



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



**VIABILIDADE DO USO DE ÁGUAS SUPERFICIAIS POLUÍDAS
TRATADAS ATRAVÉS DE SISTEMAS DE WETLANDS
CONSTRUÍDOS NO CULTIVO DO FEIJÃO**

ORIENTANDA:

Anna Mitchielle Fernandes de Figueiredo

ORIENTADOR:

Prof. Dr. Carlos Alberto Vieira de Azevedo

**Campina Grande, PB.
Agosto/2013**

**VIABILIDADE DO USO DE ÁGUAS SUPERFICIAIS POLUÍDAS TRATADAS
ATRAVÉS DE SISTEMAS DE WETLANDS CONSTRUÍDOS NO CULTIVO DO
FEIJÃO**

ANNA MITCHIELLE FERNANDES DE FIGUEIREDO

Tese apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Recursos Naturais da Universidade Federal de Campina Grande, em cumprimento às exigências para obtenção do Título de Doutora 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/2013

F475v Figueiredo, Anna Mitchielle Fernandes de.

Viabilidade do uso de águas superficiais poluídas tratadas através de sistemas de wetlands construídos no cultivo de feijão. / Anna Mitchielle Fernandes de Araújo. - Campina Grande - PB: [s.n], 2013.

113 f.

Orientador: Professor Dr. Carlos Alberto Vieira de Azevedo.

Tese de Doutorado (Programa de Pós-Graduação em Recursos Naturais) - Universidade Federal de Campina Grande; Centro de Tecnologia e Recursos Naturais.

1. Reuso da água - agricultura. 2. Irrigação pressurizada. 3. Cultura do feijoeiro. 4. Águas poluídas - reuso. 5. Sistema wetlands. 6. Tratamento de efluentes. 7. Gotejamento superficial. 8. Irrigação por microaspersão. 9. Gotejamento subsuperficial. 10. Tratamento de águas residuárias. 11. Agricultura familiar e reuso da água. 12. Saneamento ambiental. 13. Feijão - cultura. I. Azevedo, Carlos Alberto Vieira de. II. Título.

CDU:628.381(043.3)

Elaboração da Ficha Catalográfica:

Johnny Rodrigues Barbosa
Bibliotecário-Documentalista
CRB-15/626

ANNA MITCHIELLE FERNANDES DE FIGUEIREDO

VIABILIDADE DO USO DE ÁGUAS SUPERFICIAIS POLUÍDAS TRATADAS
ATRAVÉS DE SISTEMAS DE WETLANDS CONSTRUÍDOS NO CULTIVO DE FEIJÃO

APROVADA EM: 30/08/2013

BANCA EXAMINADORA



Dr. CARLOS ALBERTO VIEIRA DE AZEVEDO
Universidade Federal de Campina Grande – UFCG



Dr. JOSÉ DANTAS NETO
Universidade Federal de Campina Grande – UFCG



Dra. VERA LÚCIA ANTUNES DE LIMA
Universidade Federal de Campina Grande – UFCG



Dra. HÉLVIA WALESKA CASULLO DE ARAÚJO
Universidade Estadual da Paraíba – UEPB



Dr. VALDERI DUARTE LEITE
Universidade Estadual da Paraíba – UEPB

Lista de Tabelas

Tabela 1. Critérios recomendados pela Organização Mundial de Saúde para utilização de esgotos na agricultura ⁽¹⁾ _____	24
Tabela 2. Diretrizes recomendadas pela Organização Mundial de Saúde para utilização de águas residuárias na agricultura. _____	25
Tabela 3. Período de sobrevivência de alguns agentes etiológicos a 20-30°C no solo e nas culturas. _____	26
Tabela 4. Período de sobrevivência de alguns patógenos no solo e sobre a superfície de plantas. _____	27
Tabela 5. Eficiência de remoção de organismos patogênicos em processos de tratamento de esgoto. _____	32
Tabela 6. Mecanismos predominantes na remoção de poluentes nos wetlands construídos _____	33
Tabela 7. Análises dos atributos físicos e químicos do solo utilizado no experimento. ____	45
Tabela 8. Parâmetros microbiológicos e parasitológicos e os métodos analíticos utilizados na caracterização dos efluentes, dos solos e da cultura do feijão (<i>Phaseolus vulgaris</i> , L) utilizados no experimento. _____	51
Tabela 9. Parâmetros físicos e químicos utilizados na caracterização dos efluentes tratados e não tratados utilizados na irrigação da cultura do feijão (<i>Phaseolus vulgaris</i> , L) e dos solos utilizados no experimento. _____	51
Tabela 10. Percentual de remoção da concentração de DQO (mg.L ⁻¹) encontrados nos efluentes tratados, durante o ciclo vegetativo do feijão (<i>Phaseolus vulgaris</i> , L). _____	56
Tabela 11. Percentual de remoção da concentração de Fósforo Total (mg.L ⁻¹) encontrados nos efluentes tratados, durante o ciclo vegetativo do feijão (<i>Phaseolus vulgaris</i> , L). _____	59

Tabela 12. Percentual de remoção da concentração de Nitrogênio Total (mg.L^{-1}) encontrados no esgoto bruto e nos efluentes tratados, durante o ciclo vegetativo do feijão (<i>Phaseolus vulgaris</i> , L).	61
Tabela 13. Concentração de sódio, cálcio e magnésio apresentados nos efluentes tratados utilizados na irrigação do feijão (<i>Phaseolus vulgaris</i> , L)	62
Tabela 14. Resumo das análises de variância para a variável altura da planta (AP), diâmetro caulinar (DC), número de folhas (NF) e área foliar (AF) em função dos diferentes tipos de água e sistemas de irrigação.	73
Tabela 15. Resumo das análises de variância para os parâmetros de produção: número de vagens por planta (NVP), número de grãos por vagens (NGPV) e massa de 100 grãos (M100) em função dos diferentes tipos de água e sistemas de irrigação.	80
Tabela 16. Resumo das análises de variância para os parâmetros fisiológicos: massa seca de folhas (MSF), massa seca de caule mais pecíolo (MSCP), massa seca da parte aérea (MSPA), massa seca das raízes (MSR), massa seca total (MST) e razão entre massa seca da parte aérea e massa seca total (MSPA/MST) em função dos diferentes tipos de água e sistemas de irrigação.	82
Tabela 17. Características microbiológicas dos solos irrigados em função dos diferentes tratamentos utilizados no experimento.	87
Tabela 18. Resumo da análise de variância para o parâmetro hidráulico vazão de emissores usados em função dos diferentes tipos de água, sistemas de irrigação e pressões.	90

Lista de Figuras

- Figura 1.** Vista aérea da área experimental destacando-se a Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) da Universidade Federal de Campina Grande – PB, utilizada no tratamento dos efluentes para irrigação da cultura do feijão (*Phaseolus vulgaris, L*) e Casa de vegetação. _____ 42
- Figura 2.** Esquema da Estação de Tratamento de Esgotos (ETE) da Universidade Federal de Campina Grande – PB, utilizada no tratamento dos efluentes para irrigação da cultura do feijão (*Phaseolus vulgaris, L*). _____ 43
- Figura 3.** Croqui da distribuição dos tratamentos na casa de vegetação da Universidade Federal de Campina Grande – PB – UFCG. _____ 47
- Figura 4.** Foto do experimento instalado na casa de vegetação da Universidade Federal de Campina Grande – PB – UFCG. _____ 48
- Figura 5.** Fotos das avaliações do crescimento dos feijões na casa de vegetação da Universidade Federal de Campina Grande – PB – UFCG. _____ 49
- Figura 6.** Fotos das avaliações microbiológicas realizadas no Laboratório de alimentos da Universidade Estadual da Paraíba – Campina Grande – PB - UEPB. _____ 52
- Figura 7.** Valores do pH encontrados nos efluentes sem tratamento e nos efluentes tratados usados na irrigação da cultura do feijão (*Phaseolus vulgaris, L*) durante o período experimental. _____ 54
- Figura 8.** Concentrações de DQO encontrados nos efluentes sem tratamento e nos efluentes tratados usados na irrigação da cultura do feijão (*Phaseolus vulgaris, L*) durante o período experimental. _____ 55
- Figura 9.** Concentrações de Fósforo Total encontrados nos efluentes sem tratamento e nos efluentes tratados usados na irrigação da cultura do feijão (*Phaseolus vulgaris, L*) durante o período experimental. _____ 58
- Figura 10.** Concentrações de Nitrogênio encontrados nos efluentes sem tratamento e nos efluentes tratados usados na irrigação da cultura do feijão (*Phaseolus vulgaris, L*) durante o período experimental. _____ 60

Figura 11. Concentração de coliformes termotolerantes encontrados nos efluentes sem tratamento e nos efluentes tratados usados na irrigação da cultura do feijão (<i>Phaseolus vulgaris, L</i>) durante o período experimental. _____	64
Figura 12. Avaliação da diversidade de ovos de helmintos encontrados nos efluentes sem tratamento e nos efluentes tratados usados na irrigação da cultura do feijão (<i>Phaseolus vulgaris, L</i>) durante o período experimental. _____	65
Figura 13. Avaliação da diversidade de cistos de protozoários encontrados nos efluentes sem tratamento e nos efluentes tratados usados na irrigação da cultura do feijão (<i>Phaseolus vulgaris, L</i>) durante o período experimental. _____	66
Figura 14. Avaliação da qualidade microbiológica das vagens dos feijões irrigados em função dos diferentes tratamentos utilizados no experimento. _____	68
Figura 15. Avaliação da qualidade microbiológica dos grãos de feijões irrigados em função dos diferentes tratamentos utilizados no experimento que apresentaram suas vagens contaminadas. _____	69
Figura 16. Atura da planta nos diferentes dias após o plantio (DAP) em função dos diferentes tipos de água e sistemas de irrigação. _____	71
Figura 17. Evolução da altura da planta do feijoeiro em função dos diferentes tratamentos. _____	72
Figura 18. Diâmetro caulinar nos diferentes dias após o plantio em função dos diferentes tipos de água e sistemas de irrigação. _____	74
Figura 19. Evolução do diâmetro caulinar do feijoeiro em função dos diferentes tratamentos. _____	75
Figura 20. Número de folhas nos diferentes dias após o plantio em função dos diferentes tipos de água e sistemas de irrigação. _____	76
Figura 21. Evolução do número de folhas do feijoeiro em função dos diferentes tratamentos. _____	77
Figura 22. Área foliar nos diferentes dias após o plantio em função dos diferentes tipos de água e sistemas de irrigação. _____	78
Figura 23. Evolução da área foliar do feijoeiro em função dos diferentes tratamentos. _____	79

Figura 24. Massa de 100 grãos em função dos diferentes tipos de água e sistemas de irrigação. _____	81
Figura 25. Número de vagens por planta (NVP) em função dos diferentes sistemas de irrigação. _____	81
Figura 26. Massa seca de caule mais pecíolo (MSCP) em função dos diferentes tipos de água e sistemas de irrigação. _____	83
Figura 27. Massa seca da parte aérea (MSPA) em função dos diferentes tipos de água. ____	84
Figura 28. Razão entre massa seca da parte aérea e massa seca total (MSPA/MST) em função dos diferentes sistemas de irrigação. _____	84
Figura 29. Influência da aplicação dos diferentes tratamentos na concentração de cálcio (Ca), magnésio (Mg), sódio (Na), potássio (K), fósforo (P), capacidade de troca de cátions potencial do solo (T), potencial hidrogeniônico em água (pH H ₂ O) e matéria orgânica (MO). _____	86
Figura 30. Curvas características de emissores novos (água de abastecimento) e usados dos sistemas de gotejamento superficial, gotejamento subsuperficial e microaspersão em função dos diferentes tipos de água. _____	91

Sumário

Lista de Tabelas	iv
Lista de Figuras	vi
Resumo	xii
Abstract	xiii
1. INTRODUÇÃO	14
2. OBJETIVOS	17
2.1. Objetivo geral	17
2.2. Objetivos específicos	17
3. REVISÃO DE LITERATURA	18
3.1. Saneamento Ambiental e Saúde Pública	18
3.2. Reuso de Água na Agricultura	23
3.3. Sobrevivência de Patógenos em Culturas e Solos	25
3.4. Agricultura Familiar e Reúso de Água	27
3.5. Tratamento de Águas Residuárias	30
3.6. Wetlands Construídos	32
3.7. Mecanismos de Separação e Transformação de Patógenos	33
3.8. Experiências de Utilização de Sistemas de Wetlands Construídos	34
3.9. Aspectos Gerais e Ecofisiológicos sobre a Cultura do Feijão	38
4. MATERIAL E MÉTODOS	42
4.1. Localização do Experimento	42
4.2. Desenvolvimento do Experimento	42
4.3. Tratamentos e Delineamento experimental	46
4.4. Variáveis Analisadas Durante o Ciclo Experimental	48

4.5. Parâmetros Analisados e Metodologia Analítica Utilizada nos Efluentes, nos Solos e Cultura de Feijão Utilizado no Experimento _____	50
4.6. Análise Estatística _____	52
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO _____	53
5.1. Características Físicas e Químicas dos Efluentes Utilizados na Irrigação da Cultura do Feijão _____	53
5.1.1. Potencial hidrogeniônico (pH) _____	53
5.1.2. Demanda química de oxigênio (DQO) _____	55
5.1.3. Fósforo Total _____	56
5.1.4. Nitrogênio Total _____	59
5.1.5. Razão de Adsorção de Sódio (RAS) _____	61
5.2. Características Microbiológicas os Efluentes Utilizados na Irrigação da Cultura do Feijão _____	63
5.2.1. Concentração de coliformes termotolerantes encontrados nos efluentes usados na irrigação da cultura do feijão (<i>Phaseolus vulgaris, L</i>) durante o período experimental _____	63
5.2.2. Diversidade de ovos de helmintos encontrados nos efluentes usados na irrigação da cultura do feijão _____	64
5.2.3. Diversidade de cistos de protozoários encontrados nos efluentes usados na irrigação da cultura do feijão (<i>Phaseolus vulgaris, L</i>) durante o período experimental _____	66
5.2.4. Qualidade microbiológica das vagens dos feijões irrigados em função dos diferentes tratamentos utilizados no experimento _____	67
5.2.5. Qualidade microbiológica dos grãos de feijões irrigados em função dos diferentes tratamentos utilizados no experimento _____	69
5.3. Desenvolvimento da Planta _____	69
5.3.1. Altura da Planta _____	70
5.3.2. Diâmetro caulinar _____	74

5.3.3. Número de folhas	75
5.3.4. Área Foliar	77
5.4. Produção	80
5.5. Fitomassa	82
5.6. Atributos de Fertilidade do Solo	85
5.7. Características Microbiológicas dos Solos	86
5.8. Vazão dos Sistemas de Irrigação	89
6. CONCLUSÕES	93
7. REFERÊNCIAS	95

A presente pesquisa teve como objetivo estudar a viabilidade técnica e ambiental do uso de águas poluídas tratadas através do sistema de *wetlands* construídos no cultivo do feijão com irrigação pressurizada. O experimento foi realizado em casa de vegetação da Universidade Federal de Campina Grande – PB. A fase experimental consistiu em caracterizar os efluentes tratados por dois sistemas de *wetlands* construídos, sendo um deles antecedido por um sistema de UASB e em fazer o reuso desses efluentes tratados na irrigação da cultura do feijão (*Phaseolus vulgaris*, L.), o qual foi cultivado sob três sistemas de irrigação pressurizada: gotejamento superficial, subsuperficial e microaspersão. O delineamento constituiu em blocos casualizados em faixa, resultando em 9 tratamentos com 4 repetições, totalizando 36 parcelas. A partir dos resultados pode-se verificar que em geral, o sistema de irrigação por microaspersão e o efluente tratado pelo UASB + *wetland* foram responsáveis pelo melhor crescimento do feijoeiro ao final de seu ciclo. A interação entre os fatores tipos de água e sistemas de irrigação não teve efeito em nenhum dos componentes de produção e de fitomassa; entretanto, como efeito isolado de cada fator, verificou-se que o tipo de água afetou a massa seca de 100 grãos, a massa seca de caule mais pecíolo e a massa seca da parte aérea, já o sistema de irrigação afetou o número de vagens por planta, a massa seca de 100 grãos e a razão entre massa seca da parte aérea e massa seca total. Para os componentes massa de 100 grãos e massa seca de caule mais pecíolo, o sistema de microaspersão apresentou eficiência superior aos demais com o uso das águas provenientes pelo tratamento UASB + *wetland*, já os maiores valores para o número de vagens por planta e para a razão entre massa seca da parte aérea e massa seca total foram obtidos para o sistema de gotejamento subsuperficial. A vazão dos emissores usados no experimento não foi afetada pelo tipo de água utilizado, independente do tipo de sistema de irrigação. Referente às características físico-químicas pode-se concluir que o PH das águas tratadas pelos *wetland* e UASB + *wetland* não afetou o desenvolvimento das plantas. Os efluentes tratados utilizados na irrigação da cultura do feijão não apresentaram restrições quanto à condutividade elétrica, sódio, cálcio e magnésio, apresentando-se baixa probabilidade de sodificação, obtendo uma classificação de tipo de água C2S1. Os efluentes tratados pelo sistema de *wetland* e pelo UASB + *wetland* apresentaram características microbiológicas recomendadas para irrigação de culturas arbóreas, cerealíferas e forrageiras. Referente aos parâmetros parasitológicos, nenhuma forma parasitária (ovo de helminto e cisto de protozoário) foi encontrada nos efluentes tratados, o que significa que os sistemas de tratamento utilizados no experimento são eficientes na remoção destes parasitos encontrados em amostras de esgotos domésticos brutos. Nenhuma amostra de grãos de feijões irrigados com os 9 tratamentos apresentou contaminação por *Escherichia coli* e por coliformes termotolerantes acima de 100NMP/g, se apresentando adequados para o consumo. As avaliações microbiológicas dos solos usados no experimento, realizadas após o término do ciclo da cultura, evidenciaram a não contaminação por *E. Coli*. A partir dos resultados apresentados nesta pesquisa, conclui-se que o uso das águas poluídas que escoam no Riacho de Bodocongó, em Campina Grande, PB, oferece grande risco de contaminação ambiental não devendo ser utilizado, sem o devido tratamento, no cultivo de culturas agrícolas.

Palavras-chave: reuso de água, irrigação pressurizada, cultura do feijoeiro

This research aimed to study the technical and environmental feasibility of the use of polluted water treated through the wetlands system built in bean cultivation with pressurized irrigation. The experiment was conducted in a greenhouse at the Federal University of Campina Grande - PB. The experimental phase was to characterize the treated effluent by two wetlands systems built, one being preceded by a UASB system and make the reuse of treated effluent for irrigation of bean crop (*Phaseolus vulgaris* L.), which was grown under three systems of pressurized irrigation: surface drip, subsurface and micro sprinkler. The design consisted of randomized blocks in range, resulting in nine treatments with 4 repetitions, totaling 36 installments. From the results it can be seen that in general, the irrigation system for the treated effluent and the UASB + wetland were responsible for the better growth of the bean at the end of its cycle. The interaction between factors types of water and irrigation systems had no effect on any of the production and biomass components; however, as an isolated effect of each factor, it was found that the type of water affect dry weight of 100 grains, dry mass of petiole stem and dry weight of shoots, since the irrigation system affected the number of string beans per plant, dry weight of 100 grains and the ratio of dry weight of shoot and total dry mass. For mass components of 100 grains and dry mass of petiole stem the micro sprinkler system showed superior efficiency to the other with the use of water from the treatment UASB + wetland, as the highest values for the number of pods per plant and the ratio of dry weight of shoot and total dry weight were obtained under subsurface drip system. The flow of emitters used in the experiment was not affected by the type of water used, regardless of the type of irrigation system. Regarding the physical and chemical characteristics can be concluded that the pH of the water treated by the wetland and wetland UASB + did not affect plant development. The treated effluent used in bean crop irrigation showed no restrictions on electrical conductivity, sodium, calcium and magnesium, presenting low probability of sodification, getting a C2S1 water type classification. The treated effluent by wetland system and the UASB + wetland showed microbiological characteristics recommended for irrigation of tree, cereal and forage crops. Referring to parasitological parameters, no parasitic shape (egg helminthes and protozoan cyst) was found in the treated effluent, which means that the treatment systems used in the experiment are effective in removing these parasites found in raw wastewater samples. No grain sample irrigated beans with 9 treatments showed contamination by *Escherichia coli* and thermo tolerant coli forms above 100NMP / g, introducing suitable for consumption. Microbiological evaluations of soil used in the experiment, carried out after the end of the cycle, showed no contamination by the *E. Coli*. From the results presented in this research, it is concluded that the use of polluted water seeping in Bodocongó Stream in Campina Grande, PB offers great risk of environmental contamination and should not be used without proper treatment, in the cultivation of crops agricultural.

Keywords: water reuse, pressurized irrigation, bean crop

1. INTRODUÇÃO

A falta de infraestrutura de saneamento e de acesso sustentável à água adequada aos diversos usos, em pequenas comunidades, especialmente em áreas rurais e periurbanas carentes, coloca a população local em situações de risco à saúde, tanto individual como coletiva, resultando no aumento da incidência de doenças infecciosas que acometem especialmente crianças, idosos, desnutridos e imunodeprimidos. Nessas localidades, o acesso a serviços de saúde também é limitado, o que agrava ainda mais o quadro sanitário e compromete a qualidade de vida da população local (RAZZOLINI E GÜNTHER, 2008).

Contudo, o investimento no desenvolvimento de alternativas, de baixo custo e de alta eficiência, no tratamento de águas contaminadas pelo excessivo lançamento de efluentes industriais, domésticos e resíduos de origem agrícola, torna-se um dos instrumentos fundamentais para minimizar o cenário de carência sanitária instalada no país, principalmente no tocante a pequenas comunidades, que diante da disponibilidade limitada de água de qualidade, findam utilizando a de mais fácil acesso sem nenhum critério para a irrigação de culturas, possibilitando a disseminação de doenças entéricas aos próprios agricultores e aos consumidores dos produtos provenientes dessa prática.

Além da questão sanitária, outro fator de relevância a ser considerado, é a problemática da eutrofização dos corpos hídricos, decorrente também da irrigação e fertilização das terras agrícolas. Esta afirmativa corrobora com Yates (2008), quando enfoca que globalmente, a irrigação e a fertilização das terras agrícolas estão a colocar cada vez mais pressão sobre a qualidade e a disponibilidade da água. Para o Fundo Internacional de Desenvolvimento Agrícola e de Desenvolvimento Rural do Portal da pobreza, como 70% de toda água doce captada é utilizada para a agricultura e como a demanda mundial por alimentos continua a intensificar-se, o mesmo acontece com a necessidade de irrigação e de insumos químicos e pesticidas (FIDA, 2008), logo a combinação dessas pressões agrava as resultantes da poluição dos solos, corpos d'água e conseqüentemente a saúde pública.

A viabilidade da utilização de efluentes tratados na irrigação de forma sustentável tem sido demonstrada em vários países, localizados em regiões áridas. A utilização de esgotos domésticos com base na reutilização dos nutrientes originários da estabilização da matéria orgânica, a fim de beneficiar o crescimento das culturas agrícolas, mostra-se uma atividade promissora (TONON, 2007).

Neste contexto, destaca-se o sistema de tratamento de águas residuárias denominado wetland construído, por demandar um baixo custo financeiro, apresentando operacionalidade simples e possibilitando o reuso da água em atividades econômicas rentáveis, além de atender aos padrões sanitários e ambientais, podendo minimizar os problemas sócio-ambientais decorrentes da disposição inadequada do esgoto não tratado.

Segundo Xu et al. (2009), os wetlands podem desempenhar um papel importante no desenvolvimento urbano sustentável. Por estas características, e principalmente com o intuito de melhorar a qualidade da água, especificamente a redução de nitrogênio, fator significativo e responsável pelos processos de eutrofização nos corpos hídricos, a utilização de wetlands construídos vem sendo cada vez mais analisadas (KADLEC 2005, 2009, VYMAZAL 2001, 2007, VYMAZAL E KROPFELOVA, 2008, KADLEC E WALLACE, 2008).

Yates (2008) afirma que os wetlands construídos, podem ser usados em uma variedade de aplicações para o tratamento de águas residuais, e Vymazal, Kropfelová (2009) complementam quando relatam que seu uso se destaca principalmente para tratamento de esgotos urbanos ou domésticos, bem como para outros tipos de águas residuais, incluindo as de origem agrícolas, industriais e lixiviados de aterro.

Para Braskerud (2002), o uso destes sistemas no tratamento de águas poluídas para irrigação na agricultura, está ganhando o interesse. Corroborando com esta afirmação, Moreno-Mateos et al. (2009) afirmam que os wetlands construídos vem sendo comumente utilizado na redução de nutrientes e sedimentos de escoamento agrícola.

No Brasil, conforme demonstra a literatura (SALATI JR. et al. 1999; ROSTON E MANSOR, 1999; VALENTIM et al. 2000; SEZERINO E PHILIPPI, 2000; CEBALLOS et al. 2001; SOUSA et al. 2000) algumas pesquisas têm sido desenvolvidas sobre este sistema de tratamento com vistas ao reuso agrícola, porém a experiência prática ainda se apresenta incipiente e pouco desenvolvida apesar de já estar estabelecido como tecnologia de tratamento em certos países da Europa, Estados Unidos, Austrália e México.

Nesta perspectiva, reveste-se de relevante interesse para a saúde Coletiva, Meio Ambiente e o Desenvolvimento, a realização de pesquisas que envolvam tais aspectos, uma vez que a prática inadequada do uso de resíduos líquidos representa impactos ambientais relevantes afetando a qualidade de vida da população e ao meio ambiente em detrimento do desenvolvimento econômico e social. Neste contexto, o presente trabalho buscou avaliar a viabilidade do uso de águas poluídas tratadas através de sistemas de wetlands construídos

visando sua utilização na irrigação da cultura do feijão (*Phaseolus vulgaris, L*), enfatizando seus aspectos sanitários e verificando os efeitos na produtividade e desenvolvimento da cultura fertirrigada.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo geral

- Verificar a viabilidade técnica e sanitária do uso de águas poluídas tratadas através do sistema de wetlands construídos e reator UASB no cultivo do feijão com irrigação pressurizada.

2.2. Objetivos específicos

- Analisar a qualidade do efluente doméstico tratado através dos sistemas de wetland construído e wetland construído como pós-tratamento do reator UASB, sob parâmetros microbiológicos, parasitológicos e físico-químicos;
- Avaliar os efeitos do uso de efluentes domésticos tratados através dos sistemas de wetlands construídos, no crescimento, desenvolvimento e produção da cultura do feijão, sob irrigação pressurizada;
- Verificar os impactos do uso de efluentes domésticos tratados através dos sistemas de wetlands construídos, nos feijões e solos irrigados;
- Verificar o desempenho hidráulico dos sistemas de irrigação por gotejamento sub-superficial e superficial e por micro-aspersão mediante a irrigação com águas residuárias domésticas tratadas pelos sistemas de wetlands no cultivo do feijão.

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1. Saneamento Ambiental e Saúde Pública

Verifica-se que o comprometimento dos recursos naturais, através da contaminação e degradação dos ecossistemas cresce em um ritmo acelerado, motivo pelo qual se torna necessário reduzir o impacto ambiental para a obtenção de um desenvolvimento ecologicamente equilibrado para todo o planeta, pois é sabido que saúde e meio ambiente estão e sempre estiveram intimamente relacionados.

Segundo Philippi Jr e Malheiros (2005a), a atividade humana, é consumidora dos estoques naturais, que em bases insustentáveis, tem como consequência a degradação dos sistemas físico-biológico e social. Forattini (2004) apud Philippi Jr & Malheiros (2005b), afirma que “é possível empregar o enfoque da ecologia da doença, considerando o encadeamento desses determinantes, de natureza física, biológica e social, como propiciatório das condições necessárias para a ocorrência da doença e do baixo nível de qualidade de vida”.

Fator de relevância é a ocupação desordenada observada na maioria das grandes cidades, responsável por um dos principais fatores responsáveis pela degradação do ambiente e tem como resultante a baixa qualidade de vida de seus habitantes e indicadores negativos de saúde. Sendo assim, partindo da premissa de que são prioridades máximas ambientais as que afetam diretamente o bem-estar de grandes segmentos da população, nota-se que o debate sobre meio ambiente tem tido pouca atenção a problemas como saneamento e tratamento de água.

Os problemas ambientais indicados pelo Relatório de Gestão dos Problemas Ambientais da Poluição do Brasil citados pelo Banco Mundial (1998) incluem, em ordem de importância, a falta de abastecimento de água potável e a falta de coleta segura de esgotos; a poluição atmosférica, a poluição das águas superficiais em áreas urbanas com impactos visuais, odor e restrição às atividades de lazer; gestão inadequada dos resíduos sólidos aumentando a proliferação de vetores potenciais de agravo à saúde; e finalmente, a poluição localizada que inclui zonas industriais com baixos níveis de controle da poluição, com impacto na população do entorno e nos sistemas naturais (PHILIPPI JR E MALHEIROS, 2005b). E para o enfrentamento dessas questões exige o estabelecimento de políticas integradas sociais, econômicas, institucionais e ambientais, que busquem maior eficácia dos sistemas de gestão para o desenvolvimento sustentado.

É neste contexto que deve ser compreendido e priorizado o conjunto de sistemas que compõem o saneamento do meio, que é definido pela WHO (2003) como o controle de todos os fatores do meio físico do homem que exercem ou podem exercer efeito sobre seu bem-estar físico, mental e social (PHILIPPI JR E MALHEIROS, 2005a). Sobre isto, Razzolini, Günther (2008) afirmam que o caminho para reverter esse cenário é a implementação integrada de políticas públicas de gestão, que envolvam ações conjuntas e ajustadas nos setores de desenvolvimento urbano, habitação, saneamento saúde e que visem à promoção e à proteção da saúde da população local e ao enfrentamento da complexidade de fatores que evidenciam sua vulnerabilidade. Portanto, o saneamento deve ser entendido numa visão que venha constituir ações integradas direcionadas à preservação da qualidade ambiental, deixando de ser um mero executor de obras públicas (BARTONE et al., 1994).

Para Philippi Jr & Malheiros (2005b), a medicina preventiva e social e as atividades de saneamento compreendem as ações de saúde pública. E entre os sistemas de saneamento do meio, o saneamento básico assume papel de destaque, em decorrência da capacidade de impacto na prevenção e controle de doenças de veiculação hídrica e aquelas relacionadas aos resíduos sólidos. Porém, apesar de atualmente ser reconhecido que a cobertura no abastecimento de água e saneamento serem necessárias para a prevenção de doenças de veiculação hídrica, Strina et. al. (2003), afirmam que não são suficientes, a menos que sejam acompanhadas por mudanças de comportamento de higiene doméstica.

Com base nos resultados desenvolvidos por Sousa (2008), onde contempla uma análise por dados em painel do status de saúde no Nordeste Brasileiro, pode identificar que a inferência de políticas públicas de inclusão social como acesso a saneamento, educação, programas de planejamento familiar, e de aumento da renda são os meios mais eficazes de reduzir as taxas de mortalidade infantil, e assim melhorar o status de saúde e o bem-estar de toda a população. Com isso, pode perceber que saneamento e saúde pública são temas que expressam uma necessidade a nível mundial e que a oferta destes serviços indica uma preocupação com a saúde da população.

Num país como o Brasil, que ainda se caracteriza por diversos e marcantes contrastes sociais, as condições de habitação, principalmente aquelas que dizem respeito à utilização de serviços básicos de utilidade pública como saneamento básico, não foge à regra. Tais condições caracterizaram-se como um dos principais problemas enfrentados quotidianamente, especialmente no tocante à falta de tratamento dos esgotos sanitários e à disposição final dos

resíduos sólidos, expondo as populações locais ao risco de agravos da saúde e contribuindo para a degradação ambiental.

Silva et. al (2008), afirmam que os investimentos em infraestrutura para países em desenvolvimento sempre têm sido problema de proporções consideráveis. Especialmente na área ambiental, estes não têm merecido a devida consideração frente às inversões em projetos para desenvolvimento econômico. Em termos do meio ambiente urbano, no caso do Brasil, ainda com notórias deficiências em coberturas de sistemas e redes para o saneamento ambiental, os recursos para investimento não são abundantes, mesmo que sejam bastante conhecidas as repercussões positivas na área de saúde pública. Neste contexto, a hierarquização de investimentos em saneamento ambiental se torna indispensável visando à maximização dos benefícios derivados.

Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2010), confirmam-se as afirmativas anteriores quando verifica-se os dados dos serviços de saneamento básico, que apesar de serem fundamentais para o desenvolvimento de qualquer país ou região, se demonstram ser deficitários em todos os níveis, tanto para esgoto, abastecimento de água e drenagem urbana, quanto para os resíduos sólidos.

No que concerne às companhias de saneamento, o lançamento de esgoto doméstico bruto em corpos hídricos altera as características naturais da água, a partir do ponto de lançamento e compromete sua qualidade para consumo humano ou mesmo para uso em atividades agropecuárias e agroindustriais (RIBAS E FORTES NETO, 2008).

Referente ao esgotamento sanitário, este se destaca por ser um dos serviços mais deficientes do setor de saneamento. De acordo com UNDP, (2006), cerca de 2,6 bilhões de habitantes moram em domicílio sem rede coletora de esgoto.

Segundo a Pesquisa Nacional de Saneamento Básico de 2008, 44,8% dos municípios brasileiros não possuíam rede coletora de esgoto. Enquanto, apenas 28,5% desses municípios dispõem de sistema para tratamento de esgoto (IBGE, 2010), gerando condições insalubres para a população exposta e impactando o meio ambiente. Sobre isto, a Superintendência de Desenvolvimento de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental (1999) afirma que, os rios que abastecem os principais centros populacionais estão amplamente comprometidos em termos de qualidade de água, sendo a principal fonte de poluição e contaminação pelo lançamento de esgotos domésticos e de efluentes industriais sem tratamento prévio ou ineficiência do tratamento.

Em detrimento disso, anualmente, cerca de 1,7 milhões de crianças morrem em resultado direto de diarreia e de outras doenças provocadas por água contaminada e por más condições de saneamento (IBGE, 2010).

Corroborando a afirmação supracitada, verificam-se os resultados encontrados nos trabalhos de Azeredo (2007), onde se destaca a presença de aspectos importantes na determinação das condições sanitárias da população pesquisada, foi a contaminação dos rios pelos esgotos domésticos.

O esgotamento sanitário envolve etapas que devem estar sempre conjugadas. Os esgotos devem ser coletados, tratados e então reintegrados ao ciclo natural ou serem reusados. A quebra desta sequência ocasiona problemas ambientais provocando danos à saúde pública.

Segundo Philippi Jr e Malheiros (2005b), a poluição nos corpos hídricos, pelo lançamento de esgotos domésticos que compreendem além da fração residencial e esgotos das atividades econômicas, e os resíduos das atividades industriais geram efluentes com características qualitativas bastantes diversificadas, e dependendo da natureza dos compostos presentes nos efluentes, podem fornecer ao meio hídrico, além de elevadas concentrações de matéria orgânica, sólidos em suspensão, metais pesados, compostos tóxicos, microrganismos patogênicos, substâncias teratogênicas, mutagênicas, cancerígenas, etc.

Para Tundisi (2003), a contaminação dos rios urbanos de pequeno porte, com águas não tratadas pode funcionar como pólos de dispersão de doenças de veiculação hídrica direta ou indiretamente. As fontes de poluição, oriundas dos esgotos sanitários, podem transferir ao meio aquático, microrganismos patogênicos como bactérias, vírus, protozoários e helmintos; além de compostos orgânicos, inorgânicos e nutrientes. Essa poluição ocasiona diversos impactos negativos levando não só prejuízo à saúde pública como também ao ambiente, provocando efeitos da salinidade, sodicidade e nutrientes no solo.

Estas mudanças impingidas ao meio ambiente trazem consequências desastrosas que vão se refletir na saúde das populações, quando criam situações para que determinadas doenças se instalem ou tenham sua capacidade de propagação aumentada, como acontece com as enteroparasitoses.

No Brasil e em outros países de clima quente, as parasitoses intestinais que têm como agentes causais helmintos e protozoários constituem um sério problema de saúde pública, por atingir uma considerável parcela da população, principalmente crianças e pessoas de menor nível sócio econômico (NEVES, 2003). Tais parasitos apresentam grande resistência às

condições ambientais e geralmente sua transmissão ocorre por veiculação hídrica ou por alimentos contaminados.

Avaliando-se as condições higiênico-sanitárias de vegetais e das águas de irrigação em Campinas, SP, Simões et. al. (2001), verificaram que quanto aos parâmetros microbiológicos e parasitológicos, uma contaminação elevada foi evidenciada em cerca de 22,3% e 14,5%, das hortaliças, respectivamente. Quanto ao critério estabelecido pela legislação brasileira, 11,8% das amostras de água de irrigação foram consideradas inadequadas, indicando a importância do monitoramento adequado da água de irrigação para evitar a contaminação de vegetais.

Existem muitas informações sobre os efeitos dos recursos hídricos contaminados associados à falta de saneamento sobre a saúde humana (doenças de veiculação hídrica). Essas doenças, na América Latina, África e no Sudoeste da Ásia, matam mais que todas as outras doenças em conjunto (TUNDISI, 2003).

Os resultados de vários estudos apontam para correlação entre as condições de saneamento básico e parasitoses intestinais (FALEIROS, 2004; FONTBONNE, 2001; FERREIRA, 2005; REGO, 2002).

Em trabalhos desenvolvidos por Teixeira, Heller (2005), verificou-se que dentre as variáveis da pesquisa como abastecimento de água, esgotamento sanitário, manejo de resíduos sólidos e presença de vetores demonstraram associação estatística com a presença de doenças diarreicas em crianças.

Segundo dados do Ministério da Saúde, dos óbitos ocorridos em 2001, na Região Nordeste, 10,6% eram crianças menores de um ano de idade; das mortes por doenças infecciosas e parasitárias, 26,4% estavam nesta faixa etária. A taxa de mortalidade infantil reflete o status da saúde e desenvolvimento socioeconômico da população, além da eficácia das políticas públicas para áreas de saúde, educação, saneamento, bem como geração e distribuição de renda (ZAIDEN, 2008).

Resultados das pesquisas desenvolvidos por Juraszeck e Chaves (2009), mostram que ainda há uma prevalência importante de parasitoses intestinais em crianças na faixa etária de zero a seis anos. Isso pode representar um problema de saúde pública, fortalecendo a convicção acerca da importância da prevenção através da melhoria das condições socioeconômicas, de saneamento básico e da educação em saúde.

Na realidade, existe uma dificuldade histórica dos governos, em trabalhar a interface “saúde e ambiente”, na perspectiva de uma compreensão integrada dos problemas que são

identificados como responsáveis pelo perfil epidemiológico, pelos riscos ambientais para a saúde e pela baixa qualidade de vida. Dificuldades outras, de contextualizar e planejar ações para as áreas estratégicas e específicas, como por exemplo, a saúde na relação com o saneamento e vice-versa.

3.2. Reúso de Água na Agricultura

Considerando que já existe atividade de reúso de água com fins agrícolas em certas regiões do Brasil, a qual é exercida de maneira informal e sem as salvaguardas ambientais e de saúde pública adequada, torna-se necessário institucionalizar, regulamentar e promover o setor através da criação de estruturas de gestão, preparação de legislação pertinente, disseminação de informação e do desenvolvimento de tecnologias compatíveis com as condições locais e regionais e socioeconômicas.

O grau de contaminação de culturas irrigadas com água residuária tratada está inversamente relacionado ao grau de tratamento dado à mesma, especialmente quando as culturas são irrigadas por aspersão (ARMON et al. 1996; AYRES et al. 1992). Portanto, antes de ser utilizada para irrigação de culturas agrícolas, a água residuária deve ser tratada obedecendo aos padrões recomendados internacionalmente, de acordo com o tipo de reúso a ser aplicado, técnica de irrigação e tipo de cultura a ser irrigada. Maiores cuidados com a saúde humana deverão ser considerados com a irrigação de culturas a serem consumidas cruas e quando o reúso se destina a agricultura familiar. Nestes casos, além da seleção de culturas e dos métodos de irrigação, a educação sanitária e ambiental dos agricultores e de outros grupos eventualmente expostos, é fundamental.

Segundo Blum (2003), os problemas de saúde em razão do reúso do esgoto bruto ou com tratamento deficiente estão bem documentados. Em decorrência, os padrões e orientações para reúso de água preocupam-se com a proteção da saúde pública, sendo geralmente baseados no controle de microrganismos patogênicos e com a salinidade dos solos.

Em 1978, o Departamento de Saúde Pública do Estado da Califórnia, EUA, publicou a norma “*Wastewater Reclamation Criteria*”, a qual exigia que efluentes ETEs (Estação de Tratamento de Esgotos) destinados para irrigação de culturas a serem consumidas por seres humanos apresentassem coliformes fecais com concentrações menores que 2,2UFC/100ml (STATE OF CALIFORNIA, 1978). Estudos posteriores sobre a evidência da transmissão de doenças através do uso de águas residuárias (Shuval et al. 1986), mostraram que os padrões

microbiológicos adotados no Estado da Califórnia eram mais rígidos do que o necessário para se evitar riscos à saúde pública ($\leq 2,2$ UFC/100ml), provocando gastos desnecessários no tratamento dos esgotos.

Baseados em valores de referência e estudos científicos tais como o de Shuval et al. (1986), dentre outros, a Organização Mundial de Saúde (1989) publicou as recomendações “*Health Guidelines for the Use of Wastewater in Agriculture and Aquiculture*” onde verifica-se critérios bem rigorosos para irrigação irrestrita, quanto à remoção de helmintos, no entanto, menos exigentes para indicadores de qualidade microbiológica e omissos em relação aos vírus e protozoários, como observa-se a Tabela 1.

Tabela 1. Critérios recomendados pela Organização Mundial de Saúde para utilização de esgotos na agricultura⁽¹⁾

Categoria	Tipos de Irrigação e Cultura	Grupos de Risco	Nematóides Intestinais (Ovos/L)⁽²⁾	Coliformes Fecais (Org/100ml)⁽³⁾	Processo de Tratamento
A	Irrigação irrestrita (Culturas consumidas cruas, campos de esportes, parques e jardins).	Agricultores, consumidores, público em geral.	< 1	< 1.000	Lagoas de estabilização em série, ou tratamento equivalente em termos de remoção de patógenos
B	Cereais, culturas industrializadas, forragens, pastagens e árvores. ⁽⁴⁾	Agricultores	< 1	Sem recomendação	Lagoas de estabilização com 8-10 dias de TDH ou remoção equivalentes de helmintos e coliformes termotolerantes
C	Irrigação localizada de plantas da categoria B na ausência de riscos para agricultores e público em geral.	Não aplicável	Não aplicável	Não aplicável	Pré-tratamento de acordo com o método de irrigação, no mínimo sedimentação primária

Fonte: OMS (1989)

(1) Em casos específicos as presentes recomendações devem ser adaptadas a fatores de ordem ambiental, social, cultural e epidemiológica. (2) Média aritmética durante o período de irrigação. (3) Média geométrica durante o período de irrigação. (4) No caso de árvores frutíferas, a irrigação deve terminar duas semanas antes da colheita e nenhum fruto deve ser apanhado do chão. Irrigação por aspersão não deve ser empregada.

Com a crescente busca, em nível mundial, pelo aprimoramento das diretrizes para utilização de águas residuárias tratadas, muitas pesquisas estão sendo conduzidas de forma a atualizar os padrões já existentes, assim como o desenvolvimento de novas propostas.

Baseando-se então em estudos epidemiológicos destacando o maior risco tolerável a contaminação, a Organização Mundial de Saúde em 2006, reformulou e estabeleceu as novas diretrizes para utilização de águas residuárias na agricultura, conforme a Tabela 2.

Tabela 2. Diretrizes recomendadas pela Organização Mundial de Saúde para utilização de águas residuárias na agricultura.

Categoria Irrigação	Opção ⁽¹⁾	Qualidade do efluente	
		<i>E. Coli</i> 100mL ⁻¹ ⁽³⁾	Ovos de helmintos L ⁻¹
Irrestrita	A	$\leq 10^3$	
	B	$\leq 10^4$	
	C	$\leq 10^5$	
	D	$\leq 10^3$	
	E	$\leq 10^1$ ou $\leq 10^0$	$\leq 1^{(4)(5)}$
Restrita	F	$\leq 10^4$	
	G	$\leq 10^5$	
	H	$\leq 10^6$	

Fonte: WHO, (2006).

A: cultivo de raízes e tubérculos; B: cultivo de folhosos; C: irrigação localizada de plantas que se desenvolvem distantes do nível do solo; D: irrigação localizada de plantas que se desenvolvem rentes ao nível do solo; E: qualidade de efluente alcançável com o emprego de técnicas de tratamento tais como tratamento secundário + coagulação + filtração + desinfecção; qualidade dos efluentes avaliada ainda com o emprego de indicadores complementares; F: agricultura de baixo nível tecnológico e mão de obra intensiva; G: agricultura de alto nível tecnológico e, altamente mecanizada; H: técnicas de tratamento com reduzida capacidade de remoção de patógeno associada ao emprego de técnicas de irrigação com elevado potencial de minimização da exposição.

Fazendo um comparativo das recomendações publicadas em 1989, no qual, quanto ao limite de ovos de helmintos, foi atribuído um valor menor que 1 ovo/L para irrigação da categoria A e B, ou seja, culturas irrestritas e cereais ou industrializados. Com relação aos coliformes termotolerantes, para categoria A foi inferior a 1000UFC/100ml, porém, para B e C, não foi recomendado.

Quando comparados com os valores estabelecidos no ano 2006, a Organização Mundial da Saúde, recomendou valores menos restritos, para ovos de helmintos, indicando valores menor ou igual a 1 ovo/L para todas as categorias, inclusive para as culturas restritas, quando anteriormente não se aplicava. Porém, para indicadores de contaminação fecal, recomendou-se especificar para o grupo *E.coli*, uma vez que este parâmetro é mais seguro. No entanto, para categoria A os valores para este parâmetro, permaneceu quase inalterado, no qual verifica-se valor menor ou igual a 1000UFC/L. Já para as categorias B,C e D, os valores são mais flexíveis, com 10^4 , 10^5 e 10^3 respectivamente.

3.3. Sobrevivência de Patógenos em Culturas e Solos

O tempo de sobrevivência dos microrganismos é variável nos diferentes tipos de solo, sendo relativamente elevado nos solos úmidos e sombreados. Leventhal *et al.* (2000), relatam

que os 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 microrganismos nas superfícies das culturas é menor do que no solo; fato justificado pela maior exposição à luz solar. No entanto, os mesmos autores destacam que esse tempo de sobrevivência nas culturas pode ser prolongado por condições propícias aos microrganismos como, áreas úmidas e sombreadas. Na Tabela 3 se apresentam alguns valores do tempo de sobrevivência de microrganismos citados por diferentes autores.

Tabela 3. Período de sobrevivência de alguns agentes etiológicos a 20-30°C no solo e nas culturas.

Agente Patogênico	Sobrevivência	
	No solo	Nas Culturas
VÍRUS		
Enterovírus*	< 100, comumente < 20 dias	< 60, comumente < 15 dias
BACTÉRIAS		
<i>Escherichia coli</i>	< 70, comumente < 20 dias	< 30, comumente < 15 dias
<i>Salmonella spp</i>	< 70, comumente < 20 dias	< 30, comumente < 15 dias
<i>Vibrio cholerae</i>	< 20, comumente < 10 dias	< 5, comumente < 2 dias
PROTOZOÁRIOS		
Cistos de <i>Entamoeba histolytica</i>	< 20, comumente < 10 dias	< 10, comumente < 2 dias
HELMINTOS		
Ovos de <i>Ascaris lumbricoides</i>	Muitos Meses	< 60, comumente < 30 dias
Larvas de <i>Ancilostoma</i>	< 90, comumente < 30 dias	< 30, comumente < 10 dias
Ovos de <i>Taenia saginata</i>	Muitos Meses	< 60, comumente < 30 dias
Ovos de <i>Trichuris trichiura</i>	Muitos Meses	< 60, comumente < 30 dias

Fonte: LÉON & CAVALCANTI (1996); BASTOS *et al.* 2003; SHUVAL *et al.*, 1986.

* Inclui polivírus, echovírus e coxackievírus

Alguns dados da Tabela 3, diferem dos fornecidos pela Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (EPA, 1992), que tem como destaque os ovos de helmintos, considerados como um dos maiores problemas por serem mais resistentes a uma variedade de condições físicas e químicas sendo capazes de sobreviver por até 7 anos no solo, tendo como destaque ovos de *Ascaris*, *Toxocara* e *Trichuris* (Tabela 4).

Tabela 4. Período de sobrevivência de alguns patógenos no solo e sobre a superfície de plantas.

Agente Patogênico	SOLO		PLANTAS	
	Máx absoluto	Máx comum	Máx absoluto	Máx comum
Bactéria	1 ano	2 meses	6 meses	1 mês
Vírus	1 ano	3 meses	2 meses	1 mês
Cistos de protozoários	10 dias	2 dias	5 dias	2 dias
Ovos de helmintos	7 anos	2 anos	5 meses	1 mês

Fonte: EPA, 1992.

3.4. Agricultura Familiar e Reúso de Água

A rápida industrialização dos países em desenvolvimento, que contribuíram para o desenvolvimento econômico, resultou em perdas econômicas decorrentes dos efeitos sobre as atividades agrícolas, saúde pública e do ecossistema em geral através da poluição do ar, da água e do solo (REDDY; BEHERA, 2006; LI et al. 2009).

Basicamente, a poluição dos recursos hídricos representa um sério desafio devido ao seu impacto sobre um grande número das atividades econômicas. Para Leal et al. (2009), com o crescimento populacional e a expansão urbana, a procura por água de boa qualidade vem gerando a pressionar muitos municípios brasileiros buscarem alternativas para tratarem as suas águas residuais.

Pois, o problema da poluição da água adquire maior relevância no contexto de uma economia agrária, como o Brasil, que embora a magnitude do problema seja limitada e muito difundida, as perdas devido ao seu impacto são bastante substanciais. Isto devido principalmente ao seu impacto direto na saúde humana, tendo como destaque as pequenas comunidades que desenvolvem a prática da agricultura de subsistência.

A discussão sobre a importância e o papel da agricultura familiar no desenvolvimento brasileiro vem ganhando força nos últimos anos, impulsionada pelo debate sobre desenvolvimento sustentável, geração de emprego e renda, segurança alimentar e desenvolvimento local.

Este setor se destaca por sua importância na absorção de emprego e na produção de alimentos, especialmente voltada para o autoconsumo, ou seja, focaliza-se mais as funções de caráter social do que as econômicas, tendo em vista sua menor produtividade e incorporação tecnológica.

Entretanto, é necessário destacar que a produção familiar, além de fator redutor do êxodo rural e fonte de recursos para as famílias com menor renda, também contribui expressivamente para a geração de riqueza, considerando a economia não só do setor agropecuário, mas do próprio país (GUILHOTO et al. 2007).

Segundo Didonet (2004), mesmo sob adversidades como insuficiência de terras e capital, dificuldades no financiamento, baixa disponibilidade tecnológica e fragilidade da assistência técnica, o peso da agricultura familiar para a riqueza do País torna-se representativo.

De acordo com o Censo de 1995/96, a agricultura familiar respondia por 33% da produção de algodão, 31% do arroz, 72% da cebola, 67% do feijão, 97% do fumo, 84% da mandioca, 49% do milho, 32% da soja, 46% do trigo, 58% da banana, 27% da laranja, 47% da uva, 25% do café e 10% da cana-de-açúcar (GUANZIROLI, 2000). Segundo IBGE Censo Agropecuário 2006, a agricultura familiar respondia por 83% da produção de mandioca, 70% feijão, 46% milho, 38% café, 33% arroz, 21% trigo e 14% soja

Alguns resultados explicitados por Guilhoto et al. (2011) mostram que o segmento familiar da agricultura brasileira, ainda que muito heterogêneo, responde por expressiva parcela da produção agropecuária e do produto gerado pelo agronegócio brasileiro, devido ao seu inter-relacionamento com importantes segmentos da economia. Ao longo do período de análise, entre 1995 a 2005, o segmento familiar do agronegócio brasileiro respondeu por cerca de 10% do PIB brasileiro, parcela bastante expressiva, considerando que a participação do agronegócio situa-se ao redor de 30% do PIB da economia brasileira. Segundo o Ministério do Desenvolvimento Agrário (2013), a agricultura familiar é um segmento estratégico para o desenvolvimento do país. Além de responsável por produzir 70% dos alimentos consumidos pelos brasileiros todos os dias, responde por 38% da renda agropecuária e ocupa quase 75% da mão de obra do campo.

Estes dados evidenciam a importância da agricultura familiar na produção dos alimentos consumidos. No entanto, para que a agricultura familiar avance na produção de alimentos, de forma sustentável, é preciso enfrentar alguns desafios. Entre eles, ampliar a oferta de alimentos em quantidade e qualidade, estimular o uso sustentável dos recursos naturais e a convivência com as mudanças climáticas, promover alternativas para a redução da pobreza, gerar e qualificar as ocupações produtivas no campo e interiorizar o desenvolvimento.

Outro fator a ser considerado é a demanda de água para o desenvolvimento desta atividade, em especial na região Nordeste do Brasil que é caracterizada por apresentar escassos recursos hídricos, com grande parte situada na zona de ocorrência de secas, resultado da forte irregularidade climática e escassos depósitos subterrâneos de fácil prospecção, exigindo o desenvolvimento de alternativas que possam atender este setor.

Mediante a necessidade premente de fontes alternativas para o aumento da oferta hídrica, uma das alternativas que se tem apontado para o enfrentamento do problema é o *reuso de água*¹, importante instrumento de gestão ambiental dos recursos hídricos e detentor de tecnologias já consagradas a sua adequada utilização (PHILIPPI JR, 2003). Dentre as principais formas de aproveitamento de águas residuárias, o reuso agrícola apresenta destaque, tendo sua eficiência comprovada pelos vários estudos já realizados, concluindo-se que esta prática promove o aumento da produtividade agrícola e a redução nos custos de fertilizantes, indicando que essa modalidade de reuso pode ser uma solução efetiva para o suprimento de água na irrigação já que este é um setor que demanda de 70% da água disponível.

Sobre isto, Leal et al. (2009), afirmam que a irrigação com águas residuárias deverá progressivamente adquirir importância crescente, exigindo atenção detalhada ao balanço entre o aporte de nutrientes via irrigação e as quantidades requeridas para a otimização da produtividade da cultura.

Com a escassez dos recursos hídricos associados a limitação de recursos financeiros para o tratamento de águas residuárias, impõe mudanças conceituais sobre os efluentes de esgotos tratados, que passam a ser considerados como insumos ao invés de despejos.

Portanto, para a irrigação, o aproveitamento de esgotos sanitários tratados se constitui em uma valiosa ferramenta para minimizar os conflitos pelo uso da água, quer seja pela redução da quantidade extraída dos mananciais, ou por possibilitar a redução dos impactos decorrentes do seu lançamento nesses mananciais.

A população brasileira tem pouco conhecimento sobre a utilização de esgotos tratados na agricultura e a própria pesquisa sobre o tratamento de esgotos domésticos no país recebeu pouco enfoque.

¹ É o uso de água residuária tratada para diversas finalidades tais como irrigação (METCALF & EDDY, 1991).

Com esta percepção, associada a questão de que o conhecimento das condições do meio pertinente à saúde, como saneamento e moradia, são essenciais no estabelecimento de medidas de promoção da qualidade de vida do indivíduo, e famílias e comunidades Azeredo et al. (2007), reveste-se de relevante interesse para a Saúde Coletiva, o Meio Ambiente e o Desenvolvimento, a realização de pesquisas que envolvam tais aspectos, uma vez que a prática inadequada dos resíduos líquidos representa impactos ambientais relevantes indisponibilizando água, afetando a qualidade de vida da população e ao meio ambiente em detrimento do desenvolvimento econômico e social.

3.5. Tratamento de Águas Residuárias

Os esgotos sanitários se caracterizam por apresentar 99,9% de água e 0,1% de material sólido constituído pelos dejetos provenientes dos mais diversos usos de água realizados em ambientes domésticos, industriais, comerciais, etc, lançados em rede pública. (BRAGA *et al.* 2002).

Diante da deficiência no setor de saneamento básico no Brasil, aliados ao quadro epidemiológico e ao perfil sócio-econômico das comunidades brasileiras, constata-se a necessidade de implementação de tecnologias simplificadas e adequadas, para o tratamento dos esgotos sanitários.

Sobre a escolha do tratamento, Andrade Neto *et al.* (1999), afirmam que não existe um tipo de sistema de tratamento de esgoto indicado como melhor para quaisquer condições, atendendo integralmente a todos os requisitos, no entanto, quando se escolhe criteriosamente um sistema que se adapta às condições locais e aos devidos objetivos, uma boa relação custo/benefício é obtida.

Os métodos de tratamento já são bem conhecidos, sendo destacados por Von Sperling (1996), como, Tratamento Preliminar, Primário, Secundário, e Terciário, e para cada um existe uma tecnologia diferente para atender parâmetros específicos.

Diversas tecnologias se apresentam em posição de destaque para tratar esgotos. Sousa & Leite (2003), destacam como um dos principais processos biológicos utilizados atualmente, além dos sistemas aeróbios como lodos ativados e suas variantes, os sistemas anaeróbios, em especial os reatores UASBs e os sistemas de Lagoas de Estabilização. Estes, aliados a condições ambientais adequadas (alta temperatura) aceleram os processos de tratamento, apresentam relativamente baixo custo, simplicidade operacional, baixa produções de sólidos,

não consomem energia e não necessitam de equipamentos eletroeletrônicos.

Santos (2009) ressalta que no Brasil existe uma grande lacuna nas ações e serviços de saneamento ambiental. Poucas são aquelas conduzidas no sentido de minimizar problemas ambientais promovidos pelos lançamentos de esgotos domésticos, industriais e agrícolas. Tomando como parâmetro as estações de tratamento de esgotos existentes, muitas foram projetadas e são operadas baseadas somente na eficiência de remoção de material sólido, e de matéria carbonácea – usualmente medida e quantificada, indiretamente, pelo parâmetro demanda bioquímica de oxigênio. As frações nitrogenadas e fosforadas são ignoradas, sendo sua remoção ocasional devido aos processos físico-químicos e biológicos associados. Esta defasagem no tratamento dos esgotos conduz a um panorama, no mínimo preocupante, pois estes nutrientes quando lançados aos corpos d'água receptores, causam sérios desequilíbrios ambientais comprometendo a biota local e a saúde humana. O pesquisador ressalta, também, que os projetos mais recentes das estações de tratamento de esgotos empregadas no tratamento de esgotos domésticos têm contemplado as etapas de transformação do nitrogênio.

Etapas como a nitrificação e a desnitrificação estão sendo foco de estudos em unidades do tipo de filtros plantados com macrófitas de fluxo vertical dentre outros, vêm sendo empregadas na promoção da primeira etapa de transformação do nitrogênio, ou seja, a nitrificação.

Santos (2009) ressalta que a “era” da remoção do carbono nos efluentes domésticos já foi muito superada nestas concepções de tratamento. As tendências de utilização dos wetlands construídos, tanto ao nível de sistemas descentralizados como unifamiliares, conduzem ao dimensionamento e operação baseados na transformação do nitrogênio e na retenção do fósforo, a fim de preservar a qualidade dos corpos d'água e seus usos múltiplos. Embora os estudos sobre wetlands construídos, como alternativa para esgotos domésticos venham sendo realizados desde 1952 por Sidel na Alemanha e popularizado desde os estudos de Wolverton em 1998, poucos são os trabalhos e aplicações para a realidade brasileira. Destaca-se, entretanto, que estes sistemas incorporam ações naturais de depuração dos esgotos e, conseqüentemente, estão diretamente submetidos às ações climáticas locais, sendo necessários estudos regionalizados para que os mecanismos e a desempenho de tratamento sejam mantidas ao longo do tempo.

No tocante aos patógenos, a Organização Mundial de Saúde (2006), ainda destaca a eficiência de alguns sistemas de tratamento em termos de remoção, como se encontra na Tabela 5.

A partir de análise dos dados da tabela 5, os sistemas de wetlands construídos têm sua eficiência comprovada na remoção de bactérias, vírus, protozoários e helmintos em escalas bem representativas, porém se forem integrados a sistemas primários, possam ter remoções mais significativas. Há que se destacar também que apesar de grande significância na remoção destes patógenos, ainda não são contemplados valores específicos para as formas esporuladas de bactérias, talvez pela carência de técnica de recuperação para análises.

Tabela 5. Eficiência de remoção de organismos patogênicos em processos de tratamento de esgoto.

Processo de tratamento	Eficiência típica de remoção (\log_{10})			
	Bactérias	Vírus	Protozoários	Helmintos
Decantação primária	0,0 – 1,0	0 – 1	0 – 1	0 – <1
Decantação primária quimicamente assistida	1,0 – 2,0	1 – 2	1 – 2	1 – 3
Processos secundários convencionais + decantação secundária	0,0 – 2,0	0 – 2	0 – 1	1 – 2
Biofiltros aerados submersos	0,5 – 2,0	0 – 1	0 – 1	0,5 – 2
Reatores UASB	0,5 – 1,5	0 – 1	0 – 1	0,5 – 1
Lagoas de estabilização, polimento e maturação	1,0 – 6,0	1 – 4	1 – 4	1 – 3
Lagoas aeradas + lagoas de decantação	1,0 – 2,0	1 – 2	0 – 1	1 – 3
Terras úmidas construídas (wetlands)	0,5 – 3,0	1 – 2	0,5 – 2	1 – 3
Desinfecção	2,0 – 6,0	1 – 4	0 – 3	0 – 1

Fonte: Adaptado de Bastos *et al.* (2003) e WHO (2006).

3.6. Wetlands Construídos

Os wetlands construídos têm apresentado adaptação em diferentes situações e arranjos, apresentando bom desempenho no tratamento de efluentes, principalmente os de origem doméstica. Apesar de sua ampla utilização, muitos estudos estão sendo conduzidos a fim de identificar e aperfeiçoar o papel de cada elemento atuante no tratamento, destacando-se o tipo de fluxo empregado, o material filtrante, as macrófitas, a depuração, a transferência de oxigênio, a estrutura e metabolismo do biofilme formado e a vida útil do sistema.

Os principais elementos componentes dos leitos cultivados com macrófitas associados aos mecanismos de depuração dos efluentes são: material filtrante - meio suporte e as macrófitas.

Conforme afirmado por Philippi e Sezerino (2004), as formas com que as águas residuárias são depuradas nos wetlands construídos, abrangem uma complexa variedade de processos físicos, químicos e biológicos que ocorrem, e são promovidos pelos elementos constituintes do meio – solo, microrganismos e plantas. Esta depuração dá-se tanto em condições aeróbias como em condições anaeróbias, podendo-se, portanto, projetar esses sistemas para finalidades distintas. A Tabela 6 demonstra os mecanismos predominantes na remoção de poluentes nos wetlands construídos.

Tabela 6. Mecanismos predominantes na remoção de poluentes nos wetlands construídos

Constituintes do Esgoto	Mecanismos de Remoção
Sólidos Suspensos	Sedimentação Filtração
Material Orgânico Solúvel	Degradação microbológica: - aeróbica - anaeróbico
Nitrogênio	Amonificação seguido de Nitrificação e danitrificação microbiana Retirada pela planta Adsorção Volatilização da amônia
Fósforo	Adsorção Retirada pela planta
Metais	Complexação Precipitação Retirada pela Planta Oxidação/Redução microbiana
Patogênicos	Sedimentação Filtração Predação

Fonte: COOPER, (1996).

3.7. Mecanismos de Separação e Transformação de Patógenos

Segundo Toniato (2005), os patógenos transportados em meio aquático que incluem helmintos, protozoários, fungos, bactérias e vírus, são de grande importância na determinação da qualidade da água. Como a rotina de exames para todos esses organismos patogênicos não é recomendada por causa do custo e do baixo número de um patógeno específico presente num dado tempo qualquer, são usados os organismos indicadores. O mais comum indicador do nível de contaminação microbológica da água é o grupo coliforme. Hoje, o teste de coliformes termotolerantes é considerado melhor indicador de contaminação fecal humana do que os outros do grupo coliforme. Mesmo assim, o teste de coliforme termotolerantes não é específico e pode produzir resultados de falso positivo para contaminação humana, pois estes organismos são excretados por um bom número de animais de sangue quente, incluindo

aqueles residentes em áreas alagadas, além de serem encontrados em solos, plantas ou outras matrizes ambientais que não tenham sido contaminadas por material fecal (CONAMA, 2005).

A separação de patógenos (e indicadores) da coluna d'água não significa que eles não estarão viáveis mais tarde. Eles podem ser lançados da matriz a qual estavam fixados e tornar-se-ão disponíveis novamente na coluna d'água como agentes infecciosos. A remoção verdadeira de patógenos somente é obtido quando eles morrem (USEPA, 1999).

A remoção de patógenos em áreas alagadas parece estar relacionada com a remoção de sólidos em suspensão e o tempo de detenção hidráulica. Patógenos que entram nos sistemas alagados podem estar incorporados dentro de sólidos suspensos ou podem ser encontrados em suspensão no esgoto afluente. Uma vez separados, os organismos viáveis podem ser relançados da matriz sólida e serem retidos dentro do biofilme ou dos sedimentos intersticial, ou eles podem ser readmitidos dentro da coluna d'água. Indiferente de suas localizações, eles devem competir com o consórcio de organismos ao redor deles. Como organismos intestinais, eles normalmente irão requerer um substrato rico e altas temperaturas para competição favorável. Muitos não sobreviverão nesta competição. Eles também serão destruídos por predação ou, se estiverem próximos à superfície da água, por radiação ultra violeta (USEPA, 1999; PERKINS & HUNTER, 2000; THURSTON et al. 2001).

Ressalta-se que muitos patógenos são mais sensíveis ao ambiente alagado do que os indicadores, mas alguns vírus e protozoários (esporos) podem ser mais resistentes. Desta forma, se faz necessário uma avaliação microbiológica mais abrangente ao se analisar o risco oferecido por efluentes de wetlands construídos.

3.8. Experiências de Utilização de Sistemas de Wetlands Construídos

Os atuais níveis de atendimento dos serviços de saneamento no Brasil, principalmente quanto à disposição segura dos esgotos, têm levado grande parte da população a condições de saúde abaixo de um nível adequado. A solução para estes problemas passa necessariamente pela implementação de sistemas de tratamento adequados à realidade do país, ou seja, baratos e de simples operação e manutenção.

Com o objetivo da melhoria da qualidade das águas poluídas com vistas à produção agrícola, verifica-se que a técnica no trabalho desenvolvido por Toniato (2005), de wetlands construídos, se enquadra nestes requisitos e mostrou bons resultados durante o período de monitoramento. A metodologia foi baseada na análise da eficiência, através de parâmetros

físico-químicos e microbiológicos de qualidade de água, de um sistema de wetland construído de fluxo subsuperficial tratando esgoto séptico. Os resultados mostraram reduções médias significativas de Demanda Bioquímica de Oxigênio, Demanda Química de Oxigênio, fósforo total, Nitrogênio Total Kjeldahl, e para indicadores microbiológicos no tocante a coliformes totais e *Escherichia coli*. De acordo com estes resultados, sistemas de wetlands construídos se constituem como boas opções para o tratamento de esgotos domésticos onde não se dispõe de redes de esgotos ou outros meios de disposição segura de excretas humanos.

Brito et al. (2007), avaliaram o sistema de wetland construído para tratamento de águas poluídas com esgotos sanitários, onde verificou em seus resultados que o sistema apresentou concentração média de matéria orgânica, medida em demanda química de oxigênio, uma eficiência de remoção global de 69,77 % . A remoção de coliformes também foi bastante satisfatória alcançando eficiências de 99,99%.

Resultados apresentados por Ciórcero et. al., (2007), destacaram que a degradação ambiental é problema que vem se agravando pela intensa urbanização do país e crescente industrialização, que ocupa espaços de maneira irregular sem considerar os aspectos ambientais. Desta forma, o trabalho desenvolvido por o sistema wetland construído na melhoria da qualidade da água do Ribeirão dos Müller, foi verificado que a água tratada exibiu características físicas com alterações significativas como odor e coloração bem reduzidos. A eficiência do sistema wetland construído na remoção de matéria orgânica foi de 82,19 %, podendo este sistema, ser ampliado e aplicado na melhoria da qualidade da água de ambientes poluídos, devido à sua praticidade operacional.

Sousa et al. (2004), afirmaram que em especial no Nordeste do Brasil, região onde a irradiação solar é constante durante quase todo o ano, condição que favorece o processo fotossintético das macrófitas, a utilização de sistemas wetland pode ser uma tecnologia viável, já que foram positivos os resultados dos estudos sobre a aplicabilidade de sistemas wetland construídos com fluxos sub-superficiais no pós-tratamento de efluente de reatores anaeróbios. Porém, demonstraram o desempenho de três sistemas wetlands, operados com efluente proveniente de reator UASB, no que se refere à remoção de nutrientes, organismos patogênicos e material carbonáceo, durante três anos de monitoramento. A eficiência da remoção de material carbonáceo variou de 70 a 86%; o efluente produzido expresso em Demanda Química de Oxigênio manteve-se na média de 60mg.L⁻¹. A remoção de nitrogênio e fósforo, durante o primeiro ano de operação, foi considerável, 66 e 86% respectivamente. Quando aos parâmetros microbiológicos referentes a coliformes termotolerantes, o wetland

vegetado apresentou maior eficiência para a redução (da ordem de 4 unidades logarítmicas), ao ser comparado com o wetland não vegetado (da ordem de 3 unidades logarítmicas). O efluente produzido durante os 3 anos no wetland vegetado manteve-se variando entre 800 e 2000 UFC/100 mL. Dessa forma, esse efluente pode ser destinado à irrigação de culturas não consumidas cruas.

Estes resultados utilizando wetland construído no tratamento de águas contaminadas por esgotos domésticos, corroboram com os dados apresentados por Ceballos et al. (2000) e Meira (2002) que também apresentaram resultados satisfatórios sobre outros sistemas wetland vegetados, construídos com leito de brita, para o tratamento de água superficial poluída.

Mannarino et al. (2006), fizeram uso de wetlands construídos para o tratamento de lixiviados de aterros sanitários. Obtiveram remoções, em termos de concentração de poluentes, de 86% de Demanda Química de Oxigênio e 89% de nitrogênio amoniacal. Os autores relatam que os sistemas implantados mostram-se boas alternativas no tratamento de lixiviados, sobretudo em regiões de clima tropical, onde as elevadas temperaturas potencializam a evapotranspiração, além de ressaltar que, o custo relativamente baixo de implantação de tais sistemas e a pouca demanda técnica para sua operação, bastante adequados às condições da maioria dos municípios brasileiros, de forma geral carentes de recursos e de corpo técnico especializado.

Segundo Urbanic-Bercic (1994), afirmam que as propriedades dos wetlands incluem alta produtividade das plantas presentes, existência de grandes superfícies de adsorção no solo e nas plantas, presença de regiões aeróbicas e anaeróbicas e população de microrganismos ativos. Kadlec (1998), relatam que a sedimentação e filtração dos sólidos, a absorção de materiais orgânicos e nutrientes pelas plantas, a adsorção de metais no solo e nas plantas e as degradações aeróbia e anaeróbia dos compostos orgânicos são capazes de transformar muitos poluentes em produtos menos danosos e em nutrientes essenciais a serem utilizados pela biota. Logo, esses sistemas promovem a absorção de nutrientes pelas plantas e facilitam a degradação de material orgânico por microrganismos do solo e aderidos às raízes.

Outra utilidade do sistema de wetland construído é destacada para tratamento de efluentes de curtumes. Visto à problemática ambiental causada pela indústria do couro, Zacarkim *et al.* (2007), avaliou um sistema wetland construído, com a macrófita aquática *Eichhornia crassipes* (aguapé) no pós-tratamento de efluente de um curtume de acabamento de couro. O sistema apresentou resultados significativos em relação a remoções de nutrientes. Foram reduzidos os valores dos indicadores físico-químicos Demanda Química de Oxigênio

(79,91%), Fósforo total (83,51%), Nitrogênio total (67,93%), concentrações totais de cromo (87,7%) e enxofre (52%).

Sipaúba-Tavares & Braga (2008) utilizaram os sistemas de wetlands construídos no tratamento de águas residuárias para melhoria de efluentes de aquicultura e de suinocultura. Observaram que as concentrações de Amônia e fósforo total do sedimento decresceram ao passar pelo wetland construído, considerando que o uso deste sistema é uma alternativa tecnologia biológica (macrófitas aquáticas) viável, pois apresenta-se como uma opção adequada para melhoria de efluentes de aquicultura e de suinocultura.

Em trabalhos desenvolvidos por Koottatep et al. (2004) apresentam lições que foram aprendidas com a operação de escala piloto wetlands construídos para o tratamento séptico desde 1997. Os experimentos foram realizados através de três unidades de wetlands cultivadas com taboas (*Typha augustifolia*) e operando em um modo de fluxo vertical. Com base nos resultados experimentais, pode-se verificar eficiências de remoção na faixa de 80 - 96% para Demanda Química de Oxigênio e Sólidos Totais. O biossólido acumulado nas unidades de wetlands a uma profundidade de 80 cm nunca foi removida durante 7 anos de operação, mas a permeabilidade do substrato permaneceu intacta. Nele contém ovos de helmintos abaixo do limite crítico de normas de qualidade para serem aplicados na agricultura.

Koottatep et.al (2004), enfatizam em suas conclusões que, estes resultados obtidos, indicam que as unidades wetlands com fluxo vertical, constituem uma promissora tecnologia de custo relativamente modesto, para tratar resíduos séptico e usá-lo na agricultura.

Li et al. (2009), utilizando o sistema de wetland construído para tratamento das águas dos rios contaminadas pelo descarte de esgotos domésticos sem tratamento e de drenagem de fonte não pontual de uma agricultura intensiva, da aquicultura, da criação de animais, e numerosas pequenas empresas, observaram melhorias significativas à qualidade da água.

McLaughlin (2009), trataram águas pluviais contaminadas por aditivos e glicol baseado em anticoagulantes, utilizados no degelo de aeronaves em áreas frias pelo sistema de wetlands construídos. Os resultados demonstraram ser eficaz na atenuação da liberação destes fluidos.

Conly & Kamp et al. (2001), relata a importância do monitoramento dos wetlands, já que estes sistemas naturais existem em maior quantidade no semiárido pradarias canadenses. Estes locais são refúgios para a fauna selvagem, além de ser uma área que é muito utilizada para a agricultura. Eles são particularmente importantes como habitat de aves aquáticas, com mais da metade de todos os patos da América do Norte. Assim, essas zonas úmidas são um

recurso ecológico de importância continental. Porém, os níveis de água e ecologia das áreas úmidas são sensíveis à mudança climática e à evolução das práticas agrícolas nas áreas circundantes. E como devido ao clima semiárido da pradaria, onde evapotranspiração potencial excede largamente precipitação, o balanço hídrico da pradaria áreas úmidas é alterado. Com isso, pequenas mudanças no regime hidrológico, podem exercer um impacto significativo nos níveis de água nas áreas úmidas e conseqüentemente na biota e microbiota da localidade.

São vários os autores que afirmam a importância dos sistemas de wetland construídos no tratamento de águas contaminadas (CONLY & KAMP, 2001; GOPAL et al. 2008; BAWA et al. 2004; LUKACS, 2010; FINLAYSON et al. 2009).

3.9. Aspectos Gerais e Ecofisiológicos sobre a Cultura do Feijão

O feijão Comum (*Phaseolus vulgaris L.*) originário do México e América Central e após o descobrimento das Américas foi levado para o Velho Mundo como planta ornamental (ZIMMERMANN E TEIXEIRA, 1996).

O gênero *Phaseolus* originou-se nas Américas e compreende aproximadamente 55 espécies, das quais apenas cinco são cultivadas: o feijoeiro comum (*Phaseolus vulgaris*); o feijão de lima (*P. lunatus*); o *P. polyanthus*; o feijão Ayocote (*P. coccineus*) e o feijão tepari (*P. acutifolius*) (DOURADO NETO, 2000).

Existem diversas hipóteses para explicar a origem e domesticação do feijoeiro. Tipos selvagens, similares a variedades criolas simpátricas, encontrados no México e a existência de tipos domesticados, datados de cerca de 7.000 a.C., na Mesoamérica, suportam a hipótese de que o feijoeiro teria sido domesticado na Mesoamérica e disseminado, posteriormente, na América do Sul. Por outro lado, achados arqueológicos mais antigos, cerca de 10.000 a.C., de feijões domesticados na América do Sul (sítio de Guitarrero, no Peru) são indícios de que o feijoeiro teria sido domesticado na América do Sul e transportado para a América do Norte. (VIEIRA, et. al. 1998).

Zimmermann et. al (1996) afirmam que a existência de três centros primários de diversidade genética, tanto para espécies silvestres como cultivadas: o mesoamericano, que se estende desde o sudeste dos Estados Unidos até o Panamá, tendo como zonas principais o México e a Guatemala; o sul dos Andes, que abrange desde o norte do Peru até as províncias do noroeste da Argentina; e o norte dos Andes, que abrange desde a Colômbia e Venezuela

até o norte do Peru. Além destes três centros americanos primários, podem ser identificados vários outros centros secundários em algumas regiões da Europa, Ásia e África, onde foram introduzidos genótipos americanos.

A cultura do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) tem grande importância na alimentação humana, em vista de suas características protéicas e energéticas. Em nosso país, esta leguminosa tem importância social e econômica, por ser responsável pelo suprimento de grande parte das necessidades alimentares da população de baixo poder aquisitivo, que ainda tem apresentado taxas de crescimento relativamente altas e também pelo contingente de pequenos produtores que se dedicam à cultura.

Sob o ponto de vista nutricional o feijão apresenta componentes e características que tornam seu consumo vantajoso. Entre eles, pode-se citar o conteúdo protéico relativamente alto, o teor elevado de lisina, que exerce efeito complementar às proteínas dos cereais, a fibra alimentar com seus reconhecidos efeitos hipocolesterolêmico e hipoglicêmico, o alto conteúdo de carboidratos complexos e a presença de vitaminas do complexo B. Por outro lado, alguns problemas nutricionais como a baixa digestibilidade protéica, o conteúdo reduzido em aminoácidos sulfurados, e a baixa disponibilidade de minerais são assuntos que têm merecido a atenção especial de vários grupos de pesquisas (IADEROZA et. al., 1989; COSTA E VIEIRA, 2000). Os grãos representam uma importante fonte protéica na dieta humana dos países em desenvolvimento das regiões tropicais e subtropicais.

Segundo Costa e Vieira (2000), suas propriedades nutricionais são constituídas de 22 e 26% de Proteína, 62 e 67% de Carboidratos, 3,8 e 4,5% de Cinzas, Lipídios de 1 e 2%; Fibras de 3,8 e 5,7%; Vitaminas: tiamina, riboflavina, niacina, ácido ascórbico; Minerais: K (1%), P (0,4%), Fe, Cu, Zn; e 341 cal 100g⁻¹ de Valor calórico. Do ponto de vista taxonômico o feijão comum é o verdadeiro protótipo do gênero *Phaseolus*, classificado por Linneo em 1753. Reino: Vegetal; Ramo: Embryophytae syphonogamae; Sub-ramo: Angiospermae; Classe: Dicotylidoneae; Ordem: Rosales; Família: Fabaceae; Subfamília: Faboideae (Papilioideae); Tribo: Phaseoleae; Gênero: *Phaseolus*; Espécie: *Phaseolus vulgares* L.

Segundo Vieira (1988), no Brasil, a cultura do feijão está distribuída por todo o território nacional, sendo que esta faz parte do hábito alimentar da família brasileira e está amplamente adaptada as diversidades climáticas. A partir da década de 70, passou a ser cultivada também na época de inverno, sob irrigação, sendo atrativa aos médios e grandes produtores, geralmente usuários de maior nível de tecnologia (BINOTTI, et. al 2005).

De acordo com o hábito de crescimento, as cultivares do feijoeiro são agrupadas em tipo I (plantas de crescimento determinado), tipo II (plantas de crescimento indeterminado arbustivo), tipo III (plantas de crescimento indeterminado prostrado) e tipo IV (plantas de crescimento indeterminado trepador) (CIAT, 1981). Através do processo de fixação biológica do nitrogênio algumas bactérias pertencentes ao gênero *Rhizobium* conseguem infectar as raízes do feijoeiro, formar nódulos e fixar biologicamente o nitrogênio do ar (N₂), fornecendo esse nutriente que de outro modo, teria que ser adicionado via fertilizante (HUNGRIA, 1994). Malavolta (1987) e Arf (2004) consideram que o feijoeiro sendo uma leguminosa é capaz de suprir parte de sua exigência em nitrogênio através do processo de fixação simbiótica, conseguindo fixar através desse processo de 20 a 30 % do nitrogênio que necessita, contribuindo dessa forma para economia da adubação nitrogenada. Porém, essa capacidade é bastante inferior se comparada à cultura da soja que consegue fixar de 40 a 70% da sua exigência em nitrogênio. Segundo Rosolem (1996), o feijoeiro por possuir um sistema radicular pequeno e pouco profundo, é importante que este seja cultivado em solos com pH em H₂O na faixa de 6,0 a 6,5, para maior eficiência do aproveitamento da fixação simbiótica, evitando a fitotoxicidade de alumínio e de manganês e prevenir a deficiência de micronutrientes, sendo ainda, de fundamental importância, o efeito da calagem no crescimento radicular, o que torna a planta mais apta a produzir, quando as condições hídricas são adversas.

A maior parte de massa seca dos grãos é constituída de carboidratos (cerca de 65%) e nitrogênio. A maior parte deste último é estocada nas folhas sob a forma de proteínas que, ao se iniciar a formação das vagens e dos grãos, são mobilizadas e translocadas para esses componentes de rendimento de grãos. Normalmente, cerca de 80 % do nitrogênio encontrado nos grãos são proveniente do nitrogênio estocado na parte vegetativa da planta, e o restante é proveniente do nitrogênio assimilado após floração. Os carboidratos, ao contrário, necessários para o enchimento dos grãos, são provenientes da atividade fotossintética “corrente”, ou seja, da atividade fotossintética que está se realizando naquele momento. Por esse motivo, quanto mais tempo durar a área foliar verde após a floração, maior será o rendimento de grãos (DIDONET et. al, 2003).

A produtividade média da cultura do feijão no Brasil é considerada baixa uma vez que, utilizando técnicas mais adequadas de cultivo, existe possibilidade, em curto prazo, de triplicar ou mesmo quadruplicar a produtividade obtida com essa cultura. A sua baixa

produtividade está relacionada a vários fatores, dentre os quais, a baixa utilização e/ou eficiência de fertilizantes (CONAB, 2009).

O manejo da adubação nitrogenada é de extrema importância, visto ser o nitrogênio o nutriente absorvido em maior quantidade pela cultura e de grande influência na produtividade.

O feijoeiro é bastante exigente em nutrientes, dentre eles o nitrogênio e fósforo sendo o segundo em menor quantidade. A absorção de nitrogênio ocorre, praticamente, durante todo o ciclo da cultura, mas a época de maior exigência está entre 35 e 50 dias da emergência, coincidindo com a época do florescimento. Já a absorção de fósforo apresenta maior pico dos 30 aos 55 dias após emergência, caracterizando o finaldo florescimento, quando já existem algumas vagens formadas (ROSOLEM & MARUBAYASHI, 1994).

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1. Localização do Experimento

O experimento foi realizado em condições de ambiente protegido de casa de vegetação da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), nas dependências da UFCG, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais (CTRN), Unidade Acadêmica de Engenharia Agrícola – UAEA (Figura 1). A UFCG está localizada na zona centro oriental do Estado da Paraíba, no Planalto da Borborema, cujas coordenadas geográficas são latitude sul 7° 13' 11'', longitude oeste 35° 53' 31'' e altitude de 547,56m. Conforme o Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), o município apresenta precipitação total anual de 802,7mm, temperatura máxima de 27,5 °C, mínima de 19,2 °C e umidade relativa do ar de 83%.



Figura 1. Vista aérea da área experimental destacando-se a Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) da Universidade Federal de Campina Grande – PB, utilizada no tratamento dos efluentes para irrigação da cultura do feijão (*Phaseolus vulgaris*, L) e Casa de vegetação.

*ETE= Estação de tratamento de esgotos.
Fonte: Google Earth (2012).

4.2. Desenvolvimento do Experimento

A fase experimental foi estruturada em duas etapas conduzidas de forma simultânea: uma etapa consistiu em caracterizar as águas poluídas de um córrego que drena as águas pluviais dos bairros de Monte Santo, Jeremias e Bela Vista da cidade de Campina Grande e que se torna perenizado pelas contribuições de esgotos domésticos desses bairros residenciais

não saneados ou com baixa cobertura de saneamento, e que atravessa o Campus Universitário. Estas águas foram tratadas por 2 (dois) sistemas de wetlands construídos, sendo um deles antecedido de um sistema de UASB (reator anaeróbio de manta de lodo).

Estes sistemas foram alimentados a partir de um córrego formado por águas poluídas que drenam as águas pluviais dos bairros de Monte Santo, Jeremias e Bela Vista da cidade de Campina Grande e que se torna perenizado pelas contribuições de esgotos domésticos desses bairros residenciais não saneados ou com baixa cobertura de saneamento, e que atravessa o Campus Universitário.

Os sistemas de wetlands construídos foram instalados com dispositivos de alimentação, de distribuição e de saída. O tanque foi construído em alvenaria de 5 m de comprimento, 2 m de largura e 0,65 m de profundidade, com substrato de areia (Figura 2).

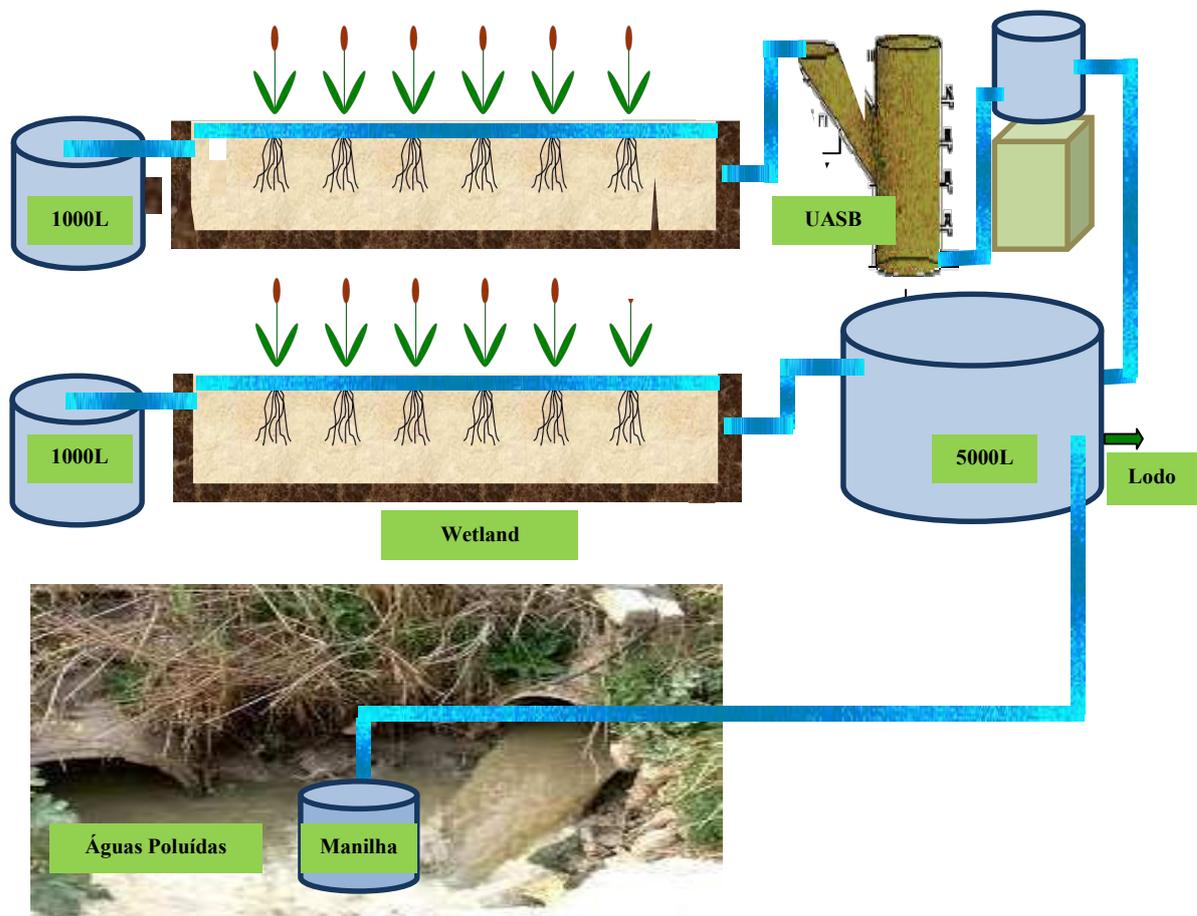


Figura 2. Esquema da Estação de Tratamento de Esgotos (ETE) da Universidade Federal de Campina Grande – PB, utilizada no tratamento dos efluentes para irrigação da cultura do feijão (*Phaseolus vulgaris*, L).

O tipo de vegetação usado nos sistemas de wetlands construídos foi a *Typha* spp que foram obtidas de uma lagoa formada no próprio córrego, e antes de serem colocadas nos sistemas de wetlands, cortou-se a área foliar e retirou-se o material aderido à raiz com lavagens no próprio córrego.

A outra etapa consistiu no reúso desses efluentes tratados na irrigação da cultura do feijão (*Phaseolus vulgaris*, L), o qual foi cultivado em lisímetros de drenagem no ambiente da casa de vegetação sob 3 (tres) sistemas de irrigação pressurizada: gotejamento subsuperficial, gotejamento superficial e microaspersão, sendo utilizados para a irrigação da cultura 3 (tres) tipos de água: água de abastecimento, água residuária tratada pelo sistema de wetland construído e água residuária tratada pelo sistema de wetland construído precedido do tratamento pelo UASB.

Os lisímetros foram constituídos de baldes de plástico com capacidade de 22 kg de solo, possuindo dispositivo para drenagem. Em cada lisímetro, que correspondeu à parcela experimental, foram plantadas 10 sementes de feijão no dia 01/05/2012, realizando o desbaste 20 dias após o plantio (DAP), ficando apenas uma planta.

A cultivar do feijão escolhida foi a BRS Agreste do feijão (*Phaseolus vulgaris*, L.), e foram fornecidas pela Embrapa Semiárido (CPATSA Petrolina). Previamente, foi feita a assepsia das sementes com Vitavax Tiram e Gaucho, respectivamente, nas proporções de 205g e 200g por 100kg de semente.

O solo utilizado no experimento foi classificado como Neossolo Regolítico de textura arenosa. As análises físico-químicas da fertilidade do solo foram realizadas antes do cultivo no Laboratório de Química e Fertilidade do Solo da UFPB, campus III na cidade de Areia, PB, e no Laboratório de Irrigação e Salinidade da UFCG, campus I na cidade de Campina Grande, PB.

As propriedades físicas e químicas do solo, estão presentes na Tabela 7.

Tabela 7. Análises dos atributos físicos e químicos do solo utilizado no experimento.

Características físicas	
Granulometria (%)	
Areia (%)	86,47
Silte (%)	11,41
Argila (%)	2,12
Densidade do solo (gcm ⁻³)	1,50
Densidade de partículas (gcm ⁻³)	2,66
Porosidade (%)	43,50
Umidade Natural	3,63
Água disponível (%)	4,97
Características químicas	
Cálcio (meq/100g de solo)	2,86
Magnésio (meq/100g de solo)	1,42
Sódio (meq/100g de solo)	0,44
Potássio (meq/100g de solo)	2,11
S (meq/100g de solo)	6,83
Hidrogênio (meq/100g de solo)	0,06
Alumínio (meq/100g de solo)	0,00
T (meq/100g de solo)	6,89
Carbonato de Cálcio Qualitativo	Ausência
Carbonato Orgânico %	0,41
Matéria Orgânica %	0,71
Nitrogênio %	0,04
Fósforo assimilável mg/100g de solo	5,40
pH H ₂ O (1:2,5)	6,49
Cond. Elétrica - mmhos/cm – Suspensão Solo-Água	0,92
pH (Extrato de Saturação)	6,38
Cond. Elétrica - mmhos/cm – Extrato de saturação	5,32
Cloreto (meq/l)	17,50
Carbonato (meq/l)	0,00
Bicarbonato (meq/l)	4,5
Sulfato (meq/l)	Presença
Cálcio (meq/l)	17,37
Magnésio (meq/l)	11,00
Potássio (meq/l)	17,60
Sódio (meq/l)	8,35
Percentagem de Saturação	24,00
Relação de Adsorção de Sódio	1,23
PSI	6,39
Salinidade	Média
Classe do Solo	Salino

* Análise realizada no Laboratório de Irrigação e Salinidade (LIS)

Uma adubação de fundação com NPK (Nitrogênio, Fósforo e Potássio) foi realizada no dia 29/04/2012 nas quantidades de 1,63 g de N por 22 kg de solo, 2,2 g de K por 22 kg de

solo e 3,6 g de P por 22 kg de solo, conforme recomendações de Novais et al. (1991), para experimento conduzidos em vasos.

Em relação ao manejo da cultura, para se prevenir da mosca branca, foram feitas três aplicações, cada uma em um intervalo de três dias, dos defensivos Provado e Óleo mineral, respectivamente, nas proporções de 20 mL e 30 mL por 20L de água.

4.3. Tratamentos e Delineamento Experimental

As águas tratadas pelos sistemas de wetlands construídos foram conduzidas a área experimental para irrigação da cultura do feijão, sendo utilizadas a partir de um sistema de irrigação pressurizada por gotejadores e microaspersores.

Os tratamentos foram constituídos pelos fatores: três tipos de água de irrigação (água de abastecimento, água poluída tratada pelo wetland construído e água poluída tratada pelo UASB + wetland construído) e três tipos de sistemas de irrigação pressurizada (gotejamento subsuperficial, superficial e microaspersão), resultando em nove tratamentos com quatro repetições, totalizando em trinta e seis parcelas experimentais, dispostas em delineamento em blocos casualizados em faixas.

Os tratamentos utilizados no experimento estão representados na Figura 3 destacando sua distribuição em casa de vegetação. Para cada tipo de água foram colocadas três linhas de emissores, sendo uma para cada tipo de sistema de irrigação pressurizada. Os tratamentos foram:

- T1 - Gotejamento Superficial com Água Residuária Tratada pelo Sistema Wetland;
- T2 - Gotejamento Superficial com Água Residuária Tratada pelo Sistema UASB + Wetland;
- T3 - Gotejamento Superficial com Água de Abastecimento;
- T4 - Gotejamento Subsuperficial com Água Residuária Tratada pelo Sistema Wetland;
- T5 - Gotejamento Subsuperficial com Água Residuária Tratada pelo Sistema UASB + Wetland;
- T6 - Gotejamento Subsuperficial com Água de Abastecimento;
- T7 - Microaspersão com Água Residuária Tratada pelo Sistema Wetland;
- T8 - Microaspersão com Água Residuária Tratada pelo Sistema UASB + Wetland;
- T9 - Microaspersão com Água de Abastecimento.



Figura 4. Foto do experimento instalado na casa de vegetação da Universidade Federal de Campina Grande – PB – UFCG.

4.4. Variáveis Analisadas Durante o Ciclo Experimental

● Variáveis de crescimento do feijoeiro

Aos 15, 30, 45, 60 e 75 dias após o plantio (DAP) foram determinados os parâmetros de crescimento: altura de planta, diâmetro de caule, número de folhas e área foliar como observa-se a Figura 5. Para a avaliação da altura de planta, considerou-se o comprimento do ramo principal das plantas, utilizando-se uma régua graduada e uma fita métrica, conforme a necessidade. O diâmetro de caule foi obtido com uso de um paquímetro digital. A área foliar da planta foi estimada pelo método do retângulo circunscrito proposto por Reis et al. (2000), em que estabeleceu a equação 1:

$$AF = 0,625.C.L \quad (\text{Eq. 1})$$

Onde:

C: Comprimento (cm)

L: Largura do folíolo (cm).



Figura 5. Fotos das avaliações do crescimento dos feijões na casa de vegetação da Universidade Federal de Campina Grande – PB – UFCG.

● **Variáveis de produção e fitomassa**

Ao término do ciclo da cultura (aos 81 DAP), foram feitas determinações das variáveis de produção como: número de vagens por planta; número de grãos por vagens; e massa de 100 grãos; e das variáveis de fitomassa como: 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.

● Vazão dos sistemas de irrigação

O efeito do uso de águas residuárias domésticas no desempenho hidráulico dos sistemas de irrigação por gotejamento subsuperficial e superficial e por microaspersão foi avaliado mediante a medição da vazão dos emissores antes e depois do experimento, isto é, dos emissores novos e usados. Através de análises microbiológicas, foi avaliado, também, o potencial desses sistemas de irrigação de contribuírem para a contaminação do solo e da cultura pela água residuária.

4.5. Parâmetros Analisados e Metodologia Analítica Utilizada nos Efluentes, nos Solos e Cultura de Feijão Utilizado no Experimento

Por ocasião das avaliações de crescimento, aos 30, 45, 60 e 75 DAP, foram realizadas análises microbiológicas (Coliformes termotolerantes e *E.coli*), análises parasitológicas (identificação de ovos de helmintos e cistos de protozoários) bem como análises físico-químicas (pH, DQO, Fósforo, Nitrogênio, Sódio, Cálcio, Magnésio, Condutividade Elétrica e Razão de Adsorção de Sódio), nas amostras de efluentes não tratados e tratados.

Para as culturas irrigadas e solos utilizados no experimento, avaliou-se a contaminação microbiológica (Coliformes termotolerantes e *E. coli*), a partir de amostras compostas dos tratamentos.

As amostras das vagens de feijão foram coletadas aos 81 DAP e acondicionadas em sacos zíperes estéreis e armazenadas sob refrigeração, sendo submetidas a análises microbiológicas, 24hs após a coleta. Estas avaliações foram realizadas no Laboratório de Alimentos da Universidade Estadual da Paraíba – UEPB.

Para analisar a contaminação microbiológica nos solos, foram coletadas amostras compostas dos tratamentos ao final do experimento, uma semana após a última fertirrigação, com trado Uhland, esterilizado, à superfície e nas profundidades 15 cm. As amostras foram

colocadas em sacos plásticos esterilizados e armazenadas sob refrigeração, sendo submetidas a análises microbiológicas, para posterior análise em Laboratório.

Para o estabelecimento destes parâmetros obedeceu-se às normas recomendadas pelo Standard Methods for the Examination of Wastewater (APHA, 1998) conforme encontram-se nas Tabela 8 e 9.

Tabela 8. Parâmetros microbiológicos e parasitológicos e os métodos analíticos utilizados na caracterização dos efluentes, dos solos e da cultura do feijão (*Phaseolus vulgaris*, L) utilizados no experimento.

Parâmetros Microbiológicos	Métodos Analíticos (APHA, 1998)
Efluentes, Cultura e Solos	
Coliformes Termotolerantes e <i>Escherichia coli</i>	Técnica dos Tubos Múltiplos/ Técnica Cromogênica (Ec-MUG)
Parâmetros Parasitológicos	
Efluentes	
Ovos de Helmintos	Hoffman, Pons & Janer
Cistos de Protozoários	

Tabela 9. Parâmetros físicos e químicos utilizados na caracterização dos efluentes tratados e não tratados utilizados na irrigação da cultura do feijão (*Phaseolus vulgaris*, L) e dos solos utilizados no experimento.

- Parâmetros Físico-químicos (APHA, 1998)
Efluentes
Demanda Química de Oxigênio (mg/L)
pH
Fosforo Total (mg/L)
Nitrogênio Total (mg/L)
Condutividade elétrica (dS/m)
Magnésio (mg/L)
Cálcio (mg/L)
Sódio (mg/L)
Solos
Cálcio (cmol _c .dm ³)
Magnésio (cmol _c .dm ³)
Sódio (cmol _c .dm ³)
Potássio (cmol _c .dm ³)
Fósforo (mg.dm ³)
pH (H ₂ O)
Matéria orgânica (g.dm ³)

4.6. Análise Estatística

Os dados foram submetidos à análise de variância (teste F a 1% e a 5%) e nos casos em que houve significância, realizou-se teste Tukey a 5%, utilizando-se o software SISVAR 5% (Ferreira, 2000), desenvolvido pela UFLA.



Figura 6. Fotos das avaliações microbiológicas realizadas no Laboratório de alimentos da Universidade Estadual da Paraíba – Campina Grande – PB - UEPB.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos estão representados em Figuras e Tabelas, obedecendo a seguinte sequência: caracterizações físico-químicas, microbiológicas e parasitológicas realizadas no afluente e nos efluentes utilizados no experimento; caracterização da qualidade sanitária das vagens e grãos de feijões irrigados com os efluentes utilizados no experimento; desenvolvimento da planta incluindo a análise de crescimento, destacando a altura da planta, diâmetro caulinar, número de folhas, área foliar; fitomassa: massa seca de folhas (MSF), massa seca de caule mais pecíolo (MSCP), massa seca da parte aérea (MSPA), massa seca das raízes (MSR), massa seca total (MST) e razão entre massa seca da parte aérea e massa seca total (MSPA/MST); Análise de Produção como: Número de vagens por planta (NVP), número de grãos por vagens (NGPV) e massa de 100 grãos (M100); apresentação dos atributos de fertilidade do solo; padrão bacteriológico dos solos ao término do experimento; e vazão dos sistemas de irrigação.

5.1. Características Físicas e Químicas dos Efluentes Utilizados na Irrigação da Cultura do Feijão

As concentrações dos parâmetros físicos e químicos descritos estão baseadas nas amostras de efluentes coletados durante o período experimental do feijão (*Phaseolus vulgaris*, L).

5.1.1. Potencial hidrogeniônico (pH)

O pH expressa a intensidade da condição ácida ou básica de um meio, representada pela concentração ativa de íons hidrogênio (SAWYER *et al.*, 1994).

Considerado um indicador dos efeitos físicos, químicos e biológicos na solução do meio, o pH por definição, influencia no grau de fertilidade do solo, pois interfere na solubilidade dos minerais presentes no meio. Um solo excessivamente ácido ou alcalino mantém menos oxigênio, menos matéria orgânica e menos microrganismos heterotróficos, concentrando assim, mais íons tóxicos (PRIMAVESI, 2002).

Em águas naturais, os valores de pH podem sofrer variações, ocasionado pelo

consumo e/ou produção de dióxido de carbono (CO_2), realizado pelos organismos fotossintetizantes e pelos fenômenos de respiração/fermentação de todos os organismos presentes na massa d'água. Em ambientes com presença de algas em grandes quantidades, é comum ocorrer a limitação do processo fotossintético pela falta de CO_2 . Nessa situação o íon bicarbonato se dissocia para fornecer CO_2 liberando íons hidroxilas, responsáveis pelo aumento do pH (SAWYER *et al.*, 1994).

Na Figura 7, estão apresentados os valores de pH encontrados nos efluentes tratados e não tratados utilizados durante na irrigação da cultura do feijão durante o ciclo experimental. Observa-se que o efluente sem tratamento apresentou um efluente com pH entre 7,3 a 8,1. Os efluentes tratados pelo wetland e pelo UASB + wetland o pH variou entre 7,9 a 8,6 durante o período de irrigação da cultura. Segundo Ayres e Westcot (1991), o pH adequado do efluente para ser utilizado na irrigação deve se apresentar entre 6,5 e 8,4. Fora dessa faixa poderá favorecer o desequilíbrio nutricional da planta.

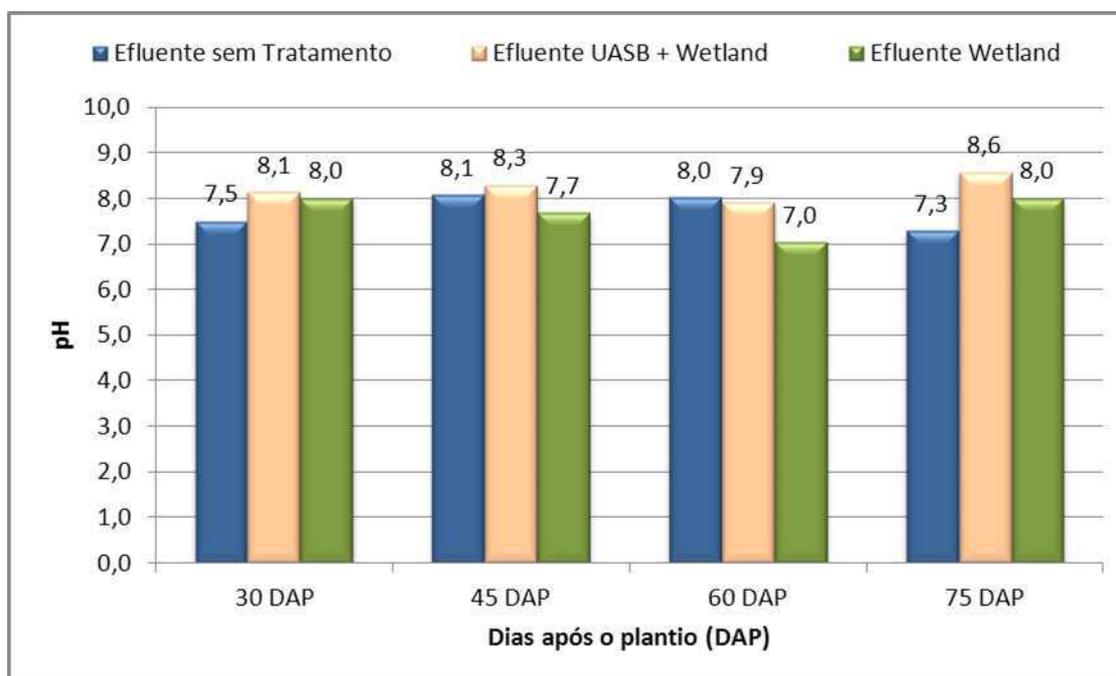


Figura 7. Valores do pH encontrados nos efluentes sem tratamento e nos efluentes tratados usados na irrigação da cultura do feijão (*Phaseolus vulgaris*, L) durante o período experimental.

Neste contexto, acredita-se que o pH das águas tratadas pelos wetland e wetland e UASB não afetou o desenvolvimento das plantas (Figura 6).

5.1.2. Demanda química de oxigênio (DQO)

A matéria orgânica presente nos efluentes foi mensurada em termos de Demanda Química de Oxigênio (DQO).

Observa-se na Figura 8 que a concentração de DQO no efluente não tratado se manteve entre 190 mg/L a 288 mg/L de DQO. Em trabalhos desenvolvidos por Sousa et. al (2005), foi verificada concentrações médias de 682mg/L de DQO em amostras de esgotos bruto do mesmo município pesquisado.

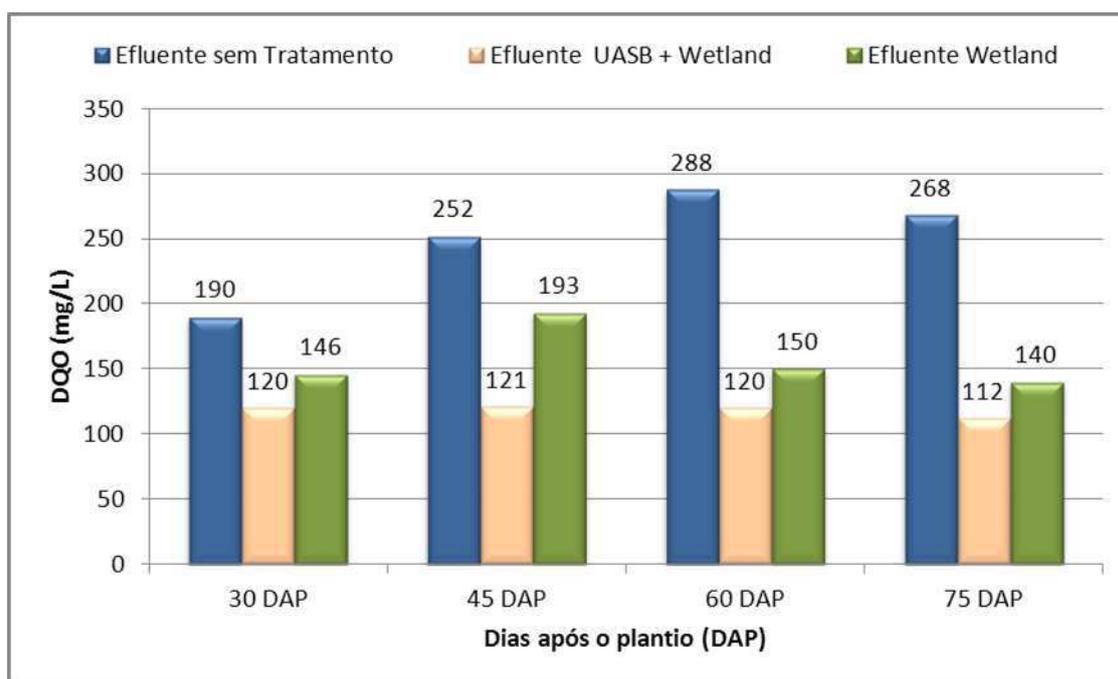


Figura 8. Concentrações de DQO encontrados nos efluentes sem tratamento e nos efluentes tratados usados na irrigação da cultura do feijão (*Phaseolus vulgaris*, L) durante o período experimental.

Concentrações de DQO foram observadas nos efluentes do UASB + wetland variando entre 112 mg/L a 121mg/L (Figura 8), apresentando uma remoção de apenas 51,33% (Tabela 10). Para os efluentes tratados pelo sistema do wetland, os valores de DQO estiveram variando entre 140mg/L a 193mg/L, promovendo uma redução de 35,55%.

Em trabalhos desenvolvidos por Sousa et. al (2004) utilizando wetland como pós-tratamento do reator UASB os valores de DQO variou entre 190 a 290 mg/L. Santos et. al (2012), constatou a eficiência de remoção de matéria orgânica (expressa em forma de DQO) valores em torno de 44 e 76% no tratamento de águas residuárias tratadas pelo reator UASB.

Tabela 10. Percentual de remoção da concentração de DQO (mg.L^{-1}) encontrados nos efluentes tratados, durante o ciclo vegetativo do feijão (*Phaseolus vulgaris*, L).

Análises	Efluente sem tratamento	UASB+WET		WET	
	mg.DQOL^{-1}	mg.DQOL^{-1}	R%	mg.DQOL^{-1}	R%
30 DAP	190,0	120,0	36,84	146,0	23,15
45 DAP	252,0	121,0	51,98	193,0	23,41
60 DAP	288,0	120,0	58,33	150,0	47,91
75 DAP	268,0	112,0	58,20	140,0	47,76
Total	998,0	473,0	205,35	629,0	142,23
Média	2249,5	118,25	51,33	157,2	35,55

DAP= dias após plantio

Brito et al. (2007), avaliaram o sistema de wetland construído para tratamento de águas poluídas com esgotos sanitários, onde verificou em seus resultados que o sistema apresentou concentração média de matéria orgânica, medida em DQO, uma eficiência de remoção global de 69,77 % . Valores de DQO foram encontrados variando entre 163 a 192 mg/L em leitos cultivados, com eficiência de remoção de 63% (BREGUNCE, et. al, 2011).

Conforme trabalhos de Sousa et al. (2004), os autores relatam que em especial no Nordeste do Brasil, região onde a irradiação solar é constante durante quase todo o ano, condição que favorece o processo fotossintético das macrófitas, a utilização de sistemas wetland pode ser uma tecnologia viável, já que foram positivos os resultados dos estudos sobre a aplicabilidade de sistemas wetland construídos com fluxos sub-superficiais no pós-tratamento de efluente de reatores anaeróbios. Porém, especificamente o trabalho desenvolvido por estes autores, relata o desempenho de três sistemas wetlands, operados com efluente proveniente de reator UASB, no que se refere à remoção de nutrientes, organismos patogênicos e material carbonáceo, durante três anos de monitoramento. A eficiência da remoção de material carbonáceo variou de 70 a 86%; o efluente produzido expresso em DQO manteve-se na média de 60mg.L^{-1} .

5.1.3. Fósforo Total

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

O valor numérico da concentração de nutrientes no esgoto varia consideravelmente segundo a origem do esgoto. Segundo Metcalf e Eddy (2003), compostos de fósforo se encontram presentes em esgotos domésticos principalmente como fosfatos e seus teores são geralmente de 6,5mg/L - 9,0mg/L.

Na agricultura de regiões tropicais e subtropicais, o fósforo é o elemento que mais limita a produção agrícola, e por isso é o mais aplicado na forma de adubo, tornando-se importante na floração e frutificação das plantas, além de ajudar no desenvolvimento do sistema radicular (MALAVOLTA, 2000).

Ao contrário do nitrogênio, teores excessivos dos compostos de fósforo não são reportados na literatura como causadores de problemas às culturas agrícolas, podendo ser reaproveitado em sua totalidade (BRADY, 1989). No entanto, para Primavesi (2002), a aplicação de fertirrigação com doses crescentes de fósforo poderá produzir modificações na disponibilidade dos micronutrientes do solo. Já na aplicação de pequenas doses de superfosfato em citros, por exemplo, observa-se que ocorre adsorção de manganês, ferro e cobre (MALVOLTA, 1976).

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

Na Figura 9, estão apresentados os valores das concentrações de fósforo total do efluente sem tratamento e dos efluentes tratados pelo wetland e UASB + wetland. Observa-se que a concentração de fósforo total variou de 1,2mg/L a 2,8mg/L para efluente do wetland e para os efluentes do UASB + wetland de 0,5 a 0,8mg/L. Em trabalhos desenvolvidos por Bregunce et.al, (2011), verificou-se concentrações de fósforo nas amostras de esgotos domésticos tratados por wetlands construídos, variando entre 1,4 a 5,8 mg/L.

O fósforo presente nas águas residuárias encontra-se, geralmente, como fosfato e

sua remoção por disposição dos efluentes em wetlands é controlada pelos processos biótico e abiótico. Os processos bióticos incluem: utilização de fósforo por vegetais perifitos e microrganismos; mineralização das próprias macrófitas e fósforo orgânico no solo. Processos abióticos incluem: sedimentação; adsorção e precipitação; processo de trocas entre o solo e a coluna de água que se mantém na superfície (REDDY; D'ANGELO,1997).

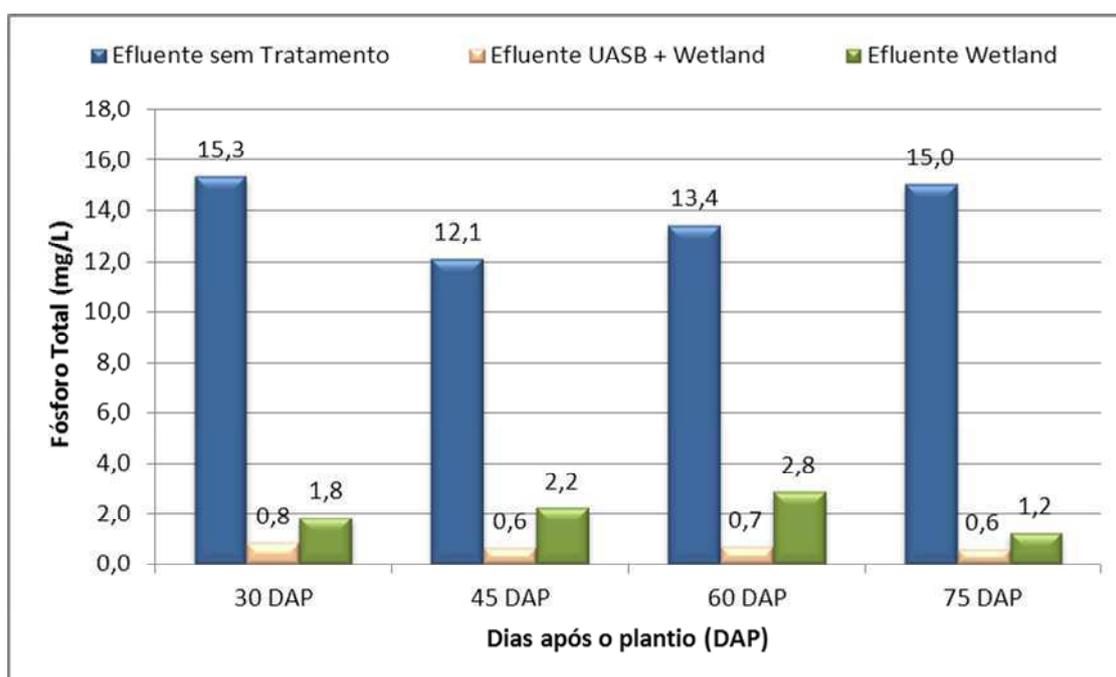


Figura 9. Concentrações de Fósforo Total encontrados nos efluentes sem tratamento e nos efluentes tratados usados na irrigação da cultura do feijão (*Phaseolus vulgaris*, L) durante o período experimental.

A remoção de fósforo no sistema wetland ocorre pela precipitação química, pela adsorção, pela assimilação dos vegetais e biofilmes formados no substrato e no sistema radicular da vegetação. Sabe-se que o fósforo solúvel é facilmente absorvido pelos sistemas radiculares das plantas aquáticas. Já a fração pouco solúvel associa-se ao ferro, ao alumínio e ao cálcio, tornando-se pouco assimilável pela planta, bem como pelos microrganismos (REDDY; D'ANGELO,1997).

O percentual médio de remoção de fosfato na forma de fósforo total, durante o período de caracterização dos sistemas wetland e UASB + wetland, está apresentado na Tabela 11 no qual se observa que a remoção de fósforo total no UASB + wetland se manteve em torno de 95,29%; no entanto, para o sistema de wetland, esta remoção foi de 85,09%.

Sousa et al. (1998) ao estudarem um wetlands naturais com área de 110 m² e profundidade média de 0,60 m, constituído de macrófitas (*Typha sp* e *Eichhornia crassipes*) alimentado com esgotos sanitários, constataram remoção de fósforo total de apenas 66%. Nos trabalhos desenvolvidos por Juwarkar et al. (1995), utilizando o sistema wetlands construído para tratamento de esgotos sanitários a eficiência de remoção de fósforo total variou de 28 a 41%.

No trabalho desenvolvido por Sousa et. al, (2004) a remoção de fósforo, em sistemas de wetlands construídos no tratamento de esgotos domésticos, foi considerável, em torno de 86%, durante o primeiro ano de operação.

Os resultados de remoção de fósforo obtidos na pesquisa (Tabela 11), superaram todas as eficiências observadas em sistemas similares (Thomas et al.,1995; Juwarker et al.,1995); assim, entende-se que a remoção observada pode ser atribuída à utilização de fósforo pelos vegetais, perifitos e microrganismos, sedimentação, adsorção, precipitação e processos de troca entre o substrato e a camada de água que se mantém no sistema como afirmam Reddy e D'angelo (1997).

Tabela 11. Percentual de remoção da concentração de Fósforo Total (mg.L⁻¹) encontrados nos efluentes tratados, durante o ciclo vegetativo do feijão (*Phaseolus vulgaris*, L).

Análises	Efluente sem tratamento	UASB+WET		WET	
	mg.P.L ⁻¹	mg.P.L ⁻¹	R%	mg.P.L ⁻¹	R%
30 DAP	15,32	0,82	94,64	1,81	88,19
45 DAP	12,11	0,60	95,04	2,21	81,76
60 DAP	13,41	0,68	95,38	2,82	78,53
75 DAP	15,01	0,58	96,13	1,22	91,88
Total	55,85	2,68	381,19	8,06	340,36
Média	13,96	0,67	95,29	2,05	85,09

DAP= dias após plantio

5.1.4. Nitrogênio Total

O nitrogênio é um dos elementos que compõe o protoplasma de organismos vivos e dos processos vitais de plantas e animais (SAWYER et al. 1994). Age como fertilizante, entretanto, em quantidades excessivas pode causar problemas às culturas agrícolas. Segundo Ayres e Westcot (1991) teores de nitrogênio total abaixo de 5mg/L

são tidos como não causadores de problemas, afetando muito pouco as culturas agrícolas mais sensíveis. Teores acima de 30mgN/L pode ser absorvido pelas plantas, tornando-se muito perigoso para algumas culturas. Em águas residuárias, as concentrações de nitrogênio total podem variar de 20 a 85mg/L (Metcalf e Eddy, 2003), podendo comprometer as culturas sensíveis ao excesso de nitrogênio. A sensibilidade das culturas ao excesso de nitrogênio varia de acordo com as fases do ciclo fenológico, podendo ser benéfico nas primeiras fases. Os altos níveis desse elemento, no entanto, promovem o crescimento vegetativo irregular, atrasando o florescimento e a maturação dos frutos (AYRES e WESTCOT, 1999).

Na Figura 10, observa-se que a concentração de nitrogênio total no efluente produzido pelo sistema de UASB + wetland variou entre 16,3mg/L a 23,2mg/L, e para o efluente do sistema de wetland a variação foi de 19,1 mg/L a 21,1mg/L, obtendo-se uma remoção média de 48,75% a 52,35% respectivamente, conforme observa-se na Tabela 12.

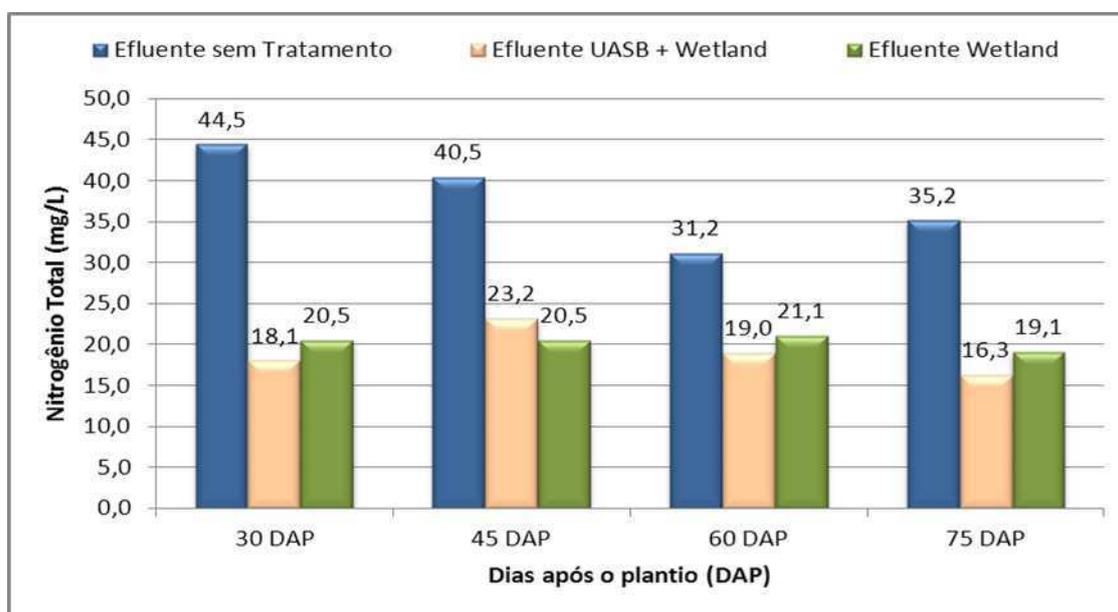


Figura 10. Concentrações de Nitrogênio Total encontrados nos efluentes sem tratamento e nos efluentes tratados usados na irrigação da cultura do feijão (*Phaseolus vulgaris*, L) durante o período experimental.

Em trabalhos desenvolvidos por Breguence et al. (2011), concentrações de nitrogênio foram verificadas variando entre 7,2 a 19,8mg/L em wetlands construídos.

Tabela 12. Percentual de remoção da concentração de Nitrogênio Total (mg.L^{-1}) encontrados no esgoto bruto e nos efluentes tratados, durante o ciclo vegetativo do feijão (*Phaseolus vulgaris*, L).

Análises	EB	UASB+WET		WET	
	mg.N.L^{-1}	mg.N.L^{-1}	R%	mg.N.L^{-1}	R%
30 DAP	44,5	18,1	59,32	20,5	53,93
45 DAP	40,5	23,2	42,71	20,5	49,38
60 DAP	31,2	19,0	39,10	21,1	32,37
75 DAP	35,2	16,3	53,69	19,1	45,73
Total	151,4	76,6	194,82	81,2	181,41
Média	37,85	19,15	48,75	20,3	52,35

DAP= dias após plantio

5.1.5. Razão de Adsorção de Sódio (RAS)

Os compostos considerados importantes em águas de reúso para irrigação agrícola, levando-se em conta seus efeitos sobre as plantas, são a salinidade, as substâncias tóxicas, o sódio, o cloro e os nutrientes.

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

Teores excessivos de sais dissolvidos podem resultar em redução da pressão osmótica do solo, que diminui a absorção de água pela planta, em aumento na toxicidade de íons específicos e na degradação das características físicas do solo. A salinidade, medida pela condutividade elétrica, produz estresse hídrica, fazendo com que a cultura irrigada tenha uma menor produtividade. Já, quantidade excessiva de sódio nos efluentes destinado à irrigação aumenta a Percentagem de Sódio Trocáveis no solo (PST), diminuindo a permeabilidade do solo, provocando também uma redução nas taxas de infiltração de água e, em consequência, a absorção de água pelas plantas (HOLANDA & AMORIM, 1997). Portanto, uma condição básica no controle de qualidade em irrigação, é o monitoramento das concentrações de sais na água. Para isso, normalmente utiliza-se a RAS (Razão de Adsorção de Sódio). Segundo Oliveira e Mara (1998), o cálculo da razão de adsorção de Sódio (RAS) mesmo não considerando os ânions carbonatos e bicarbonatos, conjuntamente com a condutividade elétrica são suficientes para se avaliar a qualidade do efluente destinado à irrigação.

Em águas residuárias, as concentrações elevadas dos íons cloreto, sódio, cálcio e magnésio, se devem a própria água de abastecimento, ao material excretado pela população contribuinte bem como ao uso de detergentes sintéticos e sabões à base de sais de sódio, carbonatos e sulfatos de sódio (METCALF e EDDY, 1991).

Ao considerar que a concentração de sais aumenta ao longo do período de tratamento, em função do maior tempo submetido à evaporação, observa-se na Tabela 13 que basicamente não houve variações na condutividade elétrica (CE).

Com os resultados das análises das águas de irrigação apresentados na Tabela 13 verificou-se que os efluentes utilizados na irrigação da cultura do feijão não apresentaram restrições quanto à condutividade elétrica, sódio, cálcio e magnésio. Sendo assim, com base na classificação das águas de irrigação de Richard (1954), considerando a razão de sódio (RAS), os efluentes tratados apresentaram baixa probabilidade de sodificação, obtendo uma classificação de tipo de água C2S1.

Tabela 13. Concentração de sódio, cálcio e magnésio apresentados nos efluentes tratados utilizados na irrigação do feijão (*Phaseolus vulgaris*, L)

Parâmetro	UASB + Wetland	Wetland
Sódio mg/L	117,99	145,59
Cálcio mg/L	40,00	71,80
Magnésio mg/L	30,00	27,84
CE (dS/m)	1,36	1,02
RAS	2,83	2,89

RAS: Razão de Adsorção de Sódio; CE: Condutividade elétrica, medida da salinidade, expressa em deciSiemens por metro(dS/m) a 25°C ou em milimhos/cm.

A classe C2, pode ser utilizada em solos que apresentem um grau moderado de lixiviação e S1, água de sodicidade média, logo, pode ser usada para irrigação da maioria dos solos, com pouca probabilidade de se atingir níveis perigosos de sódio trocável (HOLANDA e AMORIM, 1997; AYRES e WESTCOT, 1991).

5.2. Características Microbiológicas os Efluentes Utilizados na Irrigação da Cultura do Feijão

5.2.1. Concentração de coliformes termotolerantes encontrados nos efluentes usados na irrigação da cultura do feijão (*Phaseolus vulgaris*, L) durante o período experimental

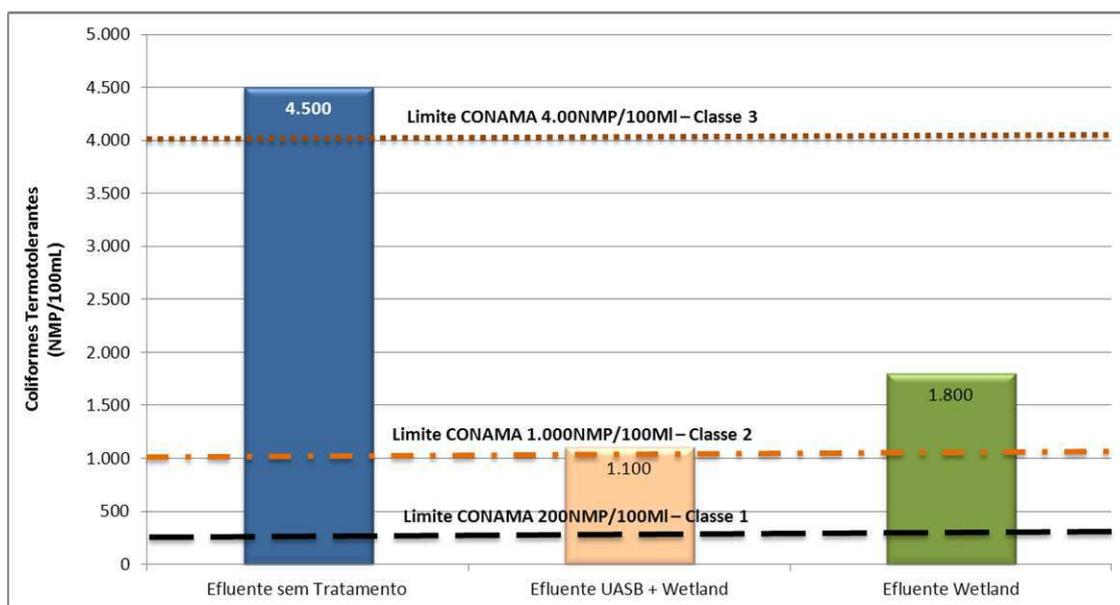
Os micro-organismos patogênicos das águas são de difícil identificação em laboratório, utilizam-se, portanto, os micro-organismos do grupo coliforme. Nesse grupo encontram-se os coliformes termotolerantes, habitantes normais dos intestinos dos animais superiores e outros de vida livre, que são de identificação mais fácil; sua presença indica provável existência de excreta e, portanto, possibilidade de ocorrência de germes patogênicos de origem intestinal.

A determinação da concentração de bactérias indicadoras de contaminação fecal no esgoto bruto e efluentes tratados, principalmente se destinados à irrigação, é essencial para caracterizar o estado sanitário dessas águas, estabelecer limites de uso e efetuar um planejamento sustentável e sanitariamente seguro.

Com relação à contaminação bacteriológica da água, nesta pesquisa foi realizada a avaliação de coliformes termotolerantes e totais. O uso da bactéria coliforme termotolerantes para indicar poluição sanitária mostra-se mais significativo que o uso da bactéria coliforme "total", porque as bactérias termotolerantes estão restritas ao trato intestinal de animais de sangue quente.

Coliformes termotolerantes estiveram presentes nas amostras dos efluentes sem tratamento em numa concentração de 4500NMP/100mL (Figura 11), o que evidencia-se que tais características são impróprias para a irrigação incluindo as três classes referenciadas pelo Conselho Nacional de Meio Ambiente (2005).

Para as amostras dos efluentes tratados pelo sistema de wetland construído, a eficiência de remoção bacteriana foi em torno de 60% e por apresentar concentrações de 1800NMP/100mL de coliformes termotolerantes, verifica-se que estariam recomendadas para irrigação de culturas arbóreas, cerealíferas e forrageiras (Figura 11).



Legenda:

- Limite CONAMA 4000NMP/100mL – Classe 3
- . - . Limite CONAMA 1000NMP/100mL – Classe 2
- - - Limite CONAMA 200NMP/100mL – Classe 1

Classe 1: irrigação de hortaliças que são consumidas cruas e de frutas que se desenvolvem rentes ao solo e que sejam ingeridas cruas sem remoção de película; Classe 2: irrigação de hortaliças, plantas frutíferas e de parques, jardins, campos de esporte e lazer, com os quais o público possa vir a ter contato direto; Classe 3: irrigação de culturas arbóreas, cerealíferas e forrageiras;

Figura 11. Concentração de coliformes termotolerantes encontrados nos efluentes sem tratamento e nos efluentes tratados usados na irrigação da cultura do feijão (*Phaseolus vulgaris*, L) durante o período experimental.

Ainda analisando a Figura 11, evidencia-se que as amostras do efluente do UASB + wetland, observou-se valores mais reduzidos de coliformes termotolerantes (1100NMP/100mL), o que evidencia uma significativa remoção de coliformes termotolerantes (97,55%). Entretanto, mesmo não estando ainda dentro dos valores recomendáveis para irrigação de culturas irrestritas, por ultrapassar 1000NMP/100mL de coliformes termotolerantes, estas amostras poderiam irrigar culturas como o feijão, segundo CONAMA (2005).

5.2.2. Diversidade de ovos de helmintos encontrados nos efluentes usados na irrigação da cultura do feijão

Neves et al. (2003) afirmam que 20% da população mundial estaria parasitada por *Ascaris lumbricoides* e equivalente para Ancilostomídeos. No Brasil, o estudo de distribuição dos helmintos é de grande importância devido à elevada frequência com

que causam infecções na população. Campos (2002), considera que 70 milhões de brasileiros apresentam doenças causadas por *Ascaris lumbricoides*. Segundo Pessoa (1982), 70% da população brasileira estaria parasitada por *Ascaris lumbricoides* e 14% por *Enterobius vermiculares* cujos ovos são ingeridos com água e/ou alimentos contaminados.

Nesta pesquisa, ovos de *Ascaris sp.*, *Trichuris sp.*, *Enterobius sp.* e Ancilostomídeos foram encontrados nas amostras de efluentes sem tratamento, como observa-se na Figura 12.

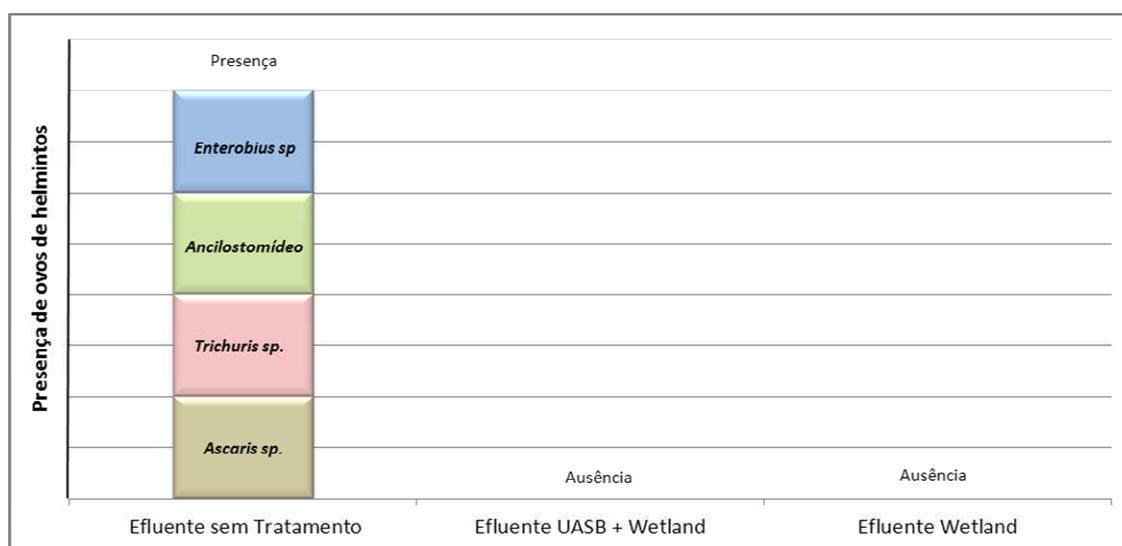


Figura 12. Avaliação da diversidade de ovos de helmintos encontrados nos efluentes sem tratamento e nos efluentes tratados usados na irrigação da cultura do feijão (*Phaseolus vulgaris*, L) durante o período experimental.

Estes resultados corroboram com os trabalhos desenvolvidos por Figueiredo et al. (2005) na cidade Campina Grande, PB, onde foi encontrada uma ampla diversidade de parasitos no esgoto bruto durante o período experimental, atingindo uma concentração média de 217 ovos/L. O maior número de ovos encontrados foi os de *Ascaris sp.*, com um valor médio de 147,5 ovos/L (67,9%), seguido por *Trichuris sp.*, com uma média de 44 ovos/L (20,4%). Nesta mesma pesquisa, demais gêneros de parasitos encontrados apresentaram-se em menor quantidade, como por exemplo, os ovos de *Enterobius sp.*, com um valor médio de 9,6 ovos/L (4,4%), *Hymenolepis sp.* com 8,8 ovos/L (4%) e Ancilostomídeos com 7,1 ovos/L (3,3%) ovos/L, respectivamente.

Nas amostras dos efluentes tratados pelos sistemas de wetland e UABS + wetland não foi evidenciado nenhuma forma parasitária, o que significa que estes sistemas de tratamentos representam-se excelentes na remoção destes parasitos (R=100%) como se observa a Figura 12. Nos sistemas de wetlands a sedimentação dos ovos de helmintos bem como processos biológicos e mecanismos físicos e químicos destacando-se a formação de biofilme e grânulos de lodo, filtração e adsorção são os principais fatores de remoção destes parasitas.

Sousa et. al, (2005) não observou nenhuma forma parasitária nas amostras de esgoto bruto tratado pelo sistema de wetland construído.

5.2.3. Diversidade de cistos de protozoários encontrados nos efluentes usados na irrigação da cultura do feijão (*Phaseolus vulgaris*) durante o período experimental

Dos protozoários mais importantes à medicina humana, cistos de *Entamoeba* (04 núcleos) e de *Giardia sp.* foram evidenciados nas amostras dos efluentes sem tratamento, como evidencia-se na Figura 13.

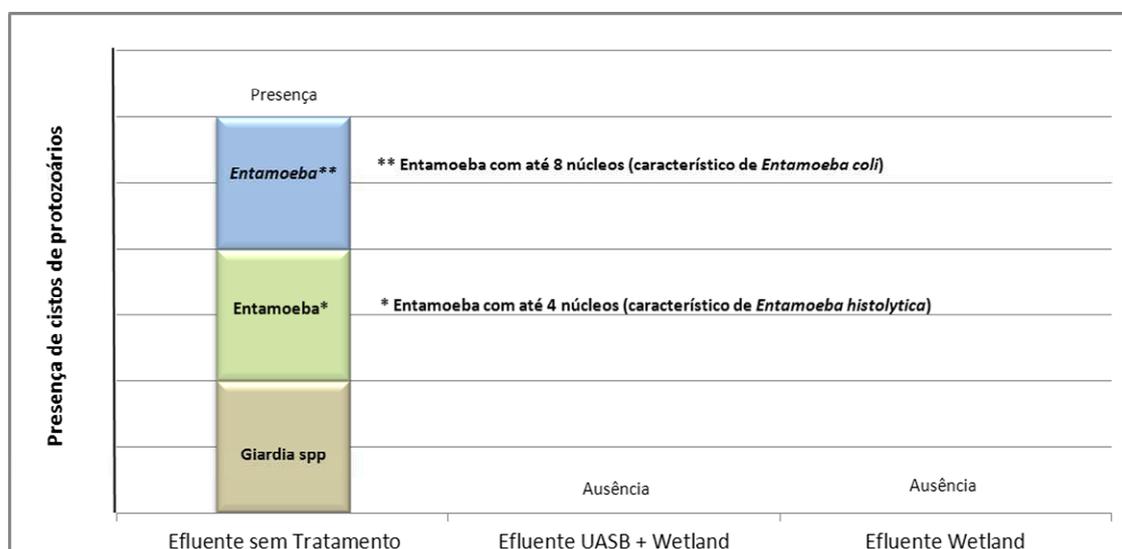


Figura 13. Avaliação da diversidade de cistos de protozoários encontrados nos efluentes sem tratamento e nos efluentes tratados usados na irrigação da cultura do feijão (*Phaseolus vulgaris*, L) durante o período experimental.

Em trabalhos desenvolvidos por Figueiredo et al. (2005), uma frequência média de par destes parasitas também foi encontrada nas amostras de esgoto bruto (6,7%).

Foram também destacados cistos de *Balantideo sp.* com (6,7%), o que diferencia-se da pesquisa atual. Resultados apresentados por Janebro (2003) sobre análises parasitológicas pelo método de Ritchie, indicaram maior frequência de aparecimento de cistos de *Giardia sp* em água de riacho contaminada com esgotos domésticos de Campina Grande - PB.

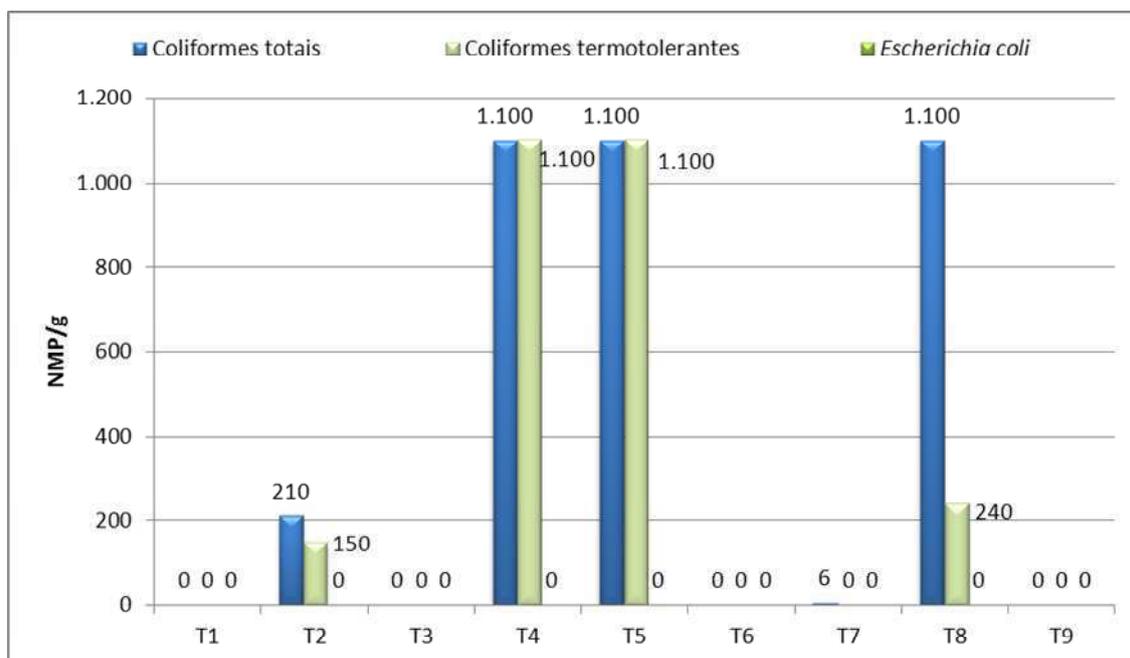
Nas amostras de efluentes tratados nesta pesquisa, pode-se observar na Figura 13, que nenhum cisto de protozoário foi encontrado, evidenciando que as condições do sistema de tratamento favoreceram para o decaimento destes parasitas, podendo também estarem associados a fatores como sedimentação e filtração. Das amebas não patogênicas encontradas nas amostras de esgoto bruto e efluente do reator UASB, destacou-se a *Entamoeba* (8 núcleos) (Figura 13).

A perda significativa de cistos de protozoários durante os procedimentos de concentração ainda é um problema a ser resolvido pelos métodos de quantificação, logo, recomenda-se que o método usado seja modificado para elevar o número de cistos e ovos. A inexistência de métodos padrões para a detecção e recuperação de enteroparasitas, especialmente de cistos de protozoários a partir de amostras ambientais, assim como variações individuais introduzidas nas atuais metodologias, limita a comparação acurada dos resultados de diversos estudos.

5.2.4. Qualidade microbiológica das vagens dos feijões irrigados em função dos diferentes tratamentos utilizados no experimento

Os resultados das análises microbiológicas realizadas nas vagens dos feijões irrigados estão apresentados na Figura 14. Observa-se que as vagens dos tratamentos T2, T4, T5 e T8 foram as que apresentaram contaminação por coliformes totais e termotolerantes. As vagens do tratamento T2 apresentaram contaminação de coliformes totais de 210 NMP/g e as vagens dos tratamentos T4, T5 e T8 apresentaram contaminação por coliformes totais de 1100NMP/g, níveis de contaminação considerados baixos. Estes níveis de contaminação, ainda, podem ser considerados muito baixos ao se associá-los aos tipos de irrigação a que a cultura foi submetida, e quase nulos ao levar em consideração que este grupo de coliformes está presente de forma natural em águas, solo e culturas sem necessariamente apresentar contaminação fecal (Figura 14).

Os valores de coliformes termotolerantes nas vagens analisadas apresentaram uma concentração de 150NMP/g para o tratamento T2 e de 1100NMP/g para os tratamentos T4 e T5. Esta contaminação verificada nas amostras das vagens irrigadas pelos efluentes tratados, apesar de terem sido irrigadas pelo sistema de gotejamento subsuperficial, possivelmente pode ser atribuída aos aerossóis, já que o cultivo desta cultura não cresce rente ao solo, permanecendo suas vagens suspensas. Paganini (1997) afirma que a dispersão dos aerossóis e, por conseguinte, a possibilidade de contaminação carregada pelos mesmos, pode ser causada pela influência do vento, da turbulência do ar, da topografia local, e do sistema de irrigação. Em pesquisas realizadas com irrigação por aspersão de esgoto bruto em Israel, no Kibutz Tzora, revelou ter detectado enterovírus a 100m de distância do ponto de aplicação (SHUVAL, 1986).



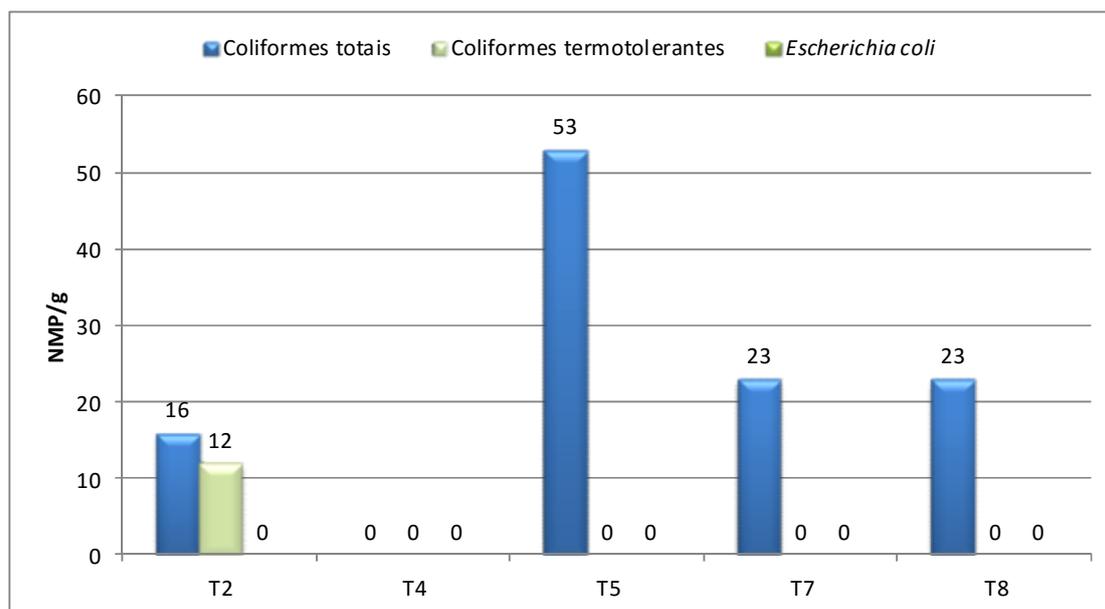
Legenda: . (T1- Gotejamento Superficial com água residuária tratada pelo Sistema Wetland; T2- Gotejamento Superficial com água residuária tratada pelo Sistema UASB + Wetland; T3- Gotejamento Superficial com água de abastecimento; T4- Gotejamento Subsuperficial com água residuária tratada pelo Sistema Wetland; T5- Gotejamento Subsuperficial com água residuária tratada pelo Sistema UASB + Wetland; T6- Gotejamento Subsuperficial com água de abastecimento; T7- Microaspersão com água residuária tratada pelo Sistema Wetland; T8- Microaspersão com água residuária tratada pelo Sistema UASB + Wetland; T9- Microaspersão com água de abastecimento).

Figura 14. Avaliação da qualidade microbiológica das vagens dos feijões irrigados em função dos diferentes tratamentos utilizados no experimento.

5.2.5. Qualidade microbiológica dos grãos de feijões irrigados em função dos diferentes tratamentos utilizados no experimento

Com relação aos grãos de feijões irrigados, conforme verifica-se na Figura 15, não foi evidenciada nenhuma contaminação por coliformes termotolerantes acima de 100NMP/g, se apresentando adequados para o consumo, pois segundo padrão estabelecido pela Agência de Vigilância Sanitária (ANVISA, 2001) que determina o máximo de 10^2 coliformes termotolerantes por grama para culturas consumidas cruas ou cozidas.

A determinação de *E.coli* nos alimentos fornece com maior segurança informações sobre as condições sanitárias do produto e melhor indicação da eventual presença de micro-organismos enteropatógenos. De acordo com os exames efetuados, verificou-se que nenhuma amostra de grãos de feijões irrigados com os 9 (nove) tratamentos apresentou contaminação por *Escherichia coli*. (Figura 15).



Legenda: . (T1- Gotejamento Superficial com água residuária tratada pelo Sistema Wetland; T2- Gotejamento Superficial com água residuária tratada pelo Sistema UASB + Wetland; T3- Gotejamento Superficial com água de abastecimento; T4- Gotejamento Subsuperficial com água residuária tratada pelo Sistema Wetland; T5- Gotejamento Subsuperficial com água residuária tratada pelo Sistema UASB + Wetland; T6- Gotejamento Subsuperficial com água de abastecimento; T7- Microaspersão com água residuária tratada pelo Sistema Wetland; T8- Microaspersão com água residuária tratada pelo Sistema UASB + Wetland; T9- Microaspersão com água de abastecimento).

Figura 15. Avaliação da qualidade microbiológica dos grãos de feijões irrigados em função dos diferentes tratamentos utilizados no experimento que apresentaram suas vagens contaminadas.

5.3. Desenvolvimento da Planta

A análise de crescimento é uma ferramenta utilizada por pesquisadores que desejam identificar a diferença entre o desenvolvimento de plantas.

No caso específico deste trabalho, para a análise de crescimento, foram avaliados a altura da planta, diâmetro caulinar, número de folhas e área foliar.

Pelo resumo das análises das variâncias (Tabela 14), constata-se que a interação entre os fatores tipos de água e sistemas de irrigação influenciaram significativamente a nível de 5% de probabilidade apenas os parâmetros diâmetro caulinar aos 75 dias após o plantio (DAP) e área foliar aos 15 e 60 DAP. Quanto aos demais parâmetros, mesmo não havendo efeito significativo para a interação entre fatores na ANOVA, o desdobramento da mesma permitiu a obtenção de diferenças significativas para altura da planta (15, 30 e 75 DAP), diâmetro caulinar (15 e 75 DAP), número de folhas (30, 45 e 60 DAP) e área foliar (15, 45 e 60 DAP).

5.3.1. Altura da Planta

No desdobramento da interação dos tipos de água dentro de cada sistema de irrigação (Figura 16), o parâmetro altura da planta apresentou diferença significativa com a utilização da água residuária após tratamento tipo UASB + wetland e com a água de abastecimento apenas aos 15 dias após o plantio (DAP), sendo o sistema de microaspersão o que proporcionou as maiores médias.

Independente da data de avaliação, a altura da planta não diferiu entre os tipos de água com a utilização do sistema de microaspersão; o sistema de gotejamento superficial mais água residuária após tratamento tipo Wetland promoveu as maiores alturas da planta aos 15 e 30 DAP. Aos 75 DAP, as plantas de feijão apresentaram as maiores médias quando irrigadas com água proveniente do tratamento UASB + wetland, nesse mesmo período de avaliação, o sistema de gotejamento subsuperficial foi o que promoveu as menores médias, contudo sem diferir do gotejamento superficial.

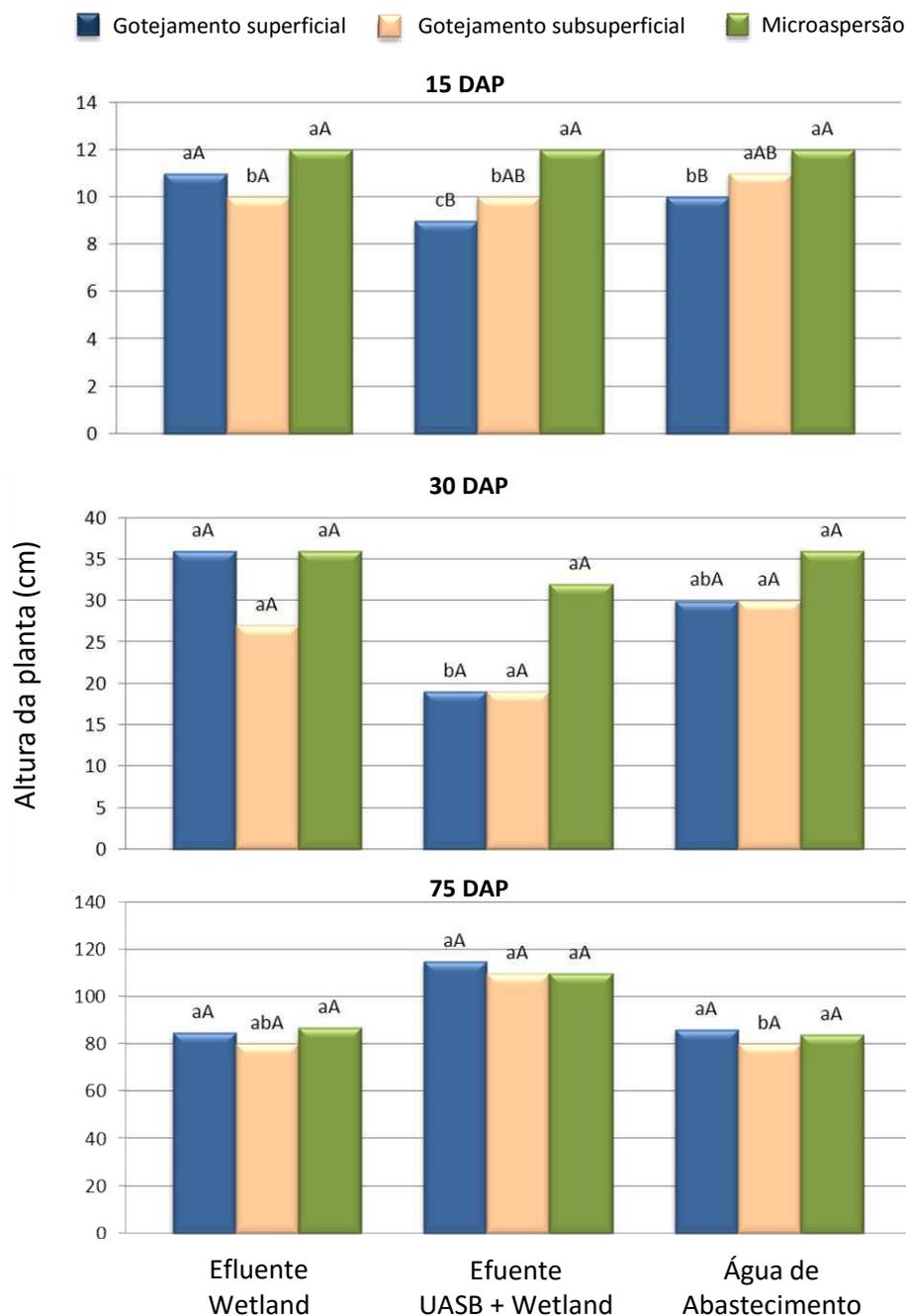


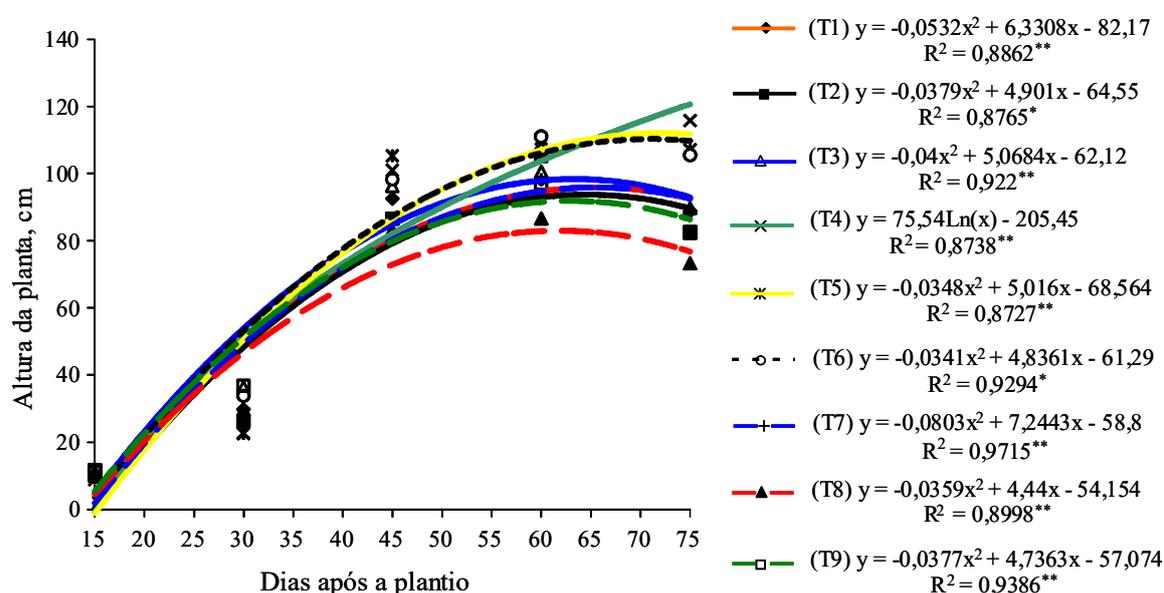
Figura 16. Altura da planta nos diferentes dias após o plantio (DAP) em função dos diferentes tipos de água e sistemas de irrigação.

(Médias seguidas de letras minúsculas iguais indicam que os diferentes tipos de água não diferem entre si dentro do mesmo sistema e letras maiúsculas iguais indicam que os diferentes sistemas não diferem entre si dentro do mesmo tipo de água).

Na Figura 17, encontram-se as médias de altura da planta obtidas de acordo com os períodos de avaliações e os diferentes tratamentos. Os dados experimentais desse parâmetro ajustaram-se, na sua grande maioria, ao modelo de regressão polinomial de segunda ordem com valores de coeficientes de correlação (R^2) superiores a 0,87. No

tratamento T4, os dados ajustaram-se significativamente a 1% de probabilidade pelo teste F ao modelo de regressão Logarítmico Neperiano.

Ainda observando a Figura 17, verifica-se que a evolução no crescimento foi semelhante em todos os tratamentos até aos 35 dias após o plantio; deste período em diante e independentemente do tipo de água utilizada, as plantas irrigadas com o sistema de gotejamento subsuperficial (tratamentos T4, T5 e T6) apresentaram um crescimento superior quando comparadas aos demais tratamentos.



Legenda: . (T1- Gotejamento Superficial com água residuária tratada pelo Sistema Wetland; T2- Gotejamento Superficial com água residuária tratada pelo Sistema UASB + Wetland; T3- Gotejamento Superficial com água de abastecimento; T4- Gotejamento Subsuperficial com água residuária tratada pelo Sistema Wetland; T5- Gotejamento Subsuperficial com água residuária tratada pelo Sistema UASB + Wetland; T6- Gotejamento Subsuperficial com água de abastecimento; T7- Microaspersão com água residuária tratada pelo Sistema Wetland; T8- Microaspersão com água residuária tratada pelo Sistema UASB + Wetland; T9- Microaspersão com água de abastecimento).

Figura 17. Evolução da altura da planta do feijoeiro em função dos diferentes tratamentos.

Tabela 14. Resumo das análises de variância para a variável altura da planta (AP), diâmetro caulinar (DC), número de folhas (NF) e área foliar (AF) em função dos diferentes tipos de água e sistemas de irrigação.

FV	GL	Quadrado médio																			
		AP					DC					NF					AF				
		Dias após o plantio (DAP)																			
15	30	45	60	75	15	30	45	60	75	15	30	45	60	75 ⁽¹⁾	15	30	45	60	75		
Bloco	3	9,45*	228,99*	1106,6 ^{ns}	1959,48*	434,85 ^{ns}	0,05 ^{ns}	0,22 ^{ns}	1,34*	0,49*	0,905*	0,22 ^{ns}	8,32 ^{ns}	180,32 ^{ns}	446,29 ^{ns}	0,167 ^{ns}	2200,9*	42424,62 ^{ns}	705705,49*	646493,33 ^{ns}	148823,88*
Água (A)	2	10,52*	286,08*	261,08 ^{ns}	117,44 ^{ns}	295,08 ^{ns}	0,001 ^{ns}	0,36 ^{ns}	0,52 ^{ns}	0,24 ^{ns}	0,311 ^{ns}	1,44 ^{ns}	35,86*	403,08*	1388,58*	0,024 ^{ns}	1343,9 ^{ns}	156718,68**	1901775,7**	2712981,69**	90367,35 ^{ns}
Erro A	6	1,74	33,71	246,8	302,4	299,60	0,02	0,25	0,18	0,08	0,10	0,55	4,49	76,15	144,32	0,050	459,83	11377,9	127704,0	205111,5	42624,13
Sistema (B)	2	3,27*	151,75*	627,08 ^{ns}	859,19 ^{ns}	2653,08**	0,03 ^{ns}	0,19 ^{ns}	0,24 ^{ns}	0,43 ^{ns}	0,35 ^{ns}	0,69 ^{ns}	8,36 ^{ns}	153,25 ^{ns}	93,58 ^{ns}	0,071 ^{ns}	1614,16*	36297,33 ^{ns}	106939,4 ^{ns}	26735,79 ^{ns}	76962,37 ^{ns}
A x B	4	1,66 ^{ns}	40,33 ^{ns}	172,3 ^{ns}	109,65 ^{ns}	65,54 ^{ns}	0,07 ^{ns}	0,27 ^{ns}	0,21 ^{ns}	0,22 ^{ns}	0,680*	0,19 ^{ns}	10,56 ^{ns}	38,33 ^{ns}	290,41 ^{ns}	0,037 ^{ns}	1362,56*	7029,50 ^{ns}	93111,1 ^{ns}	476736,05*	14119,01 ^{ns}
Erro B	18	0,88	41,47	383,0	710,3	347,12	0,03	0,21	0,20	0,16	0,20	0,69	7,12	50,04	205,73	0,055	297,65	34942,69	111956,7	416001,7	63880,98
CV A (%)		12,46	18,88	16,50	16,81	18,71	7,19	13,24	6,65	4,24	4,73	14,58	10,88	13,76	20,25	18,92	15,88	14,04	17,78	26,91	55,6
CV B (%)		8,86	20,94	20,55	25,76	19,90	8,19	12,22	7,10	6,15	6,59	16,3	13,71	11,16	24,17	19,93	12,78	24,60	16,65	38,32	68,13
Média geral	10, 60	30,75	95,25	103,44	92,50	2,33	3,77	6,40	6,67	6,79	5,11	19,47	63,41	59,33	17,69	135,04	759,88	2009,38	1683,06	370,99	

⁽¹⁾Transformação log(x); ** significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < 0,01$); * significativo ao nível de 5% de probabilidade ($0,01 \leq p < 0,05$); ^{ns} não significativo ($p \geq 0,05$).

5.3.2. Diâmetro caulinar

Analisando a Figura 18 verifica-se que aos 15 dias após o plantio, o feijoeiro apresentou as menores médias de diâmetro caulinar quando irrigada com os efluentes do UASB + wetland e o sistema de gotejamento subsuperficial, contudo, sem diferir significativamente daquelas submetidas aos efluentes do wetland. Aos 75 dias após o plantio, o diâmetro caulinar não diferiu estatisticamente entre tipos de água, independente do sistema de irrigação utilizado.

Nesse mesmo período de avaliação, apenas com a utilização da água de abastecimento é que se constatou influência significativa dos sistemas de irrigação, sendo o sistema de microaspersão o que promoveu as maiores médias, porém sem diferir do sistema de gotejamento subsuperficial.

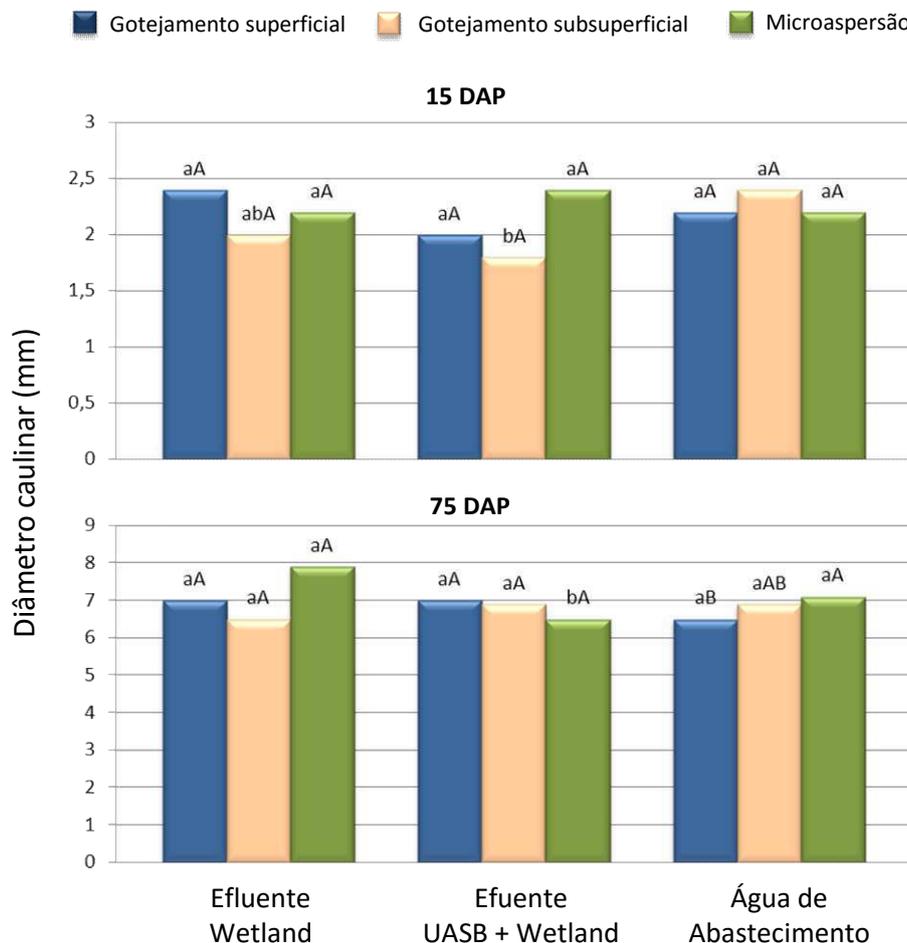
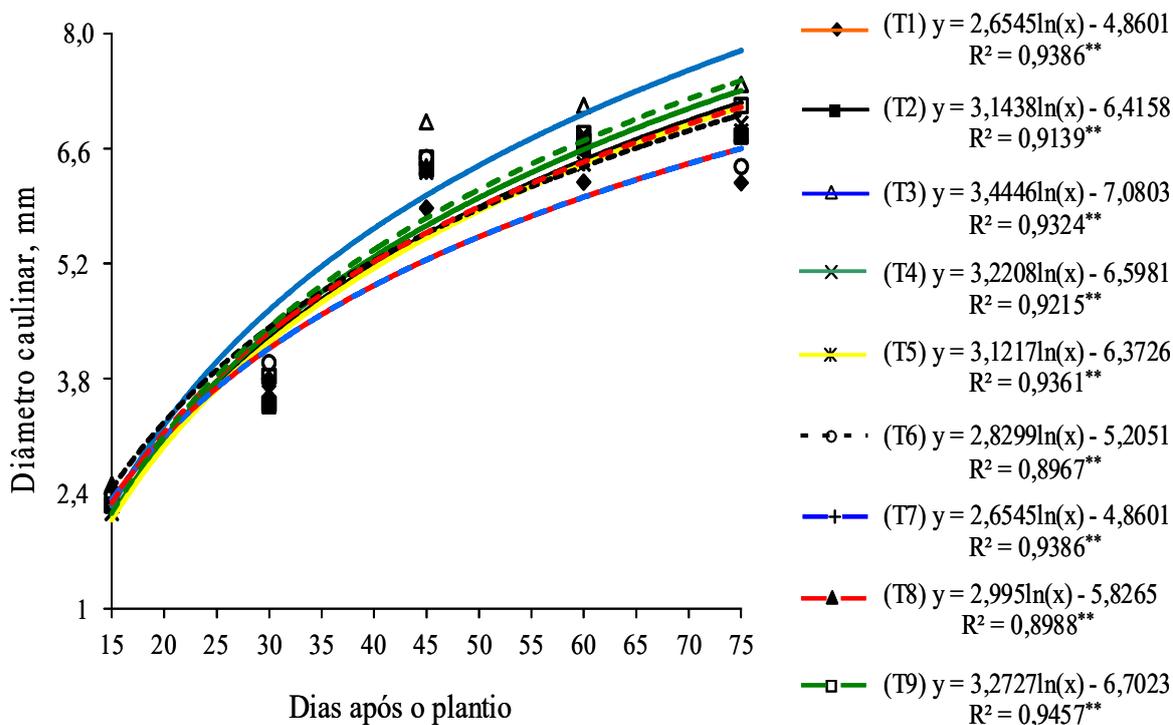


Figura 18. Diâmetro caulinar nos diferentes dias após o plantio em função dos diferentes tipos de água e sistemas de irrigação.

(Médias seguidas de letras minúsculas iguais indicam que os diferentes tipos de água não diferem entre si dentro do mesmo sistema de irrigação e letras maiúsculas iguais indicam que os diferentes sistemas de irrigação não diferem entre si dentro do mesmo tipo de água).

Na Figura 19, encontram-se as médias de diâmetro caulinar obtidas de acordo com os períodos de avaliações e os diferentes tratamentos. Os dados experimentais desse parâmetro ajustaram-se ao modelo de regressão Logarítmico Neperiano com valores de coeficientes de correlação (R^2) superiores a 0,89.



Legenda: . (T1- Gotejamento Superficial com água residuária tratada pelo Sistema Wetland; T2- Gotejamento Superficial com água residuária tratada pelo Sistema UASB + Wetland; T3- Gotejamento Superficial com água de abastecimento; T4- Gotejamento Subsuperficial com água residuária tratada pelo Sistema Wetland; T5- Gotejamento Subsuperficial com água residuária tratada pelo Sistema UASB + Wetland; T6- Gotejamento Subsuperficial com água de abastecimento; T7- Microaspersão com água residuária tratada pelo Sistema Wetland; T8- Microaspersão com água residuária tratada pelo Sistema UASB + Wetland; T9- Microaspersão com água de abastecimento).

Figura 19. Evolução do diâmetro caulinar do feijoeiro em função dos diferentes tratamentos.

5.3.3. Número de folhas

O número de folhas apresentou comportamento semelhante aos 30 e 45 dias após o plantio (DAP), ou seja, suas médias não diferiram entre os diferentes tipos de água independente do sistema de irrigação utilizado; verificou-se apenas nesses períodos de avaliações que o sistema mais eficiente foi o de microaspersão quando se utilizou a água tratada pelo sistema wetland. Aos 60 DAP, quando irrigadas com efluentes do wetland e UASB + wetland através do sistema de microaspersão, o feijoeiro apresentou o maior número de folhas. Quanto à eficiência do sistema de irrigação, o sistema de microaspersão diferiu dos demais apenas quando se utilizou a água proveniente do sistema wetland, conforme observa-se a Figura 20.

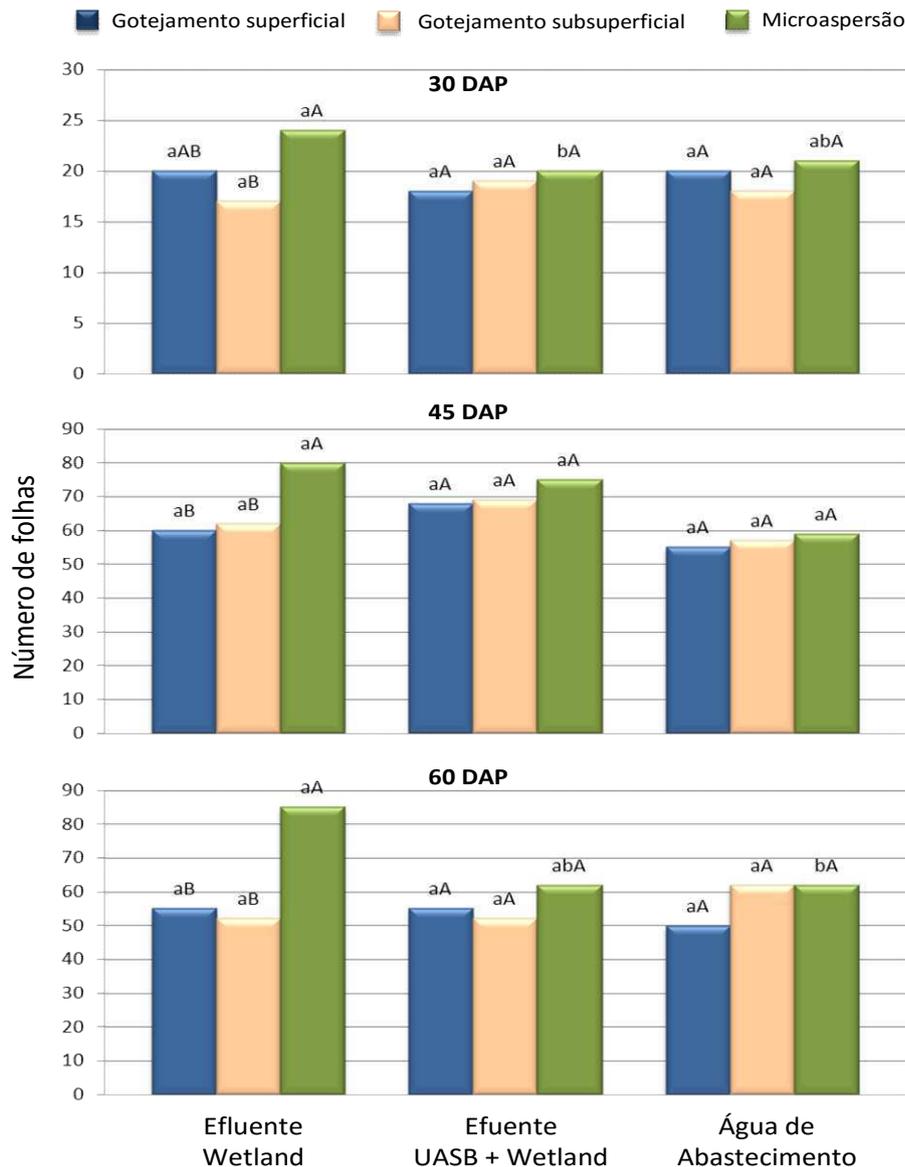
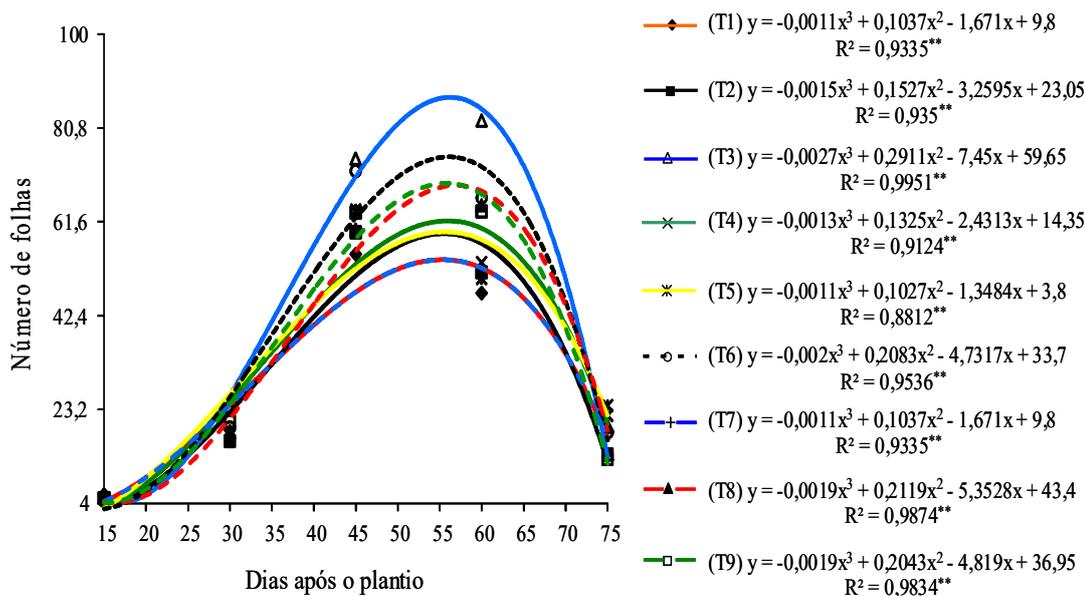


Figura 20. Número de folhas nos diferentes dias após o plantio em função dos diferentes tipos de água e sistemas de irrigação.

(Médias seguidas de letras minúsculas iguais indicam que os diferentes tipos de água não diferem entre si dentro do mesmo sistema de irrigação e letras maiúsculas iguais indicam que os diferentes sistemas de irrigação não diferem entre si dentro do mesmo tipo de água).

Na Figura 21, encontram-se as médias de número de folhas obtidas de acordo com os períodos de avaliações e os diferentes tratamentos. Os dados experimentais desse parâmetro ajustaram-se ao modelo de regressão polinomial de terceira ordem com valores de coeficientes de correlação (R^2) superiores a 0,88. Ainda observando a Figura 21, verifica-se que a evolução no número de folhas foi semelhante em todos os tratamentos até aos 30 dias após o plantio, deste período em diante e independentemente do sistema de irrigação utilizado, as plantas irrigadas com a água de abastecimento (tratamentos T3, T6 e T9) apresentaram maior número de folhas quando comparadas aos demais tratamentos.



Legenda: . (T1- Gotejamento Superficial com água residuária tratada pelo Sistema Wetland; T2- Gotejamento Superficial com água residuária tratada pelo Sistema UASB + Wetland; T3- Gotejamento Superficial com água de abastecimento; T4- Gotejamento Subsuperficial com água residuária tratada pelo Sistema Wetland; T5- Gotejamento Subsuperficial com água residuária tratada pelo Sistema UASB + Wetland; T6- Gotejamento Subsuperficial com água de abastecimento; T7- Microaspersão com água residuária tratada pelo Sistema Wetland; T8- Microaspersão com água residuária tratada pelo Sistema UASB + Wetland; T9- Microaspersão com água de abastecimento).

Figura 21. Evolução do número de folhas do feijoeiro em função dos diferentes tratamentos.

5.3.4. Área Foliar

A área foliar é uma medida de análise de crescimento que está relacionada com a superfície fotossinteticamente ativa da planta. Em média, “cerca de 90%, de matéria seca acumulada pelas plantas ao longo do seu crescimento, resulta na atividade fotossintética” (BENICASA, 1988). Logo, quanto maior a captação de luz por uma planta, maior será sua atividade fotossintética, produzindo uma maior área foliar, conseqüentemente, maior fitomassa, teoricamente, uma maior produtividade.

Quanto à área foliar, verifica-se aos 15 DAP, diferença significativa entre sistemas de irrigação com a utilização dos efluentes do UASB + wetland, sendo o sistema de microaspersão o mais eficiente. Nesse mesmo período de avaliação e analisando a influencia do tipo de água dentro dos sistemas de irrigação, verifica-se que o fornecimento das águas de abastecimento e do wetland através do sistema de gotejamento superficial promoveram estatisticamente a mesma área foliar, mesmo comportamento também foi observado com a utilização das águas de abastecimento e dos efluentes tratados pelo UASB + wetland através do sistema de microaspersão como observa-se a Figura 22.

Ainda analisando a Figura 22, aos 45 dias após o plantio (DAP) e independente do tipo de água utilizada, o sistema de microaspersão promoveu as maiores médias de área foliar. Já

aos 60 DAP, houve diferença significativa entre os sistemas de irrigação apenas com a utilização da água tratada pelo wetland, sendo, mais uma vez, o sistema de microaspersão o mais eficiente. Ainda com relação a esse último período de avaliação, a maior área foliar foi observada com a água proveniente do wetland, porém sem diferir estatisticamente dos demais tipos de água quando fornecidas pelo sistema de microaspersão. Com a utilização do sistema de gotejamento subsuperficial, a área foliar foi superior com o uso da água de abastecimento, contudo sem diferir do UASB + wetland, este último por sua vez, também não diferiu do wetland.

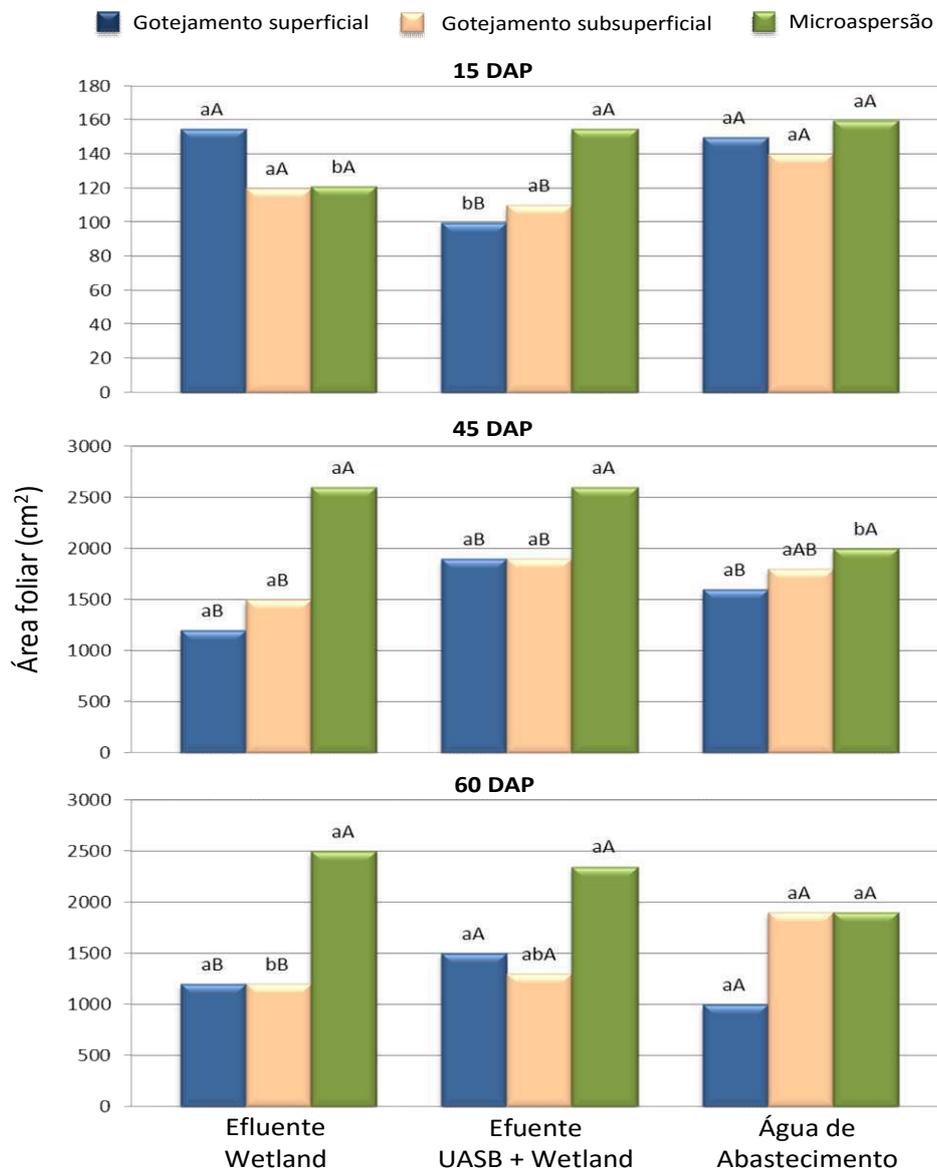
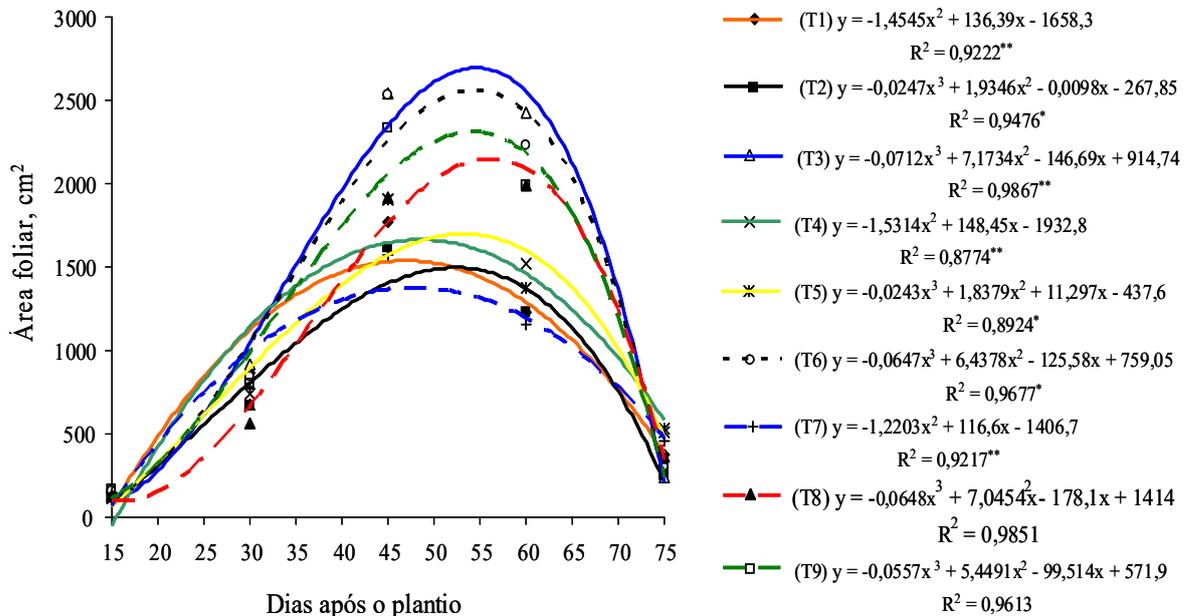


Figura 22. Área foliar nos diferentes dias após o plantio em função dos diferentes tipos de água e sistemas de irrigação.

(Médias seguidas de letras minúsculas iguais indicam que os diferentes tipos de água não diferem entre si dentro do mesmo sistema de irrigação e letras maiúsculas iguais indicam que os diferentes sistemas de irrigação não diferem entre si dentro do mesmo tipo de água).

Conforme resultados apresentados por Alves et. al (2009), a área foliar das plantas irrigadas com água residuária foram superiores das irrigadas com água de abastecimento, porém não houve diferenças sobre a área foliar entre os tratamentos adubados com nitrogênio e fósforo comparado com os que não receberam adubo.

Com relação à evolução da área foliar em função dos períodos de avaliações e os diferentes tratamentos observa-se na Figura 23, que os dados experimentais desse parâmetro ajustaram-se, na sua grande maioria, ao modelo de regressão polinomial de terceira ordem com valores de coeficientes de correlação (R^2) superiores a 0,89. Nos tratamentos T1, T4 e T7, os dados ajustaram-se significativamente a 1% de probabilidade pelo teste F ao modelo de regressão polinomial de segunda ordem.



Legenda: . (T1- Gotejamento Superficial com água residuária tratada pelo Sistema Wetland; T2- Gotejamento Superficial com água residuária tratada pelo Sistema UASB + Wetland; T3- Gotejamento Superficial com água de abastecimento; T4- Gotejamento Subsuperficial com água residuária tratada pelo Sistema Wetland; T5- Gotejamento Subsuperficial com água residuária tratada pelo Sistema UASB + Wetland; T6- Gotejamento Subsuperficial com água de abastecimento; T7- Microaspersão com água residuária tratada pelo Sistema Wetland; T8- Microaspersão com água residuária tratada pelo Sistema UASB + Wetland; T9- Microaspersão com água de abastecimento).

Figura 23. Evolução da área foliar do feijoeiro em função dos diferentes tratamentos.

Ainda observando a Figura 23, verifica-se assim como para o parâmetro número de folha, que independentemente do sistema utilizado, as plantas irrigadas com a água de abastecimento (T3, T6 e T9) apresentaram as maiores médias de área foliar quando comparadas aos demais tratamentos.

5.4. Produção

Pelo resumo das análises das variâncias (Tabela 15), constata-se que nenhum componente de produção foi influenciado significativamente pela interação entre os fatores tipos de água e sistemas de irrigação. Como efeito isolado de cada fator, verificou-se, ainda, que o tipo de água afetou apenas a massa seca de 100 grãos, já o sistema de irrigação afetou o número de vagens por planta e a massa seca de 100 grãos.

Tabela 15. Resumo das análises de variância para os parâmetros de produção: número de vagens por planta (NVP), número de grãos por vagens (NGPV) e massa de 100 grãos (M100) em função dos diferentes tipos de água e sistemas de irrigação.

Fonte de variação	Quadrado médio		
	NVP ⁽¹⁾	NGPV	M100
Bloco	0,030*	0,196 ^{ns}	51,14 ^{ns}
Água (A)	0,03 ^{ns}	1,128 ^{ns}	194,45*
Erro A	0,006	0,343	19,48
Sistema (B)	0,061**	0,086 ^{ns}	99,787**
A x B	0,002 ^{ns}	0,337 ^{ns}	0,527 ^{ns}
Erro B	0,007	0,414	15,584
CV A (%)	6,36	13,35	27,16
CV B (%)	7,07	14,65	24,28
Média geral	1,22	4,39	16,25

⁽¹⁾Transformação log (x); * significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < 0,01$); ** significativo ao nível de 5% de probabilidade ($0,01 \leq p < 0,05$); ^{ns}não significativo ($p \geq 0,05$).

Para o componente massa de 100 grãos, o sistema de microaspersão apresentou eficiência superior aos demais com o uso das águas provenientes dos sistemas de tratamento Wetland e Wetland mais UASB. Verifica-se ainda, que esse componente não diferiu entre tipos de água independente do sistema de irrigação utilizado (Figura 24).

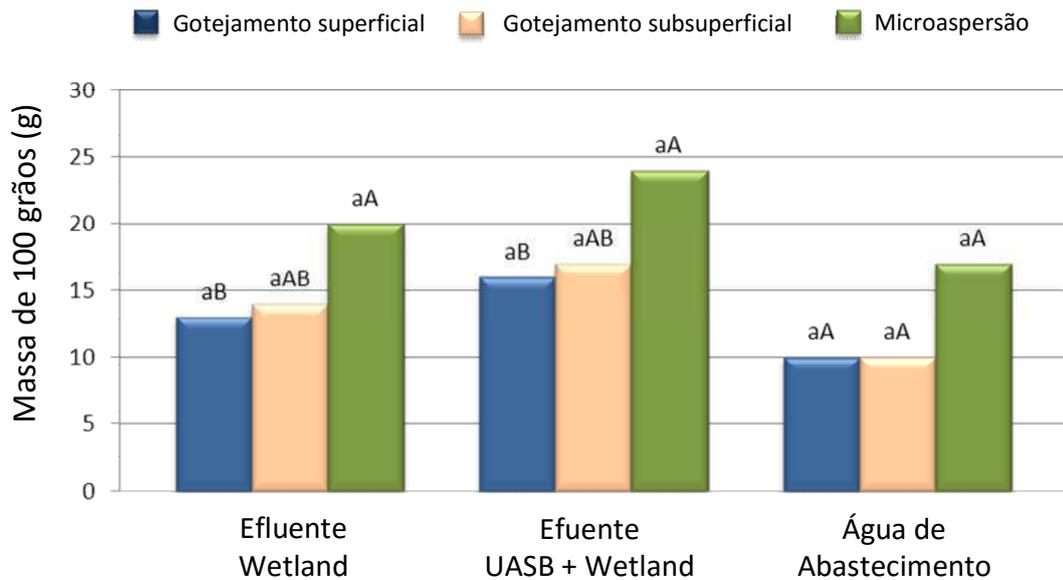


Figura 24. Massa de 100 grãos em função dos diferentes tipos de água e sistemas de irrigação.

(Médias seguidas de letras minúsculas iguais indicam que os diferentes tipos de água não diferem entre si dentro do mesmo sistema de irrigação e letras maiúsculas iguais indicam que os diferentes sistemas de irrigação não diferem entre si dentro do mesmo tipo de água).

Os maiores números de vagens por planta foram colhidos irrigando-se o feijoeiro com os sistemas de gotejamento superficial e gotejamento subsuperficial (Figura 25).

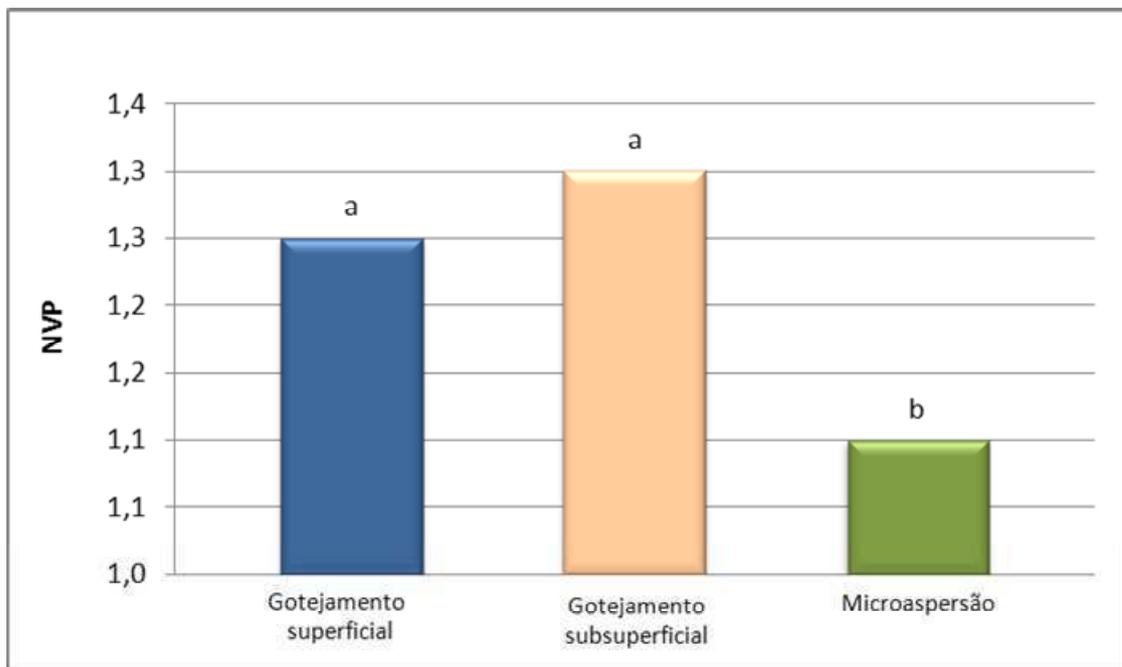


Figura 25. Número de vagens por planta (NVP) em função dos diferentes sistemas de irrigação.

Conforme resultados apresentados por Alves et. al. (2005), a irrigação com água residuária proporcionou maiores quantidades de frutos por planta em comparação com água de abastecimento.

5.5. Fitomassa

Quanto maior for a fitomassa de uma planta, maior a eficiência da mesma na produção e armazenamento de carboidratos, conseqüentemente maior produção de frutos.

Pelo resumo das análises das variâncias (Tabela 16), constata-se que nenhum componente de fitomassa foi influenciado significativamente pela interação entre os fatores tipos de água e sistemas de irrigação; entretanto, como efeito isolado de cada fator, o tipo de água afetou a massa seca de caule mais pecíolo e a massa seca da parte aérea, já o sistema de irrigação afetou apenas a razão entre massa seca da parte aérea e massa seca total.

Tabela 16. Resumo das análises de variância para os parâmetros fisiológicos: massa seca de folhas (MSF), massa seca de caule mais pecíolo (MSCP), massa seca da parte aérea (MSPA), massa seca das raízes (MSR), massa seca total (MST) e razão entre massa seca da parte aérea e massa seca total (MSPA/MST) em função dos diferentes tipos de água e sistemas de irrigação.

Fonte de variação	Quadrado médio					
	MSF	MSCP	MSPA	MSR ⁽¹⁾	MST ⁽¹⁾	MSPA/MST
Bloco	10,34*	5,59*	30,10*	6,59*	0,36 ^{ns}	0,05 ^{ns}
Água (A)	6,92 ^{ns}	9,36**	31,86*	2,70 ^{ns}	0,42 ^{ns}	0,027 ^{ns}
Erro A	1,84	0,68	3,64	0,78	0,09	0,021
Sistema (B)	1,07 ^{ns}	3,06 ^{ns}	7,74 ^{ns}	2,45 ^{ns}	0,04 ^{ns}	0,059*
A x B	0,97 ^{ns}	1,75 ^{ns}	0,985 ^{ns}	0,34 ^{ns}	0,06 ^{ns}	0,014 ^{ns}
Erro B	2,101	1,31	4,13	0,86	0,04	0,012
CV A (%)	20,22	17,18	16,52	12,54	3,20	17,22
CV B (%)	21,56	23,73	17,61	13,18	2,24	12,84
Média geral	6,72	4,82	11,55	7,05	9,49	0,86

⁽¹⁾Transformação $f(y) = \ln(y + 0,5)$; ** significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < 0,01$); * significativo ao nível de 5% de probabilidade ($0,01 \leq p < 0,05$); ^{ns} não significativo ($p \geq 0,05$).

Quanto ao componente massa seca de caule mais pecíolo (MSCP), verificou-se diferença significativa entre sistemas de irrigação apenas com a utilização da água de abastecimento, sendo o sistema de microaspersão o mais eficiente, contudo sem diferir do gotejamento subsuperficial, este último também não diferiu do gotejamento superficial

(Figura 26). Percebe-se ainda, que os diferentes tipos de água não influenciaram a MSCP através dos sistemas de gotejamento subsuperficial e microaspersão; comportamento semelhante não foi observado quando se usou gotejadores superficiais, cujas menores médias foram obtidas irrigando-se o feijoeiro com água de abastecimento.

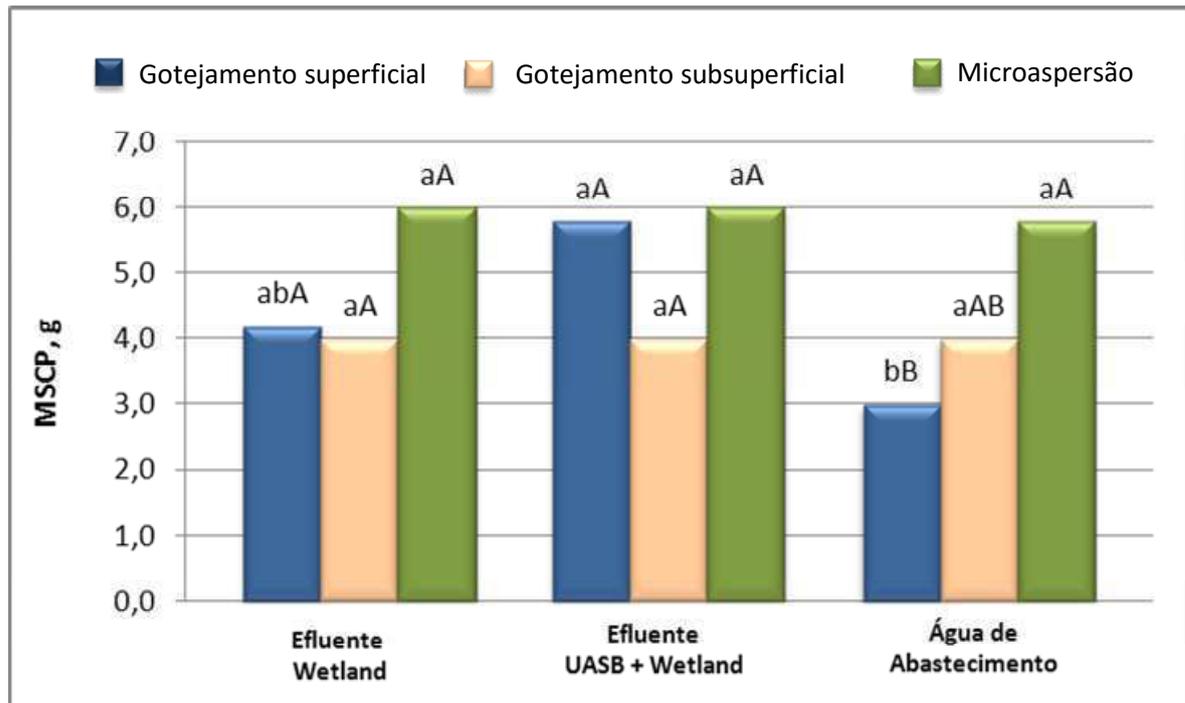


Figura 26. Massa seca de caule mais pecíolo (MSCP) em função dos diferentes tipos de água e sistemas de irrigação.

(Médias seguidas de letras minúsculas iguais indicam que os diferentes tipos de água não diferem entre si dentro do mesmo sistema de irrigação e letras maiúsculas iguais indicam que os diferentes sistemas de irrigação não diferem entre si dentro do mesmo tipo de água).

Para a massa seca da parte aérea (MSPA), a água de abastecimento foi a que promoveu as maiores médias, cujo incremento em relação ao tratamento wetland e UASB + wetland foi de 29,06% e 23,60%, respectivamente (Figura 27).

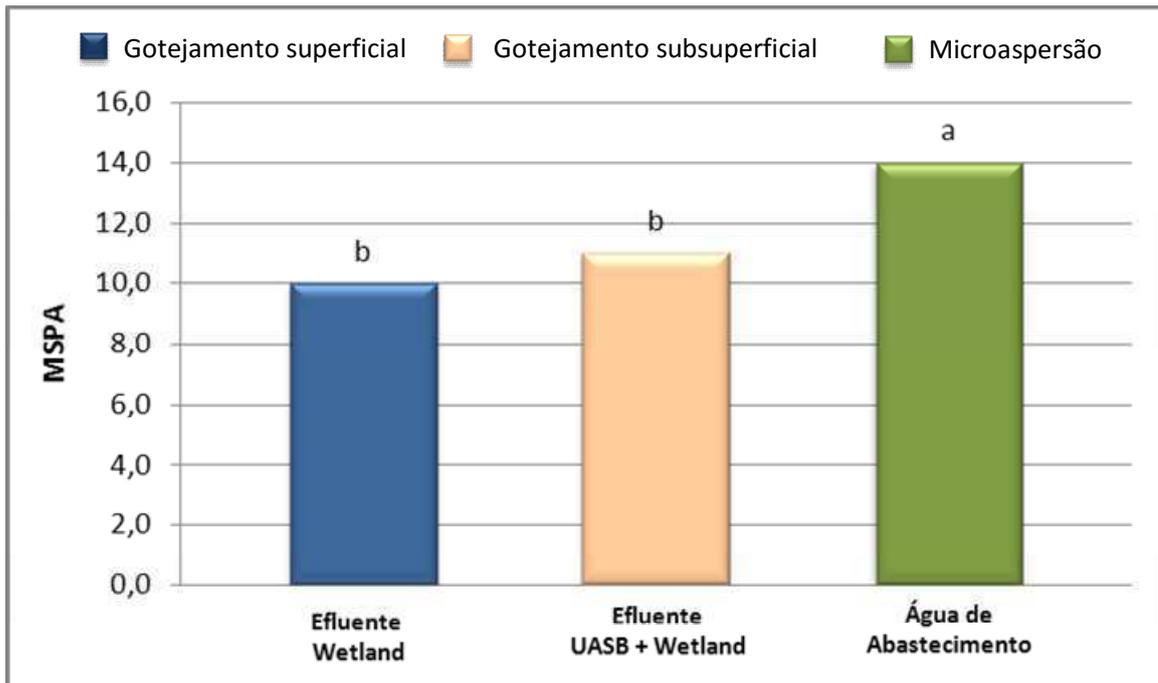


Figura 27. Massa seca da parte aérea (MSPA) em função dos diferentes tipos de água.

Para a razão entre massa seca da parte aérea e massa seca total (MSPA/MST), as maiores médias foram obtidas com a utilização do sistema de gotejamento subsuperficial (Figura 28).

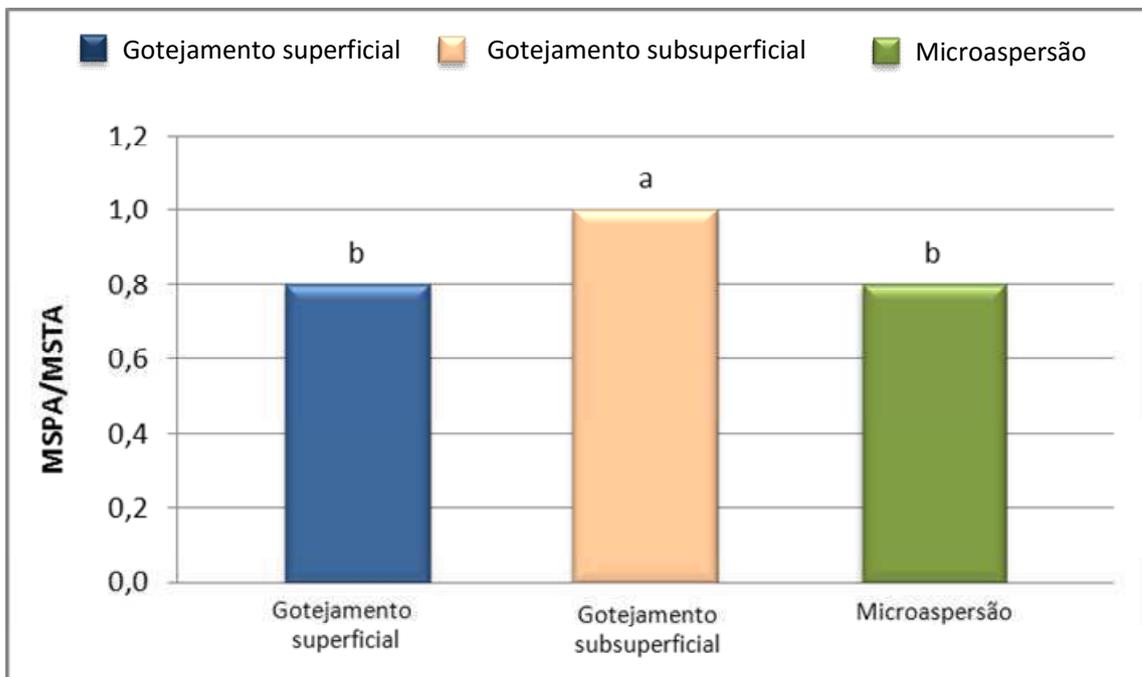


Figura 28. Razão entre massa seca da parte aérea e massa seca total (MSPA/MST) em função dos diferentes sistemas de irrigação.

5.6. Atributos de Fertilidade do Solo

Os atributos do solo em função dos diferentes tratamentos são apresentados na Figura 29. De maneira geral, todos os atributos analisados apresentaram diferenças entre os tratamentos, sendo os constituídos pelas águas provenientes dos tratamentos Wetland e UASB + wetland os que promoveram as maiores médias.

Ainda com relação à Figura 29, nos tratamentos que receberam água de abastecimento (T3, T6 e T9) o pH do solo foi inferior quando comparado aos demais tratamentos que promoveram uma alcalinidade fraca, a justificativa para tal comportamento pode estar associada às bases sódio e potássio cujas concentrações foram superiores nos tratamentos formados pelas águas tratadas pelos wetland e UASB + wetland. Como o pH esteve próximo à neutralidade, independente dos tratamentos, não foi verificado presença de alumínio trocável.

De acordo com a classificação de Lopes e Guidollin (1989), no final do experimento, o teor de cálcio no solo variou de alto com a utilização do T2 a médio, para os demais tratamentos. Já o magnésio, apresentou um alto teor com a utilização do tratamento 1 e muito alto para os demais tratamentos. Independentemente dos tratamentos, o sódio e o potássio apresentaram teores muito altos, a soma de base teores altos e a CTC teores médios.

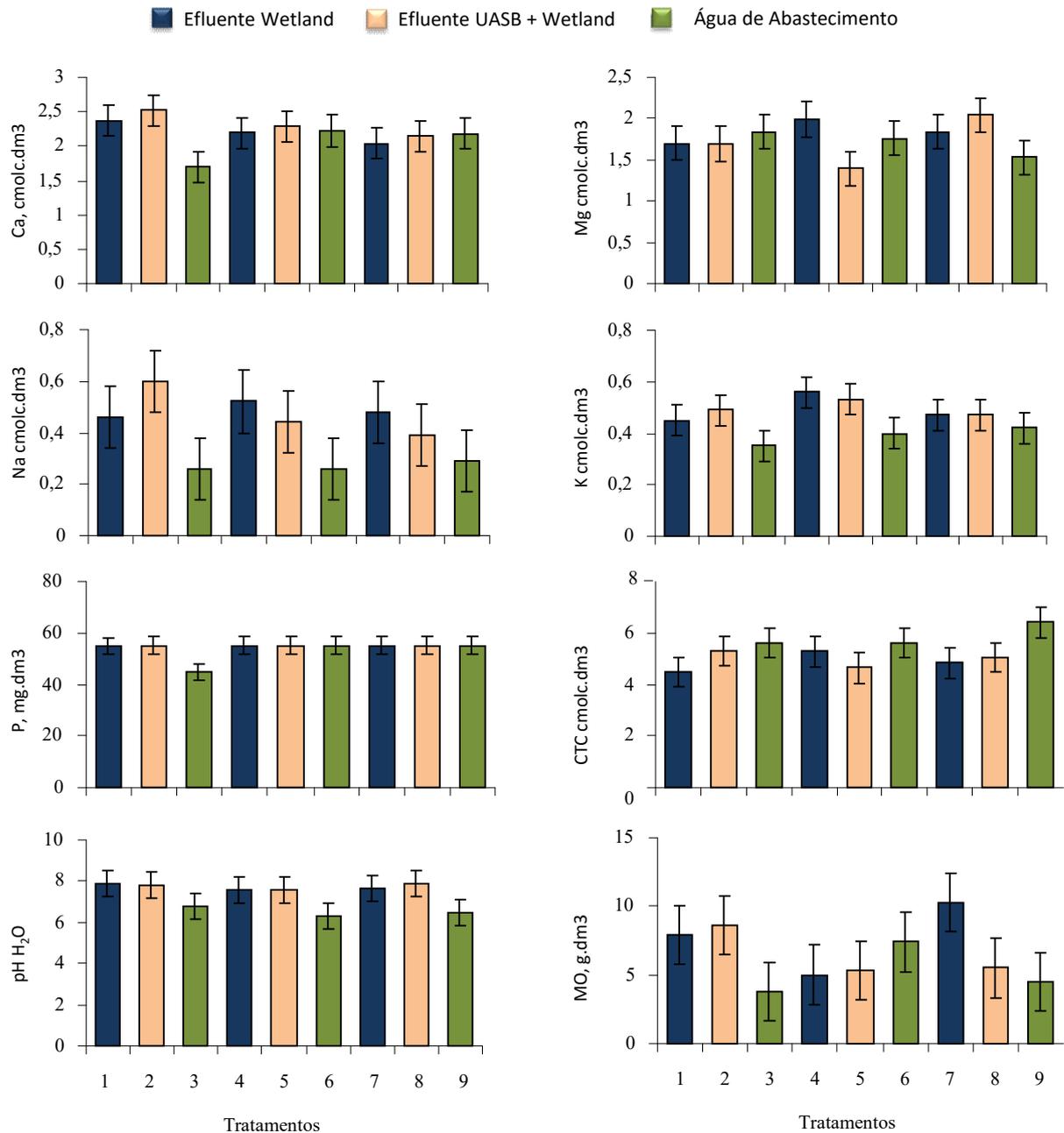


Figura 29. Influência da aplicação dos diferentes tratamentos na concentração de cálcio (Ca), magnésio (Mg), sódio (Na), potássio (K), fósforo (P), capacidade de troca de cátions potencial do solo (T), potencial hidrogeniônico em água (pH H₂O) e matéria orgânica (MO).

Legenda: . (T1- Gotejamento Superficial com água residuária tratada pelo Sistema Wetland; T2- Gotejamento Superficial com água residuária tratada pelo Sistema UASB + Wetland; T3- Gotejamento Superficial com água de abastecimento; T4- Gotejamento Subsuperficial com água residuária tratada pelo Sistema Wetland; T5- Gotejamento Subsuperficial com água residuária tratada pelo Sistema UASB + Wetland; T6- Gotejamento Subsuperficial com água de abastecimento; T7- Microaspersão com água residuária tratada pelo Sistema Wetland; T8- Microaspersão com água residuária tratada pelo Sistema UASB + Wetland; T9- Microaspersão com água de abastecimento). As barras verticais mostram o desvio padrão das médias de todos os tratamentos.

5.7. Características Microbiológicas dos Solos

O solo é um habitat natural para uma grande variedade de organismos, tanto micro-organismos, quanto animais invertebrados. Este conjunto que vive e é responsável por

inúmeras funções do solo é chamada de microbiota do solo e apresenta uma grande variedade de tamanhos e metabolismos. Os organismos são extremamente 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). Porém, segundo Chernicharo, (1997) a sobrevivência de bactérias patogênicas no solo depende de alguns fatores, tais como: umidade, pH, radiação solar, temperatura, concentração de matéria orgânica e predação por outros microrganismos.

Estão apresentados na Tabela 17, os resultados das avaliações microbiológicas realizadas nos solos irrigados, destacando-se a concentração de *E. coli*, por grama de solo.

Conforme os resultados apresentados na Tabela 17 acredita-se que os resultados obtidos neste experimento estejam possivelmente relacionados com fatores físicos, como temperatura e umidade, pela exposição destes solos à radiação solar, agindo como bactericida em tais organismos, sendo estes sensíveis a esta condição. Pois, observa-se que mesmo para os tratamentos em que foram utilizadas águas residuárias tratadas com irrigação superficial e microaspersão (T1, T2, T7 e T8), evidenciou-se a ausência dessas bactérias indicadoras de contaminação fecal referente à *E. coli*.

Tabela 17. Características microbiológicas dos solos irrigados em função dos diferentes tratamentos utilizados no experimento.

Tratamentos	Coliformes Termotolerantes	<i>Escherichia coli</i>
T1	Ausente	Ausente
T2	Ausente	Ausente
T3	Ausente	Ausente
T4	Ausente	Ausente
T5	Ausente	Ausente
T6	Ausente	Ausente
T7	53	Ausente
T8	20	Ausente
T9	Ausente	Ausente

Legenda: . (T1- Gotejamento Superficial com água residuária tratada pelo Sistema Wetland; T2- Gotejamento Superficial com água residuária tratada pelo Sistema UASB + Wetland; T3- Gotejamento Superficial com água de abastecimento; T4- Gotejamento Subsuperficial com água residuária tratada pelo Sistema Wetland; T5- Gotejamento Subsuperficial com água residuária tratada pelo Sistema UASB + Wetland; T6- Gotejamento Subsuperficial com água de abastecimento; T7- Microaspersão com água residuária tratada pelo Sistema Wetland; T8- Microaspersão com água residuária tratada pelo Sistema UASB + Wetland; T9- Microaspersão com água de abastecimento).
*NMP/g – Números mais prováveis por grama.

No decorrer do desenvolvimento desta pesquisa, observa-se que além da arquitetura da planta de feijão conferir menor sombreamento aos solos, fatores outros podem ser também levados em consideração para os resultados alcançados neste trabalho como: a falta de folhagem ao término do ciclo; e a relação entre a data de coleta das amostras ao final do ciclo (81DAP) com a última fertirrigação (75DAP); propiciando maior exposição solar, elevando a temperatura e reduzindo a umidade, resultando em condições desfavoráveis à sobrevivência e desenvolvimento dos coliformes termotolerantes.

A radiação ultravioleta é absorvida por diferentes componentes e estruturas fundamentais das células, entre elas as membranas e o DNA, através de reações fotoquímicas que prejudicam seu funcionamento normal e causam a posterior inativação e morte dos micro-organismos. A radiação ultravioleta UV-A (320 a 400nm) é a principal responsável pela inativação de micro-organismos, e o efeito sinérgico dessas duas faixas de radiação (como é o caso da radiação solar) aumenta significativamente a taxa de radiação dos micro-organismos (DANIEL, 2001).

Estes resultados corroboram com os apresentados por Ribas, et. al (2008), no qual foi evidenciado a inexistência de bactérias indicadoras de contaminação fecal em solos irrigados com águas residuárias, nos tratamentos utilizados, podendo ser entendido pelos fatores físicos de exposição solar, baixa umidade e ainda resultados da atuação das rizobactérias *Pseudomonas fluorescens* e *Bacillos* spp., por meio de mecanismos antagonistas, predação competição, dentre outros.

Resultados semelhantes foram encontrados por Santos (2004) quando analisou a concentração de coliformes fecais em solo fertirrigado com esgoto sanitário tratado no qual constatou-se ausência completa desses organismos, em todo o perfil do solo, quando a irrigação era suspensa por mais de uma semana, e a presença apenas até a profundidade de 0,20 m, quando a fertirrigação era suspensa por uma semana.

Souza et. al (2011), também associou a não evidenciação de concentrações *E. coli*, na profundidade de 1m de solo referenciando a capacidade do solo de inativar estes organismos, seja por predação por outros organismos, competição por alimento ou, principalmente, por diminuição da umidade do solo.

Ribas, et. al (2008) referenciam a baixa concentração de matéria orgânica do solo variando entre 15 a 19mg/dm³, podendo ser considerada como fator de competição por nutrientes entre a população de rizobactérias e coliformes. Assim como investigados por

Butler et. al (1954), ao aplicarem esgoto sanitário tratado na superfície de um solo argilo-arenoso, e verificaram que a partir de 3 m no perfil do solo, os coliformes termotolerantes não conseguem sobreviver, provavelmente em razão da ausência do material orgânico, fundamental para seu metabolismo.

Os dados obtidos nas amostras de solo referente a coliformes termotolerantes e *E. coli*, e em observação aos resultados obtidos nesta pesquisa referente a concentração de matéria orgânica nos solos irrigados, observando baixas concentrações (como destaca-se na Figura 29), poderíamos associar como sendo possivelmente outra característica a ser considerada para este resultado.

Outro fator a ser considerado, é a baixa capacidade de retenção de líquido dos solos, visto ser ligeiramente arenoso. Beard (1974) comprovou que a baixa umidade interfere significativamente na sobrevivência de bactérias no solo.

5.8. Vazão dos Sistemas de Irrigação

A irrigação na agricultura deve ser entendida não somente como um seguro contra secas, mas como uma técnica que dê condições para que o material genético expresse em campo todo o seu potencial produtivo (HERNANDEZ, 2004). Além disso, se bem utilizada, a irrigação é um instrumento muito eficaz no aumento da rentabilidade, permitindo, por exemplo, a racionalização de insumos através da fertirrigação.

No entanto, para que a irrigação seja eficiente, é imperativo que os sistemas apresentem alta uniformidade de aplicação da água. Silva et. al (2005) afirma que uma vez instalado um projeto de irrigação, é necessário verificar se as condições previstas inicialmente se confirmam em campo, pois aplicações excessivas ou insuficientes de água prejudicam o desenvolvimento das plantas e, conseqüentemente, a produtividade e a rentabilidade do agricultor. A distribuição de água pelos sistemas localizados é influenciada pela variação de pressão ao longo das tubulações e, principalmente, pela obstrução de emissores. Assim, é fundamental avaliá-los periodicamente, a fim de minimizar perdas de água, energia e fertilizantes.

Para tanto, torna-se relevante avaliações das condições de pressão, vazão e lâminas d'água aplicadas.

Pelo resumo das análises das variâncias (Tabela 18), verifica-se que a vazão dos emissores usados foi influenciada significativamente a nível de 1% de probabilidade pela interação tripla entre as variáveis tipos de água vs tipos de sistemas de irrigação vs diferentes pressões.

Tabela 18. Resumo da análise de variância para o parâmetro hidráulico vazão de emissores usados em função dos diferentes tipos de água, sistemas de irrigação e pressões.

Fonte de Variação	Grau de liberdade	Quadrado médio
Blocos	3	9,815 ^{ns}
Tipo de água (a)	2	20,161 ^{ns}
Resíduo (a)	6	12,121
Parcela	11	
Tipo de sistema (b)	2	29014,015 ^{**}
a x b	4	23,416 ^{ns}
Resíduo (b)	18	11,541
Subparcelas	35	
Pressões (c)	3	365,81 ^{**}
a x c	6	6,801 ^{**}
b x c	6	356,72 ^{**}
a x b x c	12	6,529 ^{**}
Resíduo (c)	81	1,159
CV (%) a		23,33
CV (%) b		20,81
CV (%) c		6,60
Média geral		15,21

^{**} significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < 0,01$); ^{ns} não significativo ($p \geq 0,05$).

Avaliando as curvas características dos emissores novos e usados (Figura 30), percebe-se que no sistema de gotejamento superficial e independente do tipo de água utilizado, a vazão dos emissores usados não diferiu entre as pressões testadas. Nesse mesmo sistema, as vazões dos emissores novos aumentaram segundo modelo de regressão polinomial de segunda ordem.

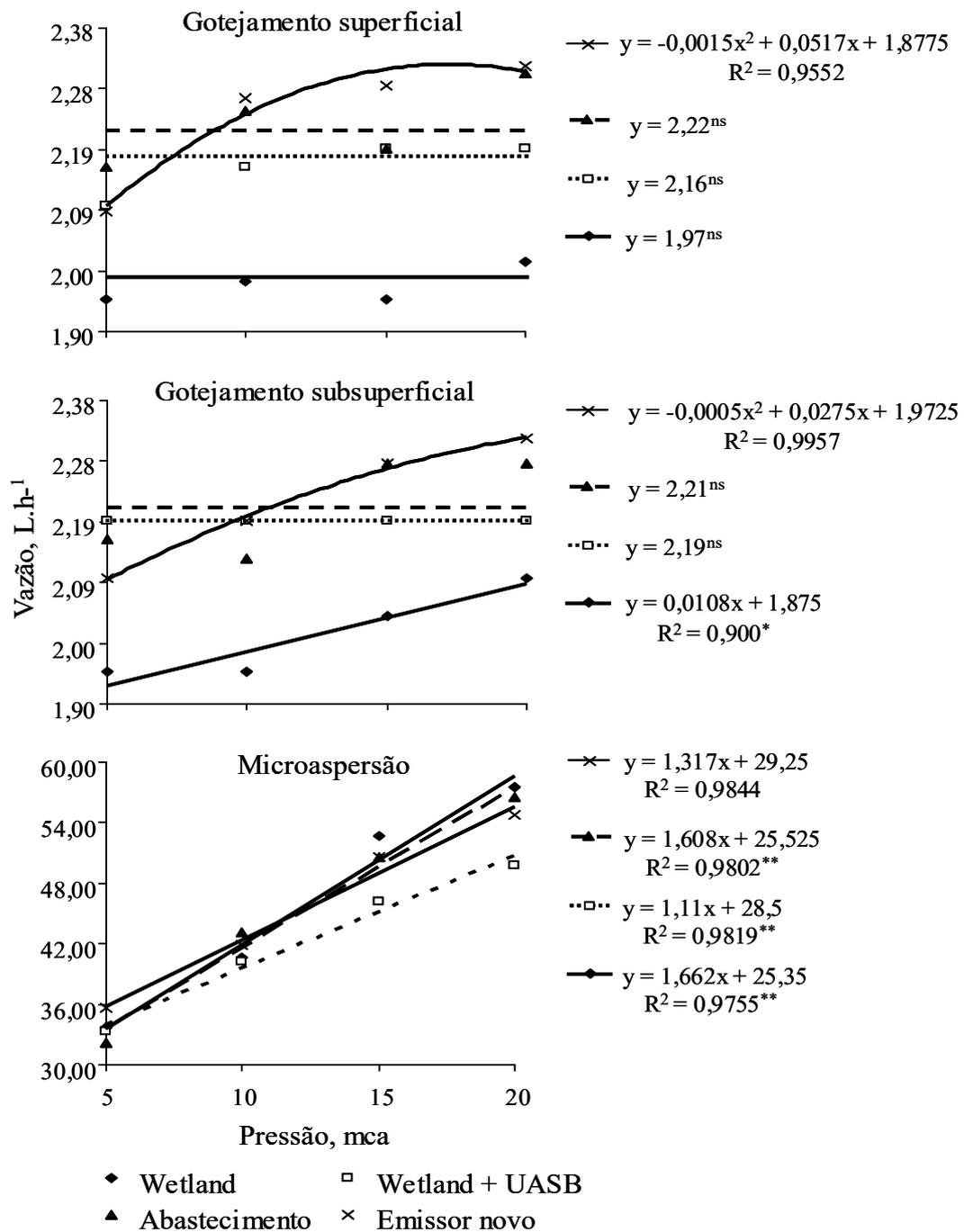


Figura 30. Curvas características de emissores novos (água de abastecimento) e usados dos sistemas de gotejamento superficial, gotejamento subsuperficial e microaspersão em função dos diferentes tipos de água.

Ainda com relação à Figura 30, no sistema de gotejamento subsuperficial, dentre os emissores usados, verificou-se diferença significativa entre as diferentes pressões apenas com o uso da água tratada pelo wetland, cujas médias de vazão ajustaram-se ao modelo de regressão linear. Nesse mesmo sistema de irrigação, as vazões dos emissores novos

aumentaram segundo modelo de regressão polinomial de segunda ordem. Quanto ao sistema de microaspersão, as vazões de todos os emissores, independente do tipo de água utilizado, ajustaram significativamente ao modelo de regressão linear, sendo as médias dos emissores usados com água de abastecimento as que mais se aproximaram das médias dos emissores novos.

6. CONCLUSÕES

Em geral, o sistema de irrigação por microaspersão e a água residuária tratada pelo UASB + wetland foram responsáveis pelo melhor crescimento do feijoeiro ao final de seu ciclo;

A interação entre os fatores tipos de água e sistemas de irrigação não teve efeito em nenhum dos componentes de produção e de fitomassa; entretanto, como efeito isolado de cada fator, verificou-se que o tipo de água afetou a massa seca de 100 grãos, a massa seca de caule mais pecíolo e a massa seca da parte aérea, já o sistema de irrigação afetou o número de vagens por planta, a massa seca de 100 grãos e a razão entre massa seca da parte aérea e massa seca total;

Para os componentes massa de 100 grãos e massa seca de caule mais pecíolo, o sistema de microaspersão apresentou eficiência superior aos demais com o uso das águas provenientes do tratamento pelo wetland precedido do tratamento pelo UASB, já os maiores valores para o número de vagens por planta e para a razão entre massa seca da parte aérea e massa seca total foram obtidos para o sistema de gotejamento subsuperficial;

De maneira geral, os atributos de fertilidade do solo apresentaram diferenças entre os tratamentos, sendo os constituídos pelas águas provenientes dos tratamentos wetland e UASB + wetland os que promoveram as maiores médias;

A vazão dos emissores usados no experimento não foi afetada pelo tipo de água utilizado, independente do tipo de sistema de irrigação;

O pH das águas tratadas pelos wetland e UASB + wetland não afetou o desenvolvimento das plantas;

Os efluentes tratados utilizados na irrigação da cultura do feijão não apresentaram restrições quanto à condutividade elétrica, sódio, cálcio e magnésio, apresentando-se baixa probabilidade de sodificação, obtendo uma classificação de tipo de água C2S1;

Os efluentes tratados pelo sistema de wetland e pelo UASB + wetland apresentaram características microbiológicas recomendadas para irrigação de culturas arbóreas, cerealíferas e forrageiras;

Referente aos parâmetros parasitológicos, nenhuma forma parasitária (ovo de helminto e cisto de protozoário) foi encontrada nos efluentes tratados, o que significa que os sistemas de tratamento utilizados no experimento são eficientes na remoção destes parasitos encontrados em amostras de esgotos domésticos brutos;

Nenhuma amostra de grãos de feijões irrigados com os 9 tratamentos apresentou contaminação por *Escherichia coli* e por coliformes termotolerantes acima de 100NMP/g, se apresentando adequados para o consumo.

As avaliações microbiológicas dos solos usados no experimento, realizadas após o término do ciclo da cultura, evidenciaram a não contaminação por *E. coli*.

A partir dos resultados apresentados nesta pesquisa, conclui-se que o uso das águas poluídas que escoam no Riacho de Bodocongó, em Campina Grande, PB, oferece grande risco de contaminação ambiental não devendo ser utilizado, sem o devido tratamento, no cultivo de culturas agrícolas.

7. REFERÊNCIAS

ALVES, W.W.A.; NETO, J.D. ANDRADE, A.R.S.; MADEIROS, L.B.; AZEVEDO, C.A.V.; SANTOS, J.W.; BELTRÃO, N.E.M. **Componentes da produção do algodão de fibra marrom irrigado com água residuária tratada.** Revista Verde (Mossoró – RN – Brasil) v.4, n.1, p.41 - 46 janeiro/março de 2009.

ANDRADE NETO, C.O.; CAMPOS, J.R.; ALÊM SOBRINHO, P.; CHERNICHARO; NOUR, E.A. Filtros biológicos. In: **Tratamento de esgotos sanitários por processos anaeróbios e disposição no solo.** PROSAB. ABES. Rio de Janeiro, RJ.,1999.

ANDREOLI, C.V.; BONNET, B.R.P. **Manual de métodos para análises microbiológicas e parasitológicas em reciclagem agrícola de lodo de esgoto.** Curitiba: Sanepar, 1998.

ANVISA. **Resolução nº 12, de 02 de Janeiro de 2001.** Aprova o regulamento técnico sobre padrões microbiológicos para alimentos, através da revogação da portaria SVS/MS 451, de 19 de Setembro de 1997.

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 Pollution Control Federation, 1998, 1155p.

ARF, O.; RODRIGUES, R.A.F.; SÁ, M.E.; BUZETTI, S.; NASCIMENTO, V. Manejo do solo, água e nitrogênio no cultivo de feijão. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v. 39, n.2, p. 131-138, fev., 2004.

ARMON, R.; DORSORETS, C.G.; AZOV, Y.; SHELEF, G. (1996). Residual contamination of crops irrigated with effluent of different qualities: a field with effluent of different qualities: a field study. **Water Science and Technology.** Vol 30(9), 239-248.

ARTHUR, J.P. Notes on desing and operation of waste stabilization ponds in warm of developing countries. Technical paper N°7. Washington, DC: The World Bank. 1983.

AYRES, R.M.; STOTT, R.; LEE, D.; MARA, D.D. & SILVA, S.A. Contamination of lettuces with nematode eggs by spray irrigation with treated and untreated waterwaster. **Water Science Tecnology.** V.26,(7-8), 1615-1623.1992.

AYRES, R.S.; WESTCOT, D.W. **A qualidade da água na agricultura**. Tradução H.R.Gheyi e J.F. de Medeiros. Campina Grande, PB. UFPB/PRAI/CCT.1991 (Tradução de Water Quality for Agriculture, FAO, Rome. 1985), 218p.

AZEREDO, C. M.; COTTA, R.M.M.; SCHOTT, M.; MAIA, T.M.; MARQUES, E.S. **Avaliação das condições de habitação e saneamento: a importância da visita domiciliar no contexto do Programa de Saúde da Família**. *Ciência & Saúde Coletiva*, 12(3):743-753, 2007.

BARTONE, C.R. Financing Wastewater Management, chapter 7, In: **Water Pollution Control – A guide to the use of Water Quality Management Principles**. Eds. Helmer, R. and Hespanhol, I., United Nations Environment Programm, Water Supply & Sanitation Collaborative Council, World Health Organization, E & FN Spon, London. 1994.

BARTONE, C.R.; BERNSTEIN, J.; LEITMENN, J.; EIGN, J. **Toward Environment Strategies for Cities: Policy Consideration for Urban Environment Management in Developing Countries, Urban Management Policy**, 1997. Paper n.18, The World Bank, Washington, D.C.

BAWA, K.S; KRESS, W.J; NADKARNI, N.M; LELE, S. **Beyond paradise—meeting the challenges in tropical biology in the 21st century**. *Biotropica* 36(4):437–446, 2004.

BINOTTI, F. F. S. **Fontes, doses e parcelamento do nitrogênio em feijoeiro de inverno no sistema plantio direto**. 2005. 94f. Dissertação (Mestrado) - da Faculdade de Engenharia, Unesp – Campus de Ilha Solteira, Ilha Solteira, 2005.

BLUM, J.R.C. **Critérios e padrões de qualidade da água**. In: Reúso de Água. Editores Barueri, SP: Manoele, 2003.

BRADY, N.C. **Natureza e propriedades do solo**. Tradução Antônio B. Neiva Figueiredo F°. 7ª edição, Rio de Janeiro, Ed. Freitas Bastos. 1989. (Tradução de The nature and properties of soil, 9ª edição New York. 1984.878p.

BRAGA, Benedito. **Introdução a Engenharia Ambiental**. São Paulo:Prentice Hall, 2002.

BRASKERUD, B. C. **Factors affecting nitrogen retention in small constructed wetlands treating agricultural non-point source pollution.** Ecological Engineering 18(3): 351-370, 2002.

BREGUNCE, D.T.; VEIGA, B.V. MARANHÃO, L.T.; CUBAS, S.A. **Avaliação de sistema de leito cultivado com a macrófita *Sagittaria montevidensis* Cham. & Schldl. para tratamento de águas urbanas poluídas.** Revista Brasileira de Biociências., Porto Alegre, v. 9, n. 1, p. 86-95, jan./mar. 2011.

BRITO, A.S.B.; BREGUNCE, D. T. ; MORAES,F.M, ; CUBAS,S.A., ; MARANHO,L.T.. Avaliação do sistema de wetland construído para tratamentos de águas urbanas altamente poluídas com esgoto sanitário. In: 24 Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2007, Belo Horizonte. **Anais - ABES, 2007.** p. 01-08.

BUTLER, R.G., ORLOB, G.T., McGAUHEY, P.H. Underground movement of bacteria and chemical pollutants. Journal of the American Water Works, v – 46. p-97-111. 1954.

CAMPBELL, C.S.; OGDEN, M.H. Constructed wetland in the Sustainable Landscape. New York: John Wiley & Sons, 1999. 288p.

CAMPOS, D.M.B.; FERREIRA, M. S. Estrongiloidíase. In: CIMERMAN, B.; CIMERMAN, S. (Orgs.). **Parasitologia Humana e seus Fundamentos Gerais.** São Paulo, Rio de Janeiro e Belo Horizonte: Atheneu, 1999. p. 287-297.

CAMPOS, M. R.; VALENCIA, L.I.O.; FORTES, B. P. M. D.; BRAGA, R. C. C.; MEDRONHO, R. A. Distribuição espacial da infecção por *Ascaris lumbricoides*. **Rev. Saúde públ.**, São Paulo, v.36 n.1, p. 69-74, 2002.

CEBALLOS, B. S. O.; de 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, p. 599-605, 2001.

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. Microbiologia sanitária e ambiental. In: Mendonça, S.R. **Sistemas de lagunas de estabilizacion. Como utilizar águas residuales tratadas em sistemas de regadio.** Colômbia: Editora Mc Graw Hill, 2000.p.68-106.

CHERNICHARO, C.A. de L. **Reatores anaeróbios.** Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – Universidade Federal de Minas Gerais, 1977.246p.

CHIEFFI, P. P. Ancilostomíase. In: CIMERMAN, B.; CIMERMAN, S. (Orgs.). **Parasitologia Humana e seus Fundamentos Gerais.** São Paulo, Rio de Janeiro e Belo Horizonte: Atheneu, 1999. p. 278-284.

CIAT. Morfología de la planta de frijol comum (*Phaseolus vulgaris* L.). Cali, Colômbia, 1981. 50p. (Guia de Estudo).

CIÓRCERO, E.T.; MARANHO, L.T. CUBAS, S. Tratamento da água do Ribeirão dos Muller por sistemas de wetland construído em escala de bancada. In: **Anais do 24 Congresso Brasileiro de Eng. Sanitária e Ambiental.** Rio de Janeiro : ABES, 2007.

COMISSÃO DE POLÍTICAS DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL E DA AGENDA 21 NACIONAL. **Agenda 21 brasileira – bases para discussão.** 191p.

COMISSÃO MUNDIAL SOBRE O MEIO AMBIENTE (1). **Um Futuro Ameaçado.** Disponível em: <<http://www.intelecto.net/cidadania/meio-7html>>. Acesso em 15 fev. 2002.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (Conab). Acompanhamento de safra brasileira: grãos. 9º levantamento de junho/2009. Brasília, DF: Conab, 2009.

CONLY, M.F; KAMP, G.van D.; **Monitoring the hydrology of canadian prairie wetlands to detect the effects of climate change and Land use changes.** Environmental Monitoring and Assessment 67: 195–215, 2001.

CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE – CONAMA. **Resolução20/18 de junho de 1986.** In: Legislação de Conservação da Natureza, 4ª edição. São Paulo, S.P. FBCN/CESP, 720p.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE – CONAMA. **Resolução 54, de 28 de novembro de 2005**. Estabelece critérios gerais para reuso de água potável. Publicada no DOU em 09/03/06.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. – CONAMA. **Resolução 375 de 29 de agosto de 2006**. Define critérios e procedimentos, para o uso agrícola de lodos de esgoto gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário e seus produtos derivados, e dá outras providências. Ministério do Desenvolvimento Urbano e Meio Ambiente, 2006.

COOPER, P. F **The use of reed beds systems to treat domestic sewage: the European design and operations guidelines for reed bed treatment systems**. In: Moshiri, G. A. (Ed.). *Constructed wetlands for water quality improvement*. Boca Raton: Lewis Publishers, 1993. p. 203-217.

COOPER, P. F.; JOB, G. D.; GREEN, M. B.; SHUTES, R. B. E. *Reed Beds Constructed Wetlands for wastewater treatment*. Medmenham: WRc Publications, 1996. 206p.

COSTA, H. M. A. Helmintos. In: NEVES, D. P.; MELO, A. L.; GENARO, O.; LINARDI, P. M. (Orgs.) **Parasitologia Humana**. 10 ed. São Paulo, Rio de Janeiro e Belo Horizonte: Atheneu, 2000. p.166-173.

COSTA, J.G.C.; VIEIRA, N.R.A. Qualidade, classificação comercial e manejo póscolheita. In: YOKOYAMA, L.P.; STONE, L.F. **Cultura do feijoeiro no Brasil**: característica da produção. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2000, 75p.

DANIEL, L. A. (2001). *Processos de Desinfecção e Desinfetantes Alternativos na Produção de Água Potável*. 1º Edição. RiMa Artes e Textos. São Carlos – SP.

DENG, M.Y; CLIVER, D.O. Degradation of Giardia lamblia cysts in mixed human and swine waste. **Appl. Environ. Microbiol.** v.58, n.9, 1992. p. 2368-2374.

DIDONET, A.D. Fisiologia. In: MOREIRA, J.A.A.; STONE, L.F.; BIAVA, M. **Feijão: o produtor pergunta, a Embrapa responde**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2003, p.22-27.

DIDONET, **Agostinho Dirceu. Pesquisa e desenvolvimento em agricultura familiar na Embrapa Arroz e Feijão – Santo Antônio de Goiás** : Embrapa Arroz e Feijão, 2004.

DOURADO NETO, D.; FANCELLI, A. L. **Produção de feijão**. Guaíba: Agropecuária, 2000. 385 p.

ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (EPA). **Control of pathogens and vector attraction in sewage sludge: under 40 CFR, part 503**. Washington, DC, 1992.p.147,1992.

FALEIROS, J. M. M. ; GALLO, G. ; M.K.SILVA, M. ; RAFUL, R. ; NASORRI, A. R. ; PIPINO, L. F. R. ; JUNQUEIRA, R. B. ; PINTO, P. L. S. **Ocorrência de enteroparasitoses em alunos da escola pública de ensino fundamental do município de Catanduva (São Paulo, Brasil)**. Rev Inst Adolfo Lutz 63 (2): 243-7. 2004.

FERREIRA, G.R, ANDRADE, C.F.S. **Alguns aspectos socioeconômicos relacionados a parasitoses intestinais e avaliação de uma intervenção educativa em escolares de Estiva Gerbi, SP**. Rev soc bras med trop,38(5): 402-5, 2005.

FERREIRA, M.U.; FERREIRA, C.S.; MONTEIRO, C.A. Tendência secular das parasitoses intestinais na infância na cidade de São Paulo (1984-1996). **Revista Saúde Pública**. 34(Supl): 73-82. 2000.

FIGUEIREDO, A. M. F. de; et.al. **Aspectos sanitários de efluentes tratados utilizados na cultura do quiabo (*Abelmoschus esculentus*)**. In: Associação Brasileira de Engenharia Sanitaria e Ambiental. Saneamento ambiental Brasileiro: Utopia ou realidade?. Rio de Janeiro, ABES, 2005. p.1-8, Ilus, tab.

FINLAYSON, C.M; ELIOT, I.; ELIOT, M. **A strategic framework for monitoring coastal change in Australia's wet-dry tropics-concepts and progress**. Aust Geogr 47:109–123, 2009.

FONTBONNE, A.; CARVALHO, F. de C.; ACIOLI, M.A.; SÁ, G.A. de.; CESSE, E.A.P. **Fatores de risco para poliparasitismo intestinal em uma comunidade indígena de Pernambuco (Brasil)**. Cad saúde pública,17 (2): 367-73, 2001.

GOPAL, B.; JUNK, W.J; FINLAYSON, C.M; BREEN, C.M. Present state and future of tropical wetlands. In: **Polunin NVC (ed) Aquatic ecosystems—trends and global prospects**. Cambridge University Press, New York. 2008.

GUANZIROLLI, C. E.; ROMEIRO, A. R.; SABBATO, A. di; et al.; **Novo retrato da agricultura familiar – o Brasil redescoberto**. Projeto de Cooperação Técnica INCRA/FAO [on line]. Disponível: <http://www.dataterra.org.br/documentos/>. Acesso em: Ago. 2008.

GUILHOTO, J. J. M. ; ICHIARA, S. M. ; SILVEIRA, F. G. ; MOREIRA, G. R. C. **A importância da agricultura familiar no Brasil e em seus estados**. In: Encontro Nacional da Assoc Bras de Estudos Regionais e Urbanos, 2007, Recife. Anais do V Encontro da ABER. Recife : UFPE, 2007.

GUILHOTO, J.J.M., AZZONI, C.R., SILVEIRA, F.G., ICHIHARA, S.M., DINIZ, B.P. PIB da Agricultura Familiar: Brasil - Estados (April 5, 2011). Available at SSRN: <http://ssrn.com/abstract=1803225> or <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.1803225>.

HABERL, R.; GREEN, M. B. COOPER, P. F.; BRIX, H.; VYMAZAL, J. **Constructed wetlands for wastewater in Europe**. Leiden: Backhuys Publishers, 1998. 366 p.

HABERL, R.; PERFLER, R.; MAYER, H. **Constructed wetlands in Europe**. Water Science & Technology, London, v. 32, n. 3, p. 305-315, 1995.

HAMERSCHMIDT, I. **Agricultura orgânica e segurança alimentar**. EMATER-PR. Curitiba.2003.

HEDMARK, A. **Treatment of Log Yard Runoff Purification in Soil Infiltration Systems and Constructed Wetlands**. Faculty of Forest Sciences. Department of Forest Products Uppsala. Doctoral Thesis. Swedish University of Agricultural Sciences. Acta Universitatis agriculturae Sueciae, 2009:52.

HEGEMANN, W. **Natural wastewater treatment system in Germany – Constructed wetlands and lagoons**. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL DE TENDÊNCIAS NO TRATAMENTO SIMPLIFICADO DE ÁGUAS RESIDUÁRIAS DOMESTICAS E INDUSTRIAIS, 1996, Belo Horizonte, MG. Anais... Belo Horizonte, 1996. p. 81-105.

HOLANDA, J.S. de; AMORIM, J.R.A de. Qualidade da água para irrigação. **In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA**, 26., 1997, Campina Grande. Manejo e Controle da salinidade na agricultura irrigada. Campina Grande: SBEA/UFPB, 1997. Cap. 5, p. 137 –169. Editado por Hans Raij Gheyi, José Elenildo Queiroz, José Francismar de Medeiros.

HOMSI, J. **The present state of sewage treatment.** International Report. Water Supply, 18(1), 325-327, 2000.

HUGGINS, D.; MEDEIROS, L.B.; SOUZA, V.B.M.; MALTA, L.B.L. **Atualização terapêutica nas parasitoses intestinais no período infantil.** *Pediatria Moderna*, São Paulo, 35: 673-703, 1999.

HUNGRIA, M. Estudo sobre a associação rizóbio-leguminosa. Coleta de nódulos e isolamento de rizóbio. In HUNGRIA, M.; ARAUJO, R.S. (Ed.). *Manual de métodos empregados em estudos de microbiologia agrícola.* Brasília: Embrapa, 1994, p.45-61.

IADEROZA, M.; SALES, A. M.; BALDINI, V. L. S.; SARTORI, M. R.; FERREIRA, V. L. P. Polyphenol oxidase activity and alterations in colour and levels of condensed tannins during storage of new bean (*Phaseolus*) cultivars. **Coletânea do Instituto de Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v.19, n.2, p. 154-164, 1989.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Censo Agropecuário 1995/1996. Sistema IBGE de Recuperação Automática. Disponível em: <www.sidra.ibge.gov.br>. Acesso em: jun. 2008.

_____ Boletim Informativo. Disponível em <http://www.ibge.gov.br>. Acesso em 23 de Janeiro de 2009.

_____ Boletim Informativo. Disponível em <http://www.ibge.gov.br>. Acesso em 23 de Janeiro de 2004.

_____ Pesquisa Nacional de Saneamento Básico 2000. Brasília: IBGE, Diretoria de Pesquisas, Departamento de População e Indicadores Sociais. 2002. 125p.

_____ Pesquisa nacional de saneamento básico 2008. Rio de Janeiro, 2010. 219p.

IFAD - Water to combat rural poverty, Rural Poverty Portal, International Fund for Agricultural Development. Disponível em < <http://www.ruralpovertyportal.org/>> Acesso em Agosto de 2008.

IWA - INTERNATIONAL WATER ASSOCIATION. *Constructed wetlands for pollution control. processes, performance, design and operation.* London: IWA publishing, 2000. 156p.

JUNK, W. J ; HOWARD-WILLIAMS, C. Ecology of aquatic macrophytes in Amazonia. In: **Sioli, H. The Amazon, limnology and landscape of a mighty tropical river and its basin.** The Hague: Dr. W. Junk, 1984. p. 269-293.

JURASZECK, C.; CHAVES, J.J. Ensino & Pesquisa, N6, 2009 - ieps.org.br.

KADLEC, R. H ; KNIGHT, R. L. **Treatment wetlands.** Boca Raton: Lewis Publishers, 1996. 893 p.

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

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

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

KADLEC, R. H.; TILTON, D. L. **The use of freshwater wetlands as a tertiary wastewater treatment alternative.** Critical Reviews in Environmental Control, Boca Raton, Fl, v. 9, n. 2, p. 185-212, 1979.

KADLEC, R.H. Constructed Wetlands for Treating Landfill Leachate. In: **Constructed Wetlands for the Treatment of Landfill Leachates.** MULAMOOTTIL, G.; Mc BEAN, E.A.; ROVERS, F. (Org.). Boca Raton, Florida: Lewis Publishers, p. 17 – 32. 1998.

KOOTTATEP, T.; SURINKUL, POLPRASERT, C.; KAMAL, K.S.M.; KONÉ, D.; MONTANGERO, A.; HEINSS, U.; STRAUS, M. **Treatment of septage in constructed wetlands in tropical climate – Lessons learnt after seven years of operation.** Water Science & Technology, Vol. 51 (9) pp 119–126, 2004.

LARSON, J. S. Wetland values assessment. In: Patter, B. C. (Eds.). Wetlands and Shallow Continental Water Bodies. The Hague: SPB Academic Publishing. v. 1, 1990. p. 389-400.

LEAL, R. M. P.; FIRME, L. P.; MONTES, C.R.; MELFI, A. J.; PIEDADE, S. M. S. **Soil exchangeable cations, sugarcane production and nutrient uptake after wastewater irrigation.** Sci. Agric. (Piracicaba, Braz.), v.66, n.2, p.242-249, March/April 2009.

LÉON, S.; CAVALCANTI, J.M. **Tratamento e uso de águas residuárias**. Tradução de H.R. Greeyi, A. Konig, B.S.O. Ceballos e F.A.V. Damasceno. Campina Grande: UFPB. Xxi 110p., il., 29, 7cm. 1999.

LI, X; MANDER, U.; MA, Z.; JIA, Y. **Water quality problems and potential for wetlands as treatment systems in the yangtze river Delta, China**. *Wetlands*, Volume 29, No. 4, 2009.

LOPES, A. S.; GUIDOLIN, J. A. **Interpretação de análise do solo: conceitos e aplicações**. 2.ed. São Paulo: Comitê de Pesquisa/Técnico/ANDA, 1989. 64p.

LUKACS, G.P. **Building global collaboration in tropical wetland research**. *Wetlands Ecol Manage*, 18:511–515, 2010.

MALAVOLTA, E. **Manual de química agrícola: nutrição de plantas e fertilidade do solo**. Agronômica Ceres. São Paulo, 1976.

MALAVOLTA, E. **Métodos para la determinacion de deficiência**. In: *Fitopatologia – Curso moderno*, Tomo IV. Ed. Por A. A. Sarasola e M. A. R. de Sarasola. Editorial hemisférico sur, Bueno Aires. 1965. p. 244-247.

MALAVOLTA, E.; GOMES, P.F.; Alcarde. J.C. **Adubos e adubações**. Edição recista e atualizada. Nobel. São Paulo, 2000.

MALAVOLTA, E. **Manual de calagem e adubação das principais culturas**. São Paulo: Editora Ceres, 1987. 495p.

MALAVOLTA, E.; HAAG, H. P.; MELLO, F. A. F.; BASIL SOBRINHO, M. O. C. **Nutrição mineral e adubação de plantas cultivadas**. São Paulo: Livraria Pioneira Editora, 1974. 812 p.

MALAVOLTA, E. Adubos nitrogenados. In: __. **Abc da adubação**. 4. ed. São Paulo: Agronômica Ceres, 1979. p.26-39.

MANNARINO, C.F.; FERREIRA, J.A.; CAMPOS, J.C.; RITTER, E. **Wetland construído para tratamento de lixiviados de aterros sanitarios**. *Eng. sanit. ambient*. Vol.11 - Nº 2 - abr/jun 2006, 108-112.

McLAUGHLIN, W.J. **Modeling of Aircraft Deicing Fluid Induced Biochemical Oxygen Demand in Subsurface-Flow Constructed Treatment Wetlands.** [Master's Thesis]. Air Force Inst. of Tech., Wright-Patterson AFB, OH. Graduate School of Engineering and Management., 2009.

MEIRA, C. M. B. S.; CEBALLOS, B. S. O.; OLIVEIRA, H. ; FEIJÓ, V. G.; KÖNIG, A.; SOUSA, J. T. **Effect 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 Specialistist Group Conference on Waste Stabilisation Ponds. Auckland: New Zeland Water & Waste Association, v. 2. p. 693-700. 2002.

MEIRA, C. M. B. S.; CEBALLOS, B. S. O.; SOUSA, J. T. ; OLIVEIRA, H.; GUIMARAES, 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, p. 51-51. 2000.

METCALF E EDDY. **Wasterwater Engineering: Treatment, Disposal and Reuse.** 3^a ed., ed. McGraw – Hill. International Editions. Singapore, 1991. 1334p.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. Secretaria de Recursos Hídricos. Caderno Setorial de Recursos Hídricos. Brasília: MMA, 2006. 4 v. Localização: Acervo da Biblioteca da ANA AG 5142.

MORENO-MATEOS, D. COMÍN, F.A. PEDROCCHI, C., CAUSAPÉ, J. **Effect of wetlands on water quality of an agricultural: catchment in a semi-arid area under land use transformation.** Wetlands. Vol. 29, No. 4, December 2009, pp. 1104–1113.

MUNHOZ, T. Desenvolvimento sustentável e educação ambiental. Disponível em: <<http://www.intelecto.net/cidadania/meio - 5html>>. Acesso em 18 mar 2002.

MURRAY-GULDE, C.; HHEATLEY, J. E.; KARANFIL, T.; Jr. RODGERS, J. H.; MYERS, J. E. **Performance of a hybrid reverse osmosis-constructed wetland treatment system for brackish oil field produced water.** Water Research, Great Britain, v. 37, n. 3, p. 705-713, 2003.

NEVES, D. P. Amebas de Vida Livre. In.: NEVES, D. P.; MELO, A. L.; GENARO, O.; LINARDI, P. M. (Orgs.). **Parasitologia Humana**. 10 ed. São Paulo, Rio de Janeiro: Livraria Atheneu, 2000. p. 125-127.

NEVES, D.P. **Parasitologia Humana**. 10ªed. São Paulo. Atheneu, 2003.428p.

OLIVEIRA, C.A.F.; GERMANO, P.M.L. Estudo da ocorrência de enteroparasitas em hortaliças comercializadas na região metropolitana de São Paulo, SP, Brasil. I – Pesquisa de helmintos. **Revista de Saúde Pública**. 26(5): 332-335, 1992.

OLIVEIRA, D. M. M. de ; FIGUEIREDO, M. A. de ; GIRRAD, P. The use of radarsat multi-temporal images to delineate flood areas in the Brazilian Pantanal. In: **Millennium Wetland**, 2000, Canada. International Peat Congress/International Wetland Symposium/Society of Wetland Scientists and International Mire Conservation Group. Quebec: Allan Crowe, Environment Canada and Line Rochefort, Université Laval, 2000. v. 01. p. 194-195.

PACHECO, J.W.F. Curtumes. São Paulo: CETESB, 2005. p. 76 - (Série P + L). Disponível em : <<http://www.cetesb.sp.gov.br>>. Acesso em Setembro de 2007.

PAGANINI, W.da S. **Disposição de esgotos no solo, através do escoamento à superfície, com utilização de gramíneas: avaliação do processo quanto aos aspectos sanitários operacionais, construtivos e de manutenção**. 1996, Dissertação (Mestrado em saúde pública) – Faculdade de saúde Pública da Universidade de São Paulo, SP.352p.

PAGANINI, W.da S. **Disposição de esgotos no solo: escoamento à superfície**. São Paulo, SP. AESABESP; 1997. 232 p. Ilus, tab.

PERKINS, J. & HUNTER, C. **Removal of enteric bacteria in a surface flow constructed wetland in Yorkshire, England**. Water Research, 34, (6), p. 1941 – 1947. 2000.

PERVERLY, J. H.; SURFACE, J. M; WANG, T. Wetlands Constructed for Landfill Leachate Treatment. In: IV INTERNATIONAL WETLAND CONGRESS, 1992, Columbus. Anais... Lake Buena Vista: IWA, 1992. p. 293-299.

PHILIPPI JR, A.; MALHEIROS, T.F (a). Saneamento e saúde pública: Integrando homem e ambiente. In: Philippi Jr, A. **Saneamento, Saúde e Ambiente: fundamentos para um desenvolvimento sustentável**. Barueri, SP: Manole, 2005.

PHILIPPI Jr, A.; MALHEIROS, T.F (b). Saúde ambiental e desenvolvimento. In: PHILIPPI Jr, A; PELICIONI, M.C.F. **Educação ambiental e sustentabilidade**. Barueri, SP: Manole, 2005.

PHILLIPI Júnior, A. Reúso de Água: uma tendência que se firma. In: Reúso de Água. Editores Barueri, SP: Manoele, 2003.

PRIMAVESI, A. **Manejo Ecológico do solo**. São Paulo: Ed: Nobel,2002.953p.

RAMPAZZO, S. E. **Desenvolvimento Regional. Sustentabilidade e Desenvolvimento Regional**. v.I n. 2 UNISC, Universidade de Santa Cruz do Sul, 1996. p.

RAZZOLINI, 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.; DeBUSK, T. A. **Oxygen transports through aquatic macrophytes: the role in wastewater treatment**. Journal Environmental Quality, Madison, WI, v. 19, p. 261-270, 1989.

REDDY, K. R.; SMITH, W. H. **Aquatic Plants for Water Treatment and Resource Recovery**. Orlando: Magnolia Publish, 1987. 1088p.

REDDY, V. R.; BEHERA, B. **Impact of water pollution on rural communities: an economic analysis**. Ecological Economics. 58. 520– 537, 2006.

REGO, R.C.F, BARRETO, M.L, KILLINGER, C.L. **O que é lixo afinal? Como pensam mulheres residentes na periferia de um grande centro urbano**. Cad saúde pública; 18 (6): 1583-92, 2002.

RELATÓRIO SOBRE O MEIO AMBIENTE MUNDIAL: desenvolvimento e meio ambiente. **Indicadores do desenvolvimento mundial**. Banco Mundial. 1ª edição; p.305. 1992.

REY, L. **Bases da Parasitologia Médica**. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan S.A., 1992 329 p.

RIBAS, T. B. C.; FORTES NETO, P. **Disposição no solo de efluentes de esgoto tratado visando à redução de coliformes termotolerantes**. Revista Ambiente & Água, v. 3, n. 3, p. 81-94, 2008. <http://dx.doi.org/10.4136/ambi-agua>.

RICHARD, L.A. **Diagnosis and Improvement of Saline and Alkali Soils**. Washigton U.S. Salinity Lab. 160p. (Agriculture Handbook), 1954.

ROSOLEM, C.; MARUBAYASHI, O. M. **Seja o doutor do seu feijoeiro: encarte de informações agronômicas**. n. 68. Piracicaba: Potafos, 1994. (Arquivo do agrônomo, 7). Disponível em: <[http://www.ipni.org.br/ppiweb/brazil.nsf/87cb8a98bf72572b8525693e0053ea70/d5fbc829a2f54298832569f8004695c5/\\$FILE/Seja%20Feijoeiro.pdf](http://www.ipni.org.br/ppiweb/brazil.nsf/87cb8a98bf72572b8525693e0053ea70/d5fbc829a2f54298832569f8004695c5/$FILE/Seja%20Feijoeiro.pdf)>. Acesso em: 7 out. 2013.

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.

SALATI Jr., E.; SALATI, E.; SALATI, E. **Wetland projects developed in Brazil**. Water Science and Technology, London, v. 40, n. 3, p. 19-25, 1999.

SANTOS, S. S. **Influência da aplicação, via irrigação por gotejamento, de esgoto sanitário tratado na cultura do cafeeiro e no solo**. 2004. 70f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola)-Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2004.

SANTOS,R.M.F. **Pós-tratamento de esgoto: sistema seqüencial de leitos cultivados (constructed wetlands) vertical e horizontal** [Dissertação] Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Agrícola, UNICAMP, SP: [s.n.], 2009.

SAWYER, C.N., McCARTY, P.L., PARKIN, G.F. **Chemistry for environmental engineering**. 4 ed. New York: McGraw – Hill Book Company, 1994.658p.

SCOTT WALLACE, P.E. **Constructed wetlands are an economical way of cleaning up petroleum-contaminated sites that require treatment over long periods of time**. Reprint Form Environmental Protection, 2004.

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.

SHUVAL, H.I., et al.1986. **Wasterwater Irrigation in Devoloping Countries**. World bank Technical Paper Number 51, Washington, D.C.322p.

SHUVAL, H.I., et al.1986. **Wasterwater Irrigation in Devoloping Countries**. World bank Technical Paper Number 51, Washington, D.C.322p.

SILVA, C.A.; SILVA, C.J. **Avaliação de uniformidade em sistemas de irrigação localizada**. Revista Científica Eletrônica de Agronomia. Ano IV, n.8, Dezembro. 2005.

SILVA, M.T.N. **Prevalência de Ascaridíase e Asma no bairro do Pedregal da cidade de Campina Grande, Paraíba**. [Dissertação de Mestrado], Universidade Federal da Bahia/ Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande, 2002.

SILVA, N. S. da.; NASCIMENTO, R. Q.do.; SILVA, T. C.da. **Modelo de priorização de investimentos em saneamento básico utilizando programação linear com base em indicadores ambientais**. Eng. sanit. ambient. Vol.13 - Nº 2 - abr/jun 2008, 171-180.

SIMÕES, M.; PISANI, B.; MARQUES, E.G.L. PRANDI, M.A.G. MARTINI, M.H.; CHIARINI, P.F.T. ANTHONES, J.L.F., NOGUEIRA, A.P. **Hygienic-sanitary conditions of vegetbles and irrigation water from kitchen gardens in the municipality of Campinas – SP**. Brazilian Journal of Microbiology. Vol. 32, nº4. São Paulo. 2001.

SIPAÚBA-TAVARES, L.H.; BRAGA, F.M.S. **Constructed wetland in wastewater treatment**. Acta Sci. Biol. Sci. Maringá, v. 30, n. 3, p. 261-265, 2008.

SODIS – SOLAR WATER DISINFECTION. Homepage. In: <http://www.sodis.ch>. Acesso em 17 de dezembro de 2005.

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.

SOUSA, J. T., LEITE, V. D. e LUNA, J. G. Desempenho da cultura do arroz irrigado com esgotos sanitários previamente tratados. **Revista Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental**. Campina Grande – PB, V. 5. n.4 p.107-110,2003.

SOUSA, J. T., LEITE, V. D., DIONÍSIO, J. A. Reuso de efluentes de esgotos sanitários na cultura do arroz. In: **IX Simpósio Luso-brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Porto Seguro. 2000**, p. 1058-1963.

SOUSA, J.T. de.; van HAANDEL, A.C . GUIMARÃES, A.V.A . **Performance of constructed wetland systems treating anaerobic effluents**. Water Science and Technology, v.48, n.6, p. 295-299, 2003.

SOUSA, J.T.de ; HAANDEL, A.C.Van; LIMA, E.P.C.; HENRIQUE, I. N. **Utilização de wetland construído no pos-tratamento de esgotos domésticos pré-tratados em reator UASB**. Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 09, n. 4, p. 285-290, 2004.

SOUSA, T.R.V. & LEITE FILHO, P.A.M.. **Análise por dados em painel do status de saúde no Nordeste Brasileiro**. Rev. Saúde Pública [online]. 2008, vol.42, n.5, pp. 796-804. Epub Aug 28, 2008.

SOUZA, J.A.S; RAMOS, M.M.; SOARES, A.A. **Contaminação microbiológica do perfil do solo com esgoto Sanitário**. Acta Scientiarum. Technology Maringá, v. 33, n. 1, p. 5-8, 2011.

STANDARD METHODS FOR EXAMINATION OF WATER AND WATEWATER. In: EARTON, A., CLESCERI, L. S.& GREENBERG, A. E. (eds.). 20^a ed. Washington, American Public Health Association, American Water Works Association, Water Enviroment Federation. 1998.

STATE OF CALIFORNIA. **Water Reclamation Criteria, An Excerpt from the California Code of Regulations**. Title 22, Div.4, Environmental Health. Departament of Health Services, Sacramento, CA, USA, 1978.

STRINA, A.; CAIRNCROSS, S.; BARRETO, M. L.; LARREA, C.; PRADO, M. S. **Childhood diarrhea and observed hygiene behavior in Salvador, Brazil**. American Journal of Epidemiology. ;157:1032–1038, 2003.

SUPERINTENDÊNCIA DE DESENVOLVIMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS E SANEAMENTO AMBIENTAL. **Qualidade das águas interiores do estado do Paraná 1987-1995**. Curitiba, 1999.

SWIFT, M.J., HEAL, O.W., ANDERSON, J.M. *Decomposition in terrestrial ecosystems*. Oxford: Blacwel, 1979. 372p.

TEIXEIRA, J.C, HELLER, L. **Fatores ambientais associados à diarreia infantil em áreas de assentamento subnormal em Juiz de Fora, Minas Gerais**. Rev. Bras. Saúde Matern. Infant., Recife, 5 (4): 449-455, out. / dez., 2005.

THURSTON, J. A., GERBA, C. P., FOSTER, K. E. & KARPISCAK, M. M., **Fate of indicator microorganisms, Giardia and Cryptosporidium in subsurface flow constructed wetlands**. Water Research. 35, (6), p. 1547 – 1551. 2001.

TONIATO, J.V. **Avaliação de um wetland construído no tratamento de efluentes sépticos – estudo de caso na Ilha Grande, Rio de Janeiro, Brasil**. [Dissertação de mestrado]. Escola Nacional de Saúde Pública, Fundação Oswaldo Cruz, 2005.

TSUTIYA. M.T. **Uso Agrícola de efluentes das lagoas de estabilização do Estado de São Paulo**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 21., 2001, João Pessoa: ABES, 2001.

TUNDISI, J.G. **Água no século XXI: Enfrentando a escassez**. Editora RiMa. IIE. 48p.2003.

TUNDISI, J.G. **Recursos hídricos**. Revista Interdisciplinar dos centros e núcleos da Unicamp. Editora RiMa. IIE. 2003.

UNITED NATIONS DEVELOPMENT PROGRAMME - UNDP. **Human development report 2006: power, poverty and the global water crisis**. New York, 2006. 440p.

UNITED NATIONS DEVELOPMENT PROGRAMME - UNDP. **Human development report 2006: power, poverty and the global water crisis**. New York, 2006. 440p.

URBANIC-BERCIC, O. **Investigation into the Use of Constructed Reedbeds for Municipal Waste Dump Leachate Treatment**. Water Science & Technology, Great Britain, v. 29, p. 289-294, 1994.

USEPA (United States Environmental Protection Agency). **Constructed Wetlands Treatment of Municipal Wastewater**. EPA Report, 625/R-99/010. USEPA, Office of Research and Development, Cincinnati, Ohio. 1999.

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

VALENTIM, M.A.A **Desempenho de Leitões 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.

VIEIRA, C.; PAULA JUNIOR, T. J. de; BORÉM, A. **FEIJÃO: aspectos gerais e cultura no Estado de Minas.** Viçosa: UFV, 1998. 596 p.:il.

VIEIRA, V.P.P.B. Águas doce no Semi-Árido, In: **Águas Doces do Brasil**, São Paulo, 1999.p.809-531.

VIEIRA. E.H.N. Produção e tecnologia. In. ZIMMERMANN. M. J. O., ROCHA, M.; YAMADA, T. **Cultura do feijoeiro: fatores que afetam a produtividade.** Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa de Potassa e de Fosfato, 1988. 589 p.

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

VYMAZAL, J. **First experience with reed-bed systems in Czechoslovakia.** IWAPEC specific Group “The use of macrophytes in Water Pollution Control”, Newsletter n. 2, p. 51-54. 1989.

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. 1–93. In J. Vymazal (ed.) Transformations of Nutrients in Natural and Constructed Wetlands. Backhuys Publishers, Leiden, The Netherlands, 2001.

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

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

WHO. World Health Organization. **Health Guidelines for the Use of Wastewater in Agriculture and Aquaculture. Report of a WHO Scientific Group**. Geneva. (WHO Technical Report Series n. 778), 1989.

WIANDT, S.; BALEUX, B.; CASELLAS, C.; BONTOUX, J. Occurrence of Giardia sp. Cysts during a wastewater treatment by a stabilization pond in the south of France. **Water Science and Technology**, v.51,n.12,1995.p.257-265.

XU, K.; KONG, C.; WU, CHONGLONG; 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.

ZACARKIM, C.E.; DAMASCENO, S.; QUINONES, F.R.E. ; PALACIO, S.M.; WELTER, R.A. **Avaliação de Sistema Wetland construído no póstratamento de efluente de curtume**. In: 24º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2007, Belo Horizonte (MG). Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 1. p. 1-1. 2007.

ZAIDEN, M.F; SANTOS, B.M.O; CANO, M.A.T; NASCIF JR, I.A. **Intestinal parasitosis epidemiology in children from a child day care centers in Rio Verde-GO, Brazil**. *Medicina (Ribeirão Preto)* 41 (2): 182-7. 2008.

ZIMMERMANN. M. J. O.; TEIXEIRA, M.G. Origem e evolução. In: ARAUJO, R.S. (coord.). **Cultura do feijoeiro comum no Brasil**. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa de Potassa e de Fosfato, 1996. p.57-68.

