais.

Figura 16 – Condutividade Elétrica (CE) das Águas Usadas na Irrigação do Gergelim (*Sesamum indicum. L.*)



Fonte: Laboratório de Irrigação e Salinidade – Departamento de Engenharia Agrícola – CTRN da UFCG. Laboratório de Análises de Água do Programa de Saneamento Básico (PROSAB) – UEPB/UFCG. Campina Grande-PB, 2013.

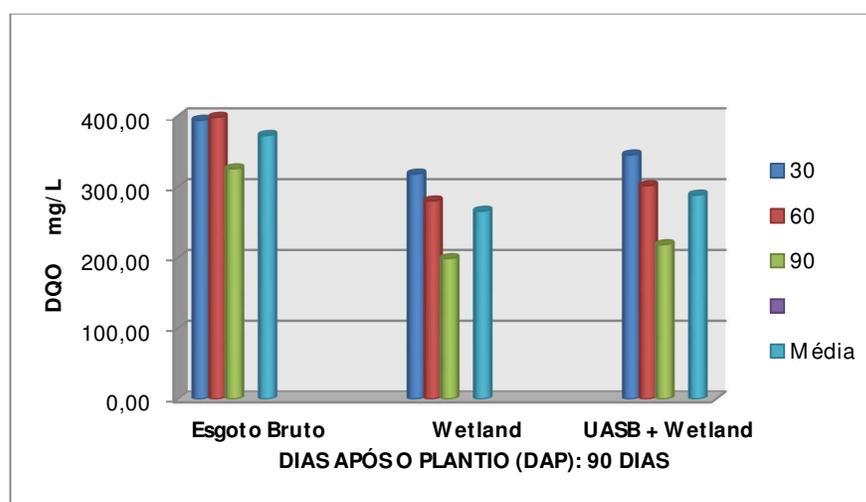
De acordo com outros pesquisadores, como por exemplo, Cruz et al. (2010), Nascimento et al. (2010), Lima (2011), e Souza et al. (200), estudando o efeito de águas residuárias tratadas, obtida de esgoto doméstico para irrigação de gergelim, afirmam que houve incremento significativo na produção, com maiores valores obtidos na dose de torta de mamona, como adubação orgânica de $4t.ha^{-1}$ ou ainda $10t.ha^{-1}$ de esterco bovino. Nesta pesquisa, afirma-se que também houve incremento significativo da produção, em função de se ter usado o equivalente a $2t.ha^{-1}$ de humos de minhoca, mais o adubo químico na formulação (N-P-K), em doses necessárias às condições do experimento, aliado à água residuária, que também é considerada como adubo orgânico, usada na irrigação do gergelim, possibilitou um resultado positivo no crescimento vegetativo e no desenvolvimento da planta, que produziu uma boa quantidade de fitomassa seca, chegando-se a uma produtividade de média de 4g de sementes por planta, e deve-se enfatizar ainda, que contribuiu com a preservação do meio ambiente.

5.2.2.3 Demanda Química de Oxigênio (DQO)

A Figura 17 apresenta uma concentração no efluente do esgoto bruto, que se manteve na média de $372,53 \text{ mg.L}^{-1}$ de DQO, obtida em três amostras, no período experimental de 90 dias após o plantio (DAP). Em trabalhos realizados por Sousa et. al (2005), a concentração média foi de 682 mg.L^{-1} de DQO em amostras de esgotos bruto do mesmo município pesquisado, enquanto Figueiredo (2013), encontrou uma demanda média de $238,5 \text{ mg.L}^{-1}$ de DQO para um período de 90 DAP, em quatro amostras realizadas do mesmo esgoto da UFCG.

As concentrações de DQO observadas nos efluentes do Wetland variaram entre $198,70$ a $318,00 \text{ mg.L}^{-1}$ de DQO, com média de $265,57 \text{ mg.L}^{-1}$ de DQO e apresentou em média uma remoção de apenas 30% no período pesquisado. Com relação ao Wetland precedido pelo reator UASB, a variação foi de $218,30$ a 345 com média de $288,28 \text{ mg.L}^{-1}$ de DQO, que apresentou uma baixa eficiência de remoção, em torno de 23% para as três amostras realizadas no período experimental de 90 DAP.

Figura 17 – Demanda Química de Oxigênio (DQO), Encontradas nos Efluentes Tratados Usados na Irrigação do Gergelim (*Sesamum indicum*, L).



Fonte: Laboratório de Irrigação e Salinidade – Departamento de Engenharia Agrícola – CTRN da UFCG. Laboratório de Análises de Água do Programa de Saneamento Básico (PROSAB) – UEPB/UFCG. Campina Grande-PB, 2013.

Segundo Figueiredo (2013), que obteve concentrações de DQO nos efluentes tratados pelo sistema Wetland entre 140 a 193 mg.L^{-1} de DQO e promoveu uma redução de 37,29%. E

para os efluentes do wetland precedido pelo reator UASB, a variação foi de 112 a 121 mg.L⁻¹ de DQO, com remoção de 46,57%, utilizando-se do mesmo tipo de experimento com feijão (*Phaseolos vulgaris, L*) para quatro amostras realizadas no período experimental de 75 DAP.

De acordo com Sousa et al., (2004), para efluentes de pós-tratamento do reator UASB variaram de 190 a 290 mg.L⁻¹ de DQO. E Santos et al., (2012), constataram a eficiência de remoção de matéria orgânica, em valores em torno de 44% no tratamento de águas residuárias pelo sistema UASB.

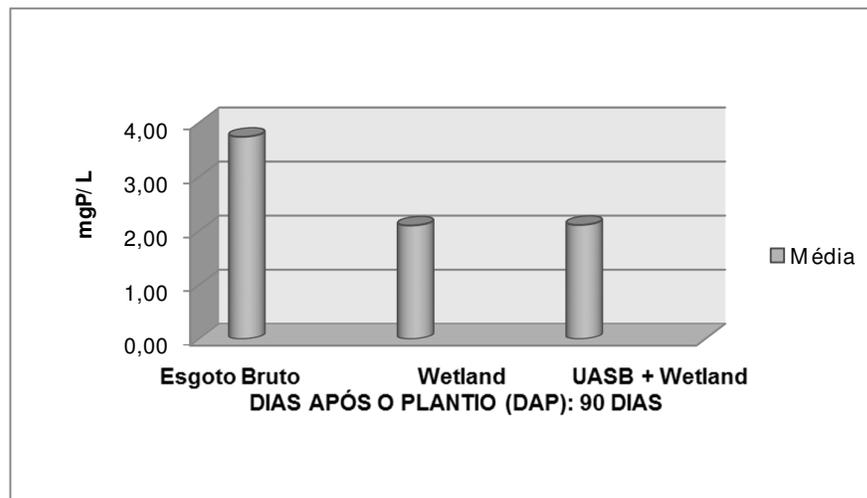
Ainda conforme trabalhos de Sousa et al. (2004), os autores relataram que em especial no Nordeste do Brasil, região onde a irradiação solar é constante na maior parte do ano, esta condição favorece o processo fotossintético das macrófitas. Por isso a utilização de sistema Wetland construído com fluxo subsuperficial no pós-tratamento de efluentes em reator UASB, pode ser uma tecnologia viável, já que foram favoráveis os resultados encontrados nas pesquisas. Por outro lado, o sistema wetland, destaca-se por sua capacidade de remover carga poluidora, mantém a conservação dos ecossistemas terrestres e aquáticos, conservar a biodiversidade, contribui na redução do aquecimento global da terra e fixa carbono do meio ambiente, mantendo o equilíbrio do CO₂ (DENNY, 1997).

5.2.2.4. Concentração de Fósforo

Os compostos de fósforo (P) estão presentes em água natural sobre a forma de ortofosfato, polifosfato e fósforo orgânico (SAWYER et al., 1994). O fósforo total é um parâmetro importante na avaliação do nível de eutrofização de um corpo hídrico.

A Figura 18 apresenta os valores das concentrações de fósforo total do esgoto e dos efluentes tratados pelo sistema wetland e wetland como pós-tratamento do reator UASB. Observou-se que a concentração de fósforo total em média foi de 2,10 mg P.L⁻¹ para amostras analisadas dos sistemas Wetland e para os efluentes do wetland como pós-tratamento do reator UASB foi de 2,11 mg P.L⁻¹, foram quatro amostras de cada sistema, durante o período de 120 dias após o plantio (DAP) do gergelim e praticamente os valores foram iguais. Em trabalhos desenvolvidos por Bregunce et al., (2011), que encontrou concentrações de fósforo em amostras de esgotos domésticos tratados por wetlands construídos, nos valores que variaram entre 1,4 a 5,8 mg.L⁻¹.

Figura 18 – Concentrações de Fósforo Total Encontrados no Esgoto Bruto e nos Efluentes Tratados Usados na Irrigação do Gergelim (*Sesamum indicum*, L) no Experimento.



Fonte: Laboratório de Irrigação e Salinidade – Departamento de Engenharia Agrícola – CTRN da UFCG. Laboratório de Análises de Água do Programa de Saneamento Básico (PROSAB) – UEPB/UFCG. Campina Grande-PB, 2013.

Ainda conforme demonstra a Figura 18, para os valores apresentados, a remoção de fósforo total nos dois sistemas Wetland e reator UASB pós-tratado pelo wetland construído, em quatro amostras analisadas, durante 90 dias (DAP), nas condições do experimento, o valor médio de 43,75% superou as eficiências observadas em sistemas similares, como por exemplo, em trabalhos desenvolvidos por Thomas et al., (1995), e Juwarkar et al., (1955), que utilizaram sistemas wetlands construídos para tratamento de esgotos sanitários, com eficiência de remoção de fósforo total entre 28 a 41%, embora Sousa et al., (1998), encontraram remoção de fósforo total de 66% em wetland de 110 m², com profundidade de 0,60m, usando macrófitas (*Typha sp* e *Eichhornia crassipes*) alimentado com esgoto sanitário, que é semelhante ao sistema usado no presente trabalho.

Conforme afirma Reddy e D'Angelo (1997), portanto, entende-se que a remoção observada pode ser atribuída a vários fatores, como a utilização de fósforo pelos vegetais, perifitos e microorganismos, pela sedimentação, adsorção, precipitação e processos de trocas entre o substrato e a camada de água que se mantém nos sistemas wetland e wetland como pós-tratamento do UASB. E segundo Metcalf e Eddy (2003), a concentração de nutrientes varia muito de acordo com a origem do esgoto, pois compostos de fósforo presentes em esgoto doméstico, principalmente como fosfatos, em que seus teores variam sempre entre 6,5 mg.L⁻¹ e 9,0 mg.L⁻¹.

Na agricultura realizada nos trópicos em geral, o fósforo é o elemento que mais limita a produção de plantas agrícolas, e por isso mesmo, é o mais aplicado no solo na forma de adubo, tornando-se importante na floração e frutificação das culturas e ajuda no desenvolvimento do sistema radicular das plantas (MALAVOLTA, 2000).

De acordo com Primavesi (2002), a aplicação de fertirrigação com doses crescentes de fósforo poderá produzir modificações na disponibilidade dos micronutrientes do solo, mas que pequenas doses de superfosfato em citros, por exemplo, observa-se que ocorre adsorção de manganês, ferro e cobre.

Para manter a disponibilidade de fósforo, fazem-se necessário que três fatores interajam ao mesmo tempo: a manutenção do pH perto da neutralidade, manutenção do solo arejado adequadamente e a incorporação de matéria orgânica que permita a humificação, aumentando o poder tampão, possibilitando assim, a ligação fósforo em forma de humos que são disponíveis à maioria das plantas. A presença do fósforo no solo é responsável pela transferência de energia na síntese de substâncias orgânicas no processo metabólico da planta. O grande problema é como evitar a fixação do fósforo na formação de complexos, tornando-os assim, pouco assimiláveis pelos vegetais (PRIMAVESI, 2002).

5.2.2.5. Concentração de Nitrogênio

O nitrogênio (N) é um dos elementos que compõe o protoplasma dos organismos vivos e dos processos vitais das plantas e dos animais (SAWYER et al., 1994). Enquanto fertilizante, é um macronutriente que faz parte dos adubos nitrogenados, largamente utilizado na adubação de culturas agrícolas, entretanto, em quantidades excessivas pode causar problemas às plantas. Segundo Ayres e Westcot, (1991), teores de nitrogênio total abaixo de 5 mgN.L⁻¹ são tidos como não causadores de problemas, afetando muito pouco as culturas agrícolas mais sensíveis. E teores acima de 30 mgN.L⁻¹ podem ser absorvidos pelas plantas, porém muito perigoso para algumas culturas.

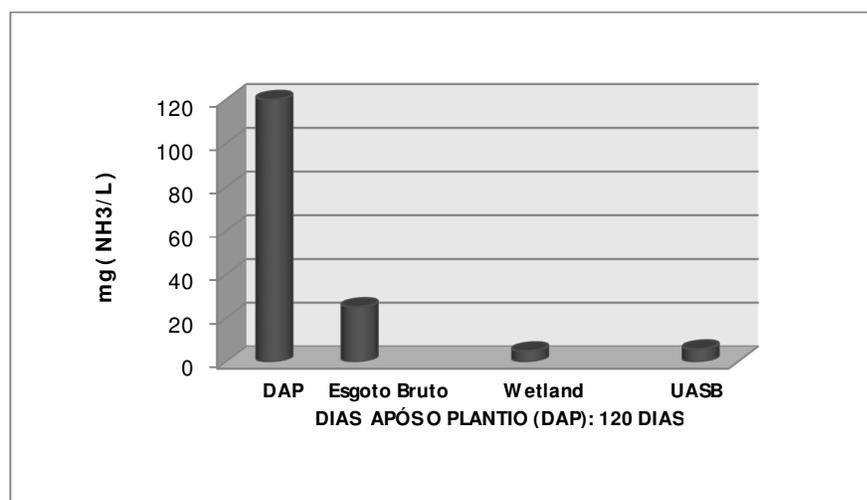
De acordo com Metcalf e Eddy, (2003), em águas residuárias as concentrações de nitrogênio total, podem variar de 20 a 85 mgN.L⁻¹, chegando a comprometer as culturas sensíveis ao excesso de nitrogênio.

Para Ayres e Westcot, (1991), a sensibilidade das culturas ao excesso de nitrogênio, varia de acordo com as fases do ciclo fenológico das plantas, podendo ser benéfico nas fases de crescimento e de desenvolvimento, que são as primeiras fases. No entanto, elevados níveis de

“N”, no solo ou na água de irrigação, promovem crescimento vegetativo irregular, atrasando a fase de florescimento das plantas e conseqüentemente, a maturação dos frutos.

Na Figura 19, observa-se que a concentração de nitrogênio total no efluente produzido pelo sistema Wetland variou de 4,80 a 5,50 mgN.L⁻¹, enquanto que nos sistemas UASB pós-tratado pelo wetland a concentração variou de 5,0 a 5,9 mgN.L⁻¹.

Figura 19 – Concentrações de Nitrogênio Total Encontrados no Esgoto Bruto e nos Efluentes Tratados Usados na Irrigação do Gergelim (*Sesamum indicum*, L).



Fonte: Laboratório de Irrigação e Salinidade – Departamento de Engenharia Agrícola – CTRN da UFCG. Laboratório de Análises de Água do Programa de Saneamento Básico (PROSAB) – UEPB/UFCG. Campina Grande-PB, 2013.

Em trabalhos realizados por Breguence et al., (2011), concentrações de nitrogênio foram verificadas, variando entre 7,2 a 19,8 mgN.L⁻¹, em Wetlands construídos. Portanto, comparando-se com os dois sistemas aqui estudados, Wetland e UASB pós-tratado pelo wetland, as concentrações de Nitrogênio Total, variaram de 4,8 a 5,9 mgN.L⁻¹, respectivamente, inferior ao citado. E quanto à remoção de “N” Total, obteve-se uma eficiência de remoção média, que variou entre 78,57% e 77,18% respectivamente, no estudo realizado.

De acordo com Sousa et al. (2004), em relação ao sistema wetland, constatou-se que no primeiro ano, a eficiência da remoção de nutrientes foi satisfatória para 60% de nitrogênio e 80% de fósforo. A remoção de fósforo em sistema wetland contendo areia lavada como substrato diminuiu, à medida que aumentou o tempo de operação do sistema. Nos meses iniciais, a remoção foi máxima, com eficiência de 90% que tendeu a diminuir nos meses subsequentes.

Portanto, considerando-se as concentrações dos elementos estudados e suas respectivas taxas de remoção, na comparação entre o efluente bruto e as águas residuárias tratadas neste experimento, a Figura 20 apresenta características das fases fenológicas do gergelim, demonstrando que houve bom aspecto morfológico e fisiológico, com plantas saudáveis entre 30 e 45 dias após o plantio (DAP), e plantas maiores, adultas, em franca produção a partir dos 75 dias (DAP), permitindo afirmar, pelos dados apresentados, que do ponto de vista nutricional, apresentaram boa performance, confirmando que os fatores água residuária tratada, adubação química e orgânica com humos de minhoca e a irrigação localizada, favoreceram o crescimento, o desenvolvimento e a produtividade do gergelim, em função também, dos diversos níveis de controles estabelecidos durante o processo, nas condições da pesquisa realizada.

Figura 20 -. Desenvolvimento Fenológico de Plantas de Gergelim aos 30, 45 e 75 Dias Após o Plantio (DAP).



Fonte: Casa de Vegetação – UFCG.

5.2.2.6. Concentrações de Compostos Complexos das Águas Residuárias, Usadas na Irrigação do Gergelim (*Sesamum indicum*, L).

Normalmente com relação aos compostos considerados importantes em água residuárias, no reuso para irrigação de culturas agrícolas, ao considerar seus efeitos sobre as plantas, os mais importantes são a salinidade, as substâncias tóxicas, o sódio, o cloro e os elementos considerados nutrientes.

Segundo Blum, (2003), a salinidade e a sodicidade podem interferir no desenvolvimento de plantas irrigadas, e os teores limites variam de acordo com o tipo de cultura.

Os principais íons causadores da salinidade são cálcio, magnésio, sódio, cloreto, sulfato e, ainda, com menos frequência, potássio, carbonato e bicarbonato. A neutralização de

tais íons elimina seus efeitos indiretos e diretos sobre as plantas e diminui o pH da solução dos solos sob condições de sodicidade, melhorando a fertilidade do solo (QUEIROZ, et al., 1997).

Santos e Hernandez, (1997), descrevem as interações entre a fertilidade e a salinidade dos solos e enfatizam a sua importância na produção das culturas.

Os resultados obtidos nas análises de águas usadas na irrigação desta pesquisa, apresentados na Tabela 11, definem que os efluentes utilizados na irrigação do gergelim (*Sesamum indicum*, L.), não apresentaram restrições com relação aos parâmetros apresentados. A condutividade elétrica da água (CEa) e a razão de adsorção do sódio (RAS) como indicadora de risco de sodificação e de risco para salinização do solo, respectivamente, correspondem a quatro classes. Esta classificação de água é aceita em todo o mundo, e recomendada pelo Laboratório de Salinidade do Solo dos Estados Unidos (BERNARDO, 2006).

Nesta pesquisa, em relação ao parâmetro razão de adsorção do sódio (RAS), como indicador de risco de sodificação do solo, verificou-se pelos dados analisados na Tabela 13, uma RAS de 3,17, de 3,43 e de 3,20 respectivamente, para as três águas utilizadas na irrigação do gergelim (*Sesamum indicum*, L). Isto determina que as águas em estudo, estão de acordo com o padrão recomendado, que é de ($RAS \leq 18,87 - 4,44 \log CE$), caracterizando-se como S1 – Água com baixa concentração de sódio, que podem ser usadas na irrigação em quase todos os solos, com pequena possibilidade de alcançar níveis perigosos de sódio trocável.

Tabela 11 – Condutividade Elétrica (CE). Concentração de Cálcio, Magnésio e Sódio. Relação de Adsorção de Sódio (RAS) e Classe de Água, Encontrados nos Efluentes Tratados e Usados na Irrigação do Gergelim (*Sesamum indicum*, L) no Experimento.

Classificação	Água de Abastecimento	Água Residuária Tratada (Wetland)	Água Residuária Tratada (UASB+Wet)
pH	7,22	8,34	8,35
Condutividade Elétrica ($\mu S.Cm^{-1}$)	1066	1590	1398
Cálcio ($meq.L^{-1}$)	1,73	3,59	2,86
Magnésio ($meq.L^{-1}$)	3,14	4,07	4,34
Sódio ($meq.L^{-1}$)	4,95	6,70	6,05
Potássio ($meq.L^{-1}$)	0,16	0,56	0,63
Carbonatos ($meq.L^{-1}$)	0,00	1,12	5,28
Bicarbonatos ($meq.L^{-1}$)	1,75	5,5	1,87
Cloretos ($meq.L^{-1}$)	7,82	9,25	7,85
Sulfatos ($meq.L^{-1}$)	Ausência	Ausência	Ausência
Relação de Adsorção de Sódio (RAS)	3,17	3,43	3,20
Classe de Água	C ₃	C ₃	C ₃

Fonte: Laboratório de irrigação e Salinidade – Departamento de Engenharia Agrícola – CTRN da UFCG, Campina Grande-PB, 2013.

Com base na classificação das águas de irrigação de Richards, (1954), considerando a condutividade elétrica (CE) e a razão de adsorção de sódio (RAS), os efluentes tratados, apresentando CE: (1,40 a 1,59 dS/m⁻¹ a 25°C), de alta salinidade, obtendo-se a RAS variando de (3,20 a 3,43), que indica baixa probabilidade de sodificação, obteve-se então, uma classificação de águas do tipo C3S1.

A adequação da água de irrigação, comparando-se as Tabelas 11 e 12, não depende unicamente do teor total de sal, mas, também, dos tipos de sais. Na medida em que os conteúdos de sais aumentam, os problemas do solo e das culturas se agravam, requerendo práticas especiais de manejo para manter rendimentos econômicos. A qualidade da água e/ou sua adaptabilidade à irrigação se determinam também pela gravidade dos problemas que podem surgir depois do uso em longo prazo (SANTOS, 2008).

Tabela 12 – Parâmetros de Salinidade e Sodicidade na Interpretação da Qualidade da Água de Irrigação.

<i>Problema Potencial</i>		<i>Grau de Restrição de Uso</i>				
	<i>Unidade</i>	<i>Val.Normais</i>	<i>Nenhum</i>	<i>Baixo a moderado</i>	<i>Severo</i>	
Salinidade	(CEa ¹ :(μS.Cm ⁻¹)		< 0,7	< 0,7	3	> 3,0
Salinidade(°)	SDT ² : (mg.L ⁻¹)		< 450	< 450	2000	> 2000
Infiltração	RAS ⁴			CEa		
	0 a 3		> 0,7	0,7	0,2	< 0,2
	3 a 6		> 1,2	1,2	0,3	< 0,2
	6 a 12		> 1,9	1,9	0,5	< 0,5
	12 a 20		> 2,9	2,9	1,3	< 1,3
	20 a 40		> 5,0	5,0	2,9	< 2,9
Toxicidade de íon específico						
Sódio (Na) ³	Irrigação superficial RAS		< 3	3	9	> 9
Sódio (Na) ⁵	Irrigação p/ aspersão		< 3		< 3	
SDT:meq L ⁻¹						
Cloreto (Cl) ⁵	Irrigação p/ aspersão		< 4	4	10	> 10
SDT:meq L ⁻¹						
Cloreto (Cl) ⁵	Irrigação p/ aspersão		< 3		> 3	
SDT:meq L ⁻¹						
Cálcio	meq L ⁻¹	0 – 20				
Magnésio	meq L ⁻¹	0 – 5				
Carbonatos	meq L ⁻¹	0 – 0,1				
Sulfatos	meq L ⁻¹	0 – 20				
Outros íons que afetam culturas sensíveis						
⁽⁶⁾ Nitrogênio (N – NO ³)	mg L ⁻¹		< 5,0	5	30	> 30
Bicarbonato (HCO ₃)	meq L ⁻¹		< 1.5	1.5	8.5	> 8.5
pH					Faixa normal de 6,5 – 8,4	

Fonte: Adaptado de SANTOS, R. T., (2008), de acordo com University of California Commite of Consultants (1974) Ayers & Westcot (1999). **Notas:** ⁽²⁾CEa = Condutividade elétrica da água, em dS m⁻¹ a 25°C. ⁽³⁾SDT = Sólidos Totais Dissolvidos (mg. L⁻¹). ⁽⁴⁾RAS = Relação de Adsorção de Sódio algumas vezes representada como RNa. Para determinado valor de RAS, a velocidade de infiltração aumenta à medida que aumenta a salinidade. Avalia-se o problema potencial de infiltração através da RAS e da CEa. ⁽⁵⁾A maioria das culturas arbóreas e plantas lenhosas são sensíveis ao sódio e ao cloreto; no caso de irrigação por superfície, usam-se os valores indicados. ⁽⁶⁾Significa nitrogênio em forma de nitrato expresso nitrogênio elementar.

Portanto, fica claro que uma condição básica no controle de qualidade, é o monitoramento das concentrações de sais na água de irrigação e que para isso, utiliza-se normalmente, a RAS (Relação de Adsorção de Sódio). Segundo Oliveira e Mara, (1998), o cálculo da RAS, mesmo não considerando os ânions carbonatos e bicarbonatos, em conjunto com a condutividade elétrica (CE), são suficientes para se avaliar a qualidade do efluente.

Dentre os nutrientes que têm sua disponibilidade reduzida em solos sódicos alcalinos destacam-se o fósforo, quando o pH encontra-se entre 8,0 e 9,0 e os micronutrientes cobre, ferro, zinco e manganês, em valores de pH superiores a 9,0 (SERTÃO, 2005). Em qualquer uma das faixas de pH citadas é comum o aparecimento de sintomas de deficiências em plantas cultivadas nesses solos. A aplicação de corretivos que alteram a reação do solo e proporcione uma maior absorção desses nutrientes pelas plantas torna-se indispensável.

A qualidade das águas para consumo da população é determinada pela Organização Mundial da Saúde (OMS), adaptada para o Brasil pelo Ministério da Saúde, sendo importante aliado nas ações de saúde e ambiente, haja vista a importância da água para a vida humana, pecuária e agricultura. Com relação à pecuária as normas de qualidade das águas são ditadas, geralmente, por órgãos de pesquisas ou governamentais como, por exemplo, a Academia Nacional de Ciências dos EUA (SANTOS, 2008).

Portanto, Cruz (1996), assegura que a qualidade de uma água se refere às suas características biológicas e físico-químicas. O grau de aceitabilidade da água para uso específico (abastecimento público, agricultura, pecuária, indústria, recreação), depende da composição, da concentração e da influência das características mencionadas sobre a utilização. Pode ser representada através de diversos parâmetros que traduzem as suas principais características físicas, químicas e biológicas; a perda dessa qualidade pode comprometer seu uso.

5.3 Qualidade Sanitária e Ambiental do Solo Usado no Experimento em Função do Reuso de Águas.

Segundo Beck et al. (2000), o solo é um corpo natural da superfície terrestre constituído de materiais minerais e orgânicos, resultantes das interações dos fatores de formação (clima, organismos vivos, material de origem e relevo) através do tempo, contendo matéria viva e em parte modificado pela ação humana, capaz de sustentar plantas, de reter água, de armazenar e transformar resíduos e suportar edificações.

De acordo com Ministério do Meio Ambiente, que dispõe sobre as condições e padrões máximos de lançamentos de efluentes oriundos de sistemas de tratamento de esgotos

sanitários, conforme apresentados na Tabela 13, e que deverão obedecer às condições e aos padrões especificados na Resolução 430/2011 (CONAMA, 2011; 2005).

Tabela 13 – Padrões de Lançamento de Efluentes de Esgotos Sanitários

Parâmetros inorgânicos	Valores máximos
Arsênio total	0,5 mg/L As
Boro total (Não se aplica para o lançamento em águas salinas)	5,0 mg/L B
Cádmio total	0,2 mg/L Cd
Chumbo total	0,5 mg/L Pb
Cianeto total	1,0 mg/L CN
Cianeto livre (destilável por ácidos fracos)	0,2 mg/L CN
Cobre dissolvido	0,2 mg/L CN
Estanho total	4,0 mg/L Sn
Ferro dissolvido	15,0 mg/L Fe
Fluoreto total	10,0 mg/L F
Mercúrio total	0,01 mg/L Hg
Nitrogênio amoniacal total	20,0 mg/L N
Prata total	0,1 mg/L Ag
Selênio total	0,30 mg/L Se
Sulfeto	1,0 mg/L S
Zinco total	5,0 mg/L Zn
Parâmetros orgânicos	Valores máximos
Benzeno	1,2 mg/L
Clorofórmio	1,0 mg/L
Dicloroeteno (somatório de 1,1 + 1,2cis + 1,2 trans)	1,0 mg/L
Fenóis totais (substâncias que reagem com 4-aminoantipirina)	0,5 mg/L C6H5OH
Tetracloroeto de carbono	1,0 mg/L
Tricloroeteno	1,0 mg/L
Tolueno	1,2 mg/L
Xileno	1,6 mg/L

Fonte: (Ministério do Meio Ambiente (CONAMA, 2011; 2005).

5.3.1 Atributos Físico-Químicos do Solo Após Reuso de Água Residuária Tratada na Irrigação do Gergelim (*Sesamum indicum*, L)

Comparando-se as Tabelas 13, 14 e 15, com a Tabela 4 citada à pág. 49, observa-se que as características do solo usado no experimento, definem este solo como salino, após o uso das águas de abastecimento e de wetland, e salino sódico, para o uso com água tratada pelo UASB pós-tratado com wetland. O solo inicialmente revelou uma RAS de 1,87 que alterou para RAS de 4,23 após o uso de água de abastecimento, RAS de 6,74 após o uso de água residuária do sistema Wetland e RAS de 5,61 após o uso de água residuária do sistema UASB. Observando-se ainda, que a condutividade elétrica (CE: mmhos/cm) na suspensão solo-água, apresentou CE: 2,2 no solo que recebeu efluente do UASB, e CE: 1,84, para o solo que recebeu Wetland e CE: 1,41 para o solo que recebeu água de abastecimento.

Com esses resultados, verifica-se salinidade média e classe de solo salino após o uso com água de abastecimento; salinidade forte e classe de solo salino sódico após reuso de água residuária tratada pelo UASB e salinidade forte e classe de solo salino após reuso de água residuária tratada pelo Wetland construído. Com isto, pode-se afirmar que essas águas não são recomendadas para uso em solo com deficiência de drenagem, mas em solos com drenagem adequada, podendo-se necessitar de práticas especiais de drenagem. No entanto, podem ser usadas na irrigação de plantas com boa tolerância aos sais, (C3 – água com salinidade alta (CE entre 0,75 e 2,25 dS/m-1, a 25 °C).

A Tabela 14 apresenta características quanto ao impacto do solo usado no experimento, por meio das análises realizadas durante o período experimental.

Tabela 14 – Resultado de Análise Inicial e Final Referente às Características Químicas o Solo Usado no Experimento.

Características Químicas	Solo Antes De Irrigado	Solo c/Água de Abastecimento ⁽¹⁾	Solo c/Água T. UASB ⁽²⁾	Solo/Água T. Wetland ⁽³⁾
Cálcio (meq/100g de solo)	3,55	5,98	6,19	8,34
Magnésio(meq/100g de solo)	3,10	3,95	4,72	4,56
Sódio (meq/100g de solo)	0,20	0,90	2,56	2,19
Potássio (meq/100g de solo)	0,25	0,60	0,65	0,85
S (meq/100g de solo)	7,10	11,43	14,12	15,94
Hidrogênio (meq/100g de solo)	0,00	0,06	0,00	0,00
Alumínio (meq/100g de solo)	0,00	0,00	0,00	0,00
T (meq/100g de solo)	7,10	11,49	14,12	15,94
Carbonato de Cálcio Qualitativo	Ausência	Ausência	Presença	Presença
Carbono Orgânico %	0,56	1,23	1,41	1,79
Matéria Orgânica %	0,96	2,12	2,43	3,08
Nitrogênio %	0,05	0,12	0,14	0,17
Fósforo assimilável mg/100g	4,97	4,51	4,51	4,52
pH H ₂ O (1:2,5)	7,04	6,87	7,50	7,53
CE–mmhos/cm(Susp.Solo-Água)	0,10	1,41	1,84	2,20
pH (Extrato de Saturação)	7,00	6,66	7,28	7,28
CE–mmhos/cm(Ext/Saturação)	0,450	5,630	8,710	10,080
Cloreto (meq/l)	1,75	31,00	58,25	72,50
Carbonato (meq/l)	0,00	0,00	0,00	0,00
Bicarbonato (meq/l)	3,00	8,70	11,60	15,40
Sulfato (meq/l)	Ausência	Presença	Presença	Presença
Cálcio (meq/l)	1,37	29,50	37,87	47,62
Magnésio (meq/l)	1,13	20,50	30,88	38,25
Potássio (meq/l)	0,48	2,29	2,99	5,28
Sódio (meq/l)	2,10	21,14	39,54	36,78
Porcentagem de Saturação	23,33	27,00	27,00	27,00
Relação de Adsorção de Sódio	1,87	4,23	6,74	5,61
PSI	2,81	7,83	18,13	13,74
Salinidade	Não Salino	Média	Forte	Forte
Classe do Solo	Normal	Salino	Salino Sódico	Salino
Datas de Realização das Análises	26/08/2013	11/03/2014	11/03/2014	11/03/2014

Fonte: Laboratório de Irrigação e Salinidade – Departamento de Engenharia Agrícola – CTRN da UFCG. Campina Grande-PB, 2014. **Notas:** Solo Irrigado com Água de Abastecimento ⁽¹⁾. Solo Irrigado com Água Residuária Tratada p/ sistema UASB ⁽²⁾. Solo Irrigado com Água Residuária Tratada p/ Sistema Wetland ⁽³⁾.

A fertilidade do solo em função dos diferentes tratamentos que recebeu com águas residuárias de origem de esgoto sanitário causou benefícios às plantas, considerando-se o uso dessa água, como fertirrigação pela quantidade de nutrientes químicos e orgânicos contidos em sua natureza.

Portanto, o solo quando trabalhado com água residuária deve ser monitorado por meio de análises químicas, porque pode ficar saturado, prejudicando o desenvolvimento das plantas e inviabilizando o sistema, solo-água-planta (BERTONCINI, 2008).

Os critérios adotados para classificação de salinidade e sodicidade do solo foram definidos em função da condutividade elétrica (CE), do percentual de sódio trocável (PST) e do pH do extrato de saturação caracterizados na Tabela 4 (pág. 49), levando-se em conta também as Tabelas (14, 15 e 16), e segundo o Comitê de Terminologia da Sociedade Americana de Ciência do Solo (BOHN et al., 1985; QUEIROZ et. al., 1997).

Tabela 15 - Critérios para Classificação de Salinidade e Sodicidade do Solo.

Denominação	CE(dS.m-1)	PST	pH
Normal	> 2	<15	< 8,5
Salino	> 2	> 15	< 8,5
Salino Sódico	< 2	> 15	>8,5
Sódico	< 2	< 15	< 8,5

Fonte: Adaptado de Santos, (2008).

Por outro lado, ainda de acordo com a classe de água C3S1, e com relação ao nível de sodicidade, o solo apresentou RAS de 5,61 após o uso da água residuária do sistema UASB, cuja água apresentou (RAS: 3,43) e que, portanto, essa água residuária do UASB, pode ser usada para irrigação em quase todos os solos, com pequena possibilidade de alcançar níveis perigosos de sódio trocável (S1 – Água com baixa concentração de sódio (RAS \leq 18,87 – 4,44 log CE).

Tabela 16 - Influência da Salinidade do Solo no Crescimento das Plantas.

Categoria	CE (dS.m-1)	Influência para as plantas
Não salino	0 – 2	Salinidade imperceptível
Ligeiramente salino	2 - 4	Plantas muito sensíveis podem ser afetadas
Medianamente salino	4 – 8	Rendimento de várias é afetado
Fortemente salino	8 – 16	Somente plantas tolerantes produzem satisfatoriamente
Muito fortemente salino	> 16	Pouquíssimas plantas tolerantes se desenvolvem satisfatoriamente

Fonte: Adaptado de Santos, (2008).

Os solos das regiões áridas e semiáridas, devido aos altos teores de sais solúveis que contêm nos horizontes superficiais, são salinos e alcalinos ou sódicos (holomórficos) em virtude das altas taxas de evapotranspiração e da baixa pluviosidade. Os solos salinos apresentam condutividade do extrato de saturação maior que 4,0 mhos/cm a 25°C, porcentagem de saturação de sódio menor que 15 e o pH em geral menor que 8,5, normalmente reconhecidos pelo aparecimento de crostas brancas na superfície. Os solos sódico-salinos apresentam condutividade do extrato de saturação maior que 4,0 mhos/cm a 25°C e mais de 15% de sódio trocável e o pH é raramente maior que 8,5. Os solos sódico-salinos podem ser considerados intermediários entre os solos salinos e os sódicos não salinos. Os solos sódicos não salinos mostram condutividade do extrato de saturação menor que 4,0 mhos/cm a 25°C e contêm sódio trocável maior que 15% e pH variando entre 8,5 e 10,0 (GONÇALVES, 1982).

Considerou-se o parâmetro salinidade, levando-se em conta a influência do solo no crescimento das plantas e a condutividade elétrica, conforme já citados, e ainda de acordo com U.S. Salinity Laboratory Staff (1969).

5.3.2 Características Microbiológicas do Solo Após Reuso

O solo é um meio natural para uma grande variedade de organismos e microorganismos. Existindo grande conjunto de seres vivos, responsáveis por diversificadas funções do solo, denominada também de microbiota do solo. Os organismos são diversos com várias centenas de espécies de fungos e uma grande diversidade de tipos de bactérias com populações que variam entre 10^6 a 10^9 células por centímetro cúbico (SWIFT et al., 1979). No entanto, segundo Chernicharo (1997), a sobrevivência de bactérias patogênicas no solo depende de fatores como pH, umidade do solo, radiação solar, temperatura, concentração de matéria orgânica e a ação predatória de outros microorganismos

A Tabela 17 apresenta os resultados das avaliações microbiológicas realizada no solo, no início e no final do experimento, destacando-se as concentrações de *Coliformes a 45°C* de acordo com as amostras de solos analisadas em nove tratamentos (T1, T2, T3, T4, T5, T6, T7, T8, T9).

Tabela 17 – Concentração Microbiológica, Antes e Pós o Uso do Solo com Água Residuária Tratada.

Tratamentos	<i>Coliformes a 45°C</i>	
	Solo Natural	Solo: Reuso Água
	10 ³ UFC/100mL	10 ³ UFC/100mL
T1:Wetland/gotejam. superficial	0,405	4,9
T2:UASB+wet/gotejam. Superf.	0,405	3,1
T3:Abast/gotejamento superficial	0,405	8,8
T4:Wetland/gotej. subsuperficial	0,405	7,2
T5:UASB+Wet/gotej. Subsuperf.	0,405	5,7
T6:Abast/gotej. subsuperficial	0,405	1,7
T7:Wetland/micro-aspersão	0,405	13,0
T8:UASB+wet/micro-aspersão	0,405	6,5
T9:abast/micro-aspersão	0,405	8,9
MÉDIA	0,405	6,6

Fonte: Laboratório de Ciências Ambientais da Universidade Estadual da Paraíba – UEPB. 2014.

De acordo com CONAMA, Resolução nº 357/2005, no Art. 29, diz que a disposição de efluentes no solo, mesmo tratados, não poderá causar poluição ou contaminação das águas. Portanto, para os resultados observados na Tabela 17, verificou-se a presença de *Coliformes a 45°C* em concentrações elevadas nas amostras analisadas, havendo incremento a mais para todos os tratamentos, na comparação da concentração de *Coliformes a 45°C* com análise do solo natural, antes do uso com água residuária.

O fator água residuária, favoreceu o desenvolvimento e a produção do gergelim, nas condições da pesquisa. Em função de fatores, como pH, condutividade elétrica, capacidade de campo constante, proporcionando umidade constante, baixa temperaturas, elevado teor de matéria orgânica, contribuíram com a proliferação de bactérias, conseqüentemente por maiores concentrações de *Coliformes a 45°C* no final do ciclo da cultura, após cinco meses de irrigação com água residuária tratada, com turno de irrigação entre três a quatro dias em média, e adubação orgânica com humos de minhoca aos 30 e 60 dias após o plantio (DAP).

Estas condições, que associadas a outros fatores, como por exemplo, o pH 7,0 (Extrato de saturação) do solo antes do uso, comparado ao pH 6,66 do mesmo solo que recebeu água de abastecimento; pH 7,28 dos tratamentos que receberam água residuária tratada pelo sistema UASB e pH 7,28 do solo nos tratamentos que receberam água residuária tratada pelo sistema Wetland construído, também favoreceram à multiplicação e sobrevivência desses patógenos.

De acordo com Souza et al. (2011); Ribas et al. (2008); Santos (2004), Chernicharo (1997), afirmam que a ausência de bactérias patogênicas em solos analisados, inclusive *E. coli*, dependem da sobrevivência da umidade, do pH, da radiação solar, da temperatura, da concentração de matéria orgânica, e da ação predatória de outros microorganismos.

A ação ultravioleta na faixa de UV-A (320 a 400nm), é a principal responsável pela inativação de microorganismos no solo, e o efeito sinérgico dessas duas faixas de radiação, (radiação solar), aumenta significativamente a taxa de radiação dos microorganismos (DANIEL, 2001).

De acordo com Shuval et al. (1986), e outros autores, o tempo de sobrevivência dos microorganismos nas superfícies das plantas é menor do que no solo, fato justificado pela maior exposição à luz solar. No entanto, esses autores destacam que o tempo de sobrevivência de bactérias no solo, pode ser prolongado dependendo em função de área úmida e sombreada. A Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (EPA, 1992), dando destaque a ovos de *Helminths*, consideram que estes, por serem mais resistentes a uma variedade de condições físicas e químicas, capazes de sobreviver por sete anos no solo, destacando-se os ovos de *Ascaris*, *Toxocara* e *Trichuris*. Muitos ovos resistem às técnicas de tratamento de esgotos e são encontrados nos efluentes lançados nos rios, ou nos lodos secos empregados como adubos, após seis meses (REY, 1991).

5.4. Crescimento. Desenvolvimento e Produção do Gergelim (*Sesamum indicum*, L)

A Tabela 18 apresenta variáveis de crescimento, desenvolvimento e produção do gergelim, de acordo com as fases fenológicas das plantas, conforme esta representado também na Figura 20 à página 76, indicando que os níveis de salinidade e sodicidade do solo e das águas residuárias tratadas, não interferiu negativamente na capacidade de trocas de cátions, nem no processo de absorção de nutrientes do gergelim cultivado, atribuindo-se esse fato, ao teor de matéria orgânica existente nas águas residuárias, associado à adubação química e orgânica com humos de minhoca, realizada no experimento.

A análise de crescimento de plantas é uma ferramenta utilizada por pesquisadores que desejam identificar a diferença entre o desenvolvimento das plantas. No caso dessa pesquisa, foram avaliados os parâmetros relacionados à altura da planta, o diâmetro do caule, o número de folhas e área foliar por planta, número de ramos, altura de inserção da flor e o número de flores, o número de vagens/frutos e a produção/produktividade do gergelim, conforme se verifica na Tabela 18 já citada.

Tabela 18 - Valores Médios das Variáveis da Cultura do Gergelim, Encontrados aos 120 Dias Após Plantio (DAP)

Variável Gergelim	Wetland	UASB	Água Abast
Altura Inser. Flôr(cm)	29	30	29
Altura Planta (cm)	141	166	171
Folhas (n°)	140	170	159
Ramos (n°)	6	6	6
Flores (n°)	20	25	27
Vagens/Frutos (n°)	165	197	162
Caule/Diâm. (mm)	30	3	3
P. Total Sementes(g)	353	468	384
P. 1000 Sementes(g)	3	4	4
P. Médio S.p/Planta(g)	30	39	32

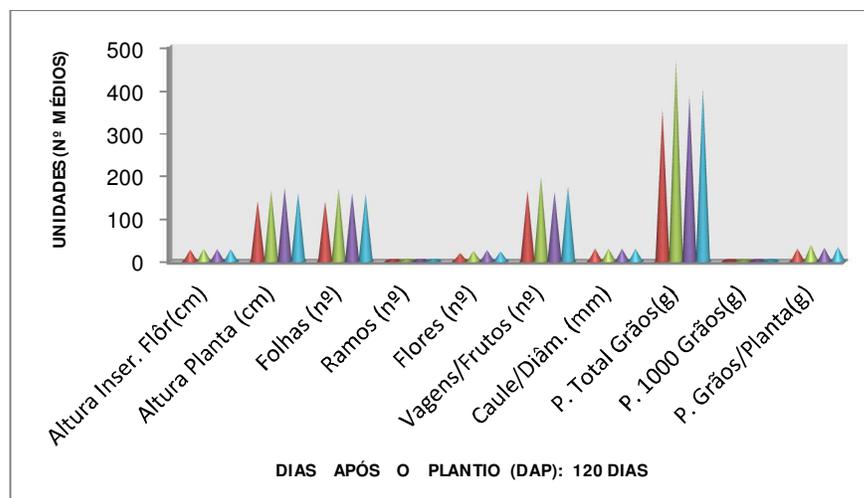
Fonte: Casa de Vegetação/UFMG. 2014.

5.4.1. Efeitos da Água Residuária Tratada na Cultura do Gergelim

A Figura 21 apresenta o desempenho do gergelim em relação às várias estruturas da planta em relação ao crescimento, desenvolvimento e produção. Nesta pesquisa ao analisar as principais estruturas da planta no período de 120 dias, entre outubro de 2013 e janeiro de 2014, verifica-se a interação dos fatores água residuária tratada e os sistemas de irrigação localizada, cujos valores representam as médias dos tratamentos com repetição.

A altura média de inserção da flor foi de 29 cm entre 45 e 60 DAP, caracterizando o início da floração. O número de flores em média permaneceu igual a 24, aos 75 DAP. A variável altura da planta aumentou de forma acelerada entre os 45 e 75 dias, estabilizando o crescimento aos 90 DAP, mantendo-se próximo de 1,41 m de altura em relação ao sistema Wetland, 1,66 m para o UASB e a média de 1,71 m de altura das plantas irrigadas com água de abastecimento.

Figura 21 – Resultados das Estruturas do Gergelim no Período Fenológico da Planta



Fonte: Casa de Vegetação/UFMG. 2014.

O número de folhas variou entre 140 no sistema wetland a 170 folhas no sistema UASB e na água de abastecimento foi de 159, ficando a média dos três sistemas de 157 folhas. Entre os 15 a 20 dias começam a surgir folhas fendidas e aos 35 as folhas estreitas permanentes. Os primeiros frutos apareceram aos 60 dias após o plantio (DAP). O número de ramos secundários se manteve na média de seis ramos e acompanhou o crescimento da haste principal da planta, iniciando o alongamento em torno dos 45 dias e mantendo o ritmo até os 90 dias. Nos ramos secundários, o tipo de folhas aconteceu de forma semelhante ao padrão de folhas da haste principal. As folhas largas dos ramos secundários são muito menores que as dos ramos primários.

Ainda para variável crescimento, os tratamentos que receberam a água residuária tratada pelo sistema UASB com pós-tratamento pelo Wetland construído, apresentou a variável altura de inserção da flor foi de 23 e 30 cm, que ocorreu aos 45 e 60 DAP. A floração iniciou-se aos 45 dias e o número de flores em média permaneceu igual a 25, aos 75 DAP, declinando para 16 aos 90 DAP. Os frutos/vagens iniciaram aos 60 dias e cresceram até os 90 dias atingindo 175 vagens aos 105 dias.

Com relação ao fator água de abastecimento, que é a testemunha, mostram a inserção das primeiras flores à altura de 29 cm aos 45 dias. A altura da planta 1,71 m e número de folhas 159. O número de vagem/fruto foi de 162.

Portanto o sistema UASB apresentou valores diferenciados em relação aos tratamentos que receberam água tratada do sistema Wetland e para os tratamentos com água de abastecimento como testemunha. E iniciou a floração, 15 dias mais precoce que os tratamentos água tratada do sistema Wetland.

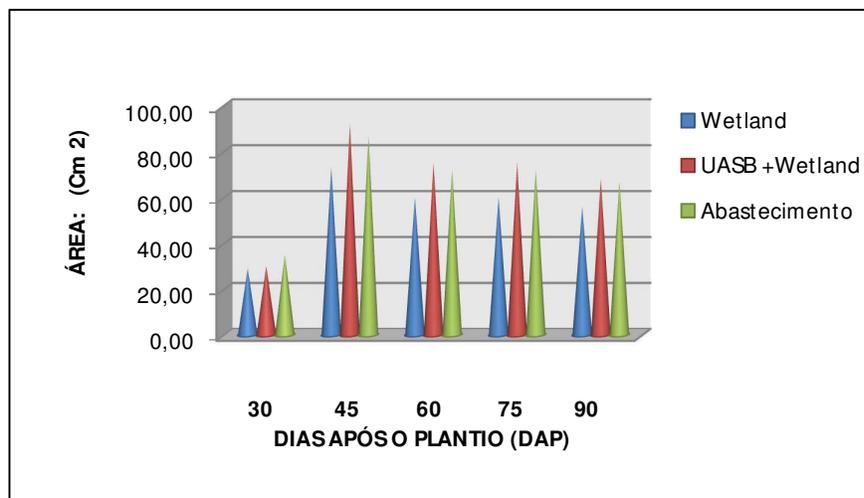
A adição de matéria orgânica no solo melhora várias propriedades físico-químicas, como retenção de água/umidade para fornecimento às plantas, isto proporciona redução nas variações de temperatura no interior do mesmo, regula e melhora a absorção de nutrientes, segundo Gomes, (1988), e Werner (1999), essenciais em condições de baixa fertilidade natural do solo e má distribuição pluviométrica. Pereira et al. (2002), estudando a adubação orgânica do gergelim em dois anos de cultivo, constataram que a adubação residual, proporcionou efeito significativo sobre a produção de fitomassa da parte aérea.

Analisando a evolução da área foliar conforme se apresenta na Figura 22, observa-se o crescimento com maior rapidez, entre 45 e 60 dias após a emergência, estabilizando-se aos 75 e 90 dias após o plantio (DAP) e decresce após esse período. Essa diminuição da área foliar após 80 dias é causada pela queda das folhas mais velhas localizadas na parte inferior da planta. A heterofilia das folhas do gergelim é uma característica importante, pois permite bom

aproveitamento da luz solar, ao longo do dossel da planta. O número médio de folhas por planta, entre os três sistemas, foi de 157, como já visto na Figura 21.

Souza et al. 2002, estudando o efeito de água residuárias tratadas sobre a produção de fitomassa da parte aérea do gergelim, obtiveram também um incremento da massa foliar, quando comparada às plantas irrigadas por água de abastecimento (CRUZ, 2010).

Figura 22– Área Foliar do Gergelim Durante o Experimento



Fonte: Casa de Vegetação/UFMG. 2014

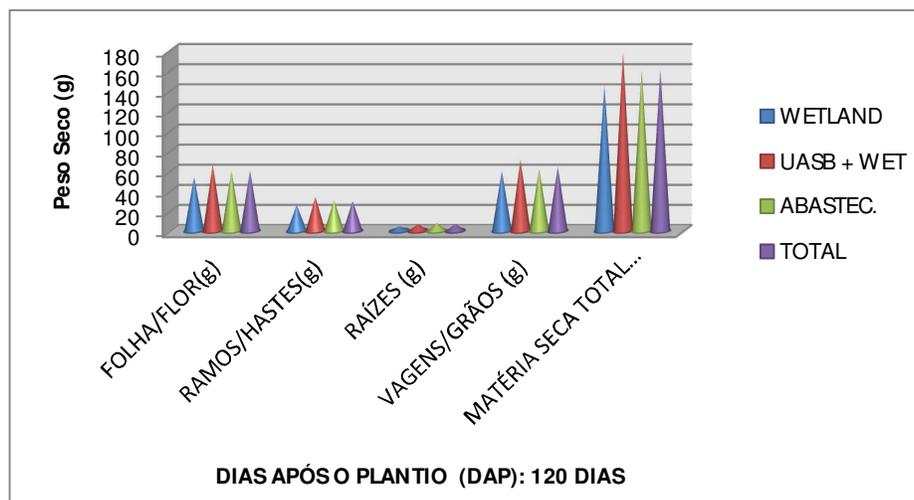
Portanto a figura 22 caracteriza também a evolução da área foliar em função do DAP, que é um parâmetro importante e decisivo na produtividade do gergelim. A Área Foliar (S) do gergelim foi determinada pela Equação $S = \emptyset \times C \times L$, onde S é a área foliar, \emptyset é o fator de área foliar para a cultura (0,70), C é o comprimento longitudinal da folha (cm) e L é a maior largura transversal do limbo da folha (cm). Para L e C, foi calculado a média de 5 folhas por planta, por lisímetro, medidas a cada 15 dias, durante o experimento. Em cada lisímetro, foi cultivada uma única planta.

Observa-se que as médias de área foliar para o fator água residuária tratada pelo UASB e água de abastecimento, não houve diferença significativa, sendo de 68 e 67 cm², respectivamente. Enquanto que a área foliar média nas plantas irrigadas com água residuária tratada pelo sistema Wetland construído, foi de 56 cm². Isto certamente também interferiu na menor produtividade das plantas irrigadas por este sistema.

A Figura 23 apresenta as médias individualizadas de peso seco das estruturas da planta, ao longo do ciclo de 120 dias, não houve diferenças significativas, entre os fatores água residuária tratada e de abastecimento. No entanto, para as médias de matéria seca de vagens e frutos, houve diferença para mais, apenas para as plantas irrigadas com água residuária tratada pelo sistema UASB pós-tratado com wetland construído, que foi em média de 71 g. Para as plantas tratadas pelo sistema Wetland construído e de abastecimento os pesos praticamente iguais, 60g e 62g para Wetland e abastecimento, respectivamente. Semelhante comportamento aconteceu com relação à fitomassa seca total, em que o material irrigado com UASB pesou 178g enquanto para as plantas irrigadas com Wetland e água de abastecimento foi de 145g e 161g respectivamente.

De acordo com Lucas Filho et al. (2002), a maior disponibilidade de nutrientes no solo, causada pela aplicação de água residuárias, pode levar a um melhor desenvolvimento da planta, com maior produção de matéria seca, levando a planta a uma evolução do peso seco de folhas e flores, ramos laterais e haste principal, vagens e frutos, raízes e fitomassa total, conforme a Figura 23.

Figura 23 – Evolução do Peso Seco e da Fitomassa Total do Gergelim Irrigado com Água Residuária Tratada e Água de Abastecimento.

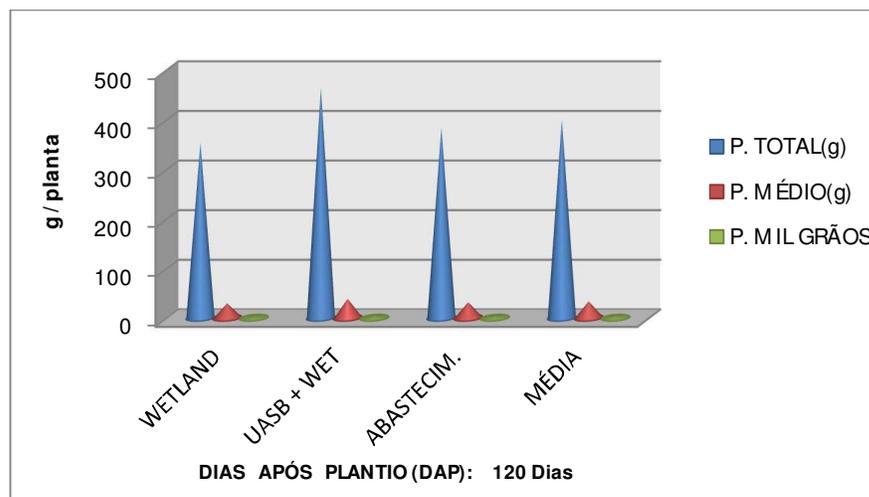


Fonte: Casa de Vegetação/UFMG. 2014

Os índices de produção e produtividade do gergelim, encontrados nessa pesquisa, e apresentados na Figura 24, correspondem às médias das 36 parcelas que foi de 34g por planta e o peso médio de 1000 sementes, que foi de 4g/planta. De acordo com a EMBRAPA

ALGODÃO, (2000), a cultivar de gergelim CNPA G4 tem teor de óleo da semente entre 48 e 50% e peso médio de 1000 sementes de 3,10g.

Figura 24 – Representação Gráfica da Produtividade do Gergelim Irrigado com Água Residuária Tratada e Água de Abastecimento



Fonte: Casa de Vegetação/UFCEG. 2014

A quantidade de ramos e folhas, que foram significativos, levando-se em conta a área foliar, incluindo-se os ramos terciários, pois houve uma boa ramificação, contribuíram com a significativa produtividade do gergelim, nesta pesquisa, que foi na média de 30 g/planta, obtendo-se uma produção média total de sementes de 353 g nos tratamentos (T1R1, T7R1, T4R1, T4R2, T7R2, T1R2, T4R3, T7R3, T1R3, T7R4, T7R4, T1R4, T4R4), que foram irrigados com água residuária do Wetland construído.

A produtividade de sementes obtidas pela irrigação com água residuária tratada, do sistema UASB, ficou na média de 39 g/planta, obtendo-se uma produção média de sementes de 464 g nos tratamentos (T2R1, T8R1, T5R1, T2R2, T8R2, T5R2, T2R3, T5R3, T8R3, T2R4, T5R4, T8R4).

Com relação ao fator água de abastecimento, que foi a testemunha, a produtividade de sementes foi de 32g por planta, obtendo-se uma produção média de sementes de 384 g nos tratamentos (T6R1, T3R1, T9R1, T3R2, T9R2, T6R2, T3R3, T9R3, T6R3, T3R4, T9R4, T6R4).

Para se estabelecer uma comparação da produtividade e da produção do gergelim obtida neste experimento e a produção ou produtividade possível de ser obtida em 1 hectare de plantio a campo, e considerou-se os dados da Tabela 19, de acordo com Embrapa, (2000), para

estimar uma densidade de 10 plantas por metro linear, com espaçamento de 0,50m entre fileiras, o que equivale a uma população de 160.000 plantas por hectare (ha). Então, ao multiplicar este número por 34g/planta, ou 34g/1000g que é igual a 0,034kg, que é a produtividade média conseguida no experimento, teremos então 166.000 plantas x 0,034kg que é igual a 5.644 kg de sementes de gergelim por hectare, que revela uma excelente produtividade para o gergelim.

Pode-se considerar ainda, visto por outro ângulo, de acordo com os índices da Figura 24 e a estimativa do peso de sementes de gergelim por hectare (ha), conforme a Figura citada, o peso médio total de 400g produzidos por 36 plantas ou de 34g por planta e o espaçamento entre fileiras no experimento, que foi de 1,0 m e 0,60m entre plantas, o que equivale a uma área de 0,60m² por planta. Dessa forma, também é possível encontrar a produção ou produtividade do gergelim por hectare.

Tabela 19 – População de Plantas por Hectare (ha), de Acordo com Espaçamento Entre Fileiras e o Número de Plantas por Metro (m) Linear.

Espaçamento (cm)	Plantas / metro linear (m)			
	10	12	14	16
40	200.000	300.000	350.000	400.000
45	177.777	266.666	211.111	355.555
50	160.000	240.000	280.000	320.000

Fonte: EMBRAPA, (2004).

Por fim, nesta pesquisa, não foi avaliado o crescimento das raízes ao longo de todo o ciclo da cultura, em termos de comprimento, mas foi medido o peso de matéria seca, das raízes coletadas no final do ciclo da cultura. No entanto, conforme afirma Severino, (2002), a profundidade das raízes, aos cinco dias após a emergência, mostrou-se 5,8 vezes maior que a altura da planta. Esta característica da planta de gergelim lhe proporciona um sistema radicular profundo e vigoroso e ajuda seu desenvolvimento sob a baixa disponibilidade hídrica no solo.

5.5 Avaliação da Irrigação Localizada com Água Residuária Tratada.

A irrigação para ser eficiente, é importante que os sistemas apresentem uniformidade de aplicação da água. É necessário verificar se as condições previstas inicialmente no projeto possam ser confirmadas em campo. Para tanto, deve-se avaliar as condições de pressão, vazão e lâminas d'água aplicadas (SILVA & SILVA, 2005; FAVETTA & BOTREL, 2001).

Um dos fatores que influenciam o manejo adequado da irrigação é o desempenho hidráulico do sistema, verificando-se assim, esse desempenho, periodicamente, por meio de avaliações hidráulicas, utilizando-se os testes de vazão dos emissores.

A Tabela 20 apresenta os valores de vazão dos emissores, em mililitros (mL), coletados por meio de testes realizados no experimento com a irrigação localizada do gergelim, nos três tipos de água utilizados. Os números desta tabela foram transformados em milímetros (mm), que deu origem à Tabela 21 para facilitar os cálculos das equações Eq. (6) e Eq. 7, referentes ao coeficiente de uniformidade de distribuição (CUD) e a eficiência de aplicação (EA) dos sistemas de irrigação localizada do experimento pesquisado.

Tabela 20 – Vazão Média de Emissores em Testes no Experimento de Gergelim.

Água Tratada de Wetland (Médias vazão emissores: mL)				Água Tratada de UASB (Médias vazão emissores: mL)				Água Abastecimento (Médias vazão emissores: mL)			
Pressão / Emissor	Gotej Super	Gotej sub	Micro- aspersora	Pressão / Emissor	Gotej Super	Gotejo sub	Micro- aspersora	Pres/ Emiss	Got Sup	Gotej sub	Mic asp.
10mca (1)	427	172	880	10mca	153	93	847	10mca	155	96	647
10mca (2)	137	131	893	10mca	155	155	600	10mca	141	353	640
10mca (3)	160	154	767	10mca	160	145	773	10mca	182	157	633
10mca (4)	367	250	700	10mca	140	155	160	10mca	130	111	713
15mca (1)	487	163	800	15mca	160	203	973	15mca	213	81	753
15mca (2)	173	153	813	15mca	167	180	660	15mca	187	303	773
15mca (3)	233	145	607	15mca	193	103	740	15mca	150	129	840
15mca (4)	393	207	613	15mca	143	187	147	15mca	213	141	102 0
20mca (1)	453	127	1113	20mca	183	208	1160	20mca	207	64	840
20mca (2)	121	193	1116	20mca	149	154	753	20mca	127	274	833
20mca (3)	167	127	900	20mca	192	115	1127	20mca	233	78	860
20mca (4)	440	220	907	20mca	185	170	827	20mca	267	118	980

Fonte: Casa de Vegetação/UFMG. 2014. Nota: Os números marcados correspondem às médias de 25% das menores vazões.

Para Miranda e Pires, (2003), o termo uniformidade refere-se às variáveis de desempenho associadas à variabilidade de lâmina de irrigação aplicada.

De acordo com Favetta & Botrel, (2001), o coeficiente de uniformidade nos sistemas de irrigação localizada é importante por permitir a avaliação de sistemas de irrigação localizada tanto na fase de projetos, como no acompanhamento do desempenho após a

implantação. Quanto aos diferentes métodos aplicáveis, é importante que se defina a correlação entre os mesmos, de forma a permitir a comparação entre os equipamentos.

De acordo com Mantovani, Bernardo e Palaretti, (2007); Keller e Karmelli (1975); Merriam, Keller e Ataro (1973), o coeficiente de uniformidade de distribuição (CUD), definido na Eq. (6), foi calculado, usando-se os valores da Tabela 21.

$$\text{CUD} = \frac{Lq}{Lm} \times 100 \quad \text{Eq. (6)}$$

CUD: Coeficiente de Uniformidade de Distribuição (%)

Lq: média dos primeiros 25% menores valores de lâminas coletadas (mm);

Lm: lâmina média de todas as vazões coletadas (mm).

Com relação a eficiência de aplicação (EA) da unidade operacional dos sistemas de irrigação localizada, foi estimada conforme apresentado por Merriam & Keller (1978), pela equação 7.

$$\text{EA} = 0,9 \times \text{CUD} \quad \text{Eq. (7)}$$

Sendo, EA: Eficiência de Aplicação (%)

Para que a irrigação seja bem conduzida, sem desperdício d'água, é importante que o irrigante quantifique o volume de água requerida pela planta, realizando dessa forma o manejo adequado da irrigação.

Ainda na construção da Tabela 21, considerou-se o diâmetro (D), o raio (R) e área dos lisímetros usados no experimento, sendo $D = 0,40\text{m}$ e $R = 0,20\text{m}$, com isso, determinou-se a área (S) de um lisímetro que é $S \rightarrow S = \pi(r)^2$ Eq. (8) e a equação $V = \text{litro} / S = \text{litro} / \text{m}^2$ Eq. (9).

A Tabela 21 apresenta os resultados do manejo de irrigação do experimento, com as vazões já transformadas em milímetros (mm). Verifica-se que para o sistema de irrigação por gotejamento superficial, o coeficiente de uniformidade de distribuição (CUD) foi em média de 73%, com eficiência de aplicação (EA) em média de 66%, considerando-se os três tipos de água usados no experimento. Com relação ao sistema de gotejamento subsuperficial, o CUD foi de 80% e a eficiência de aplicação (EA) foi de 72%, enquanto que no sistema de microaspersão o CUD foi de 77% e EA foi de 69,3%.

Portanto, os sistemas de irrigação localizada por gotejamento sub (gotejador enterrado) e micro-aspersão, apresentaram os melhores percentuais de CUD (80% e 77%), e EA de 72% e 69,3%, respectivamente.

Enquanto que o gotejamento superficial apresentou menor resultado de CUD (73%), com EA de 66%. No conjunto dos sistemas de irrigação como um todo, isto é, para os três sistemas, o coeficiente de uniformidade de distribuição (CUD), foi reduzido para 67% e a eficiência de aplicação para 60%.

Tabela 21 – Resultados dos Cálculos de CUD e EA, em Função dos Tipos de Água Tratada, dos Sistemas de Irrigação Localizada e da Pressão do Sistema Pressurizado.

	<i>Água Tratada p/ Wetland</i>			<i>Água Tratada p/ UASB</i>			<i>Água de Abastecimento</i>		
	Médias de Vazão por Emissores (mm)								
Pressão /Sistema	GotejSuper	Gotejo sub	Micro-asper	GotejSuper	Gotejo sub	Micro-asper	GotejSuper	Gotejo sub	Micro-asper(mm)
10mca (1)	3,4	1,37	7	1,22	1	6,74	1,23	1	5,15
10mca (2)	1,09	1,04	7,11	1,23	1,23	5	1,12	3	5,1
10mca (3)	1,27	1,23	6,11	1,27	1,15	6,15	1,45	1,25	5,04
10mca (4)	3	2	5,6	1,11	1,23	1,3	1,04	1	5,7
15mca (1)	3	1,28	6,4	1,27	1,62	7,75	1,7	1	6
15mca (2)	1,4	1,22	6,5	1,34	1,43	5,25	1,5	2,41	6,15
15mca (3)	2	1,16	5	1,54	1	6	1,2	1,03	6,7
15mca (4)	3,2	1,65	5	1,14	1,5	1,2	1,7	1,12	8,12
20mca (1)	3,6	1,01	9	1,46	1,66	9,24	1,65	1	6,7
20mca (2)	1	1,54	9	1,2	1,23	6	1,01	2,18	6,63
20mca (3)	1,3	1,01	7,2	1,53	1	9	1,85	1	6,85
20mca (4)	3,5	1,75	7,2	1,47	1,35	6,6	2,12	1	7,8
Lq	1,16	1,25	6	1,24	1	3	1,1	1	6
Lm	2,36	1,35	7	1,31	1,28	6	1,46	1,42	6,33
CUD=	49,15	92	86	94,65	78	50	75	70	95
EA=	44,24	82,8	77,4	85,185	70,2	45	67,5	63	85,5

Fonte: Casa de Vegetação - UFCG, 2014. Legenda: mca (metro de coluna d'água). Nota: Os números marcados correspondem às médias de 25% das menores vazões.

Comparando-se a Tabela 21 com a Tabela 7 citada á pág. 56, que trata dos critérios de utilização dos resultados do coeficiente de uniformidade de distribuição (CUD), de acordo com Bralts, (1986), verifica-se nesta pesquisa, que o resultado do grau de aceitabilidade, pode ser considerado regular, em relação aos sistemas de irrigação localizada, quando analisados separadamente, cada sistema na seguinte ordem: gotejamento subsuperficial, microaspersão e gotejamento superficial, por terem apresentados CUD de 80%, 77% e 73% respectivamente

para o gotejo sub, microaspersão e gotejamento superficial. Enquanto que apresentou um grau de aceitabilidade ruim, quando analisados os três sistemas em conjunto, que apresentou CUD igual a 67%, pois segundo Bralts, (1986), para o $CUD < 70\%$, o grau é ruim e entre 70 e 80%, o grau de aceitabilidade é considerado bom.

Outra avaliação importante deste experimento foi feita com a discussão dos resultados obtidos em função das pressões utilizadas nos testes de vazão do sistema, em que, verificou-se para a pressão de 10mca, um CUD de 78% e EA de 70%, levando-se em conta os três sistemas de irrigação localizadas e as águas residuárias tratadas, e mais a de abastecimento. Para as pressões de 15mca e 20mca, houve um decréscimo do CUD e da EA, sendo 63 e 60% de CUD e 57 e 54% para EA, respectivamente. Portanto, pode-se afirmar que para os três sistemas de irrigação localizadas, apresentaram bom grau de aceitabilidade deste coeficiente à menor pressão usada, e que à medida que aumentou a pressão de serviço nos emissores, o CUD decresceu para o grau ruim de aceitabilidade do sistema como um todo.

Por outro lado, deve-se considerar além das quantidades de água na irrigação, também a qualidade de água é fundamental para o êxito da utilização de sistemas de irrigação, tendo-se em vista, evitar efeitos indesejáveis na cultura a ser irrigada e que essa água não sirva de veículo na contaminação da população no momento em que ocorre a ingestão dos alimentos que receberam a água contaminada (MANTOVANI; BERNARDO E PALARETTI, 2007).

Ainda de acordo com Mantovani; Bernardo e Palaretti, (2007), que enumeram os principais problemas vinculados à qualidade da água de irrigação, como por exemplo, a precipitação de carbonatos de cálcio e magnésio pode ocorrer dentro das tubulações, ocasionando obstrução, parcial ou total, destas e dos emissores.

A concentração de íons de Fe^{+2} , quando dissolvidos na água, encontra em estado reduzido, principalmente nas águas subterrâneas, porém, ao oxidar-se, precipita-se na forma de Fe^{+3} e pode obstruir os emissores, pois se trata de um processo de oxidação que ocorre pela ação de bactérias e pelo contato com o ar ou oxidantes contidos na água, em ambientes aeróbico e anaeróbico (CORDEIRO et. al., 2003; APUD MANTOVANI; BERNARDO E PALARETTI, 2007).

Segundo Sousa, (2003), os problemas que afetam a uniformidade de distribuição, são divididos em duas classes que são: a) causas hidráulicas - todas aquelas que afetam a pressão de operação dos emissores e poderão ser oriundas de projeto hidráulico mal concebido, da falta de reguladores de pressão ou desajuste destes reguladores, elevada perda de carga, elevado desnível geométrico; b) baixa uniformidade dos emissores - decorrente do alto coeficiente de variação de fabricação e/ou da obstrução dos emissores.

6. CONCLUSÕES

As análises de qualidade microbiológica dos efluentes tratados pelo sistema Wetland construído, por apresentar uma taxa de remoção de bactérias de 58% e concentrações ($\leq 1069\text{NMP}/100\text{mL}$) de *Coliformes a 45°C*, estariam recomendadas para irrigação restrita, em culturas arbóreas, cerealíferas e forrageiras; entretanto, os efluentes tratados pelos UASB conjugado com Wetland se mostrou apropriado para irrigação de culturas como o gergelim, por apresentar menor concentração de *Coliformes a 45°C* ($\leq 989\text{NMP}/100\text{mL}$), apesar da taxa de remoção de bactérias de 54%.

Os resultados desta pesquisa mostram que a água bruta do esgoto sanitário que escoar no riacho que banha a área do CTRN da UFCG, em Campina Grande, oferece grande risco de contaminação ambiental, não devendo ser usada, sem o devido tratamento com uso de tecnologias recomendadas, como água de irrigação na agricultura, ou em qualquer outra atividade humana, por apresentar concentrações de *Coliformes a 45°C*, acima do padrão, apresentando uma qualidade microbiológica comprometida deste esgoto.

Os efeitos físico-químicos dos efluentes tratados utilizados na irrigação do gergelim não apresentaram restrições quanto à condutividade elétrica, o pH, concentração de cálcio, magnésio e sódio, e à relação de adsorção de sódio, por apresentar água S1 de baixa sodicidade, apesar de alta salinidade, obtendo uma classificação do tipo de água C3S1; entretanto, significa que este tipo de água residuária tratada usada no experimento, pode ser recomendada para uso somente em solos com drenagem adequada, podendo necessitar de práticas especiais de drenagem.

A remoção de sólidos solúveis voláteis, (SSV), a demanda química de oxigênio (DQO), alcalinidade de ácidos graxos, a concentração de fósforo total (P) e nitrogênio total (N), pelos resultados positivos apresentados na pesquisa, permitem afirmar que do ponto de vista nutricional, as plantas apresentaram boa performance, confirmando que os fatores água residuária tratada, adubação química e orgânica com humos de minhoca e a irrigação localizada, favoreceram o crescimento, o desenvolvimento e a produtividade do gergelim, em função também, dos diversos níveis de controles estabelecidos durante o processo, nas condições da pesquisa realizada.

A eficiência do sistema de irrigação apresenta um grau de aceitabilidade regular para os sistemas de irrigação localizada, quando analisados cada sistema individualmente, para gotejamento subsuperficial, microaspersão e gotejamento superficial, com coeficiente de uniformidade de distribuição (cud) de 80%, 77% e 73% respectivamente, em relação à vazão de emissores; entretanto, apresentou um grau de aceitabilidade ruim, quando os três sistemas

foram analisados em conjunto, obtendo-se um percentual de 67% (cud). A vazão dos emissores usados no experimento não foi afetada pelo tipo de água utilizado.

De modo geral a interação entre os fatores tipo de água e sistemas de irrigação não causou efeitos negativos nas variáveis de crescimento, desenvolvimento e produção do gergelim, verificando-se uma variação quanto ao tipo de água, que se refletiu no peso seco de 1000 grãos, revelando uma maior produtividade para os tratamentos irrigados com água residuária do UASB e de abastecimento (4g/planta), enquanto que para os tratamentos do Wetland, obteve-se uma produtividade de 3g/planta e nas 36 parcelas juntas, a produtividade foi de 3,33g/planta.

As sementes de gergelim produzidas nos tratamentos (T1, T4, T7,) irrigados com água residuária tratada pelo sistema Wetland construído, apresentaram concentração ($\geq 100\text{NMP/g}$) de *Coliformes* totais, acima da recomendação permitida por lei, por isto não podem ser usados na alimentação humana e de animais de sangue quente; entretanto, as sementes produzidas nos demais tratamentos, irrigados com água residuária do reator UASB pós-tratado com wetland e as testemunhas, irrigadas com água de abastecimento, podem ser usados na alimentação humana e de animais de sangue quente, por apresentar concentração ($\leq 100\text{NMP/g}$) de *Coliformes a 45°C* e inclusive *E. coli*.

A qualidade ambiental do solo usado no experimento, em função da irrigação com água residuária tratada (água de classe C3S1e RAS 3,43) pelos sistemas Wetland e UASB, causou salinidade média e forte, classificando o solo como salino e salino sódico; entretanto, o impacto ambiental apresentado pelas características química do solo, revelou antes do uso com água residuária, uma razão de adsorção de sódio, que é considerada como indicador de risco de sodificação do solo, (RAS: 1,87), e que, portanto, pelo nível de sodicidade encontrado neste solo (RAS: 5,61 a 6,74), indicando que este solo, pode ser irrigado com água residuária, com pequena possibilidade de alcançar níveis perigosos de sódio trocável.

O impacto microbiológico do solo usado nesta pesquisa, demonstrado nos resultados das avaliações realizadas, no início e final do experimento, encontrou presentes nas amostras analisadas, *Coliformes a 45°C* em concentrações médias de ($0,405 \times 10^3 \text{UFC}/100\text{mL}$), no início da pesquisa, e de ($6,6 \times 10^3 \text{UFC}/100\text{mL}$) no final, em função das condições favoráveis a esta ampla proliferação; entretanto, o tempo de sobrevivência dessas bactérias no solo, inclusive *E. coli*, depende de fatores tais como umidade, pH, radiação solar (ação ultravioleta na faixa de UV-A, 320 a 400nm), temperatura, concentração de matéria orgânica e da ação predatória de outros micro-organismos

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRAHÃO, S. S. **Tratamento de Água Residuária de Laticínio em Sistemas Alagados Construídos Cultivados com Forrageiras**. Mestrado, Universidade Federal de Viçosa, abril de 2006. Orientador: MATOS, A. T. Disponível em: <http://www.gpqa.ufv.br/docs/mestrado/2006/Tratamento%20de%20agua%20residuaria%20de%20laticinios%20em%20sistemas%20alagados%20construidos%20cultivados%20com%20forrageiras.PDF> Acesso em 19/02/2014.

ABREU, I. M. de O.; JUNQUEIRA, A. M. R.; PEIXOTO, J. R.; OLIVEIRA, S. A de. **Qualidade microbiológica e produtividade de alface sob adubação química e orgânica**. Ciênc. Tecnol. Aliment., Campinas, 30(Supl.1): 108-118, maio 2010

AGRONOMIA.NET. Universidade On-Line. **Recomendação de Adubação**. Disponível em: http://www.agronomianet.com.br/universidade_on_line_calculo_adubacao.htm Acesso em: 20/09/2013.

APHA/AWWA/WEF. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 19ª edição. Nova Iorque. American Public Health Association, 2005. 1268p.

APHA. AWWA. WPCF. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 20 ed. Washington, D. C.: American Public Health Association. American Water Works Association, Water Pollutions Control Federation, 1998, 1155 p.

ARRIEL, N. H. C.; ANDRADE, F. P., FARIAS, F. J. C.; COSTA, I. T.; GUEDES, A. R. **Aderência placentual das sementes e componentes de produção em progênies de gergelim**. Rev. Ol. Fibros. Campina Grande, v. 2, n. 2, 1998. p. 133-139.

AYERS, R. S.; WESTCOT, D. W. **A qualidade da água na agricultura**. Tradução de Gheyi, H. R.; Medeiros, J. F. 2.ed. Campina Grande: UFPB, 1991. (Tradução de Water Quality for Agriculture, FAO, Rome. 1985), 218p.

AYRES, R. M.; AYRES & MARA, D. D. **Um Manual de Laboratório de Parasitológico e Técnicas Bacteriológicas - Análise de Águas Residuais para Uso na Agricultura**. Department of Civil Engineering University of Leeds. Leeds, England. World Health Organization Geneva, 1996. Disponível em: http://www.who.int/water_sanitation_health/wastewater/labmanual.pdf. Acesso em 27/03/2014.

BAILINGER, J. **Mechanisms of parasitological concentration in coprology and their practical consequences**. Journal of American Medical Technology, 41, apud AYRES, R & MARA, D. Analysis of wastewater for use in agriculture. A laboratory manual of parasitological and bacteriological techniques. Geneva: WHO, 1996. p. 65-71.

BASTOS, R. K. X.; BEVILACQUA, P. D.; KELLER. **Organismos patogênicos e efeitos na saúde humana**. PROSAB 3. Rio de Janeiro-RJ.: ABES. 2003. p. 27-88.

BELTRÃO, N.E.M.; NOBREGA, L.B. da; AZEVÊDO, D.M.P. de; SILVA, L.C.; ARAUJO, J.D.; SILVA, M.B. da; DIAS, J.M. **Configurações de plantio e cultivares na sesamocultura no nordeste brasileiro**. Centro Nacional de Pesquisa do Algodão. Relatório técnico anual. Campina Grande, 1994. p.457-459.

BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de Irrigação. 8ª ed. Atualizada e Ampliada.** Viçosa; UFV, 2006. Disponível em:

http://www.deag.ufcg.edu.br/copeag/DISSERTACOES_E_TESSES_PPGEA/DISSERTA%C7%C3O/IRRIGA%C7%C3O/2008/Robi%20-20IDENTIFICA%C7%C3O%20E%20CARACTERIZA%C7%C3O%20DE%20CORPOS%20DE%20%C1GUA%20SALINAS%20NO%20SEMI-%C1RIDO%20PARAIBANO.pdf. Acesso em 29/07/2014.

BENINCASA, M. M. P. **Análise de Crescimento de Plantas, Noções Básicas.** 2ed Jaboticabal: FUNEP, 2003. 41p.

BERTONCINI, E. I. **Tratamento de Efluentes e Reuso da Água no Meio Agrícola.** Revista Tecnologia & Inovação Agropecuária, Junho de 2008. Disponível em:

http://www.dge.apta.sp.gov.br/publicacoes/T&IA/T&IAv1n1/Revista_Apta_Artigo_118.pdf
Acesso em 28/06/2014.

BOHN, H. L.; McNEAL, B. L.; O'CONNOR, G. A. **Soil Chemistry.** New York, John Willey & Sons, 1985. 341p.

Disponível em: <http://www.conhecer.org.br/enciclop/2010c/estudo%20do%20processo.pdf>. Acesso em 29/07/2014.

BRASIL, ANVISA - Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Ministério da Saúde. **Resolução RDC nº 12.** Diário Oficial da União, Brasília, 2 de janeiro de 2001. Disponível em:

http://www.nutricaoemfoco.com.br/NetManager/documentos/resolucao_no_12_de_2001.pdf. Acesso em 11/06/2014.

BRASIL, MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE – MMA: CONAMA. **PADRÕES DE LANÇAMENTO DE EFLUENTES** - Resolução nº 430/2011: "Dispõe sobre condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução nº 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA." - Data da legislação: 13/05/2011 - Publicação DOU nº 92, de 16/05/2011, pág. 89 Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=646> Acesso em 20/07/2014.

BRASIL, CONAMA. **QUALIDADE DA ÁGUA** - RESOLUÇÃO CONAMA nº 357 de 2005: Publicada no DOU no 53, de 18 de março de 2005, Seção 1, páginas 58-63 Disponível em: <http://www.proamb.com.br/downloads/mgr0bx.pdf> Acesso em 20/07/2014.

BRASIL, EMBRAPA ALGODÃO. **Sistemas de Produção.** No. 6 ISSN 1678-8710 Versão Eletrônica Dez/2006 **Cultivo do Gergelim.** Disponível em: <http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Gergelim/CultivodoGergelim/referencias.html>. Acesso em: 23/08/2013.

BRASIL, EMBRAPA. **Tecnologias de Produção de Soja Região Central do Brasil 2004.** Embrapa Soja. Sistema de Produção Nº 1, 2004. Disponível em <http://www.cnpso.embrapa.br/producaosoja/instalacao.htm> Acesso em 30/04/2014.

BRASIL, EMBRAPA ALGODÃO. **Estudo da Fenologia do Gergelim** (*Sesamum indicum* L.) Cultivar CNPA G4. 18p. Embrapa Algodão. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 54. ISSN 0103-0841, 2004. Campina Grande, 2004. Disponível em: <http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CNPA/19712/1/BOLETIM54.pdf> Acesso em: 09/09/2013.

BRASIL, EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2.ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006.306p.

BRASIL, M. S.; MATOS, A. T.; SOARES, A. A. **Plantio e Desempenho Fenológico da Taboa** (*Thyphaspa*) Utilizada No Tratamento De Esgoto Doméstico Em Sistema Alagado Construído. Artigo Técnico - Eng. Sant. ambient. Vol.12 - Nº 3 - jul/set 2007, 266-272. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/esa/v12n3/a04v12n3.pdf>Acesso em 22/07/2013.

BRASIL, SESP/SP. Centro de Divisão Epidemiológica; Divisão de Doenças de Transmissão Hídrica e Alimentar; **Surtos de Doenças Transmitidas por Água e Alimentos - Perguntas e Respostas e Dados Estatísticos**. 2009. Disponível em: ftp://ftp.cve.saude.sp.gov.br/doc_tec/hidrica/doc/surtodta_pergresp.pdf Acesso em: 01/08/2013.

BRASIL, IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Pesquisa Nacional de Saneamento Básico 2000**. Brasília: IBGE, Diretoria de Pesquisas, Departamento de População e Indicadores Sociais. 2002.

BRASIL, IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Pesquisa Nacional de Saneamento Básico 2010**. Brasília: IBGE, Diretoria de Pesquisas, Departamento de População e Indicadores Sociais. 2010.

BRASIL, IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo Demográfico de 2010. Primeiros resultados. População e Domicílios recenseados**. Brasília: IBGE, Diretoria de Pesquisas, Departamento de População e Indicadores Sociais. 2010.

BRASIL, UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO (USP) – DISCIPLINAS. **Métodos diretos ou indiretos para estimar a concentração de matéria orgânica**. Disponível em: http://www.usp.br/gpqa/Disciplinas/qfl3201/Aula3_1003a.pdf. Acesso em 25/07/2014.

BRALTS, V. F. Field performance and evaluation. In: NAKAYAMA, F. S.; BUCKS, D. A. (Ed.) Trickle irrigation for crop production. Amsterdam: Elsevier, 1986. p.216-240. (Development in Agricultural Engineering, 9). Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/sa/v58n2/4438.pdf>. Acesso em 29/07/2014.

BRIX, H. **Functions of macrophytes in constructed wetlands**. Water Science & Technology, London, v. 29, n. 4, p. 71 – 78, 1994.

BRUINSMA, J. (Ed.). World agriculture: towards 2015/2030. An FAO perspective. London: Earthscan Publications Ltd., 2003. 432 p.
CAVALCANTI, P. F. F. **Integrated application of the UASB reactor and ponds for domestic sewage treatment in tropical regions**.The Netherlands, Thesis Wageningen, University .139p. 2003.

CAVALCANTI, P. F. F.; HAANDEL, A. C.; LETTINGA, G. **Polishing ponds for post treatment of digested sewage: Sequential batch ponds.** In: VI OFICINA SEMINÁRIO LATINO-AMERICANODE DIGESTÃO ANAERÓBIA. 5-9 nov. Recife-PE. Brasil. 2000. p.352-359.

CEBALLOS, B. S. O.; MEIRA, C. M. B. S.; SOUSA, J. T.; OLIVEIRA, H.; GUIMARÃES, A. O.; KONIG, A. **Desempenho de um leito cultivado na melhoria da qualidade de um córrego poluído destinado à irrigação.** In: XXVII CONGRESSO INTERAMERICANO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 2000, Porto Alegre. Anais... Porto Alegre, RS: ABES, 2000. p.51.

CEBALLOS, B. S. O.; OLIVEIRA, H.; MEIRA, C. M. B. S.; KONIG, A.; GUIMARÃES, A. O.; SOUSA, J. T. **River quality improvement by natural and constructed wetland systems in the tropical semi-arid region of Northeast of Brazil.** Water Science & Technology, London, v. 44, n.11-12, 2001. p. 599-605.

COUTO, M. S. **Avaliação dos Riscos Potenciais à Qualidade das Águas Superficiais da Bacia do Arroio Sapucaia Utilizando Técnicas Integradas de SIG e Sensoriamento Remoto.** Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRG. Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento Remoto e Meteorologia. Porto Alegre, 2005.

Disponível em: <http://www.dominiopublico.gov.br/download/texto/cp002225.pdf> Acesso em: 29/07/2013.

CRUZ, R. N. da; NASCIMENTO, J. J. V. R. do; AZEVEDO, C. A. V. de; LIMA, V. L. A. de. **Produção de fitomassa de plantas de gergelim sob adubação residual com torta de mamona e irrigação com água residuária.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MAMONA, 4& SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE OLEAGINOSAS ENERGÉTICAS, 1, 2010, João Pessoa. Inclusão Social e Energia: Anais... Campina Grande: Embrapa Algodão, 2010. p. 743-748. Disponível em: <http://www.cbmamona.com.br/pdfs/FER-69.pdf> Acesso em 20/02/2014.

DAVIS, L. A. **Handbook of constructed wetlands. A guide to creating wetlands for: Agricultural wastewater, Domestic wastewater, Coal Mine Drainage, Stormwater in the Mid-Atlantic Region, Volume 1: (USEPA Region III with USDA, NRCS, ISBN0-16-052999-9), 1995.**

DENNY, P. **Implementation of constructed wetland in developing countries.** Water Science and Technology, v. 35, n.4, p.27-34, 1997.

DIAGRAMA DE PIPER. Disponível em: <http://www.funceme.br/DEHID/qualigraf/Piper.htm> e em:

http://www.deag.ufcg.edu.br/copeag/DISSERTACOES_E_TESSES_PPGEA/DISSERTA%C7%C3O/IRRIGA%C7%C3O/2008/Robi%20-%20IDENTIFICA%C7%C3O%20E%20

[CARACTERIZA%C7%C3O%20DE%20CORPOS%20DE%20%20C1GUA%20SALINAS%20NO%20SEMI-%20PARAIBANO.pdf](#). Acesso em 29/07/2014.

Diagrama de Stiff. Disponível em: <http://www.funceme.br/DEHID/qualigraf/Stiff.htm>. http://www.deag.ufcg.edu.br/copeag/DISSERTACOES_E_TESSES_PPGEA/DISSERTA%C7%C3O/IRRIGA%C7%C3O/2008/Robi%20-%20IDENTIFICA%C7%C3O%20E%20

CARACTERIZA%C7%C3O%20DE%20CORPOS%20DE%20%C1GUA%20SALINAS%20NO%20SEMI-%C1RIDO% 20 PARAIBANO.pdf. Acesso em 29/07/2014.

DIXON, N. G. H., GAMBRILL, M. P., CATUNDA, P. F., van HAANDEL, A. C. (1995). **Removal of pathogenic organisms from the effluent of naupflow anaerobic digester using waste stabilization ponds.** Water Science Tech., 31, 275-284.1995.Disponível em: <http://www.dec.ufcg.edu.br/saneamento/UASB02.html>. Acesso em 09/09/2013.

FALCI, T. C. A. F. C. **Estudo Comparativo do Metabolismo Anaeróbico da Glicose e do Aminoácido Arginina como Biomarcador de Poluição Ambiental.** Dissertação (Mestrado). Universidade de Taubaté, 2006.
Disponível em: <http://www.dominiopublico.gov.br/download/texto/cp003179.pdf> Acesso em: 27/07/2013.

FDA – Food and Drug Administration. **Bacteriological Analytical Manual for Foods, USA:** Association of Official Analytical Chemists, 1984.

FEACHEM, R. G.; BRADLEY, D. J.; GARELICK, H.; MARA, D. D. **Sanitation and Disease – Health Aspects of Excretas and Wastewater Management.** Washington, D. C. John Wiley e Sons LTDA., 1983. 501p.

FAVETTA, G. M. & BOTREL, T. A. **Uniformidade de Sistemas de Irrigação Localizada: Validação de Equações.** Scientia Agricola, v.58, n.2, 2001, p.427-430. Disponível em: <http://www.bing.com/search?q=FAVETTA%2C%20G.%20M.%20%26%20BOTREL%2C%20T.%20A.%20Uniformidade%20de%20Sistemas%20de%20Irriga%C3%A7%C3%A3o%20Localizada%3A%20Valida%C3%A7%C3%A3o%20de%20Equa%C3%A7%C3%B5es.%20Scientia%20Agricola%2C%20v.%58%2C%20n.%2C%202001%2C%20p.%427-430.&pc=cosp&ptag=A4FA1665185BD4757B7F&conlogo=CT3210127>
Acesso em 27/08/2014.

FEIJÓ, J.; PINHEIRO, A. SIMONATO, E. L. **Desenvolvimento de espécies vegetais de macrófitas utilizadas em sistema de wetlands implantado na região Sul do Brasil.** In CONGREGO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 20., Joinville, SC, 2003. Anais. Resumo expandido. Joinville: ABES/AIDIS, 2003, CD.

FREITAS, E. L.; CORREIA, K. G.; MENEZES, R. S. C.; NAGAI, M. A.; CARVALHO, E. X.; OLIVEIRA, L. R.. **Produtividade do gergelim cultivado com adubação orgânica em condições de sequeiro no município de Itambé-PE.** IN: CONGRESSO BRASILEIRO DE MAMONA, 5. SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE OLEAGINOSAS ENERGÉTICAS, 2& I FÓRUM CAPIXABA DE PINHÃO MANSO, 2012, Guarapari. Desafios e Oportunidades: Anais... Campina grande: Embrapa Algodão, 2012. p. 180. Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/944474/1/anaiscompleto.pdf>. Acesso em: 09/09/2013.

GODOY, I.J.; SAVY FILHO, A.; TANGO, J.S.; UNGARO, M.R.G.; MARIOTTO,P.R. **Programa integrado de pesquisas: oleaginosas.** São Paulo: Secretaria de Agricultura e Abastecimento, Coordenadoria da Pesquisa Agropecuária, 1985.

GRILO JR, J. A. S. & AZEVEDO, P. V. **Crescimento, Desenvolvimento e Produtividade do Gergelim BRS SEDA na Agrovila de Canudos, em Ceará Mirim (RN)**. HOLOS, Ano 29, Vol. 2, 2013.

Disponível em: <http://www2.ifrn.edu.br/ojs/index.php/HOLOS/article/view/1223/658> Acesso em: 14/09/2013.

HAGLER, A. N.; HAGLER, L. C. S. M. **Microbiologia Sanitária**. In: ROITMAN, I.; TRAVASSOS L. R.; AZEVEDO, J. L. (ed). **Tratado de microbiologia**. São Paulo: Manole, 1988. cap. 8, p. 83-102.

HENDRICKS, C. W. **Evaluation of the Microbiology Standards for Drinking Water**. U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. Washington, 20460. OTHER MEANS OF COMPLIANCE/W.O.PIPES. **Alternative Means of Determining Compliance**. Department of Biological Science – Drexel University Philadelphia, Pennsylvania 19104. 1978.

Disponível em:

http://books.google.com.br/books?id=NCJytcUgtlwC&pg=PA217&lpg=PA217&dq=mccrady+microbio&source=bl&ots=pd3WANT69m&sig=RT2RJDjk60LzNSZD3qlS68LmhBg&hl=ptBR&sa=X&ei=oLoJVKGxK8_GsQSRxYDoBg&ved=0CDYQ6AEwAw#v=onepage&q=mccrady%20microbio&f=false. Acesso em 19/05/2014.

HOLANDA, J. H.; AMORIM, J. R. A. Qualidade da água para irrigação. In: GHEYI, H. R.; QUEIROZ, J. E.; MEDEIROS, J. F. de. Manejo e controle da salinidade na agricultura irrigada. Campina Grande: UFPB, 1997.

Disponível em: <http://www.cstr.ufcg.edu.br/zootecnia/dissertacoes/edilsonnunes.pdf>. Acesso em 29/07/2014.

IFAD – **Water to combat rural poverty**. Rural Poverty Portal. International Fund for Agricultural Development.

Disponível em: http://www.ruralpovertyportal.org/en/topic/home/tags/water_topic Acesso em Maio de 2014.

KADLEC, R. H. **Comparison of free water and horizontal subsurface treatment wetlands**. Ecological Engineering 35: 159-74, 2009.

KADLEC, R. H. **Nitrogen spiraling in subsurface-flow constructed wetlands: implications for treatment response**. Ecological Engineering 25: 365-81, 2005.

KADLEC, R. H.; WALLACE, S. D. **Treatment wetlands, second edition**. CRC Press, Boca Raton, FL, USA. 2008.

KERBAURY, G. B. **Fisiologia vegetal** 1.ed. São Paulo: Guanabara Koogan, 2004, 452p.

LANDGRAF, M. **Microrganismos Indicadores**. In: FRANCO, B. D G. M.; LANDGRAF, M. **Microbiologia dos alimentos**, São Paulo: Atheneu, 1996. cap. 3, p. 27-31

LIMA, J. C. R. **Crescimento e desenvolvimento do gergelim BRS SEDA irrigado com níveis de água residuária e de abastecimento**. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia Ambiental), Centro de Ciências e Tecnologias, Universidade Estadual da Paraíba, 2011. Disponível em: <http://pos-graduacao.ascom.uepb.edu.br/ppgcta/download/dissertacoes-defendidas/Dissertacoes2011/Disserta%C3%A7%C3%A3o%20Joildo.pdf>

Acesso em:14/09/2013.

LORENZI, H. **Plantas daninhas do Brasil: terrestres, aquáticas, parasitas, tóxicas e medicinais.** Edição do autor. Nova Odessa-SP, 1982. 425 p.

LUCAS FILHO, M.; PEREIRA, M. G.; SILVA, D. A.; ANDRADE NETO, C. O.; MELO, H. N. de S.; SILVA, G. B. **Água residuárias – alternativa de reuso na cultura do girassol (*Helianthus annuus* L.).** In. SIMPÓSIO ÍTALO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 6, 2002. Vitória, ES. Anais. V.1. 7p.

MAIA FILHO, F. C.F.; MESQUITA, E.F.; MELO, D.S.; SOUSA, P.M.; LIMA, A.S.; CAVALCANTE, S.N.; DUTRA, K.O.G.; SANTOS, J.G.R. **Desenvolvimento fisiológico do gergelim BRS Seda sob cultivo orgânico.** CONGRESSO BRASILEIRO DE MAMONA, 4., e SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE OLEAGINOSAS ENERGÉTICAS, 1., 2010, João Pessoa. Inclusão Social e Energia: Anais... Campina grande: EMBRAPA Algodão, 2010. p.616-621.

MALAVOLTA, E. **O Futuro da Nutrição de Plantas Tendo em Vista Aspectos Agronômicos, econômicos e ambientais.** Piracicaba: Internacional Plant Nutrition Institute - Informações Agronômicas Nº 121, 2008. In memoriam.

MALAVOLTA, E.; MORAES, M.F. **Fundamentos do nitrogênio e do enxofre na nutrição mineral das plantas cultivadas.** In: YAMADA, T.; ABDALLA, S. R. S.; VITTI, G. C. (Ed.). Nitrogênio e enxofre na agricultura brasileira. Piracicaba: Internacional Plant Nutrition Institute, 2007. 722p.

McCRADY, M. H. **The numerical interpretation of fermentation tub results.** J. Infect. Dis. 17: 183-212. 1915. Disponível em:
http://books.google.com.br/books?id=NCJytcUgtlwC&pg=PA217&lpg=PA217&dq=mccrady+microbio&source=bl&ots=pd3WANT69m&sig=RT2RJDjk60LzNSZD3qIS68LmhBg&hl=ptBR&sa=X&ei=oLoJVKGxK8_GsQSRxYDoBg&ved=0CDYQ6AEwAw#v=onepage&q=mccrady%20microbio&f=false. Acesso em 19/05/2014.

MEIRA, C. M. B. S.; CEBALLOS, B. S. O.; OLIVEIRA, H.; FEIJÓ, V. G.; KÖNIG, A.; SOUZA, J. T. **Infecte of macrophytes growth on phosphorus, ammonia, organic matter and bacteria removals in constructed wetland.** In: 5th International Specialist Group Conference, 2002, Auckland. 5th International IWA Specialist Group Conference on Waste Stabilization Ponds. Auckland: New Zeland Water & Waste Association, 2. 2002. p. 693-700.

MELFI, A. J. Soil, sugar and carbon sinks. TWAS Newsletters, v. 17, n. 4, 2005.p. 35-39.

MEIRA, C. M. B. S.; CEBALLOS, B. S. O.; SOUZA, J. T.; OLIVEIRA, H.; GUIMARÃES, A. O.; KÖNIG, A. **Desempenho de um leito cultivado na melhoria da qualidade de um córrego poluído destinado a irrigação.** In: VII CONGRESSO INTERAMERICANO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 2000, Porto Alegre, BR. Anais – VII AIDIS. RJ/Porto Alegre: ABES/AIDIS. 2000. p. 51-51.

MERRIAM, J. L., KELLER, J. **Farm irrigation system evaluation: a guide for management.** Logan: Utah State University, 1978. 271 p.

METCALF & EDDY. **Wastewater Engineering Treatment Disposal and Reuse.** 4ed. New York, McGraw - Hill Book, 1815p.2003.

MOTA, S.; BEZERRA, F.C.; TOMÉ, L.M. **Avaliação do desempenho de culturas irrigadas com esgotos tratados.** In: 19^a. Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 14-19 set. Foz do Iguaçu, 1997. Rio de Janeiro, ABES, CD-Rom, 1997. p. 20-25.

MONTE, M. H. F; SOUSA, M. S. **Effect on crop of irrigation with facultative pond effluent Water.** Science and Technology, Oxford. v.26, n.7/8.1992. p. 1603-1613.

NASCIMENTO, J. J. V. R.; CRUZ, R. N.; AZEVEDO, C. A. V.; LIMA, V. L. A. **Adubação residual com torta de mamona e irrigação com água residuária sobre os componentes de produção de gergelim.** In: IV Congresso Brasileiro de Mamona. I Simpósio Internacional de Oleaginosas Energéticas, João Pessoa-PB. Anais... p. 436-441, 2010.

NASCIMENTO, A. K. S. do; SOUZA, R. O. R. de M.; LIMA, S. C. R. V.; CARVALHO, C. M. de; ROCHA, B. M.; LEITE, K. do N. **Desempenho Hidráulico e Manejo da Irrigação em Sistema Irrigado por Microaspersão.** In INOVAGRI, Fortaleza, CE. Revista Brasileira de Agricultura Irrigada v.3, n.1, p.39-45, 2009ISSN 1982-7679 (On-line). Disponível em: <http://www.inovagri.org.br> Acesso em 19/05/2014.

NOBREGA, M. F. F. **Perfil sócio demográfico dos vendedores de hortaliças e prevalência de entoparasitas humanos em *Lactuca sativa L.* (alface).** 2002. 108f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande- PB.

NOBRE, R. G.; GHEYI, H. R.; SOARES, F. A. L.; ANDRADE, L. O. & NASCIMENTO, E. C. S. **Produção do girassol sob diferentes lâminas com efluentes domésticos e adubação orgânica.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental. Campina Grande - PB, UAEA/UFCG.v.14, n.7, 2010. p. 747-754, 2010 Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/rbeaa/v14n7/a10v14n7.pdf> Acesso em 14/09/2013.

NORSE, D. **Fertilizers and world food demand implications for environmental stresses.** Proceedings of the IFA-FAO Agriculture Conference Global Food Security and the Role of Sustainable Fertilization. Rome, 2003.13 p.

NOVAIS, R. F.; NEVES, J.C.L.; BARROS, N. F. **Ensaio em ambiente controlado.** In: OLIVEIRA, A. J.et al. (Coord.) Métodos de pesquisa em ambiente controlado. Brasília: Embrapa, 1991. p. 189-273 (Documentos 3).

OMS - ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DE SAÚDE. **Avaliação do método de H₂S para Detecção de Contaminação fecal de água potável. (Fecal Indicador de detecção e teste em água potável).** Água, saneamento e saúde. Departamento de Proteção e da Organização Mundial de Saúde Meio Ambiente Humano. Genebra, 2002.

OMS - ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DE SAÚDE. Orientações de saúde para o uso de águas servidas na agricultura e aquicultura. Relatório técnico serie778, Geneva: Mundial de Saúde e Organização, 72p. 1989.

Disponível em http://www.who.int/water_sanitation_health/sanitproblems/en/index6.html
Acesso em 20/06/2014.

PACHECO, M. S. R. et al. **Condições higiênicos-sanitárias de verduras e legumes comercializadas no Ceagesp de Sorocaba-SP.** Higiene Alimentar, São Paulo, v. 16, n.101, p.50-51, 2002.

PAGANINI, W. S. **Disposição de esgotos no solo (Escoamento à superfície)**. Fundo editorial da AESABESP. São Paulo, 1997. 232p.

PEREIRA, J. R.; BELTRÃO, N. E. de M.; ARRIEL, N. H. C.; SILVA, E. S. B. **Adubação orgânica do gergelim, no Seridó paraibano**. Revista Brasileira de Oleaginosas e Fibrosas, Campina Grande, v.6, n.2. 2002. p.515-523.

PRIMAVESI, A. **Agricultura em Regiões Tropicais. Manejo ecológico do solo**. São Paulo: ed. Nobel. 2002. 549p.

PIPER, A. M. A graphic procedure in the geochemical interpretation of water analyses. Trans. American Geophysical Union, v. 25, pg. 914-9289. 1944.

QUEIROGA, V. P.; GONDIM, T. M. S.; QUEIROGA, D. A. N. **Tecnologias sobre operações de semeadura e colheita para a cultura do gergelim (*Sesamum indicum* L.)** Revista Agro@mbiente On-line, v. 3, n. 2, p. 106-121, jul-dez, 2009. Nota Técnica. Centro de Ciências Agrárias - Universidade Federal de Roraima, Boa Vista, RR.

QUEIROZ, J. E.; GONÇALVES, A. C.; SOUTO, J. S.; FOLEGATTI, M. V. **Manejo e controle da salinidade na agricultura irrigada**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 26, 1997. Campina Grande. Anais... Campina Grande: UFPB/SBEA. 1 CD.

Disponível em: <http://www.conhecer.org.br/enciclop/2010c/estudo%20do%20processo.pdf>. Acesso em 29/07/2014.

QUEIROZ, J. E.; GONÇALVES, A. C.; SOUTO, J. S.; FOLEGATTI, M. V. **Avaliação e monitoramento da salinidade do solo**. In.: GHEYI, H.R.; QUEIROZ, J. E.; MEDEIROS, J. F. (Eds). Manejo e controle da salinidade na agricultura irrigada. Campina Grande: UFPB-SBEA, 1997. Cap. 3. p. 69-111.

Disponível em: <http://www.conhecer.org.br/enciclop/2010c/estudo%20do%20processo.pdf>. Acesso em 29/07/2014.

QUEIROZ, J. E et al. **Recuperação de solos afetados por sais**. In: GHEYI, H. R.; QUEIROZ, J. E.; MEDEIROS, J. F.; **Simpósio manejo e controle da salinidade na agricultura irrigada**. Campina Grande: UFPB, 1997. p 1-32.

Disponível em: <http://www.cstr.ufcg.edu.br/zootecnia/dissertacoes/edilsonnunes.pdf>. Acesso em 29/07/2014.

RAZZOL, M. T. P.; GÜNTHER, W. M. R. **Impactos na Saúde das Deficiências de Acesso a Água**. Saúde Soc. São Paulo, v. 17, n. 1, p. 21-32, 2008.

REDDY, K. R.; D'ANGELO, E. M.; De BUSK, T. A. **Oxygen transports through aquatic macrophytes: the role in wastewaters treatment**. Journal Environmental Quality, Madison, WI, v. 19, p. 261 – 270, 1989.

REIS, T. E. S.; REIS, L. C.; BARROS, O. N. F. **Comparação de métodos de determinação de área: superfície foliar do feijoeiro**. Geografia, Londrina, v. 9, n. 2. 2000. p. 151-157.

REZENDE, R.; FRIZZONE, J. A.; GOÇALVES, A. C. A.; FREITAS, P. S. L. de. **Influência do espaçamento entre aspersores na uniformidade de distribuição da água acima e abaixo da superfície do solo.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental. Campina Grande, v. 2, n. 3, p.257-261, 1998.

RODRIGUES, L. S.; SILVA, I. J.; ZOCCATO, M. C. O.; PAPA, D. N.; SPERLING, M. V. & OLIVEIRA, P. R.. **Avaliação de desempenho de reator UASB no tratamento de águas residuárias de suinocultura.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental. Campina Grande, PB, UAEA/UFCG. v.14, n.1. 2010. p.94–100.

ROSTON, D. M.; MANSOR, M. T. C. **Tratamento de esgoto por sistema de leitos cultivados de vazão subsuperficial: Avaliação da remoção de nitrogênio.** In: 20º CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 1999, Rio de Janeiro - Brasil, Anais... Rio de Janeiro: ABES, 1999. p. 40.

SANCHES, A. B.; **Avaliação da Sustentabilidade de Sistemas de Tratamento de Esgotos Sanitários: Uma Proposta Metodológica.** Tese submetida ao Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2009.

SANTOS, M. S.; LIMA, V. L. A.; BELTRÃO, N. E. M.; BARROS, H. M. M.; SAMPAIO, M. V.; MARTINS, E. S. C. da S. **Produção de gergelim sob irrigação com água residuária tratada e adubação com torta de mamona.** Tecnologia & Ciência Agropecuária. João Pessoa, v.4, n.1, 2010. p.31-35.

Disponível em: http://www.emepa.org.br/revista/volumes/tca_v4_n1_mar/tca07_producao.pdf
Acesso em: 14/09/2013.

SANTOS, R. T. **Identificação e Caracterização de Corpos de Água Salinas no Semiárido Paraibano.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande-PB, 2008.

SANTOS, R. V.; HERNANDEZ, F. F. F. **Recuperação de solos afetados por sais.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 26. 1977. Campina Grande-PB. **Manejo e Controle da Salinidade na agricultura irrigada.** Campina Grande: UFPB/SBEA, 1997. Cap.4, p.320-361.

Disponível em: <http://www.cstr.ufcg.edu.br/zootecnia/dissertacoes/edilsonnunes.pdf>. Acesso em 29/07/2014.

SAWYER, C. N.; Mc CARTY, P. L., PARKIN, G. F. **Chemistry for environmental engineering.** 4ed. New York: McGraw – Hill Book Company, 1994. 658p.

SERTÃO, M. A. J. **Uso de corretivos e cultivo do capim urocloa (Urochloa mosambicensis (Hack.) Daudy) em solos degradados do Semi-árido.** 2005. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Centro de Saúde e Tecnologia e Rural, Universidade Federal de Campina Grande, Patos, 2005.

Disponível em: <http://www.cstr.ufcg.edu.br/zootecnia/dissertacoes/edilsonnunes.pdf>. Acesso em 29/07/2014.

SEZERINO, P. H.; PHILIPPI, L. S. **Utilização de um sistema experimental por meio de “Wetland” construído no tratamento de esgotos domésticos pós tanque séptico.** In: IX Simpósio Luso-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2000, Porto Seguro/BA - Brasil, Anais... Porto Alegre, BA: ABES, 2000, p. 688-697.

SILVA, M. P.; CAVALLI, D. R.; OLIVEIRA, T. C. R. M. Avaliação do padrão *Coliformes* a 45°C e Comparação da Eficiência das Técnicas dos Tubos Múltiplos e Petrifilm EC na Detecção de *Coliformes* totais e *Escherichia coli* em Alimentos. Ciênc. Tecnol. Aliment., Campinas, 26(2): 352-359, abr.-jun. 2006

SILVA, E. M., AZEVEDO, J. A., GUERRA, A. F., FIGUERÊDO, S. F., ANDRADE, L. M., NTONINI, J. C. A. Manejo de irrigação para grandes culturas. In: FARIA, M. A., SILVA, E. L., VILELA, L. A. A., SILVA, A. M. (Eds.). **Manejo de irrigação.** Poços de Caldas: UFLA/SBEA, 1998. p. 239-280.

SHUVAL, H. I.; ADIN, A.; FATTAL, B.; RAWITZ, E.; YEKUTIEL, P. **Wastewater Irrigation in developing Countries- Health Effects and Technical Solutions.** Word bank Technical Paper Number 51, Washington, D. C. 1986.362p. Disponível em : http://www-wds.worldbank.org/servlet/WDSContentServer/WDSP/IB/1999/09/17/000178830_98101904164938/Rendered/PDF/multi_page.pdf. Acesso em 09/03/2014.

SORENSEN, E. M. B. **Metal Poisoning in Fish.** CRC-Press, Flórida, 1991.

SOUSA, C. P. **Segurança Alimentar e Doenças Veiculadas por Alimentos: Utilização do Grupo Coliforme como um dos Indicadores de Qualidade de Alimentos.** Disponível em: <http://www.ufjf.br/nates/files/2009/12/Seguranca.pdf> Acesso em 26/03/2014. Revista APS, v.9, n.1, p. 83-88, jan/jun. 2006.

SOUSA, C. P. The strategies of *Escherichia coli* pathotypes and health surveillance. Brazilian Journal of Health Surveillance, v. 1, n. 1, p. 65-70, 2005.)

SOUZA, E. L. et al. Bacteriocins: molecules of fundamental impact on the microbial ecology and potential food bio preservatives. Brazilian Archives of Biology and Technology, v. 48, n. 4, p. 559-566, 2005.

SOUZA JUNIOR, F. J. C.; SILVA, T. S.; LIMA, I. B. de; FERNANDES, A. M.; SILVA, F. N. T.; PESSOA, M. N. G. **Fungos Associados a Sementes de Gergelim (*Sesamum indicum* L.)** In: Congresso Brasileiro de Mamona e Simpósio Internacional de Oleaginosas Energéticas, & Fórum Capixaba de Pinhão Manso, 2012, Guarapari. Desafios e Oportunidades: Anais... Campina Grande: Embrapa Algodão, 2012. p. 212. Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/944474/1/anaiscompleto.pdf> Acesso em 09/09/2013.

SOUSA, J. T.; HAANDEL, A. C.; GUIMARÃES, A.V.A. **Pós-tratamento de efluente anaeróbico através de sistemas wetland construídos.** In: Chernicharo, C. A. L. (coordenador) Pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios. Coletânea de trabalhos técnicos, Belo Horizonte: ABES, p 25 – 32, 2000.

SOUSA, J. T. de; DANTAS, J.P; FIDELES FILHO, LEITE, V. D; HENRIQUE I. N. **Desempenho da cultura do gergelim irrigado com esgotos sanitários tratados.** In: SIMPÓSIO LUSO-BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL. Braga, Portugal, 2002. Anais. p.1-8, Universidade do Minho, Braga, 2002.

SOUSA, J. T.; van HAANDEL A. C.; CABRAL, R. P. B. **Desempenho de sistemas wetlands no pós-tratamento de esgotos sanitários pré-tratados em reatores UASB.** In: IX SIMPÓSIO LUSO-BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 2000, Porto Seguro/BA - Brasil, Anais... Porto Alegre-BA: ABES, 2000, p. 1051-1057.

_____. **Performance of constructed wetland systems treating anaerobic effluents.** Water Science and Technology, v.48, n.6, p. 295-299, 2003.

SOUSA, J. T.; LEITE, V. D. **Tratamento e Utilização de Esgotos Domésticos na Agricultura.** Campina Grande: Ed. EDUEP, 135p. 2003.

SOUSA, J. T.; HAANDEL, A. C. van.; CAVALCANTI, P. F. F.; FIGUEIREDO, A. M. F.de. **Utilização de Wetland construído no Pós Tratamento de Esgotos Domésticos Pré-Tratados em Reator UASB.** Engenharia Sanitária Ambiental, v. 09, nº 4, p. 285-290, 2004.

_____. **Tratamento de Esgoto para Uso na Agricultura do Semiárido Nordeste** – Artigo Técnico. Engenharia Sanitária Ambiental, v. 10, nº 3, p. 260-265.2005. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/esa/v10n3/a11v10n3.pdf> Acesso em: 22/07/2013.

SOUTO, R. A.; **Avaliação Sanitária da Água de Irrigação e de Alfaces (*Lactuca sativa L.*) Produzidas no Município de Lagoa Seca, Paraíba.** Universidade Federal da Paraíba – UFPB. Centro de Ciências Agrárias, 2005.
Disponível em: <http://www.dominiopublico.gov.br/download/texto/cp000690.pdf>. Acesso em: 27/07/2013.

TONON, D. **Desinfecção de efluentes sanitários por cloração visando o uso na agricultura.** Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo. Campinas, SP: [s.n.], 2007
Disponível: <http://www.bibliotecadigital.unicamp.br/document/?code=vtls000416290&fd=y>
Acesso em 10/05/2014.

VAN HAANDEL, A. C., CAVALCANTI, P. F. F. **Melhoramento do desempenho e aumento da aplicabilidade de lagoas de estabilização através de pré-tratamento anaeróbio em um DAFA.** Dept. of Civil Engineering - UFPB, Campina Grande - Brazil, Rel. Int. n/Publicado, 1995.

_____. **Uma solução prática para sistemas de lodo ativado sobrecarregados usando-se o digestor de lodo como unidade de pré-tratamento.** Dep. de Engenharia Civil - CCT - UFPB, Campina Grande - Brasil, Rel. Int. n/Publicado, 1996.

VASQUEZ - MONTIEL, O; HORAN, N. J.; MARA, D. D. **Management of wastewater for reuse in irrigation.** Water Science and Technology, Oxford. 1996. v. 33, n. 10-11, p. 355-362

VALENTIM, M. A.; ROSTAN, D. M.; JOB, S. L. P. **Sistema “In loco” de baixo custo para tratamento de água residuárias.** In: IX SIMPÓSIO LUSO-BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 2000, Porto Seguro-BA – Brasil, Anais... Porto Seguro, BA: ABES, 2000, p. 761 – 769.

VALENTIM, M. A. A. **Desempenho de Leitos cultivados (constructed wetland) para Tratamento de Esgoto: Contribuições para Concepção e Operação.** [Tese de Doutorado], 210 p. Faculdade de Engenharia Agrícola – UNICAMP. Campinas-SP, 2003.

VIÉGAS, R. A. **Assimilação de Nitrogênio e acumulação de solutos em plantas de cajueiro (*Anacardium occidentale* L.) em reposta ao estresse salino.** 1999. 85f. Tese (Doutorado em Bioquímica) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 1999. Disponível em: <http://www.cstr.ufcg.edu.br/zootecnia/dissertacoes/edilsonnunes.pdf>. Acesso em 29/07/2014.

VIEIRA, V. P. P. B. **Água doce no semiárido.** In: REBOUCAS, A. da C.; BRAGA, B.; TUNDISI, J.G. (Org.). Águas doces no Brasil: capital ecológico, uso e conservação. São Paulo: Escrituras, 1999. cap. 15, p.509-531. Biblioteca(s): Embrapa Semiárido.

VYMAZAL, J. **Removal of nutrients in various types of constructed wetlands.** Science of the Total Environment 380: 48-65, 2007.

VYMAZAL, J. **Types of constructed wetlands for wastewater treatment: their potential for nutrient removal.** p. 1-19. In J. Vymazal (ad.) Transformations of Nutrients in Natural and Constructed Wetlands. Backhuys Publishers, Leiden, The Netherlands, 2001.

VYMAZAL, J.; KROPFELOVÁ, L. **Nitrogen and phosphorus standing stocks in *Phalaris undinacea* and *Phragmites australis* in a constructed wetland: 3-year study.** Archives of Agronomy and Soil Science 54: 297-308. 2008 b.

VYMAZAL, J.; KROPFELOVÁ, L. **Wastewater Treatment in Constructed Wetlands with Horizontal sub-Surface Flow.** Springer, Dordrecht, The Netherlands, 2008 a.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Health guidelines for the use of wastewater in agriculture and aquaculture.** Technical reportseries.778. Geneva: World Health and Organization, 72p. 1989.

XU, K; KONG, C.; WU, C.; LIU, G.; DENG, H.; ZHANG, Y. **Dynamic changes in tangxunhu wetland over a period of rapid development (1953-2005) in Wuhan, China.** Wetlands, Volume 29, Nº 4, 2009.

YATES, C. R. Comparison of two constructed wetland substrates for reducing phosphorus and nitrogen pollution in agricultural runoff. (These) Department of Bioresource engineering Faculty of Agricultural and Environmental Sciences McGill University, Montreal, Master of Science, 2008.