UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMIÁRIDO
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS AMBIENTAIS E TECNOLÓGICAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM IRRIGAÇÃO E DRENAGEM

FRANCICLEITON FREIRES DO CARMO

ALTERAÇÕES NAS CARACTERÍSTICAS DO SOLO E NO DESEMPENHO DO SISTEMA DE IRRIGAÇÃO (BUBBLER) OPERANDO COM ÁGUA RESIDUÁRIA

MOSSORÓ-RN

2013

FRANCICLEITON FREIRES DO CARMO

ALTERAÇÕES NAS CARACTERÍSTICAS DO SOLO E NO DESEMPENHO DO SISTEMA DE IRRIGAÇÃO (BUBBLER) OPERANDO COM ÁGUA RESIDUÁRIA

Dissertação apresentada a Universidade Federal Rural do Semi-Árido – UFERSA, como parte das exigências para obtenção do título de Mestre em Irrigação e Drenagem.

ORIENTADOR: Prof. D. Sc. Indalécio Dutra/UFERSA
CO-ORIENTADOR: Prof. D. Sc. Rafael Oliveira Batista/UFERSA

MOSSORÓ-RN
2013

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Biblioteca Central Orlando Teixeira (BCOT)
Setor de Informação e Referência

C287a Carmo, Francicleiton Freires do.

Alterações nas características do solo e no desempenho do sistema de irrigação (bubbler) operando com água residuária. / Francicleiton Freires do Carmo. -- Mossoró, 2013.
127f.: il.

Orientador: Prof. Dr. Indalécio Dutra
Co-orientador: Prof. Dr. Rafael Oliveira Batista

Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem. Área de concentração em Irrigação e Drenagem) – Universidade Federal Rural do Semi-Árido. Pró-Reitoria de Pós-Graduação.

1. Irrigação – água residuária. 2. Esgoto doméstico.
3. Reuso. 4. Agricultura – Características do solo. I. Título.

RN/UFERSA/BCOT CDD: 631.587

Bibliotecária: Vanessa Christiane Alves de Souza Borba
CRB-15/452

FRANCICLEITON FREIRES DO CARMO

ALTERAÇÕES NAS CARACTERÍSTICAS DO SOLO E NO DESEMPENHO DO SISTEMA DE IRRIGAÇÃO (BUBBLER) OPERANDO COM ÁGUA RESIDUÁRIA

Dissertação apresentada a Universidade Federal Rural do Semi-Árido – UFERSA, como parte das exigências para obtenção do título de Mestre em Irrigação e Drenagem.

APROVADA EM: 26/07/2013

BANCA EXAMINADORA

_____

Prof. D. Sc. Indalécio Dutra – UFERSA
Orientador

_____

Prof. D. Sc. Rafael Oliveira Batista – UFERSA
Co-orientador

_____

Prof. D. Sc. Dijauma Honório Nogueira – IFCE/Campus Iguatu
Conselheiro

A minha esposa por todo amor e companheirismo, e a minha família, em especial a meus pais Antônio e Terezinha.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por ter me concebido o dom da Vida e da sabedoria, pela força e motivação a mim dadas. Por me fortalecer nos momentos de dificuldades e me ajudar a superar todas as adversidades da vida.

A minha esposa Kely Hammoniely por todo amor, paciência e incentivo e por acreditado em meu estudo e ter compreendido a necessidade da minha distância durante todo o curso de Mestrado e ter me ajudado a superar as barreiras. Sem sua ajuda nada disso seria possível e essa vitória é tanto sua quanto minha.

A todos da minha Família, em especial meus pais, irmãos e irmãs, sobrinhos, pelo apoio, incentivo e motivação.

A meu sogro (Gomes), minha sogra (Elian) e meu cunhado (Hammón) pelos momentos de incentivo, distração, carinho e apoio.

À Universidade Federal Rural do Semi-Árido pela formação acadêmica e oportunidade de concluir o curso de Mestrado em Irrigação e Drenagem e aos Professores do Programa por contribuírem na minha formação profissional.

A CAPES pela concessão da bolsa de estudos, e ao CNPq pelo apoio financeiro ao projeto.

Ao prof. Indalécio Dutra pela orientação, pelos ensinamentos repassados, pela amizade e confiança, pela disposição em ajudar sempre, exemplos dados pelo excelente profissionalismo e competência que o trazem.

Ao prof. Rafael Oliveira pelo apoio sempre prestado, pela atenção, pelo incentivo a pesquisa e por contribuir com seus ensinamentos valiosos que servirão para além da formação profissional, pelo exemplo de pessoa e profissional que é.

Ao prof. Sérgio Weine pela realização do estágio de docência.

Ao prof. José Francismar pelas orientações sempre tão importantes.

Ao prof. Dijauma Honório (IFCE Campus Iguatu) pelo aceite em participação na banca examinadora, pela contribuição com sugestões de melhoria no trabalho e pela forma sempre educada e atenciosa que me recebe.

A todos os colegas de turma pelos momentos de aprendizagem, companheirismo e distração que levarei comido para o resto da vida.

Aos Técnicos do Laboratório de Solos, pelos ensinamentos na realização das análises.

A todas as outras pessoas aqui não lembradas, mas que contribuíram de alguma forma para realização deste trabalho.

O meu muito OBRIGADO!

Quando pessoas comuns se unem para compartilhar objetivos pretendidos coletivamente, tornam-se de fato efetivas.
Autoria própria

RESUMO

CARMO, Francicleiton Freires do. **Alterações nas características do solo e no desempenho do sistema de irrigação (Bubbler) operando com água residuária.** 2013.127 f. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem). Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), Mossoró-RN, 2013.

A utilização de esgoto doméstico tratado na irrigação é uma alternativa para controle da poluição das águas superficiais e subterrâneas, além de uma maneira de disponibilizar água e nutrientes para as plantas. Diante disso, o presente trabalho teve o objetivo de estudar as alterações nas características do solo e no desempenho do sistema de irrigação (Bubbler) operando com água residuária de origem doméstica. Para tal, foi montada uma área experimental de 576 m^2 no assentamento Milagres em Apodi-RN, dotada de um sistema para tratamento primário do esgoto doméstico, e quatro subunidades do sistema de irrigação "Bubbler". Os tratamentos utilizados foram compostos de diferentes proporções do esgoto doméstico primário (EDP) e de água de abastecimento (AA), sendo: T1(0% de EDP e 100% de esgoto AA, mais adubação química [testemunha]); T2(33% de EDP e 67% de AA); T3(67% de EDP e 33% de AA); e T4(100% de EDP e 0% de AA). Para análise do desempenho do sistema de irrigação, utilizou-se um esquema de parcelas subdivididas tendo nas parcelas os tratamentos e nas subparcelas os tempos de avaliação (0, 120 e 240 dias de operação). Na análise das características físico-químicas do solo foi utilizado o esquema de parcelas subsubdivididas tendo nas parcelas os tratamentos, nas subparcelas as profundidades de amostragem (0 a 0,20 m e 0,20 a 0,40m) e nas subsubparcelas os períodos de avaliação (0, 120 e 240 dias após o transplantio). O delineamento experimental utilizado foi o de blocos inteiramente casualizado com quatro tratamentos e seis repetições. Os dados foram submetidos à análise de variância e de regressão e testes de média. Durante o período experimental determinou-se as características físico-químicas e microbiológicas do EDP e da AA, e os resultados indicaram que a qualidade do EDP e da AA não comprometem o uso para o cultivo agrícola, podendo ser utilizado com critérios de manejo. Os maiores níveis de entupimento de emissores foram encontrados nos tratamentos T4 e T3. O T2 proporcionou melhor desempenho do sistema de irrigação, apresentando melhores coeficientes de uniformidades (CUD e CUC) e eficiência de aplicação (EA). Com relação às características do solo, observou-se que os valores da CE, P, K, Ca e Al não sofreram alterações estatisticamente significativas dos tratamentos, alterando-se somente com a profundidade do solo e com o tempo de aplicação dos tratamentos. As características pH, V, SB e Zn apresentaram tendência de redução com o aumento da proporção de EDP e com o tempo de aplicação. As características N, MO, Mg, Na, PST, H+Al, m, t, CTC, Cu, Fe e Mn apresentaram tendência de aumento com o aumento da proporção de EDP e com o tempo de aplicação. Os coliformes totais e os coliformes termotolerantes apresentaram tendência de aumento com o aumento da proporção de EDP e redução com o aumento da profundidade do solo.

Palavras-chave: esgoto doméstico, reuso, agricultura.

ABSTRACT

CARMO, Francicleiton Freires do. **Amendments in soil characteristics and performance of irrigation (Bubbler) operating system with wastewater.** 2013.127 f. Dissertation (Dissertation (Master's degree in Irrigation and Drainage). Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), Mossoró-RN, 2013.

The utilization of treated domestic wastewater for irrigation is an alternative to control pollution of surface and groundwater, as well as a way to provide water and nutrients for plants. Thus, the present work was to study the changes in soil characteristics and performance of irrigation (Bubbler) operating system with wastewater from domestic sources. To this end, was mounted an experimental area of 576 m^2 in the Miracles settlement in Apodi-RN, endowed with a system for primary treatment of domestic sewage, and four subunits of the irrigation system "Bubbler". The treatments were made up of different proportions of primary domestic sewage (PDS) and water supply (WS) were: T1 (0% of PDS and 100% of WS, more chemical fertilizer [witness]), T2 (33 % of PDS and 67% of WS), T3 (67% of PDS and 33% of WS) and T4 (100% of PDS and 0% of WS). To analyze the performance of the irrigation system, it was used a split plot arrangement having the plots and subplots evaluation times (0, 120 and 240 days of operation). In the analysis of soil physic-chemical characteristics was used split split plot scheme with the treatments on plots, the sampling depths on subplots (0 to 0.20 m and 0.20 to 0.40 m) and the evaluation periods on subsubplots (0, 120 and 240 days after transplanting). The experimental design used was the completely randomized blocks with four treatments and six repetitions. The Data were submitted to analyzes of variance and regression and tests in the average. During the experimental period was determined physico-chemical and microbiological characteristics of the PDS and WS, and the results indicated that the quality of PDS and WS do not compromise the use for the agricultural crop, and may be used to management criteria. The highest levels of emitter clogging were found in T4 and T3. The T2 provides better performance of the irrigation system, showing better uniformity coefficient (CUC and CUD) and application efficiency (AE). With respect to soil characteristics, it was observed that the values of EC, P, K, Ca and Al there were no statistically significant changes in treatments, altering with only soil depth and the time of treatment application. The characteristics pH, V, SB and Zn tended to reduce with increasing proportion of PDS and the time of application. The characteristics N, MO, Mg, Na, PST, H + Al, m, t, CTC, Cu, Fe and Mn tended to be greater with increasing proportion of PDS and the time of application. The total coliforms and fecal coliform tended to be greater with increasing proportion of PDS and reduced with increasing soil depth.

Keywords: domestic sewage, reuse, agricultural.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Diretrizes microbiológicas recomendadas para uso na agricultura de esgotos domésticos tratados. 26
Tabela 2 - Fatores que afetam a escolha do método de irrigação e as medidas protetivas requeridas quando se utiliza esgoto doméstico. 32
Tabela 3 - Critérios para avaliação do potencial de entupimento de emissores em sistemas de irrigação localizada. 34
Tabela 4 - Interpretação dos valores dos coeficientes de uniformidade CUC e CUD. 53
Tabela 5 - Características físico-químicas e microbiológicas da água de abastecimento utilizada no experimento. 55
Tabela 6 - Características físico-químicas e microbiológicas do esgoto doméstico primário. 57
Tabela 7 - Nível populacional de CT e CTe no solo (após 240 dias de aplicação) das distintas proporções esgoto doméstico primário (EDP) e água de abastecimento (AA). 95
Tabela 8 - Características físico-químicas do solo antes da condução do experimento. 116
Tabela 9 - Características físicas do solo antes do início do experimento. 116
Tabela 10 - Análise de variância das variáveis Q, CUC, CUD, EA, CVq, ΔP, ΔQ e CVp no esquema de parcelas subdivididas. 117
Tabela 11 - Análise de variância das variáveis N, pH, CE, MO, P, K+, Na^{+}, Ca^{2+} e Mg^{2+} no esquema de parcelas subsubdivididas. 118
Tabela 12 - Análise de variância das variáveis $Al^{3+,}$ (H+Al), SB, t, CTC, V, m, PST, Cu, Fe, Zn e Mn no esquema de parcelas subsubdivididas. 119
Tabela 13 - Equações de regressão dos indicadores de desempenho do sistema de irrigação “Bubbler” em função do tempo de operação (T) para cada proporção de esgoto doméstico primário (EDP). 120
Tabela 14 - Superfícies de resposta das características físico-químicas do solo em função do tempo de aplicação (T) e das proporções de esgoto doméstico (P) na profundidade de 0 a 0,20m. 121
Tabela 15 - Superfícies de resposta das características físico-químicas do solo em função do tempo de aplicação (T) e das proporções de esgoto doméstico (P) na profundidade de 0,20 a 0,40m. 122

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Localização da área experimental no Assentamento Milagres, Apodi - RN. 39
Figura 2 - Standpipe para controle de pressão. 41
Figura 3 - Detalhe do registro utilizado para regulagem da vazão (vista superior). 41
Figura 4 - Mangueira emissora conduzindo água da linha lateral até a microbacia. 42
Figura 5 - Estaca de madeira servindo de suporte para as mangueiras emissoras. 43
Figura 6 - Reservatório para esgoto doméstico primário (a) e reservatório para água de abastecimento (b). 44
Figura 7 - Conjuntos motobomba com filtros de discos (a) e painel de automação do sistema de bombeamento (b). 44
Figura 8 - Vista frontal do decanto-digestor externamente, destacando o tanque séptico e os dois filtros biológicos em processo de construção. 45
Figura 9 - Vista frontal do decanto-digestor concluído e operando normalmente. 46
Figura 10 - Croqui da área experimental no Assentamento Milagres, Apodi-RN. 49
Figura 11 - Valores médios do CUC, ao longo do tempo de funcionamento do sistema de irrigação, operando com diferentes proporções de esgoto doméstico primário (EDP) e água de abastecimento (AA). 62
Figura 12 - Valores médios do CUD, ao longo do tempo de funcionamento do sistema de irrigação, operando com diferentes proporções de esgoto doméstico primário (EDP) e água de abastecimento (AA). 63
Figura 13 - Valores médios da EA, ao longo do tempo de funcionamento do sistema de irrigação, operando com diferentes proporções de esgoto doméstico primário (EDP) e água de abastecimento (AA). 64
Figura 14 - Valores médios do CVQ, ao longo do tempo de funcionamento do sistema de irrigação, operando com diferentes proporções de esgoto doméstico primário (EDP) e água de abastecimento (AA). 65
Figura 15 - Valores médios do GE, ao longo do tempo de funcionamento do sistema de irrigação, operando com diferentes proporções de esgoto doméstico primário (EDP) e água de abastecimento (AA). 66
Figura 16 - Valores médios da ΔP, ao longo do tempo de funcionamento do sistema de irrigação, operando com diferentes proporções de esgoto doméstico primário (EDP) e água de abastecimento (AA). 67
Figura 17 - Valores médios da ΔQ, ao longo do tempo de funcionamento do sistema de irrigação, operando com diferentes proporções de esgoto doméstico primário (EDP) e água de abastecimento (AA). 68
Figura 18 - Valores médios do CVp, ao longo do tempo de funcionamento do sistema de irrigação, operando com diferentes proporções de esgoto doméstico primário (EDP) e água de abastecimento (AA). 70
Figura 19 - Valores médios da Vazão (Q), ao longo do tempo de funcionamento do sistema de irrigação, operando com diferentes proporções de esgoto doméstico primário (EDP) e água de abastecimento (AA). 71
Figura 20 - Comportamento do pH (a) e da CE (dS m^{-1}) (b) no perfil do solo, em função da profundidade, sob diferentes proporções de esgoto doméstico primário (EDP) e água de abastecimento (AA). 73
Figura 21 - Comportamento do N (a) e da M.O (g Kg^{-1}) (b) no perfil do solo, sob diferentes proporções de esgoto doméstico primário (EDP) e água de abastecimento (AA). 75
Figura 22 - Comportamento do P (mg dm-^{3}) no perfil do solo, sob diferentes proporções de esgoto doméstico primário (EDP) e água de abastecimento (AA). 77

Figura 23 - Comportamento do Na (mg dm^{-3}) (a) e da PST (%) (b) no perfil do solo, sob diferentes proporções de esgoto doméstico primário (EDP) e água de abastecimento (AA)...79
Figura 24 - Comportamento do Ca (a), Mg (cmolc dm^{-3}) (b) e K (mg dm^{-3}) (c) no perfil do solo, sob diferentes proporções de esgoto doméstico primário (EDP) e água de abastecimento (AA).....82
Figura 25 - Comportamento do Al^{3+} (a) e do H+Al ($cmol_c$ dm^{-3}) (b) e de m (%) (c) no perfil do solo, sob diferentes proporções de esgoto doméstico primário (EDP) e água de abastecimento (AA).....86
Figura 26 - Comportamento de V (%) no perfil do solo, sob diferentes proporções de esgoto doméstico primário (EDP) e água de abastecimento (AA). 88
Figura 27 - Comportamento da SB (cmolc dm^{-3}) no perfil do solo, sob diferentes proporções de esgoto doméstico primário (EDP) e água de abastecimento (AA). 89
Figura 28 - Comportamento de t (a) e da CTC ($cmol_c$ dm^{-3}) (b) no perfil do solo, sob diferentes proporções de esgoto doméstico primário (EDP) e água de abastecimento (AA)...91
Figura 29 - Comportamento do Cu (a), Fe (b), Zn (c) e Mn (mg dm^{-3}) (d) no perfil do solo, sob diferentes proporções de esgoto doméstico primário (EDP) e água de abastecimento (AA). 93
Figura 30 - Ilustração de frutos do mamoeiro irrigado com esgoto doméstico primário 120

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 15

2 REVISÃO DE LITERATURA 17

2.1 O SISTEMA DE IRRIGAÇÃO "BUBBLER" 17

2.2 REUSO DE ÁGUA NA AGRICULTURA: UMA SAÍDA PARA A ESCASSEZ 18

2.3 TÉCNICAS PARA TRATAMENTO DE ESGOTO DOMÉSTICO 20

2.4 UTILIZAÇÃO DE ESGOTO DOMÉSTICO TRATADO EM ATIVIDADES AGRÍCOLAS 23

2.5 EFEITOS DA APLICAÇÃO DE ESGOTO DOMÉSTICO TRATADO 27

2.5.1 No Solo 27

2.5.2 Nas Plantas 29

2.5.3 No desempenho do sistema de irrigação 31

2.6 LEGISLAÇÃO BRASILEIRA APLICADA AO TRATAMENTO E REÚSO DE ESGOTO DOMÉSTICO 35

3 MATERIAL E MÉTODOS 39

3.1 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO 39

3.2 CONDUÇÃO DO EXPERIMENTO: 40

3.2.1 Sobre a cultura utilizada 40

3.2.2 O sistema e manejo de irrigação 40

3.2.3 Águas utilizadas na irrigação 43

3.3 O SISTEMA DE TRATAMENTO DO ESGOTO DOMÉSTICO 44

3.4 QUALIDADE DA ÁGUA RESIDUÁRIA E DE ABASTECIMENTO 46

3.5 PREPARO DO SOLO E ADUBAÇÃO 47

3.6 CLASSIFICAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DO SOLO ANTES DA APLICAÇÃO DOS TRATAMENTOS 48

3.7 DESCRIÇÃO DOS TRATAMENTOS E DELINEAMENTO EXPERIMENTAL 48

3.8 CARACTERÍSTICAS MONITORADAS: 49

3.8.1 Desempenho do sistema de irrigação 49

3.8.2 Características físico-químicas e microbiológicas do solo 53

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO 55

4.1 CARACTERIZAÇÃO DAS ÁGUAS UTILIZADAS NA IRRIGAÇÃO 55

4.1.1 Água de abastecimento 55

4.1.2 Água de esgoto doméstico primário 57
4.2 DESEMPENHO DO SISTEMA DE IRRIGAÇÃO 61
4.2.1 Coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC) 61
4.2.2 Coeficiente de uniformidade de Distribuição (CUD) 63
4.2.3 Eficiência de Aplicação (EA) 64
4.2.4 Coeficiente de Variação de Vazão (CVQ) 65
4.2.5 Grau de entupimento dos emissores (GE) 66
4.2.6 Variação de Pressão (ΔP) e Variação de Vazão (ΔQ) 67
4.2.7 Coeficiente de Variação de Pressão (CVp) 69
4.2.8 Vazão (Q) 70
4.3 CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS E MICROBIOLÓGICAS DO SOLO 71
4.3.1 Potencial hidrogeniônico (pH) e condutividade elétrica (CE) 71
4.3.2 Nitrogênio (N) e Matéria Orgânica (MO) 74
4.3.3 Fósforo (P) 76
4.3.4 Sódio (Na) e Porcentagem de Sódio Trocável (PST) 78
4.3.5 Cálcio (Ca), Magnésio (Mg) e Potássio (K) 80
4.3.6 Acidez trocável (Al^{3+}), Acidez potencial (H+Al) e Saturação por Alumínio (m) 84
4.3.7 Saturação por Bases (V) 87
4.3.8 Soma de Bases (SB) 88
4.3.9 Capacidade de Troca Catiônica Efetiva (CTC Efetiva ou t) e Capacidade de Troca Catiônica (CTC ou T) 89
4.3.10 Cobre (Cu), Ferro (Fe), Zinco (Zn) e Manganês (Mn) 91
4.3.11 Coliformes Totais (CT) e Coliformes Termotolerantes (CTe) 95
5 CONCLUSÕES 98
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 99
APÊNDICE 119

1 INTRODUÇÃO

O semiárido nordestino concentra baixo percentual de água disponível, em quantidade e qualidade, com má distribuição e elevadas perdas atmosféricas por evaporação, tornando a oferta desse recurso limitada. Nesta região, em períodos de escassez, o uso da água se limita basicamente ao consumo humano e animal; o uso na agricultura vem em segundo plano.

A busca por fontes hídricas alternativas, mesmo de qualidade inferior para a agricultura é importante e pesquisas tem demonstrado a viabilidade do uso de água proveniente de esgoto doméstico tratado, como uma a ser utilizada na produção agrícola, como pode ser visto nos trabalhos de (SILVA, 2007; RODRIGUES, 2008; SILVA, 2009; DEON, 2010; FREITAS, 2011; COSTA, 2012).

As principais vantagens da utilização de esgoto doméstico tratado na irrigação estão associadas ao controle da poluição das águas superficiais e subterrâneas, economia de água de melhor qualidade e diminuição dos gastos com adubação química, devido à concentração de nutrientes presentes em tais águas (SILVA; MEDEIROS; SILVA, 2011).

Diferentes formas de tratamento de água proveniente de redes de esgoto doméstico podem ser utilizadas para obtenção de um produto que atenda aos padrões da legislação para uso na agricultura. Alguns métodos são complexos e outros bem simples, obtendo um produto final fértil podendo funcionar como fonte de nutrientes, evitando assim o uso de sais fertilizantes para a adubação (von SPERLING, 2011).

Efeitos benéficos em relação á produtividade de culturas irrigadas com efluentes de esgotos domésticos já foram observados (FACTOR, ARAÚJO, JÚNIOR, 2008; RODRIGUES et al., 2009; SOUZA et al., 2010; SILVA, 2010; NOBRE et al., 2010; RIBEIRO et al., 2012, CARLOS et al., 2012), em alguns casos, com aumento de 50% de produtividade em relação a adubação química (DEON et al., 2010).

Os efluentes domésticos, geralmente, possuem relação constante entre os nutrientes, sendo característica de cada tipo em particular de resíduo. Tal relação, no entanto, nem sempre é a mais adequada á produção e nutrição das plantas, podendo acarretar desbalanço de nutrientes no sistema solo-planta e efeitos negativos associados á sodificação, salinização e toxicidade de certos elementos químicos (BARROSO e WOLLF, 2011).

Diversos estudos foram desenvolvidos para avaliar os efeitos da aplicação de água residuária de esgoto doméstico sobre o solo via irrigação (DUARTE, 2008; SOUSA, 2009; SOUZA et al., 2010; PINTO, 2011; DANTAS, 2012) e comprovaram que é uma técnica que pode ser utilizada, no entanto, é necessário que adotem estratégias de manejo diferenciadas, pois podem provocar alteração nas características químicas, físicas e microbiológicas do solo, e no desempenho do sistema de irrigação.

Sobre o desempenho do sistema de irrigação, podem provocar obstrução nos emissores e alterar a sua distribuição. A formação de biofilme e precipitação de sais nos emissores e nas linhas laterais são os principais problemas da aplicação de águas residuárias em sistemas de irrigação, principalmente os localizados, por possuírem emissores com pequenas dimensões (SILVA et al., 2012).

Objetivou-se com o presente trabalho estudar as alterações nas características do solo e no desempenho do sistema de irrigação Bubbler, decorrentes da aplicação de água residuária de esgoto doméstico e de abastecimento.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 O SISTEMA DE IRRIGAÇÃO “BUBBLER”

Desenvolveu-se nos Estados Unidos por volta de 1977, uma nova modalidade de irrigação localizada, que apresenta particularidades interessantes, principalmente para o pequeno produtor, é o sistema de irrigação “Bubbler” ou como é mais conhecido no Brasil irrigação por borbulhamento.

A possibilidade de realizar a irrigação sem a utilização de energia elétrica e o baixo custo do emissor são características importantes que credenciam este sistema como ferramenta tecnológica que pode contribuir para o desenvolvimento da agricultura produtiva nas comunidades agrícolas.

O referido sistema difere dos outros tipos de irrigação localizada pelo fato do fluxo de água ser devido apenas à força da gravidade. Mesmo quando o bombeamento é necessário, bombas de baixa capacidade de elevação são suficientes. A simplicidade de instalação, o manejo e a elevada eficiência de irrigação e o baixo custo inicial do sistema podem permitir a sua adoção por parte do pequeno produtor (ANDRADE; SOUZA; SILVA, 2003; SOUZA; ANDRADE; SILVA, 2005).

Rawlins (1977) foi quem publicou o primeiro artigo sobre este sistema de irrigação, onde testou dois sistemas de irrigação por gravidade por meio da conversão de sistema de irrigação por sulco de pomares de citrus, em um sistema onde a água era conduzida em tubulação fechada por meio da energia da gravidade, sendo o principal objetivo da pesquisa, a redução de custos e das perdas por escoamento superficial e aumento da eficiência de irrigação, e obteve uniformidade de distribuição de água de 89,2% e 97,3% após calibrar as alturas dos tubos emissores, respectivamente. O autor verificou ainda que os custos de implantação e manutenção do sistema são menores quando comparado com outros sistemas de irrigação localizada pressurizados, pois estes incluem bombas, filtros e emissores específicos de cada sistema.

O sistema funciona com baixa pressão, utilizando apenas a gravidade como fonte de energia, requer filtragem simples e pode operar sob pressões a partir de 10 kPa. O mesmo consiste de uma linha principal conectada à fonte de água (caixa d’água, pequenos reservatórios, canal e outros); uma coluna com manômetro de mangueira transparente, onde se controla a carga hidráulica; linha de derivação, linha secundária, linhas laterais e tubos emissores de PEBD que são conectadas nas linhas laterais. Os

tubos emissores são ancorados na própria árvore ou em tutores, com altura ajustada para que todos forneçam a mesma vazão. A água é aplicada em pequenas bacias feita na superfície do solo ao redor da planta para evitar perdas por escoamento superficial. A linha principal, secundaria e laterais são enterradas no solo a profundidade que varia de 0,30 a 0,60 m (REYNOLDS, 1993; REYNOLDS; YITAYEW; PETERSEN, 1995).

No Brasil, o sistema Bubbler tem sido estudado nos últimos anos no estado do Ceará, onde foram realizadas avaliações em três sistemas instalados nos municípios de Caucaia, por Souza (2001), Pentecostes, por Dutra (2002), e Iguatu, por Arraes et al. (2007), obtendo-se coeficiente de uniformidade de distribuição de 95%, 94% e 92%, respectivamente, demonstrando que o sistema apresentou bom desempenho no campo, com excelente adequacidade para irrigação de fruteiras, tais como: caju, manga, acerola, goiaba, abacate, graviola, mamão, citrus e outros. Embora não seja ainda muito disseminado, sua adoção é fácil e de baixo custo. Outras vantagens do sistema de irrigação são os menores gastos com operação e manutenção, devido ao pouco desgaste das tubulações e sua operacionalidade simples, sendo uma alternativa viável e econômica para pequenas áreas em regiões do semiárido nordestino, como também, devido o diâmetro dos emissores ser grande tem baixo potencial de obstrução.

2.2 REUSO DE ÁGUA NA AGRICULTURA: UMA SAÍDA PARA A ESCASSEZ

A água é um recurso natural finito e essencial à vida, seja como componente bioquímico de seres vivos, como meio de vida de várias espécies, como elemento representativo de valores sociais e culturais, além de importante fator de produção no desenvolvimento de diversas atividades econômicas (BERNARDI, 2003).

Este recurso foi por muito tempo considerado pela humanidade como inesgotável e, talvez por isso, mal gerido. Devido a isto não faltam exemplos de escassez de água doce, observada pelo abaixamento do nível dos lençóis freáticos, o encolhimento dos lagos, a secagem dos pântanos, várias regiões do mundo possuem este panorama exacerbado (FLORENCIO et al., 2006).

No Brasil o problema da escassez de água que afeta de forma mais crítica o semiárido nordestino na área denominada “Polígono das Secas”, na qual o índice pluviométrico oscila de 300 a 800 mm/ano e onde ocorre uma grande evaporação causada pela elevada média térmica (SEMIÁRIDO, 2013). De acordo com Santos

(2008), as mudanças climáticas que vêm ocorrendo no planeta poderão aumentar substancialmente as secas no Nordeste brasileiro.

Diante desse panorama é clara a necessidade de se utilizar esse recurso natural com maior racionalidade, seja através de técnicas que permitam um aproveitamento mais eficiente da água em diversas atividades humanas, ou através da busca de fontes alternativas de água (DUARTE, 2006).

Assim, o reuso de água para diversos fins surge como alternativa para aumentar a oferta de água, garantindo economia do recurso e racionalização do uso desse bem (BERNARDI, 2003).

Segundo Mancuso e Santos (2003), reuso de água é o aproveitamento de águas previamente utilizadas, uma ou mais vezes, em alguma atividade humana, para suprir as necessidades de outros usos benéficos, até mesmo o original, podendo ser direto ou indireto, e decorrer de ações planejadas ou não. Tornando-se uma alternativa potencial de racionalização da água, o reuso tende a ser um eficiente instrumento para a gestão dos recursos hídricos no Brasil (BERNARDI, 2003).

No Brasil, o reuso de água é um assunto novo, porém, desde os anos sessenta, a prática do reuso de água já é feita com bastante frequência em muitos outros países (COSTA; BARROS JUNIOR, 2013).

As possibilidades de substituir o uso de água potável por outra água de menor qualidade incluem os usos urbanos, como descargas sanitárias e lavagem de veículos, usos industriais, agricultura, recarga de aquíferos, restauração de habitats e recreação (PINTO et al., 2006).

A utilização de águas residuárias na agricultura é uma alternativa para controle da poluição das águas superficiais e subterrâneas, além de uma maneira de disponibilizar água e nutrientes para as culturas, sendo de grande importância nas regiões áridas e semiáridas, onde a escassez de água faz com que se aproveitem todos os recursos hídricos (SOUZA et al., 2010).

Outros fatores que vieram a contribuir para que, nos últimos anos aumentasse o interesse uso de efluentes de águas residuárias o avanço do conhecimento técnico-cientifico, a legislação ambiental mais rigorosa e atuante, o maior controle da poluição ambiental, com redução de problemas a saúde humana e animal, a diminuição dos custos de tratamento devido à atuação do solo como forma de disposição e fornecimento de nutrientes e matéria orgânica as plantas, reduzindo os custos com fertilizantes químicos comerciais (SANDRI; MATSURA; TESTEZLAR, 2007).

O reuso de água é uma atividade viável e vários são os benefícios provenientes de sua aplicação na agricultura; entre as vantagens do reuso, mencionam-se: a possibilidade de substituição parcial de fertilizantes químicos, com diminuição do impacto ambiental, em função da redução da contaminação dos corpos hídricos; as plantas podem ser beneficiadas não apenas pela água, mas, também, dentro de certos limites, pelos materiais dissolvidos no esgoto doméstico (como matéria orgânica, nitrogênio, fósforo, potássio e micronutrientes) além da economia da quantidade de água direcionada em grandes volumes para a irrigação, que representa a maior demanda de água nas regiões secas (BERNARDI, 2003).

Assim, o aproveitamento de águas residuárias na agricultura é um dos métodos mais recomendados (FONSECA et al., 2007; PIVELI et al., 2008), pois garante a produtividade das culturas, em razão do fornecimento de água e nutrientes (LEAL et al., 2009a), e preserva a qualidade ambiental, por evitar lançamentos diretos destes nos corpos hídricos (WHO, 2006).

A decisão quanto ao reuso de água na agricultura, especialmente na irrigação, deve ser tomada com base em múltiplos aspectos, incluindo os de natureza ambiental, sanitário, cultural, técnico e econômico, de forma que os benefícios decorrentes do reuso superem os custos e riscos envolvidos neste processo (AIROLDI, 2007).

2.3 TÉCNICAS PARA TRATAMENTO DE ESGOTO DOMÉSTICO

O esgoto doméstico é aquele que provém principalmente, de residências, estabelecimentos comerciais, instituições ou quaisquer edificações que dispõem de instalações com banheiros, lavanderias e cozinhas. É constituído por resíduos humanos (fezes e urina) e águas produzidas nas diversas atividades diárias, como asseio corporal, preparo de alimento, lavagem de roupas e utensílios domésticos. São constituídos por água (>99%), contendo geralmente baixas concentrações de material orgânico e inorgânico dissolvido ou em suspensão. Dentre as principais substâncias orgânicas comumente encontradas nos esgotos existem os carboidratos, lignina, gorduras, sabões, detergentes, proteínas e seus produtos de decomposição, além de outras substâncias naturais ou sintéticas, como resíduos de medicamentos (von SPERLING, 2011).

Qualitativamente o esgoto doméstico tem características físicas, químicas e biológicas. As principais características físicas do esgoto doméstico são a temperatura, a cor, o odor, e turbidez. A temperatura é um pouco maior que a da água de

abastecimento, varia de acordo com as estações do ano, e influencia a atividade microbiana, a solubilidade dos gases, a velocidade das reações químicas e a viscosidade do líquido. A cor é diferente para o esgoto fresco e para o séptico, o primeiro é ligeiramente cinza e o outro, cinza escuro ou preto. O odor também se diferencia para estes dois estados do esgoto. Para o séptico, é oleoso e relativamente desagradável, e para o outro, é fétido devido a gases como o sulfídrico. E a turbidez é causada pelos sólidos em suspensão, sendo maior para os esgotos mais frescos (von SPERLING, 2011).

O tratamento de esgoto consiste na estabilização da matéria orgânica e remoção de nutrientes e de microrganismos patogênicos. Assim, o tratamento busca transformar a matéria orgânica em inorgânica (mineralização, e consequente redução de DBO) e a remoção de 22 nutrientes (fósforo e nitrogênio) e de microorganismos patogênicos (coliformes termotolerantes e ovos de helmintos). Não existe um sistema de tratamento padrão para ser utilizado. Vários fatores irão influenciar na escolha das opções tecnológicas, tais como, disponibilidade de área, clima favorável, características do esgoto, qualidade desejada para o efluente, capacidade do corpo receptor de receber a carga poluidora e da legislação referente ao local (von SPERLING, 2011).

Segundo Chernicharo et al. (2006), as principais tecnologias de tratamento de esgotos domésticos nas companhias de saneamento são as seguintes:

Tratamento preliminar: tem por finalidade remover as partículas sólidas grosseiras (granulometrias maiores que 0,25 mm) em suspensão nos esgotos domésticos, por meio de processos físicos. O tempo de retenção hidráulica é da ordem de minutos a horas. Grades, caixas de areia para a remoção de sólidos sedimentáveis e caixas de separação de materiais insolúveis como óleos e graxas pertencem a essa classe;

Tratamento primário: objetiva a redução de sólidos em suspensão com tempo de detenção maior que o dos tratamentos preliminares ou de equipamentos com precipitantes químicos (sulfato de alumínio, polímeros e outros). O tempo de retenção hidráulica é da ordem de horas. Sedimentadores, decanto-digestores, tanque séptico, flotadores e filtros pertencem a essa classe. A eficiência de remoção de sólidos deste nível de tratamento é de 60 a 70%, e a de DBO de 25 a 35%. Em alguns decantadores são usados coagulantes com a intenção de melhorar a eficiência do processo, por outro lado, a Produção de lodo aumenta. A estabilização deste se dá em digestores ou até com cal (von SPERLING, 2011).

Tratamento secundário: tem por finalidade a redução de sólidos dissolvidos e sólidos suspensos muito pequenos. O tempo de retenção hidráulica é da ordem de dias. Os processos biológicos de remoção utilizados classificam-se em: aeróbio - utiliza microrganismos que necessitam continuamente de oxigênio dissolvido, no meio líquido, fornecido por aeradores mecânicos ou pela circulação dos líquidos (lagoas aeradas); e anaeróbio - utiliza microrganismos que não necessitam de oxigênio dissolvido no meio líquido, sendo utilizado em esgotos domésticos com alta carga orgânica (biodigestores, reatores de manta de lodo e lagoas anaeróbias). Neste tratamento é a matéria orgânica, principalmente, que vai ser removida. Sendo que esta pode estar na forma dissolvida, é a DBO solúvel ou filtrada, ou na forma suspensa. Parte desta última já foi removida no tratamento primário (von SPERLING, 2011). Este tratamento tem eficiência de remoção da DBO que oscila de 60 a 90% (DALTRO FILHO, 2004).

Tratamento terciário: objetiva a redução do nível populacional de bactérias patogênicas, bem como a remoção final da matéria orgânica, nitrogênio, fósforo e outros elementos que ainda persistem nas etapas anteriores. O tempo de retenção hidráulica é da ordem de dias. De modo geral, são utilizados quando o esgoto doméstico é lançado em corpos hídricos receptores ou para a reutilização da água. Os filtros biológicos, lagoas de maturação e lagoas de aguapés pertencem a essa classe. Nem sempre é desejável remover nitrogênio e fósforo dos esgotos, pois se o efluente tratado destes for usado para fertirrigação ou o lodo produzido pelo seu tratamento tiver uso agrícola, a presença destes nutrientes em quantidade adequada é imprescindível (von SPERLING, 2011).

Secundário/terciário: visa à remoção de sólidos orgânicos e inorgânicos dissolvidos e microrganismos. O tempo de retenção hidráulica é da ordem de dias. A disposição de águas residuárias no solo pode ser feita por infiltração-percolação, escoamento superficial, fertirrigação e sistema alagado construído.

Alagados construídos são ecossistemas artificiais com diferentes tecnologias, utilizando os princípios básicos de modificação da qualidade da água dos sistemas alagados naturais (SALATI, 2013).

A adoção do SACs (sistema de alagados construídos) aumenta como alternativa viável no tratamento de diversas águas residuárias, devido ao baixo custo relativo de implantação, baixa manutenção e fácil operação (SILVA; ROSTON, 2010). O alagado construído pode ser constituído em sistemas contendo escoamento horizontal superficial

ou subsuperficial, escoamento vertical ou híbrido na qual este último envolve o escoamento vertical e horizontal em um único sistema.

2.4 UTILIZAÇÃO DE ESGOTO DOMÉSTICO TRATADO EM ATIVIDADES AGRÍCOLAS

De acordo com a NBR 13969-97 (ABNT, 1997), o reúso de água de origem doméstica é aplicado a fins não potáveis tais como irrigação de jardins, lavagem de pisos e veículos e outros. Para tal, o efluente é tratado de forma a eliminar os riscos microbiológicos, bem como a sua condição estética para a aceitação do uso no ambiente domiciliar.

Conforme Ayers e Westcot (1999), a agricultura utiliza uma grande quantidade de água e tolera águas de qualidade mais baixa que a indústria e o uso doméstico, portanto, é inevitável que exista a tendência para que se encontre na agricultura a solução dos problemas relacionados com efluentes. O volume de águas residuárias disponíveis para a irrigação é insignificante em comparação com o total usado na agricultura irrigada, mas as consequências da sua utilização são de importância econômica, ambiental e social, onde a necessidade de planejamento é feita para controlar, a longo prazo, os efeitos de salinidade, sodicidade, nutrientes e oligoelementos sobre solos e culturas.

A utilização da água residuária de origem doméstica para fins agrícolas é uma opção favorável do ponto de vista ambiental, já que contribui para diminuição da captação e consequentemente redução nas vazões de lançamento de efluentes. É também uma forma de se tentar amenizar o problema de escassez de recursos hídricos em região semiárida e o elevado custo na construção de novos sistemas de abastecimento.

O reuso de água constitui-se uma prática de caráter benéfico que pode ser observada de várias formas. Segundo van Der Hoeck et al. (2002), a reutilização da água apresenta-se vantajosa quando, com isto, é possível preservar os recursos hídricos disponíveis; contribuir para o aporte e a ciclagem de nutrientes - o que possibilita a diminuição da utilização de fertilizantes químicos e, finalmente, viabilizar a preservação ambiental.

O uso dessas águas na irrigação, quando possível, é sempre uma boa medida, como destino final, ou antes, que atinjam às águas. No mínimo porque, dispostas no solo, sofrem depuração natural e, qualquer que seja o grau de tratamento é menos

maléfico às águas do corpo hídrico receptor. Ademais, constituem fator recondicionante (água, matéria orgânica e nutriente mineral). Já o lançamento de esgotos em corpos hídricos é quase sempre indesejável e insuportável, a não ser que recebam tratamento exigente.

Um projeto de reuso para fins agrícolas necessita de um bom planejamento, e controle da atividade, pois envolve alguns riscos. De acordo com Costa (2010), entre os riscos do reúso não planejado, podem-se destacar: o comprometimento da saúde pública; contaminação do solo; contaminação do lençol freático; acúmulo de nitratos, compostos tóxicos, orgânicos e inorgânicos; a presença de microorganismos patogênicos pode resultar em problemas sanitários pela contaminação de culturas, água, solo e ar; acúmulo de contaminantes químicos no solo; e o aumento significativo de salinidade em camadas insaturadas.

Para Hespanhol (2003), sistemas de reúso de água para fins agrícolas adequadamente planejados e administrados proporcionam melhorias ambientais e melhorias de condições de saúde, entre as quais:

- Minimização das descargas de esgotos em corpos de água ;
- Preservação dos recursos subterrâneos, principalmente em áreas onde há utilização excessiva de aquíferos;
- Conservação do solo pela acumulação de húmus e aumenta a resistência à erosão;
- Aumenta a concentração de matéria orgânica do solo, ocorrendo maior retenção de água; e
- Contribui em áreas carentes, para aumento da produção de alimentos, elevando, assim os níveis de saúde, qualidade de vida e condições sociais de populações associadas aos esquemas de reúso.

Porém, se de um lado, o esgoto doméstico pode apresentar teores de nutrientes suficientes para o atendimento da demanda da maioria das culturas, mas de outro, existe a necessidade de adequado manejo agronômico. Pois nutrientes em excesso, especialmente o nitrogênio, podem comprometer a produtividade e a qualidade das culturas e resultar em problemas ambientais, principalmente a lixiviação de nitratos e a contaminação do lençol freático (BASTOS et al., 2003), uma vez que os mananciais subterrâneos e os corpos d’água superficiais são os receptores finais das águas residuárias lançadas sobre o solo (PINTO et al., 2006).

Conforme Paganini (2003), para o sucesso na utilização de esgotos e efluentes nas atividades agrícolas, é importante saber: quais são os objetivos do sistema e a disposição no solo; quais as características dos esgotos ou do efluente a ser utilizado; e as condições e as características de solo, clima e localização geográfica.

Hespanhol (2003) relata que a aplicação de esgotos domésticos tratados pode ser feita, pelos seguintes métodos de irrigação:

- Por inundação , molhando toda a superfície do solo;
- Por sulcos , molhando apenas uma pequena parte da superfície do solo;
- Por aspersores , molhando de maneira semelhante ao que ocorre durante precipitações pluviométricas;
- Por irrigação subsuperficial, permitindo a saturação do subsolo; e
- Por irrigação localizada, na qual a água é aplicada a cada planta individualmente, e a uma taxa ajustável.

De acordo com Marecos do Monte e Albuquerque (2010), o efluente de esgoto doméstico tratado deve satisfazer os requisitos agronômicos e de saúde pública. Do ponto de vista agronômico, devem-se atender as necessidades hídricas das plantas, e a água não deve ser o veículo de aplicação de substâncias prejudiciais ao seu desenvolvimento (como o excesso de sais dissolvidos, de sódio, de metais pesados, de cloro residual), transportando substâncias benéficas ao desenvolvimento (nutrientes – compostos de nitrogênio e de fósforo – o potássio, zinco, enxofre e boro). A proteção da saúde pública exige que a quantidade de microrganismos indicadores de contaminação fecal seja compatível com o tipo de exposição humana e animal e aos produtos irrigados.

O grupo científico sobre diretrizes para o uso de esgotos estabeleceu critérios básicos para o reúso de efluentes na agricultura (WHO, 2006). As diretrizes estão apresentadas na tabela 1.

Tabela 1 - Diretrizes microbiológicas recomendadas para uso na agricultura de esgotos domésticos tratados.

Categoria	**Condições de reuso**	**Grupos de risco**	**Nematóides intestinais[1] (nº ovos/litro)[2]**	**Coliformes fecais (nº/100mL)[3]**	**Tratamento recomendado para atingir a qualidade microbiológica**
A	Irrigação de culturas a serem ingeridas cruas, campos esportivos e parques públicos.	Operários e consumidores.	≤ 1	≤ 1.000	Lagoas de estabilização em série ou tratamento equivalente.
B	Irrigação de culturas industriais, forragem, pastos e árvores.	Operários	≤ 1	-	Retenção em lagoas de estabilização por 8 a 10 dias ou remoção equivalente de helmintos e coliformes fecais.
C	Irrigação localizada de cultura da categoria B, se não ocorrer exposição de trabalhadores e do público.	Nenhum	-	-	Pré-tratamento requerido pela tácnica de irrigação aplicada, mas não menos do que tratamento primário.

(1) - Ascaris. Trichuris. Necator americans e Ancilostomus duodenalis; (2) - Média aritmética durante o período de irrigação e (3) - Média aritmética durante o período de irrigação.

Fonte: WHO (2006)

2.5 EFEITOS DA APLICAÇÃO DE ESGOTO DOMÉSTICO TRATADO

2.5.1 No Solo

De acordo com Bastos e Bevilacqua (2006) quando se pretende a utilização de esgotos domésticos para irrigação, além dos aspectos de saúde humana e animal, deve ser considerado o seu potencial fertilizante, procurando-se o melhor balanço possível entre a demanda, oferta de água, nutrientes e os efeitos da qualidade da água sobre o solo e as plantas, tais como o potencial de salinização e de comprometimento da capacidade de infiltração do solo, ou a toxicidade à íons específicos.

É consenso que o esgoto tratado quando aplicado ao solo para a irrigação de culturas pode substituir totalmente a água de irrigação convencional e parcialmente a adubação mineral. Entretanto, os esgotos são águas com características particulares que apresentam em sua constituição elementos que promovem alterações em suas características físicas, químicas e biológicas (MONTES et al., 2006).

Os principais atributos do solo afetados pela irrigação com esgoto doméstico tratado são: razão de infiltração, condutividade hidráulica, densidade, porosidade, pH e conteúdo de nutrientes (GUO; SIMS, 2003).

O pH do solo é um dos fatores que mais influencia a disponibilidade de nutrientes às plantas; valores ótimos de pH variam entre 6,0 e 6,5, nesta faixa ocorre a disponibilidade máxima de macronutrientes, bem como limita-se a disponibilidade máxima dos micronutrientes e se reduz a acidez do solo que é uma das principais limitações da produção agrícola (MALAVOLTA et al., 2007).

Os efeitos da aplicação de águas residuárias nas propriedades físicas e químicas do solo só se manifestam após longo período de aplicação e dependem das características do solo e do clima (ERTHAL et al., 2010). Comprovando isto Rattan et al., (2005) observaram após 20 anos de irrigação por canais, aumento de 38-79% no C-orgânico do solo, e decréscimo de 0,4 unidade do valor do pH do solo, bem como aumento nos teores dos micronutrientes Zn (208%), Cu (170%), Fe (170%) no solo. Apesar deste efeito demorado, mudanças verificadas em curto prazo também foram observadas por Barton et al. (2005). Os autores irrigando durante dois anos um solo com efluentes domésticos observaram aumento de 746 a 815 kg ha^{-1} de N e de 283 a 331 kg ha^{-1} de P. Menos da metade do N aplicado estava na forma inorgânica e mais de 70% do P estava na forma prontamente disponível. Qian e Mecham (2005) relataram

aumento de 200% de Na trocável, 24% de Ca trocável, 0,3 unidades no valor do pH e 12% na CTC.

Para Andrade Neto (1997), a aplicação dos nutrientes contidos nos esgotos ou efluentes tratados pode reduzir, ou mesmo eliminar, a necessidade de fertilizantes comerciais. Além disso, a matéria orgânica contida nos esgotos aumenta a capacidade do solo em reter água.

Entretanto, apesar das vantagens, a aplicação de efluentes na agricultura pode apresentar aspectos negativos no que diz respeito às condições de funcionamento e dinâmica do sistema solo. Por exemplo, a adição de Na pela irrigação pode provocar a dispersão de argilas, que por sua vez podem migrar, obstruindo os poros do solo e, consequentemente, influenciar diretamente o fluxo de soluções (MONTES et al., 2006).

Lucena (2006) observou em sua pesquisa que a irrigação com o efluente de esgoto tratado produziu no solo, nas condições do experimento: aumento dos teores de P, matéria orgânica, soma de bases trocáveis, CTC, sódio, percentagem de sódio trocável e consequentemente do pH do solo.

Duarte et al., (2008) em seu experimento irrigando pimentão com efluente de esgoto doméstico tratado, por aproximadamente cinco meses, observou que com exceção da concentração de matéria orgânica, não se constataram-se, em geral, alterações significativas nas concentrações de P, K e pH do solo cultivado.

Parvan e Danesh (2009) irrigaram uma área com efluente de esgoto doméstico durante seis anos e os resultados indicaram que o Cl e o Na aumentaram de forma significativa, em todas as profundidades. O Mg, K e P aumentaram na camada superior do solo (0-0,25m), e somente o N não apresentou alterações significativas.

Deon (2010) conclui que a irrigação com efluente de estação de tratamento de esgoto permitiu reduzir a fertilização nitrogenada recomendada no cultivo da primeira e segunda socas da cana-de-açúcar.

Azevedo e Oliveira (2005) verificaram além do aumento na CTC do solo, elevação nos teores de P, K e matéria orgânica do solo. No trabalho realizado por (FONSECA; MELFI; MONTES, 2005) a aplicação de efluente doméstico reduziu o efeito da acidez causada pela adubação nitrogenada mineral, induziu o aumento da condutividade elétrica e da saturação por bases em um Latossolo vermelho. Santos (2004) observou aumento no teor de Al trocável de um argissolo vermelho, após seis meses de irrigação com efluentes domésticos. Entretanto, não houve prejuízo na produção de matéria seca do capim Tifton-85 irrigado.

Avaliando lâminas excessivas de irrigação de 100 até 200% da evapotranspiração da cultura da cana-de-açúcar, Leal et al. (2009b) observaram aumentos no teor de Na trocável de 2,4 para 6,0 $mmol_c\ kg^{-1}$, na razão de adsorção de sódio (RAS) de 3,6 para 12 $mmol^{1/2}\ L^{-1/2}$ e a porcentagem de sódio trocável (PST) de 8 para 18%, corroborando com os dados obtidos por Herpin et al. (2007). Gloaguen et al. (2007) observaram o aumento da RAS, da condutividade elétrica (CE), além de leve aumento do pH. Leal et al., (2009a) concluíram que houve adição de Na, N e K no solo, sob irrigação com efluentes domésticos tratados cultivado com cana-de-açúcar. Nogueira (2008) constatou o enriquecimento na abundância natural de N no solo e nas folhas de capim irrigado com efluentes domésticos. Paula (2008) observou aumento na concentração de Ca e Na trocáveis e redução da acidez ativa e dos teores de Mg e K trocáveis em um argissolo vermelho. Além disto, relatou aumento do potencial metabólico dos micro-organismos no solo após a irrigação com efluentes de esgoto doméstico tratado.

2.5.2 Nas Plantas

Os nutrientes, ou íons essenciais às plantas, podem ser divididos em dois grupos principais: macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg e S), assim denominados por serem exigidos pelas plantas em grandes quantidades, e micronutrientes (Fe, Cu, Zn, Mn, Ni, Cl, Mo e B), exigidos pelo metabolismo vegetal em pequenas quantidades por participarem principalmente de reações enzimáticas (enquanto os macronutrientes, em geral, são principalmente constituintes de tecidos vegetais) (MOTA; von SPERLING, 2009).

Geralmente, o solo não apresenta todos os nutrientes em quantidades adequadas a cada cultura, sendo necessária a adubação. Diversos trabalhos indicam que a irrigação com esgoto doméstico tratado pode complementar a adubação recomendada às culturas.

Segundo Mota et al., (2006), o esgoto doméstico é constituído de 99% de água e 1% de colóides suspensos e dissolvidos, orgânicos e inorgânicos, incluindo macronutrientes (N, P, K) e parcialmente micronutrientes, portanto a utilização do esgoto na irrigação implica na diminuição de fertilizantes minerais e apresenta-se como importante forma de ciclagem de nutrientes.

No Brasil, algumas pesquisas foram conduzidas para avaliar o efeito da irrigação com efluentes de esgoto em solo agrícola e sua influência nas plantas. Azevedo e Oliveira (2005) observaram que a irrigação com este, quando comparado à testemunha,

aumentou em 47% o peso do pepino fresco. Em condições de casa de vegetação, (FONSECA; MELFI; MONTES, 2005) compararam a aplicação do efluente doméstico, água pura e adubação com o N mineral (uréia) na cultura de milho. Esses autores concluíram que o efluente doméstico substituiu totalmente a irrigação com água e supriu parcialmente as necessidades da fertilização mineral nitrogenada da cultura. Os referidos autores não relataram alteração no acúmulo de S, B, Cu, Fe e Mn na parte aérea do milho, embora tenham encontrado pequeno decréscimo de Zn. Além disso, o Na aumentou quinze vezes no solo e cem vezes na planta.

Piveli e Mendonça (2003) conduzindo experimentos com efluentes domésticos tratados nas culturas de milho e de girassol concluíram que a irrigação com este aumentou o índice de área foliar, a massa seca da parte aérea e a produtividade de grãos na cultura do milho. Marques et al., (2003) apresentaram resultados de experimentos com diversas culturas agrícolas: algodão, girassol, mamona, milho, sorgo forrageiro e pimentão, conduzidos por diversas instituições como USP, UNICAMP, UFCG, UFPE, UFRN e UFV. Esses autores relatam que o efluente doméstico tem potencial para substituir a adubação nitrogenada convencional, pois não houve efeito negativo da aplicação deste na porcentagem de germinação e na velocidade de emergência de plântulas, embora a produtividade das culturas tenha sido ligeiramente inferior quando comparadas com as plantas irrigadas com água convencional. Fonseca (2005) concluiu que a irrigação com esgoto doméstico tratado em substituição à adubação tradicional levou a uma economia de 32 a 81% na dose de fertilizante nitrogenado mineral necessário para o alto rendimento produtivo de capim Tifton-85, sem ocasionar alterações negativas no solo e planta.

Azevedo e Oliveira (2005) observaram que a irrigação com efluente de esgoto tratado aumentou em torno de 50% o peso do pepino fresco em relação a testemunha.

Reami (2008) em sua pesquisa com milho obteve maior produtividade nas plantas irrigadas com efluente de esgoto doméstico tratado e não observou a presença de metais pesados nas espigas. Azevedo et al., (2007), observaram que a irrigação apenas com água residuária promoveu incremento da produtividade do milho forrageiro de 144% em relação à produção da testemunha que utilizou somente a água de abastecimento.

Diversos trabalhos internacionais, também, demonstraram a influência do efluente doméstico tratado na nutrição de plantas. Após um ano de aplicação de efluente doméstico tratado em roseira cultivada em fibra de coco, não foram observadas alterações no comprimento das plantas, coloração e diâmetro das flores, bem como na

concentração de N, P, K, Ca e Mg nas folhas (NIRIT et al., 2006). Por outro lado, houve um aumento de concentração no tecido foliar de 24, 26, 39 e 47% para Mn, Cu, B e Cl, respectivamente. Outros estudos mostraram que a concentração de N e P nas folhas e frutos de berinjela submetidas a irrigações com efluentes domésticos foram superiores às plantas irrigadas com água de abastecimento (AL-NAKSHABANDI et al., 1997). Barton et al. (2005) notaram aumento de 186 para 437 kg ha^{-1} ano^{-1} de N e de 40 para 88 kg ha^{-1} ano^{-1} de P em duas espécies de gramíneas, cultivadas em quatro tipos de solos distintos, irrigados durante dois anos com 2300 mm ano^{-1} de efluentes domésticos.

2.5.3 No desempenho do sistema de irrigação

O objetivo da irrigação é proporcionar umidade adequada para o desenvolvimento das plantas para aumentar a produtividade e superar o efeito dos períodos secos. Qualquer que seja a fonte, a avaliação da água utilizada na irrigação das culturas é indispensável e de importância fundamental (MATTOS, 2003).

Segundo Reichardt (1990), na prática de irrigação, a longo prazo, a qualidade da água é um dos fatores mais importantes. Pequenas quantidades de soluto podem em projetos de irrigação mal elaborados, transformar lentamente uma área fértil em um solo salino de baixa produtividade. Quando o agricultor percebe o problema, muitas vezes é tarde demais, pois a recuperação de solos salinos ou salinizados é difícil, demorada e dispendiosa.

Conforme Ayers e Westcot (1999), utilizando como critério a qualidade da água, a irrigação por gotejamento constitui um dos sistemas que apresenta menores riscos de contaminação, porque existe menor contato do irrigante e da parte aérea das plantas com o efluente. Segundo Cararo (2004), este é um dos sistemas apropriados e em notável expansão, pois apresenta vantagens como a economia de água e energia, possibilidade de automação e fertirrigação. Apresenta baixo risco de contaminação de operadores e do produto final, característica desejável na aplicação de águas residuárias que apresentam organismos nocivos à saúde humana. Uma das principais limitações do gotejamento é o fato de ser susceptível ao entupimento de seus emissores. Este problema varia com as características do emissor e com a qualidade da água utilizada, seja por causas químicas, físicas e biológicas.

Segundo Mattos (2003), na irrigação com água residuária, a escolha do método de irrigação deve ser considerada, tendo em vista os riscos à saúde dos trabalhadores e consumidores, o tipo de contaminação da cultura, as possíveis obstruções no sistema, os maus odores e a presença de aerossóis, além dos fatores econômicos, natureza do solo e sua topografia.

Mara e Cairncross (1989), relacionaram os diferentes riscos de saúde pública para os grupos de riscos, diferentes custos, e diferentes eficiências no uso da água aplicada, servindo como base para levantamento dos benefícios e custos associados a cada método de irrigação, apresentada na tabela 2.

Tabela 2 - Fatores que afetam a escolha do método de irrigação e as medidas protetivas requeridas quando se utiliza esgoto doméstico.

Método de Irrigação	**Fatores que afetam a escolha**	**Medidas protetivas necessárias**
Inundação	-Menores custos; e -Desnecessita precisão no nivelamento do solo.	Proteção completa para operários, consumidores e manuseadores de culturas.
Sulcos	-Custo baixo; e -Necessita de nivelamento.	Proteção para operários, possivelmente necessária para consumidores e manuseadores de culturas.
Aspersão	-Eficiência média no uso da água; e -Não necessita de nivelamento.	Algumas culturas da categoria B, principalmente as árvores frutíferas são excluidas; afastamento mínimo de 100m, de casas e estrada.
Subsuperficial ou Localizada	-Custos elevados; -Elevada eficiência do uso da água; e -Alta produtividade agrícola.	Afastamento mínimo de 100m de casas e estrada; filtragem para evitar obstrução dos emissores.

Fonte: Mara e Cairncross (1989).

Segundo Bernardo et al., (2006), quanto ao aspecto sanitário da água utilizada na irrigação, há três casos a considerar: a contaminação do irrigante durante a condução da irrigação, a contaminação da comunidade ao redor do projeto de irrigação e a contaminação dos usuários dos produtos irrigados. Nos dois primeiros casos, a principal doença é a esquistossomose, cuja contaminação se dá por meio de contato direto do irrigante com a água de irrigação, especificamente no segundo, há as verminoses adquiridas pela ingestão dos hortifrutigranjeiros contaminados pela água de irrigação.

Com relação ao desempenho do sistema de irrigação, o efeito da aplicação do esgoto doméstico está diretamente ao entupimento dos emissores. O entupimento parcial ou total dos emissores proporciona redução da vazão e consequentemente diminuição da uniformidade de aplicação pelo sistema de aplicação (BATISTA et al., 2011a,b). Para Ravina et al.(1992), o entupimento de emissores está relacionado com a qualidade da água, principalmente se for água residuária, apresentando alto teor de constituintes orgânicos que, em algumas situações, pode obstruir os emissores de forma acelerada, interferindo na eficiência de aplicação de água e no processo de limpeza dos filtros. Os nutrientes na água residuária, como P e N, entre outros, podem estimular o desenvolvimento de microrganismos, bactérias e algas, que são igualmente problemáticos no processo de entupimento de emissores.

Para Airoldi (2007), com a utilização de águas residuárias por gotejamento, o entupimento pode ocorrer prematuramente, sendo fundamental a adoção de tratamentos eficientes, economicamente viáveis e ambientalmente seguros para garantir aos sistemas, efluentes de melhor qualidade.

Gilbert e Ford (1986), afirmam que o entupimento é o principal problema associado à irrigação localizada e que ele pode desencorajar os operadores, consequentemente, provocar o abandono do sistema, bem como o regresso para um método de irrigação menos eficiente. As análises da água utilizada para irrigação são imprescindíveis, para que eventuais problemas de entupimento possam ser estimados.

Para Bucks et al., (1979), as principais fontes causadoras de entupimento em sistemas localizados, são de natureza física, sendo partículas do solo (areia, silte, argila) e pequenos animais (aranhas, formigas, ovos de lesmas, etc.), de natureza química, relacionadas à precipitação de elementos como cálcio, magnésio, ferro, e de natureza biológica, relacionado a algas, filamentos, e mucilagem bacteriana.

Gilbert e Ford (1986), apresentam critérios da qualidade da água, em relação ao potencial de entupimento de emissores, conforme apresentado na Tabela 3.

Tabela 3 - Critérios para avaliação do potencial de entupimento de emissores em sistemas de irrigação localizada.

Tipo de problema	**Risco**		
	Reduzido	**Médio**	**Alto**
Físico:			
Sólidos suspensos (mg L^{-1})	< 50	50 - 100	> 100
Químicos:			
pH	< 7,0	7,0 - 8,0	> 8,0
Sólidos dissolvidos (mg L^{-1})	< 500	500 - 2000	> 2000
Manganês total (mg L^{-1})	< 0,1	0,1 - 1,5	> 1,5
Ferro total (mg L^{-1})	< 0,2	0,2 - 1,5	> 1,5
Sulfeto de hidrogênio (mg L^{-1})	< 0,2	0,2 - 2,0	> 2,0
Biológico:			
População bacteriana (nº mL^{-1})	< 10.000	10.000 - 50.000	> 50.000

Fonte: Gilbert & Ford (1986).

A uniformidade de água é afetada pelo valor e variabilidade da vazão dos emissores e dos locais de aplicação de água. A variabilidade da vazão é atribuída às variações de pressão e temperatura, variabilidade de fabricação, tempo de uso e suscetibilidade de variação da vazão com o tempo (ABNT, 1997).

Segundo Keller e Bliesner (1990), o conceito de eficiência abrange dois aspectos básicos: a uniformidade de aplicação e as perdas, que podem ocorrer durante a operação do sistema. Para que a eficiência possa atingir valores altos, é necessário que as perdas durante a operação sejam as menores possíveis e maiores a uniformidade de aplicação e distribuição.

Zocoler (2007) relata que é comum expressar a uniformidade de distribuição de água em uma área por um coeficiente de uniformidade. Quando este coeficiente é maior ou igual a um valor arbitrário, a uniformidade de distribuição é considerada aceitável. As medidas de uniformidade expressam a variabilidade da lâmina de irrigação aplicada na superfície do solo. Uma forma usual de obtê-las é por medidas de dispersão, expressando-as de forma adimensional, pela comparação com o valor médio.

Bernardo et al., (2006), relataram que a uniformidade pode ser expressa por índices ou coeficientes, sendo os mais utilizados o coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC) e o coeficiente de uniformidade de distribuição (CUD). Para se

determinar a uniformidade de distribuição de água de um sistema de irrigação, a vazão dos emissores é medida ao longo das linhas laterais e a pressão de funcionamento no início das linhas de derivação, necessitando de proveta, cronômetro e manômetro.

2.6 LEGISLAÇÃO BRASILEIRA APLICADA AO TRATAMENTO E REÚSO DE ESGOTO DOMÉSTICO

Não somente no Brasil, mas em muitos países, a legislação sobre reúso é inexistente, muito branda ou muito restritiva. Faltam estudos que evidenciem quais as taxas seguras de aplicação para cada cultura e quais os reais danos que cada contaminante pode ocasionar ao sistema solo-água-planta. No Brasil, o CNRH (Conselho Nacional de Recursos Hídricos) lançou, em 2003, uma minuta de resolução, bastante similar à recomendação da Organização Mundial da Saúde, incentivando o reuso de águas de qualidade inferior e estabelecendo os padrões de qualidade dos efluentes para cada modalidade de reúso, o que representou grande passo na legalização da técnica no país. Contudo, tal resolução não entrou em vigor e no ano de 2005 o órgão publicou a Resolução n. 54, que incentiva a prática do reúso em diversas modalidades, mas não estabelecia parâmetros específicos para seu emprego. O CNRH incentiva discussões e estudos sobre o tema, por meio do grupo técnico GT-Reúso, composto por pesquisadores, técnicos e demais interessados no assunto (BERTONCINI, 2008). Em 2006, a CETESB (Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental) do estado de São Paulo publicou a Instrução Técnica n. 31, que define procedimentos internos e critérios mínimos para disciplinar o reúso de água proveniente de Estação de Tratamento de Esgoto Sanitário. São vários os parâmetros estipulados para caracterização do esgoto doméstico tratado. Efluentes que apresentam condutividade elétrica entre 0,75 e 2,9 dS cm^{-1} somente podem ser utilizados para aplicação em solos bem drenados e para o cultivo de espécies tolerantes a salinidade, por exemplo. Essa Instrução estabelece concentrações máximas permitidas para várias substâncias, dentre as mais importantes, destaca-se as concentrações de boro, cloreto e sódio (0,5; 106,5 e 69 miligramas por litro de efluente, respectivamente), que são tóxicas à plantas sensíveis, como as frutíferas.

Quanto aos parâmetros microbiológicos, os valores permitidos de coliformes fecais e ovos de helmintos foram compilados da WHO (2006), que recomenda níveis populacionais de 10^3 a 10^6 de *Escherichia coli* por 100 mililitros de efluente, e iguais ou

inferiores a 1,0 (um) ovo de helminto por litro de efluente, dependendo do tipo de cultura a ser irrigada.

A Resolução do CONAMA nº 357/2005 estabelece parâmetros para a classificação dos corpos hídricos, bem como condições e padrões de lançamento de efluentes tratados (BRASIL, 2005). Esta resolução não aborda a questão do reuso da água, pois para tal, necessitaria adequar-se a questões relacionadas ao tipo de tratamento utilizado e as características do efluente. Nesta destacam-se três artigos sobre a disposição de efluentes em corpos hídricos:

Art. 29. A disposição de efluentes no solo, mesmo tratados, não poderá causar poluição ou contaminação das águas. De acordo com Brasil (2005), águas de classe especial são as águas destinadas ao consumo humano, com desinfecção, à preservação do equilíbrio natural das comunidades aquáticas*;* e, à preservação dos ambientes aquáticos em unidades de conservação de proteção integral, sendo assim, o CONAMA nº 357/2005 veta qualquer lançamento de efluentes que possa poluir essa classe de água, assim, a Classe Especial é realmente especial, no sentido de que visa a preservar o equilíbrio natural de comunidades aquáticas (embora permita o consumo humano), não permitindo o lançamento de efluentes, mesmo que tratados.

Art. 32. Nas águas de classe especial é vedado o lançamento de efluentes ou disposição de resíduos domésticos, agropecuários, de aquicultura, industriais e de quaisquer outras fontes poluentes, mesmo que tratados. Nas demais classes de água, o lançamento de efluentes deverá, simultaneamente: atender às condições e padrões de lançamento de efluentes; não ocasionar a ultrapassagem das condições e padrões de qualidade de água, estabelecidos para as respectivas classes, nas condições da vazão de referência; e atender a outras exigências aplicáveis.

No corpo hídrico em processo de recuperação, o lançamento de efluentes observará as metas progressivas obrigatórias, intermediárias e finais.

Art. 34. Os efluentes de qualquer fonte poluidora somente poderão ser lançados, direta ou indiretamente, nos corpos hídricos desde que obedeçam as condições e padrões previstos neste artigo, resguardadas outras exigências cabíveis: o efluente não deverá causar ou possuir potencial para causar efeitos tóxicos aos organismos aquáticos no corpo receptor, de acordo com os critérios de toxicidade estabelecidos pelo órgão ambiental competente; os critérios de toxicidade previstos não devem se basear em resultados de ensaios ecotoxicológicos padronizados, utilizando organismos aquáticos, e realizados no efluente; e nos corpos hídricos em que as condições e padrões de

qualidade previstos nesta resolução não incluam restrições de toxicidade a organismos aquáticos. As condições de lançamento de efluentes em corpos hídricos são:

- Valores de pH entre 5 a 9;
- Temperatura inferior a 40ºC, sendo que a variação de temperatura do corpo receptor não deverá exceder a 3ºC na zona de mistura;
- Materiais sedimentáveis de até 1 mL L^{-1} em teste de 1 hora em cone Imhoff. Para o lançamento em lagos e lagoas, cuja velocidade de circulação seja praticamente nula, os materiais sedimentáveis deverão estar virtualmente ausentes;
- Regime de lançamento com vazão máxima de até 1,5 vezes a vazão média do período de atividade diária do agente poluidor, exceto nos casos permitidos pela autoridade competente;
- Óleos minerais até 20 mg L^{-1} e óleos vegetais e gorduras animais até 50mg L^{-1}; e - Ausência de materiais flutuantes.

Para serem lançados em corpos hídricos receptores, os efluentes das estações de tratamento de esgoto devem, simultaneamente, atender às condições e padrões de lançamento de efluentes e não ocasionar a ultrapassagem das condições e padrões de qualidade de água, estabelecidos para as respectivas classes, nas condições da vazão de referência. Restrições e medidas adicionais, tanto para os padrões de qualidade das águas como os padrões de lançamento de efluentes, podem ser impostas por órgãos ambientais competentes em condições especiais a qualquer momento.

A Resolução do CONAMA nº 430 de 13 de maio de 2011, que dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução nº 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA (BRASIL, 2011). Nesta resolução destacam-se três artigos sobre a disposição final de efluentes tratados:

Art. 2. A disposição de efluentes no solo, mesmo tratados, não está sujeita aos parâmetros e padrões de lançamento dispostos nesta Resolução, não podendo, todavia, causar poluição ou contaminação das águas superficiais e subterrâneas.

Art. 3. Os efluentes de qualquer fonte poluidora somente poderão ser lançados diretamente nos corpos receptores após o devido tratamento e desde que obedeçam às condições, padrões e exigências dispostos nesta Resolução e em outras normas aplicáveis.

Art. 21. Para o lançamento direto de efluentes oriundos de sistemas de tratamento de esgotos sanitários deverão ser obedecidas as seguintes condições e padrões específicos:

- Valores de pH entre 5 e 9;
- Temperatura inferior a 40°C, sendo que a variação de temperatura do corpo receptor não deverá exceder a 3°C no limite da zona de mistura;
- Materiais sedimentáveis de até 1 mL L^{-1} em teste de 1 hora em cone Inmhoff. Para o lançamento em lagos e lagoas, cuja velocidade de circulação seja praticamente nula, os materiais sedimentáveis deverão estar virtualmente ausentes;
- Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO 5 dias, 20°C) no máximo de 120 mg L^{-1}, sendo que este limite somente poderá ser ultrapassado no caso de efluente de sistema de tratamento com eficiência de remoção mínima de 60% de DBO, ou mediante estudo de autodepuração do corpo hídrico que comprove atendimento às metas do enquadramento do corpo receptor;
- Substâncias solúveis em hexano (óleos e graxas) até 100 mg L^{-1}; e
- Ausência de materiais flutuantes.

No entanto, a Portaria nº 154/2002 do Estado do Ceará (CEARÁ, 2002) dispõe sobre padrões e condições para lançamento de efluentes líquidos gerados por fontes poluidoras. Nesta consta em um único artigo sobre as condições do aproveitamento agrícola do efluente de origem doméstico, como segue:

Art.6º A reutilização de efluentes de origem doméstica em atividades agronômicas (irrigação e drenagem, dessedentação de animais e aquicultura) deverá obedecer aos seguintes limites:

I - Atividades Tipo 1: Irrigação de vegetais ingeridos crus e sem remoção de película, dessedentação de animais e aquicultura, conforme se segue:

a) Coliformes fecais < 1000 CF/100 mL.

b) Ovos de helmintos < 1 ovo/L de amostra

c) Condutividade elétrica < 3000 μS/cm

II - Atividades Tipo 2: aquelas não referidas no inciso anterior, conforme se segue:

a) Coliformes fecais < 5000 CF/100 mL.

b) Ovos de geohelmintos < 1ovo/L de amostra.

c) Condutividade elétrica < 3000 μS/cm.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O presente trabalho foi realizado no período de agosto de 2012 a abril de 2013, no Projeto de Assentamento Rural Milagres em Apodi-RN, situado a 100 km de Mossoró-RN, sob as coordenadas geográficas 5^{o}35’22” de latitude Sul e 37^{o}54’09” de longitude Oeste com altitude de 153 m (Figura 1). De acordo com a classificação de Köppen, o clima predominante é do tipo BSw'h', caracterizado por ser muito quente e semiárido. Os índices pluviométricos situam-se, em média, em torno dos 717,9 mm por ano e temperaturas oscilando em média entre 21,0 ºC a 36,0 ºC em média anual de 28,1 ºC (IDEMA, 2013).

Fonte: Google Earth (2013).

Figura 1 - Localização da área experimental no Assentamento Milagres, Apodi - RN.

O assentamento possui 107 habitantes em 28 residências, gerando diariamente cerca de 20 m^3 de esgoto doméstico. O esgoto é transportado até a estação de tratamento e reuso de água. O sistema consta de um decanto-digestor (tanque séptico e filtros anaeróbios) e sistema de irrigação para aplicação da água residuária doméstica primária.

3.2 CONDUÇÃO DO EXPERIMENTO:

3.2.1 Sobre a cultura utilizada

A cultura plantada foi o Mamoeiro do grupo Formosa, híbrido Tainung 1. Este híbrido foi escolhido por apresentar uma área de cultivo em crescimento na região, inexistência de informações técnicas, principalmente, quanto ao manejo de água residuária, além de possuir boa adaptação às condições climáticas da região e algumas características agronômicas, tais como, tolerância a algumas doenças e pragas.

Em Agosto de 2012 foi realizado o transplantio das mudas, no espaçamento de 2 m entre plantas e 3 m entre linha de plantas. Foram transplantadas duas mudas e feita a sexagem cerca de 80 DAT, deixando uma planta por cova.

3.2.2 O sistema e manejo de irrigação

Foram montadas quatro unidades independentes do sistema Bubbler, para que fosse possível aplicar os tratamentos. Os sistemas foram dimensionados com auxílio do software BUBBLER v 1.1 (DIDAN; REINOLDS; YITAYEN, 1995). Este software determina o diâmetro das tubulações da linha principal, da linha lateral e das mangueiras emissoras que funcionam como emissores do sistema de irrigação, assim como determina, também, a altura que estas mangueiras emissoras devem ficar do solo, levando em consideração a declividade do terreno. Cada unidade do sistema de irrigação foi composto por:

- Linha principal de polietileno flexível de 25 mm com registro e Standpipe (Figuras 2 e 3);
- Linhas laterais de polietileno flexível de 25 mm; e
- Mangueiras emissoras de polietileno flexível de 5 mm de diâmetro (Figura 4).

Fonte: Arquivo do autor (2013).

Figura 2 - Standpipe para controle de pressão.

Fonte: Arquivo do autor (2013).

Figura 3 - Detalhe do registro utilizado para regulagem da vazão (vista superior).

O Standpipe funciona como um manômetro, que regula a pressão da água na entrada das linhas laterais, a qual também é determinada pelo software.

O ajuste das alturas das mangueiras emissoras foi feito utilizando um nível de mangueira. A altura das mangueiras emissoras foi rebaixada 10 cm em relação a aquelas dimensionadas pelo software, pois o funcionamento do sistema era automatizado e a pequena diferença existente entre a pressão de funcionamento do sistema e a pressão no final das mangueiras, em torno de 0,10 mca, ocasionava vazões menores do que a programada quando a pressão oscilava para menos.

O fornecimento dos fluídos era feito por dois conjuntos motobomba de 1,5 CV, sendo um de água potável e outro de água residuária. O referido sistema fornecia água à cultura por meio das mangueiras emissoras (Figura 4), com vazão nominal média de 20 L h^{-1}, utilizando uma mangueira emissora por planta.

Fonte: Arquivo do autor (2013).

Figura 4 - Mangueira emissora conduzindo água da linha lateral até a microbacia.

Foram construídas microbacias ao redor das plantas de 1,5 m de diâmetro, para evitar o escoamento superficial da água e uniformizar a distribuição no solo. Para ancorar as mangueiras emissoras em suas diferentes alturas, foram utilizadas estacas de madeira (Figura 5). Toda rede de tubulação do sistema de irrigação foi enterrada no solo, aproximadamente 0,30 m de profundidade.

Fonte: Arquivo do autor (2013).

Figura 5 - Estaca de madeira servindo de suporte para as mangueiras emissoras.

O manejo da irrigação foi realizado com base na evapotranspiração da cultura, estimando a evapotranspiração de referência (ETo), pelo o método de Penman-Monteith, proposto pela FAO (ALLEN et al., 2006), com os dados obtidos da estação meteorológica automática do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 2013), localizada no município de Apodi-RN.

3.2.3 Águas utilizadas na irrigação

A irrigação constou de duas fontes distintas de água, sendo uma de abastecimento e outra residuária. A fonte de abastecimento era utilizada no abastecimento das residências dos assentados, de origem subterrânea (poço tubular de 150m com captação do aquífero calcário) localizado no próprio assentamento e recalcada por bomba submersa multiestágios com potência de 9,0 cv. A água residuária foi proveniente dos esgotos domésticos das residências do assentamento.

A aplicação da água residuária e da água de abastecimento constava de um sistema dotado dos seguintes componentes:

- Dois reservatórios de 10 m^3 para armazenamento de esgoto doméstico primário (Figura 6a) e água de abastecimento (Figura 6b), confeccionado com concreto armado nas dimensões de 3,5 m de diâmetro por 1,0 m de profundidade;

(a) (b)

Fonte: Arquivo do autor (2013).

Figura 6 - Reservatório para esgoto doméstico primário (a) e reservatório para água de abastecimento (b).

- Dois conjuntos motobomba de 1,5 cv automatizadas e dois filtros de discos com aberturas de 130 µm (Figura 7a) com sistema de automação (Figura 7b), e
- Quatro unidades do sistema de irrigação Bubbler.

(a) (b)

Fonte: Arquivo do autor (2013).

Figura 7 - Conjuntos motobomba com filtros de discos (a) e painel de automação do sistema de bombeamento (b).

3.3 O SISTEMA DE TRATAMENTO DO ESGOTO DOMÉSTICO

A área experimental continha uma miniestação de tratamento do esgoto doméstico bruto que era captado nas residências do assentamento e tratado por meio de um sistema decanto-digestor (Figuras 8 e 9). Este dispositivo foi construído em alvenaria de tijolos e reboco com impermeabilizante nas dimensões de 4,0 m de largura por 8,0 m de

comprimento por 1,80 m de profundidade (profundidade útil 1,30 m), composto pelos seguintes elementos:

- Um tanque séptico com duas câmaras, medindo de 2,0 m de largura por 7,6 m de comprimento por 1,30 m de profundidade útil, tempo de detenção hidráulica de 12 horas, frequência para remoção do lodo a cada dois anos, ocupando um volume de aproximadamente 20 m^3, responsável por proporcionar a remoção de sólidos decantáveis, areia e material gorduroso da água residuária doméstica, efetuando o tratamento denominado preliminar/primário. A divisória entre as câmaras do tanque séptico foi implantada a 2/3 do seu comprimento interno, ou seja, a 5,4 m do ponto de entrada da água residuária doméstica. Para a passagem do efluente de uma câmara para outra foram construídas cinco aberturas, cada uma com dimensões médias de 0,20 m de largura por 0,50 m de altura; e
- Dois filtros anaeróbios de fluxo descendente, cada uma nas dimensões de 1,0 m de largura por 6,0 m de comprimento por 1,30 m de profundidade útil, ocupando os dois um volume de 16,0 m^3. Os filtros anaeróbios foram preenchidos, internamente, com tijolos cerâmicos de oito furos para auxiliar na formação de biofilme para degradação de poluentes químicos e orgânicos presentes no efluente. O tempo de detenção hidráulica estimado para cada filtro foi de duas horas.

O dimensionamento do tanque séptico e dos filtros biológicos foi realizado conforme as recomendações da NBR 7229 (ABNT, 1993).

Fonte: Lemos (2011).

Figura 8 - Vista frontal do decanto-digestor externamente, destacando o tanque séptico e os dois filtros biológicos em processo de construção.

Fonte: Arquivo do autor (2013).

Figura 9 - Vista frontal do decanto-digestor concluído e operando normalmente.

3.4 QUALIDADE DA ÁGUA RESIDUÁRIA E DE ABASTECIMENTO

No mês de abril de 2013, foi realizada uma amostragem tanto da água residuária de origem doméstica quanto da água de abastecimento.

O ponto de amostragem no sistema de tratamento de água residuária de origem doméstica foi feito na saída das mangueiras emissoras do sistema de irrigação, após o sistema de tratamento do decanto-digestor e do filtro de disco. As análises físico-químicas da água residuária doméstica primária e da água de abastecimento seguiram as recomendações do *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (RICE; BAIRD; CLESCERI, 2012).

Para caracterização físico-química do esgoto doméstico e da água de abastecimento, amostras foram coletadas e preservadas em caixas isotérmicas com gelo à temperatura de 4 ^{0}C até a entrada nos laboratórios. Posteriormente, tais amostras foram encaminhadas para o Laboratório de Análise de Solo, Água e Planta da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA) e o Laboratório de Diagnóstico Físico-Químico da Universidade Estadual do Rio Grande do Norte (UERN) onde foram realizadas análises de: pH, condutividade elétrica (CE) dS m^{-1}, turbidez (TB) UNT, sólidos totais (ST) mg L^{-1}, sólidos dissolvidos (SD) mg L^{-1}, sólidos suspensos (SS) mg L^{-1}, ortofosfato (mg L^{-1}), nitrogênio total (mg L^{-1}), nitrato (mg L^{-1}), cálcio (Ca^{2+}) $cmol_c$ L^{-1}, magnésio (Mg^{2+}) $cmol_c$ L^{-1} sódio (Na^{+}) mg L^{-1}, potássio (K) mg L^{-1}, cloreto (mg L^{-1}) e bicarbonato ($mmol_c$ L^{-1}).

Determinou-se também a razão de adsorção de sódio (RAS), pela equação 1, recomendada por ser uma característica que serve como indicadora do perigo de sodicidade e alcalinidade do solo (ALMEIDA, 2010).

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

Em que:

RAS – Relação de adsorção de sódio, $(mmol\ L^{-1})^{0,5}$;

Na - Concentração de sódio solúvel, $mmol_c\ L^{-1}$;

Ca – Concentração de cálcio solúvel, $mmol_c\ L^{-1}$; e
Mg – Concentração de magnésio solúvel, $mmol_c\ L^{-1}$.

Na caracterização microbiológica da água residuária doméstica primária e da água de abastecimento, outras amostras foram coletadas em frascos esterilizados, posteriormente preservadas em caixa isotérmica com gelo e encaminhadas para o Laboratório de Inspeção de Produtos de Origem Animal da Universidade Federal Rural do Semiárido (UFERSA) para identificação e quantificação dos níveis populacionais de coliformes totais (CT) e coliformes termotolerantes (CTe).

3.5 PREPARO DO SOLO E ADUBAÇÃO

O preparo do solo foi realizado por meio de gradagem, abertura de sulcos para enterrar a rede de distribuição de água do sistema de irrigação e abertura de covas nas dimensões de 30 x 30 x 30 cm, para plantio das mudas e adubação de fundação.

A adubação de fundação foi feita em todos os tratamentos e consistiu na aplicação de 8 kg de esterco bovino e 105 gramas de MAP por cova. A adubação de cobertura foi feita somente no tratamento em que as plantas foram irrigadas com 100% de água potável (T1), utilizando 50 g do composto NPK (6-24-12) por cova, aplicados a cada 30 dias.

3.6 CLASSIFICAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DO SOLO ANTES DA APLICAÇÃO DOS TRATAMENTOS

O solo da área experimental foi classificado como Cambissolo TA Eutrófico Típico, conforme as diretrizes estabelecidas pela EMBRAPA (2006). Nas Tabelas 4 e 5 (em apêndice) estão apresentadas as características químicas e físicas, respectivamente, do solo da área experimental antes da aplicação dos tratamentos.

3.7 DESCRIÇÃO DOS TRATAMENTOS E DELINEAMENTO EXPERIMENTAL

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos inteiramente casualizado com quatro tratamentos e seis repetições, onde cada parcela constava de duas plantas, totalizando 24 unidades experimentais com área de 12 m^2 (4 m x 3 m). A área total do experimento foi de 576 m^2 (32 m x 18 m). Os tratamentos consistiram na aplicação de esgoto doméstico primário (EDP) e água de abastecimento (AA) em quatro diferentes proporções: T1 (0% de EDP e 100% de AA, mais adubação química, (testemunha)); T2 (33% de EDP e 67% de AA), T3 (67% de EDP e 33% de AA) e T4 (100% de EDP e 0% de AA), conforme apresentado na Figura 10.

Para análise estatística dos dados referentes ao solo, o experimento foi montado no esquema de parcelas subsubdivididas tendo nas parcelas os quatro tratamentos (T1, T2, T3 e T4), nas subparcelas as profundidades de amostragem (0 a 0,20m e 0,20 a 0,40m) e nas subsubparcelas os tempos de amostragem (0, 120 e 240 dias).

Os dados foram submetidos à análise de variância utilizando-se o teste F a 5% de probabilidade. As equações de superfície de resposta foram escolhidas com base na significância dos coeficientes, empregando-se o teste “t” até 10% de probabilidade, no valor do coeficiente de determinação e no processo em estudo.

O desempenho do sistema de irrigação foi analisado no esquema de parcelas subdivididas, tendo os quatro tratamentos nas parcelas (T1, T2, T3 e T4) e os três tempos de avaliação nas subparcelas (0, 120 e 240 dias).

Os dados foram submetidos à análise de variância utilizando-se o teste F a 5% de probabilidade. Os modelos de regressão foram escolhidos com base na significância dos coeficientes, empregando-se o teste “t” até 10% de probabilidade, no valor do coeficiente de determinação e no processo em estudo.

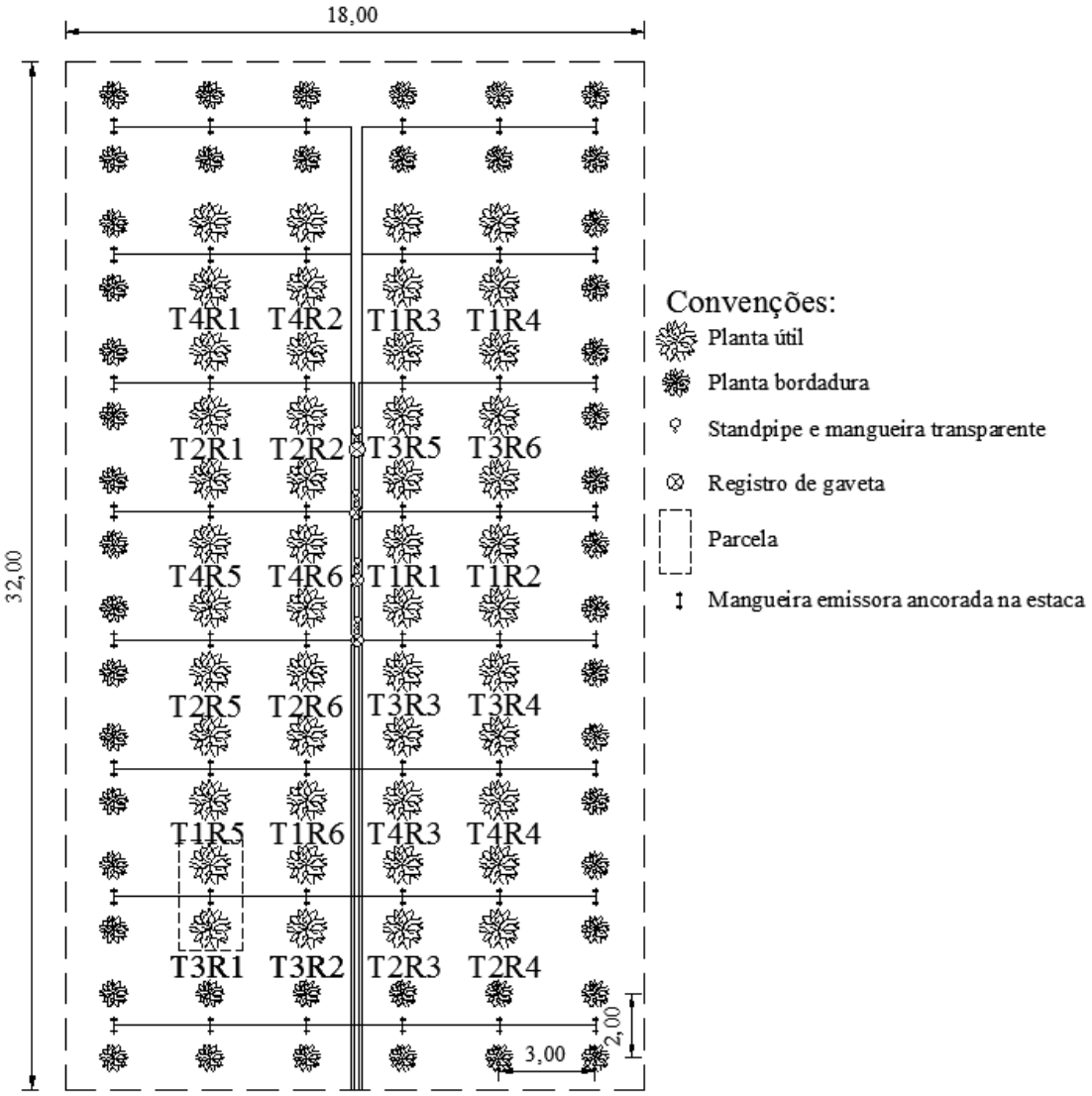


Figura 10 - Croqui da área experimental no Assentamento Milagres, Apodi-RN.

3.8 CARACTERÍSTICAS MONITORADAS:

3.8.1 Desempenho do sistema de irrigação

Foram realizadas três avaliações, para analisar as possíveis alterações no desempenho do sistema de irrigação, ao longo do tempo, sendo a primeira logo após a instalação do sistema no campo e as demais aos 120 e 240 dias de operação. Convertendo estes períodos de tempo em horas de funcionamento, são equivalentes a 0, 64 e 186 horas, respectivamente.

Utilizou-se na avaliação hidráulica, as vazões dos 18 emissores de cada tratamento, com três repetições na coleta da vazão de cada emissor e utilizou-se o valor

médio no calculo dos indicadores de. Foram determinados os seguintes indicadores de desempenho hidráulico:

a) Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC):

Adota o desvio médio como medida de dispersão, expressando a relação da vazão de cada emissor amostrado com a vazão média de todos os emissores. Utilizou-se a equação 2.

$$CUC = \left[1 - \frac{\sum_{i=1}^{n} |q_i - q_m|}{n.q_m} \right].100 \quad (2)$$

Em que:

CUC - Coeficiente de Uniformidade de Christiansen, (%);

q_i - Vazão do í – ésimo emissor, em L h^{-1};

q_m - Vazão média de todos os emissores, em L h^{-1}; e

n - Número de emissores amostrados.

b) Coeficiente de Uniformidade de Distribuição (CUD):

Expressa a relação da vazão média do menor quartil amostrado, com a vazão média de todos os emissores amostrados, utilizou-se a equação 3.

$$CUD = \left[\frac{q_{25\%}}{q_m} \right].100 \quad (3)$$

Em que:

CUD - Coeficiente de Uniformidade de Distribuição, (%);

$q_{25\%}$ - Média das 25% menores vazões, L.h^{-1}.

c) Eficiência de aplicação (EA):

Mostra a eficiência do sistema de irrigação, ou seja, uma relação entre o total de água consumido pelo sistema e o total aplicado as plantas. Utilizou-se como sendo cerca de 90% da uniformidade do sistema, foi estimada pela expressão recomendada por Merrian e Keller (1978).

$$EA = 0{,}95 \cdot CUD \quad (4)$$

Em que:

EA - Eficiência de aplicação, (%).

d) Coeficiente de variação de vazão (CVQ):

$$CVQ = \left[\frac{S_q}{q_m}\right].100 \quad (5)$$

Em que:

Sq – desvio padrão da vazão dos emissores amostrados.

O desvio padrão demonstra a variabilidade das vazões coletadas em relação à vazão média, foi empregada a equação 5 para sua determinação.

$$S_q = \sqrt{\left[\frac{\sum_{i=1}^{n}(q_i - q_m)^2}{n}\right]} \quad (6)$$

e) Grau de entupimento dos emissores (GE):

Para a caracterização da intensidade de obstrução nos emissores, utilizou-se a vazão dos emissores novos e depois dos diferentes tempos de amostragem de aplicação dos tratamentos. Empregou-se a equação (7) a cada unidade do sistema, que também foi utilizada e recomendada por Cararo et al. (2006).

$$GE = \left[1 - \frac{q_{usado}}{q_{novo}}\right].100 \quad (7)$$

Em que:

GE – Grau de entupimento;

q usado – vazão média dos emissores usados, L h^{-1}; e

q novo - vazão média dos emissores novos, L h^{-1}.

f) Variação de vazão (ΔQ):

Quantificou-se a variação de vazão de cada tratamento, por que esta variação influencia diretamente na uniformidade de emissão de água, sendo relação inversamente proporcional com o seu valor, ou seja, quanto maior for o valor da variação de vazão, significa que maior será a discrepância entre as vazões e menor será a uniformidade de distribuição de água pelo sistema de irrigação.

$$\Delta Q = \left[\frac{Q_{máx} - Q_{min}}{Q_{máx}} \right] \cdot 100 \quad (8)$$

Em que:

ΔQ - variação de vazão, %;

Q máx – vazão máxima, L h-1, e

Q mín – vazão mínima, L h-1.

g) Variação de pressão (ΔP):

$$\Delta P = \left[\frac{P_{máx} - P_{min}}{P_{máx}} \right] \cdot 100 \quad (9)$$

Em que:

ΔP - variação de pressão, %;

Pmáx - pressão máxima, cm; e

Pmin - pressão mínima, cm.

g) Coeficiente de variação de Pressão (CVp):

$$CVp = \left[\frac{S_p}{H_{méd.}} \right] .100 \quad (10)$$

Em que:

Sp – desvio padrão das pressões medidas, kgf cm^{-2};

Hméd. – pressão média de cada subunidade avaliada, kgf cm^{-2}.

A pressão na saída de cada emissor foi medida com manômetro artesanal, construído de uma mangueira de 10 mm de diâmetro, transparente, fixada a um tubo de PVC e uma fita métrica, colocando a extremidade do emissor dentro desta mangueira, e a pressão foi convertida na altura da coluna de água dentro da mesma, medida em cm.

Os valores encontrados dos indicadores de desempenho hidráulico (CUC e CUD) foram classificados dentro de um grau de aceitabilidade recomendado por Mantovani (2001).

Tabela 4 - Interpretação dos valores dos coeficientes de uniformidade CUC e CUD.

CLASSIFICAÇÃO	**CUC (%)**	**CUD (%)**
Excelente	> 90	> 84
Bom	80 - 90	68 - 84
Razoável	70 - 80	52 - 68
Ruim	60 - 70	36 - 52
Inaceitável	< 60	< 36

Fonte: Mantovani (2001)

3.8.2 Características físico-químicas e microbiológicas do solo

Amostras de solo foram coletadas em três períodos (0, 120 e 240 dias de aplicação dos tratamentos), para verificação de alterações na concentração das características físico-químicas e microbiológicas. Estas foram coletadas nas 24 parcelas, em duas camadas do solo, de 0,0 a 0,20 e de 0,20 a 0,40m. Em cada parcela foram coletas quatro amostras simples de solo, na faixa molhada dentro da microbacia, pelo sistema de irrigação. Para cada camada de solo, em cada parcela, foi obtida uma amostra composta resultante da mistura das quatro amostras simples. As amostras compostas foram encaminhas para os respectivos Laboratórios da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), onde se determinou:

- Características físico-químicas: pH, condutividade elétrica no extrato de saturação do solo, cálcio, magnésio, potássio, sódio, nitrogênio, matéria orgânica, fósforo, acidez trocável, acidez potencial e também os micronutrientes cobre, ferro, zinco e manganês.

Estas análises físico-químicas foram realizadas no Laboratório de Análise de Solos, Água e Planta da UFERSA, seguindo as recomendações da EMBRAPA (EMBRAPA, 1997; SILVA, 2009).

- Características microbiológicas: para identificação e quantificação dos níveis populacionais de coliformes totais (CT) e coliformes termotolerantes (CTe), amostras foram coletadas em frascos esterilizados, posteriormente preservadas em caixa isotérmica com gelo e encaminhadas para o Laboratório de Poluição e Degradação do Solo da UFERSA.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 CARACTERIZAÇÃO DAS ÁGUAS UTILIZADAS NA IRRIGAÇÃO

4.1.1 Água de abastecimento

Na Tabela 5, estão apresentados os resultados referentes à composição físico-química e microbiológica da água da rede de abastecimento utilizada no estudo.

Tabela 5 - Características físico-químicas e microbiológicas da água de abastecimento utilizada no experimento.

Características	**Valores**
pH	6,65
CE (dS m^{-1})	1,09
Turbidez (UNT)	0,11
Sólidos totais (mg L^{-1})	88,00
Sólidos dissolvidos (mg L^{-1})	56,00
Sólidos Suspensos (mg L^{-1})	32,00
Ortofosfato (mg L^{-1})	0,43
Nitrogênio total (mg L^{-1})	1,74
Nitrato (mg L^{-1})	0,05
Cálcio ($cmol_c$ L^{-1})	0,30
Magnésio ($cmol_c$ L^{-1})	0,40
Sódio (mg L^{-1})	3,85
Potássio (mg L^{-1})	6,38
Cloreto (mg L^{-1})	105,00
Bicarbonato ($mmol_c$ L^{-1})	0,45
RAS (mmol L^{-1})^{0,5}	6,51
Coliformes Totais (NMP mL^{-1})	0,0
Coliformes Termotolerantes (NMP mL^{-1})	0,0

Nota: CE- condutividade elétrica, UNT – unidade nefelométrica de turbidez, NMP – número mais provável.

O valor encontrado do pH da água de abastecimento, foi de 6,65 (Tabela 5) enquadrando-se na faixa de 6,0 a 9,5 estabelecido pela Portaria n^{o} 518/2004 (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2005) para potabilidade da água. De acordo com

Nakayama, Boman e Pitts (2006), o valor médio do pH foi menor que 7,0 sendo o risco de obstrução de gotejadores classificado como baixo.

Segundo a classificação proposta por Gilbert e Ford (1986) o valor do pH encontrado é menor que 7,0, o que segundo os referidos autores representa risco reduzido de entupimentos de emissores utilizados em irrigação localizada.

Com relação à condutividade elétrica da água de abastecimento, o seu valor (1,09 dS m^{-1} apresentado na Tabela 5) atendeu ao padrão de potabilidade da pela Portaria n^{o} 518/2004 (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2005), sendo inferior ao limite de 1,57 dS m^{-1}.

A condutividade elétrica (1,09 dS m^{-1}) da água da rede de abastecimento encontra-se dentro da faixa de 0,8 a 3,1 dS m^{-1} proposta por Capra e Scicolone (1998), apresentando médio risco de obstrução dos gotejadores.

Utilizando a classificação proposta pelo Laboratório de Salinidade dos Estados Unidos apresentada por Bernardo, Soares e Mantovani (2006), o valor encontrado da CE foi classificado como C3S1, salinidade alta e com baixo perigo de alcalinização do solo.

Analisando de forma conjunta, os valores da condutividade elétrica e razão de adsorção de sódio, a água de abastecimento representa risco moderado para dispersão das argilas e consequentemente diminuição da permeabilidade do solo (AYERS; WESTCOT, 1999).

A portaria nº 518 de 25 de março de 2004, do Ministério da Saúde, que regulamenta os padrões de potabilidade para consumo humano indica que o valor máximo permissível para a turbidez na saída de distribuição de água é de 5 UNT, desde que não seja comprometida a qualidade microbiológica da água, sendo assim o valor encontrado para a turbidez neste trabalho (0,11 UNT) atende aos padrões da Legislação.

Os níveis populacionais de coliformes totais e termotolerantes atendem ao padrão de potabilidade estabelecido pela Portaria nº 518/2004 (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2005). Além do mais, a água abastecimento não representa riscos biológicos de obstrução de gotejadores (NAKAYAMA; BOMAN; PITTS, 2006) e de contaminação microbiológica quando da irrigação de cultivos agrícolas (CEARÁ, 2002).

A concentração média de cloreto presente na água de abastecimento atende as recomendações propostas por Ayers e Westcot (1999) para irrigação de cultivos agrícolas vias sistemas de irrigação por superfície e aspersão. Além disso, a concentração média de cloreto atende as recomendações de potabilidade da água (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2005).

Apesar de estarem dentro da faixa normal estabelecida, os valores encontrados nas análises de cloreto e bicarbonato de cálcio favorece a formação de precipitados químicos, tornando o solo mais alcalino e podendo obstruir os emissores com o tempo.

4.1.2 Água de esgoto doméstico primário

Segundo von Sperling (2011), as características físico-químicas das águas residuárias provenientes dos esgotos domésticos variam com o clima, a situação social e econômica e os hábitos da população, que variam de acordo com a época do ano.

Os valores encontrados de vários elementos físico-químicos e microbiológicos que caracterizam a qualidade do esgoto doméstico estão descritos na Tabela 6.

Tabela 6 - Características físico-químicas e microbiológicas do esgoto doméstico primário.

Características	**Valores**
pH	7,7
CE(dS m^{-1})	12,8
Turbidez (UNT)	69,5
Sólidos totais (mg L^{-1})	450,0
Sólidos dissolvidos (mg L^{-1})	428,0
Sólidos Suspensos (mg L^{-1})	22,0
Ortofosfato (mg L^{-1})	7,54
Nitrogênio total (mg L^{-1})	7,82
Nitrato (mg L^{-1})	1,31
Cálcio ($cmol_c$ L^{-1})	0,70
Magnésio ($cmol_c$ L^{-1})	0,90
Sódio (mg L^{-1})	72,84
Potássio (mg L^{-1})	22,04
Cloreto (mg L^{-1})	212,8
Bicarbonato ($mmol_c$ L^{-1})	7,75
RAS (mmol $L^{-1})^{0,5}$	81,4
Coliformes Totais (NMP mL^{-1})	1.100,0
Coliformes Termotolerantes (NMP mL^{-1})	290,0

Nota: CE- condutividade elétrica, UNT – unidade nefelométrica de turbidez, NMP – número mais provável.

A concentração do íon hidrogênio é uma importante característica de qualidade da água, tanto para as águas superficiais quanto para as águas residuárias. Os valores de pH favoráveis á existência da maioria dos organismos biológicos variam de 6 a 9. Desse modo, as águas residuárias que apresentem em sua constituição uma concentração elevada do íon H^+, isto é pH baixo, são difíceis de serem tratadas biologicamente (DUARTE, 2006).

A importância do pH não se dá apenas nas reações biológicas e químicas existentes no tratamento de esgotos. No caso das águas utilizadas para irrigação, quando o pH é muito ácido ou muito básico, pode haver sérios problemas de nutrição e toxicidade para as plantas, bem como problemas de incrustações nos sistemas de irrigação (DUARTE, 2006).

Segundo a classificação proposta Nakayama, Boman e Pitts (2006), o valor do pH encontrado para o esgoto doméstico primário (7,7) representa risco médio de entupimentos de emissores utilizados em irrigação localizada.

A faixa de pH adequado à irrigação está entre 6,5 e 8,4, isto é, efluentes de sistemas de tratamento de esgotos fora dessa faixa podem causar desequilíbrios nutricionais à planta (AYERS; WESTCOT, 1990).

Os valores médios típicos do pH para esgoto doméstico bruto variam de 6,7 a 7,5. O valor do pH pode variar em função do tipo de processo e configuração utilizada no tratamento do esgoto.

O valor do pH encontra-se dentro da faixa especificada (pH entre 5 e 9) de acordo com a recomendação estabelecida pela Resolução nº 357/2005 do CONAMA que dispõem entre outros sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes tratados em corpos hídricos (BRASIL, 2005).

O mesmo não ocorreu com a condutividade elétrica, que apresentou valores superiores ao limite de 3,0 dS m^{-1}, estabelecido para reuso de água em cultivos agrícolas (CEARÁ, 2002). A mesma apresentou risco muito alto de obstrução de emissor tipo gotejador conforme os critérios propostos por Capra e Scicolone (1998).

A capacidade da água de conduzir uma corrente elétrica é tanto maior quanto maior for a concentração de eletrólitos, ou seja, a salinidade da água é diretamente relacionada com a concentração de sais solúveis e pode ser medida pela condutividade elétrica (CE).

A determinação da condutividade das águas empregadas na irrigação tem grande importância, principalmente no caso de águas residuárias que podem conter altas

concentrações de sais. A falta de controle em relação à salinidade das águas pode acarretar problemas futuros, como a queda de produtividade e degradação das áreas irrigadas.

Entretanto, a salinidade (CE) é uma característica que não deve ser considerada isoladamente, devendo ser consideradas as condições intervenientes como um todo, já que essas se alteram de local para local. As águas residuárias que possuem uma condutividade elétrica (CE) relativamente elevada, quando analisadas isoladamente, podem não representar grandes riscos, se consideradas ou interpretadas às condições locais que possam mascarar ou amenizar a disposição dessas águas. Junto com a condutividade elétrica (CE), deve-se monitorar, também, as concentrações de cloretos, sódio, cálcio, magnésio, bicarbonatos e sulfatos (DUARTE, 2006).

Utilizando a classificação proposta pelo Laboratório de Salinidade dos Estados Unidos apresentada por Bernardo, Soares e Mantovani (2006), que é baseada na condutividade elétrica (CE), como indicadora do perigo de salinização do solo, e na razão de adsorção de sódio (RAS), como indicadora do perigo de alcalinização ou solidificação do solo, o efluente pode ser classificado como C4S4, ou seja, de salinidade muito alta e com alto perigo de alcalinização do solo.

Analisando de forma conjunta os valores médios da condutividade elétrica e razão de adsorção de sódio, o efluente representa risco moderado para dispersão das argilas e consequentemente diminuição da permeabilidade do solo (AYERS; WESTCOT, 1999).

Elevadas concentrações de sódio ou potássio trocável, relativamente ao cálcio e magnésio, especialmente quando a concentração salina for reduzida, promovem dispersão dos colóides do solo. O material disperso, sob a ação mecânica das gotas d'água, se orienta e se movimenta para o interior dos poros bloqueando a passagem da água e do ar. Ocorre a formação de uma densa e fina camada superficial, que, de forma semelhante ao selamento e a compactação do solo, constitui impedimento à infiltração da água, difusão de gases e emergência das plântulas. A acentuada redução da infiltração, provocada pela diminuição da permeabilidade, dificulta a reposição de água ao solo através de irrigação. A limitação da troca de gases entre o solo e o ar atmosférico pode restringir a oxigenação da zona radicular, e a aeração deficiente pode afetar adversamente a cultura (MATOS, 2007).

A turbidez representa o grau de interferência que há na passagem da luz através da água, conferindo a mesma uma aparência turva e esteticamente desagradável e depende da concentração de sólidos em suspensão, presente nas aguas, que podem ser de origem

antropogênica, os sólidos em suspensão podem servir de abrigo para os microorganismos patogênicos, diminuindo a eficiência dos processos de desinfecção, sobretudo, quando se utiliza radiação ultravioleta (DUARTE, 2006).

Em relação às características microbiológicas presentes no esgoto doméstico com o tratamento preliminar/primário o risco biológico de obstrução de emissores foi considerado baixo (menor que 10.000 UFC por mL), conforme Nakayama, Boman e Pitts (2006).

De acordo com Ceará (2002), os valores médios de coliformes totais (1.100,0 NMP 100 mL^{-1}) e coliformes termotolerantes (290,0 NMP 100 mL^{-1}) foram bem inferiores ao valor de 5.000 NMP 100 $mL^{-1,}$ indicando que não há risco de contaminação microbiológica para uso deste efluente em cultivos agrícolas não consumidos crus.

As concentrações de sólidos suspensos não foram tão discrepantes em relação às águas resíduárias em geral, porém, ao se analisar o valor de sólidos totais, encontra-se um valor muito elevado, o que se pode concluir que esse tipo de resíduo líquido pode causar aumento da turbidez e da coloração de corpos hídricos, bem como o entupimento dos macroporos das camadas superficiais do solo, causando o selamento superficial dos solos que recebem esses resíduos (MATOS, 2006).

A concentração de sólidos suspensos no efluente foi de 22 mg L^{-1}, sendo inferior ao limite de 50 mg L^{-1} estabelecido na Portaria n^{o} 154/2002 do Estado do Ceará (CEARÁ, 2002) para lançamento de efluentes tratados em corpos hídricos receptores. Ainda, com relação aos sólidos suspensos, a concentração média presente no efluente representa risco reduzido de obstrução de emissores utilizados em irrigação localizada conforme Gilbert e Ford (1986), a mesma classificação também enquadra os sólidos dissolvidos.

Segundo Jenkins e Hermanowcicz (1991), do nitrogênio total existente nos esgotos domésticos, aproximadamente 40% está na forma de amônia e 60% na forma de nitrogênio orgânico. As concentrações e formas do nitrogênio dependem do tipo de tratamento e do tipo de processo que são utilizados.

Para as plantas, o nitrogênio é um nutriente estimulante de crescimento e, quando contido nas águas de irrigação, exerce o mesmo efeito do nutriente utilizado como fertilizante. Entretanto, quantidades elevadas desse elemento podem causar crescimento desordenado das plantas e retardamento da maturação dos frutos, propiciando colheitas de baixa qualidade. O valor encontrado de Nitrogênio total (Tabela 6) pode suprir

parcialmente a nutrição do mamoeiro (EMBRAPA, 2004) e estar dentro do limite estabelecido na legislação estabelecida pela resolução nº 357/2005 do CONAMA.

Analisando os dados de nitrato verificou-se que o valor foi inferior aos obtidos por Moura et al. (2011) e Reinaldo et al. (2012) que desenvolveram trabalhos semelhantes. Deve-se ressaltar que a concentração do efluente foi inferior ao limite ambiental de 10 mg L^{-1} apresentado por Feigin, Ravina e Shalhevet (1991) para disposição de águas residuárias no solo como fertirrigação.

Segundo Capra e Scicolone (1998), as concentrações do cálcio e magnésio presentes no efluente representam baixo risco de obstrução de gotejadores quanto da aplicação via sistema de irrigação por gotejamento. No trabalho realizado por Batista, Soares e Santos (2006), determinaram-se concentrações médias de cálcio e magnésio de 0,37 e 0,87 $mmol_c$ L^{-1} em esgoto doméstico terciário, obtendo-se valores inferiores ao encontrado neste estudo.

4.2 DESEMPENHO DO SISTEMA DE IRRIGAÇÃO

A análise estatística mostrou não haver alteração significativa nos indicadores de desempenho hidráulico na interação das proporções de esgoto doméstico primário (EDP) com o tempo de funcionamento do sistema de irrigação, ou seja, a qualidade da água residuária não influenciou significativamente no desempenho do sistema Bubbler, podendo ser utilizada neste sistema sem nenhuma restrição. Os indicadores de desempenho foram mais sensíveis às causas hidráulicas do próprio sistema, o que pode ser explicado pela alta variabilidade na qualidade de fabricação das mangueiras emissoras. No entanto, determinou-se o efeito do tempo de funcionamento do sistema, para cada indicador, em cada proporção de EDP utilizada (Tabela 11 em apêndice).

4.2.1 Coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC)

Constatou-se, na Figura 11, que os valores médios do Coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC), no tempo inicial (0 hora) das subunidades de irrigação sob os tratamentos T1, T2, T3 e T4 foram de 91,6; 87,1; 88,5 e 88,4%, respectivamente, sendo classificados segundo Mantovani (2001) como excelente o T1 e os demais como bom.

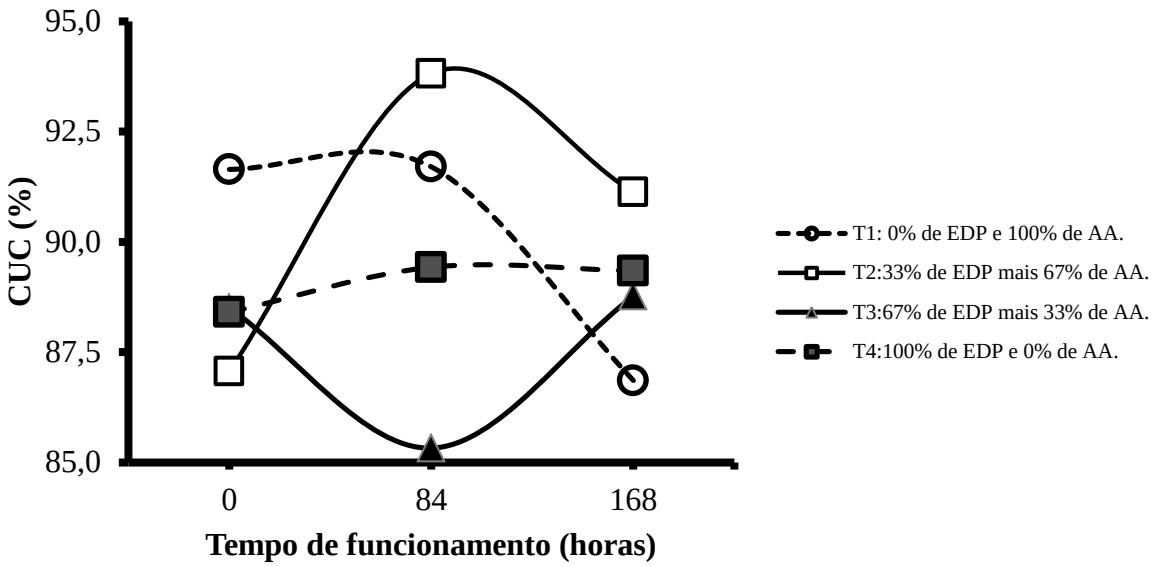


Figura 11 - Valores médios do CUC, ao longo do tempo de funcionamento do sistema de irrigação, operando com diferentes proporções de esgoto doméstico primário (EDP) e água de abastecimento (AA).

Notou-se, após 168 h de operação das subunidades de irrigação sob os tratamentos T1, T2, T3 e T4, que os valores de CUC variaram para 86,9; 91,1; 88,8 e 89,3%, respectivamente, sendo classificados por Mantovani (2001) como bom (T1, T3 e T4), e excelente (T2).

Segundo Merrian e Keller (1978), o sistema de irrigação que apresenta o valor de CUC superior a 88% pode ser utilizado para irrigação de frutíferas ou até mesmo culturas de alto rendimento econômico, com sistema radicular pouco profundo.

A análise de regressão (Tabela 11 em apêndice) mostrou não haver efeito significativo do tempo de funcionamento do sistema sobre o CUC em nenhuma proporção de EDP, sendo este melhor representado pelo respectivo valor médio.

Estabelecendo comparação entre os tempos inicial e final notou-se redução no valor do CUC de 5,2% para a subunidade de irrigação sob o tratamento T1 e para o T2, T3 e T4, notou-se aumento de 4,7; 0,3 e 1,1%. Esta redução se deve as características de fabricação do emissor (mangueiras emissoras) de possuirem alto coeficiente de variação de vazão, causada principalmente pela despadronização dos diâmetros.

A redução no valor do CUC foi inferior à obtida por Costa (2012) com sistemas de irrigação por gotejamento aplicando esgoto doméstico primário durante 91 h de operação, o que ressalta a adequacidade deste sistema para o uso com águas de

qualidade inferior, devido o seu baixo risco potencial de entupimento de emissores comparado a outros sistemas localizados.

4.2.2 Coeficiente de uniformidade de Distribuição (CUD)

Constatou-se, na Figura 12, que os valores médios do Coeficiente de uniformidade de Distribuição (CUD), no tempo inicial (0 h) das subunidades de irrigação sob os tratamentos T1, T2, T3 e T4 foram de 85,5; 77,1; 79,7 e 86,4%, respectivamente, sendo classificados segundo Mantovani (2001) como excelente (T1 e T4) e como bom (T2 e T3).

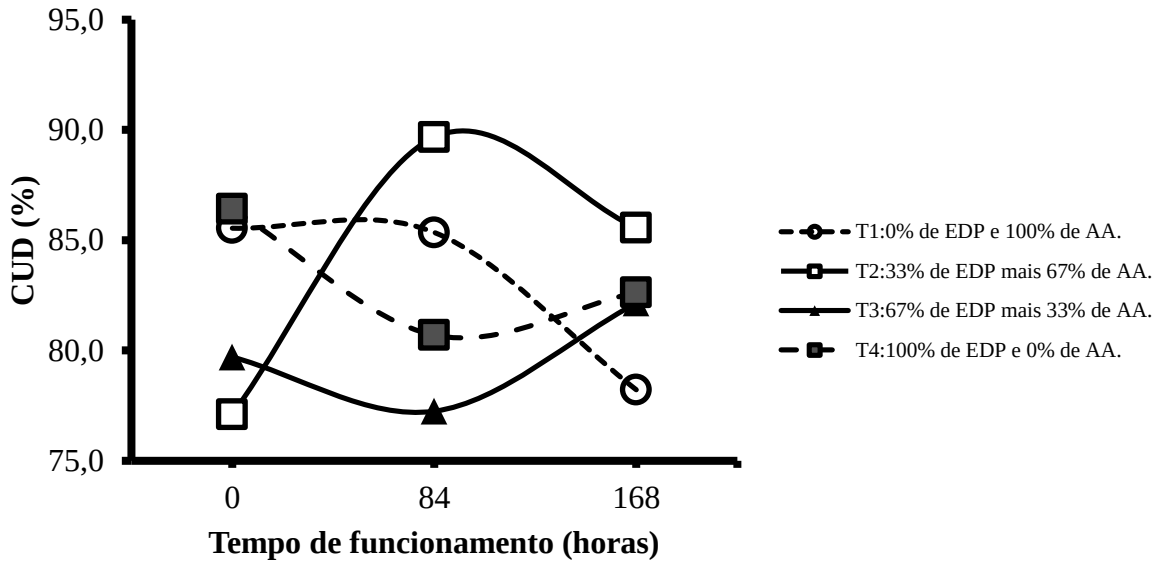


Figura 12 - Valores médios do CUD, ao longo do tempo de funcionamento do sistema de irrigação, operando com diferentes proporções de esgoto doméstico primário (EDP) e água de abastecimento (AA).

Notou-se, após 168 h de operação das subunidades de irrigação sob os tratamentos T1, T2, T3 e T4, que os valores de CUD variaram para 78,2; 85,6; 82,1 e 82,6%, respectivamente, sendo classificados por Mantovani (2001) como bom, excelente, bom e bom.

Conforme a classificação da ASAE (1996), o valor médio dos coeficientes de uniformidade de distribuição (CUD) foi considerado de boa aceitabilidade, podendo

inferir que o sistema de irrigação “Bubbler” foi hidraulicamente bem dimensionado pelo software BUBBLER v.1.1.

A análise de regressão (Tabela 11 em apêndice) mostrou haver efeito quadrático do tempo de funcionamento do sistema sobre o CUD, em todas as proporções de EDP.

Estabelecendo comparação entre os tempos inicial e final notou-se redução no valor do CUD de 8,6 e 4,4% para as subunidades de irrigação sob os tratamentos T1 e T4, e para o T2 e T3 percebeu-se aumento de 11,0 e 3,1%, respectivamente.

As reduções nos valores do CUD foram superiores às obtidas por Batista et al. (2011a) com sistemas de irrigação por gotejamento aplicando esgoto doméstico primário, durante 500 h de operação.

4.2.3 Eficiência de Aplicação (EA)

Constatou-se, na Figura 13, que os valores médios da Eficiência de Aplicação (EA), no tempo inicial (0 h) das subunidades de irrigação sob os tratamentos T1, T2, T3 e T4 foram de 81,3; 73,2; 75,7 e 82,1%, respectivamente, sendo classificados segundo Bernardo et al. (2006) como bom (T1 e T4) e regular (T2 e T3).

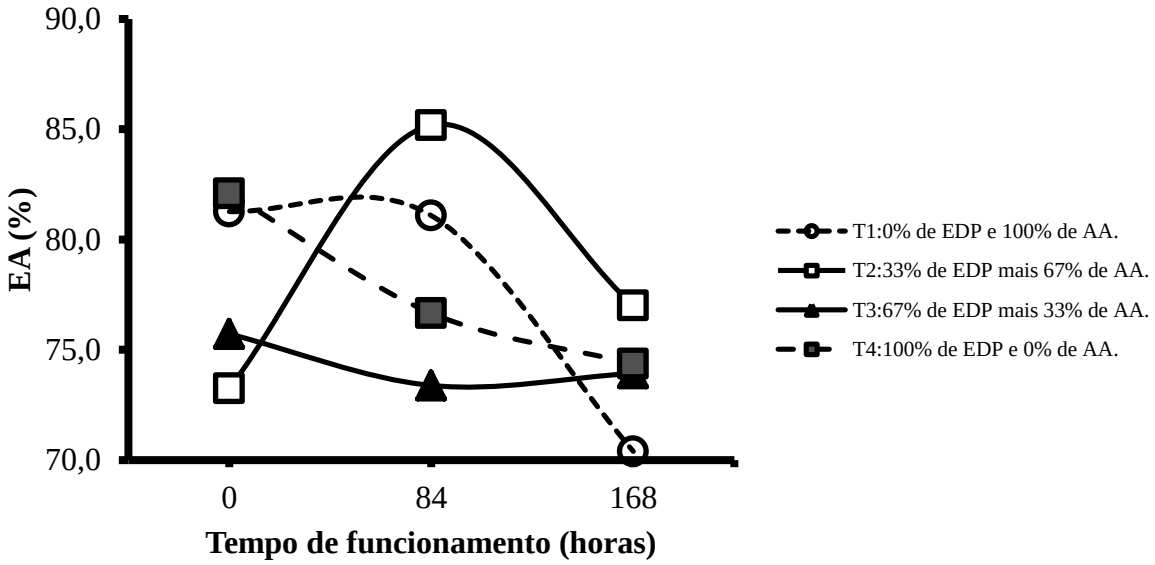


Figura 13 - Valores médios da EA, ao longo do tempo de funcionamento do sistema de irrigação, operando com diferentes proporções de esgoto doméstico primário (EDP) e água de abastecimento (AA).

Notou-se, após 168 h de operação das subunidades de irrigação sob os tratamentos T1, T2, T3 e T4, que os valores da EA variaram para 70,4; 77,0; 73,9 e 74,4%, respectivamente, sendo classificados por Bernardo et al. (2006) como regular.

A análise de regressão (Tabela 11 em apêndice) mostrou haver efeito quadrático do tempo de funcionamento do sistema sobre a EA, em quase todas as proporções de EDP, com exceção do T3.

Estabelecendo comparação entre os tempos inicial e final observou-se redução no valor da EA de 13,4; 2,4 e 9,4% para as subunidades de irrigação sob os tratamentos T1, T3 e T4, e para o T2 notou-se aumento de 5,1%.

4.2.4 Coeficiente de Variação de Vazão (CVQ)

Constatou-se, na Figura 14, que os valores médios do Coeficiente de Variação de Vazão (CVQ), no tempo inicial (0 h) das subunidades de irrigação sob os tratamentos T1, T2, T3 e T4 foram de 10,8; 15,6; 15,6 e 14,0%, respectivamente.

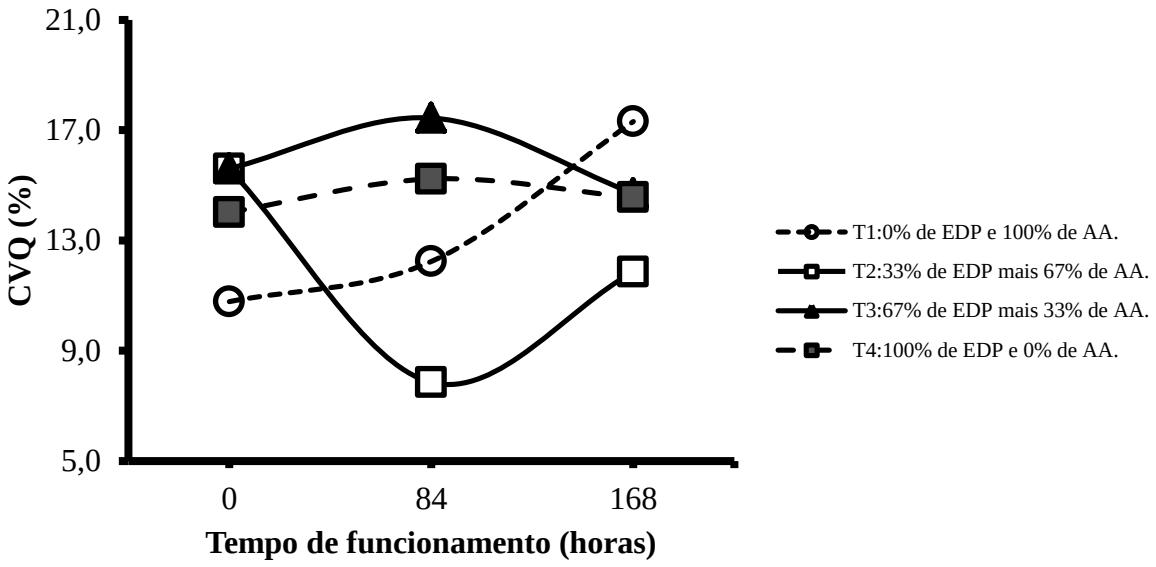


Figura 14 - Valores médios do CVQ, ao longo do tempo de funcionamento do sistema de irrigação, operando com diferentes proporções de esgoto doméstico primário (EDP) e água de abastecimento (AA).

Observou-se após 168 h de operação das subunidades de irrigação sob os tratamentos T1, T2, T3 e T4, que os valores do CVQ variaram para 17,3; 11,9; 14,7 e 14,6%, respectivamente.

A análise de regressão (Tabela 11 em apêndice) mostrou haver efeito quadrático do tempo de funcionamento do sistema sobre o CVQ, somente na proporção de EDP do T2.

Estabelecendo comparação entre os tempos inicial e final evidenciou-se redução no valor do CVQ de 23,9; 5,7% para as subunidades de irrigação sob os tratamentos T2 e T3 e para o T1 e T4 notou-se aumento de 60,6; e 3,8%, respectivamente, sendo classificados pela norma ASAE EP 405 (ASAE STANDARDS, 2003) como razoável.

4.2.5 Grau de entupimento dos emissores (GE)

Constatou-se, na Figura 15, que os valores médios do grau de entupimento dos emissores (GE), no tempo inicial (84 h) das subunidades de irrigação sob os tratamentos T1, T2, T3 e T4 foram de 6,7; 1,5; 11,4 e 2,6%, respectivamente.

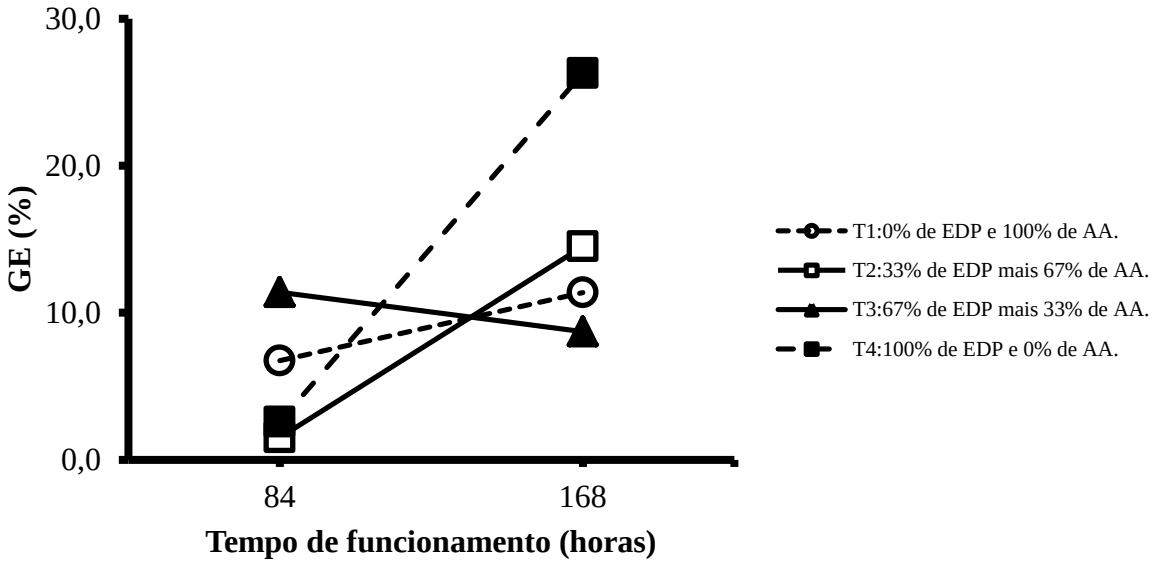


Figura 15 - Valores médios do GE, ao longo do tempo de funcionamento do sistema de irrigação, operando com diferentes proporções de esgoto doméstico primário (EDP) e água de abastecimento (AA).

Verificou-se após 168 h de operação das subunidades de irrigação sob os tratamentos T1, T2, T3 e T4, que os valores do GE variaram para 11,4; 14,5; 8,7 e 26,3%, respectivamente.

Estabelecendo comparação entre os tempos inicial e final evidenciou-se redução no valor do GE de 23,5% para a subunidade de irrigação sob o tratamento T3, e para o T1, T2 e T4 notou-se aumento de 68,6; 856,5 e 913,4%, respectivamente.

Pletsch et al. (2009), também, obtiveram resultados semelhantes, ao observar alteração no comportamento hidráulico de gotejadores após 1000 h de aplicação de água residuária proveniente de esgoto doméstico tratado, onde estes reduziram a vazão com o passar do tempo de aplicação e com o aumento da proporção de esgoto doméstico tratado.

4.2.6 Variação de Pressão (ΔP) e Variação de Vazão (ΔQ)

Constatou-se, na Figura 17, que os valores médios de variação de pressão (ΔP), no tempo inicial (0 h) das subunidades de irrigação sob os tratamentos T1, T2, T3 e T4 foram de 41,3; 24,6; 30,2 e 37,5%, respectivamente.

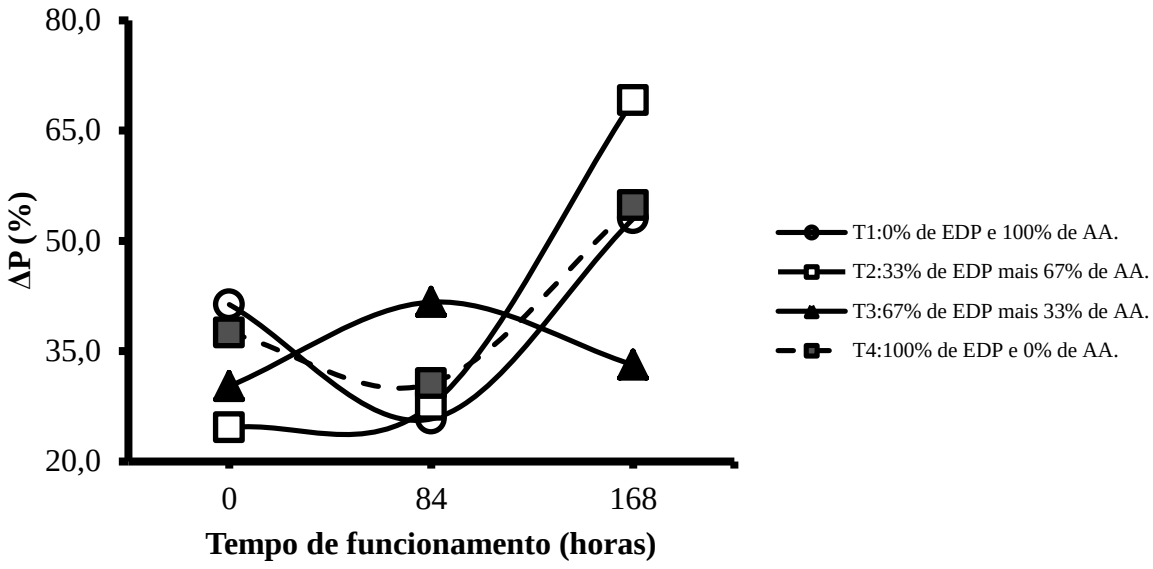


Figura 16 - Valores médios da ΔP, ao longo do tempo de funcionamento do sistema de irrigação, operando com diferentes proporções de esgoto doméstico primário (EDP) e água de abastecimento (AA).

Observou-se após 168 h de operação das subunidades de irrigação sob os tratamentos T1, T2, T3 e T4, que os valores da ΔP variaram para 53,0; 69,1; 33,1 e 54,8%, respectivamente.

A análise de regressão (Tabela 11 em apêndice) mostrou haver efeito quadrático do tempo de funcionamento do sistema sobre a ΔP em todas as proporções de EDP.

Estabelecendo comparação entre os tempos inicial e final notou-se aumento da ΔP de 28,3; 181,1; 9,6 e 46,1%, para o T1, T2, T3 e T4, respectivamente.

Constatou-se, na Figura 18, que os valores médios Variação de Vazão (ΔQ), no tempo inicial (0 h) das subunidades de irrigação sob os tratamentos T1, T2, T3 e T4 foram de 33,1; 44,7; 41,3 e 40,4%, respectivamente.

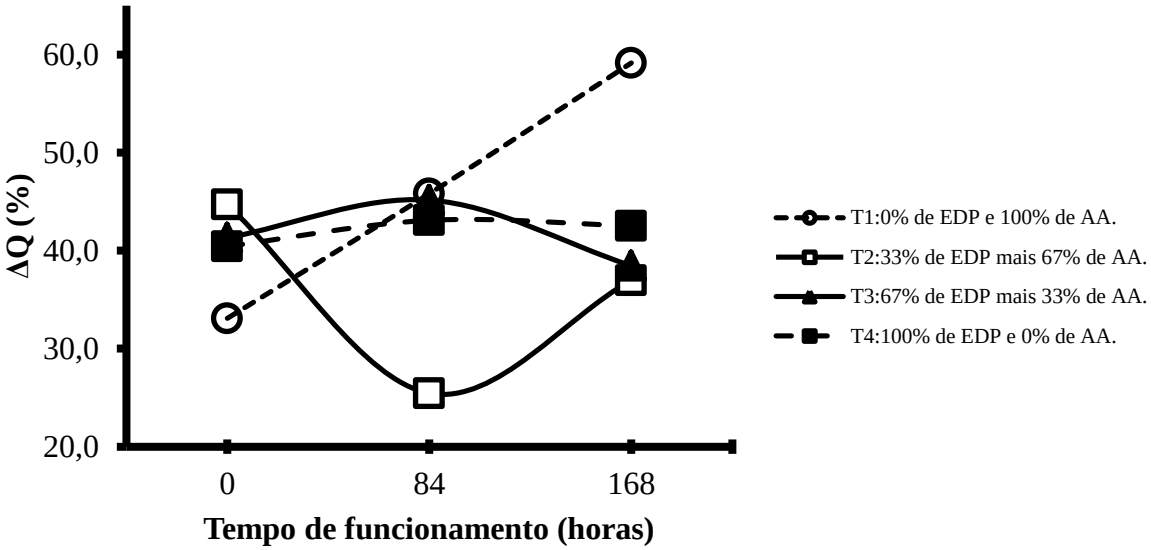


Figura 17 - Valores médios da ΔQ, ao longo do tempo de funcionamento do sistema de irrigação, operando com diferentes proporções de esgoto doméstico primário (EDP) e água de abastecimento (AA).

Notou-se, após 168 h de operação das subunidades de irrigação sob os tratamentos T1, T2, T3 e T4, que os valores da ΔQ variaram para 59,1; 37,0; 38,5 e 42,5%, respectivamente.

A análise de regressão (Tabela 11 em apêndice) mostrou haver efeito quadrático do tempo de funcionamento do sistema sobre a ΔQ nas proporções de EDP utilizadas no T1 e T2.

Estabelecendo comparação entre os tempos inicial e final notou-se redução no valor da ΔQ de 17,2 e 6,9%, para o T2 e T3, e aumento de 78,7 e 5,2% para o T1 e T4, respectivamente. No trabalho realizado por Batista et al. (2010) com esgoto doméstico terciário constatou-se redução de 5% na vazão inicial dos gotejadores após 120 h de operação do conjunto de irrigação em campo.

Segundo Talens (2009), variações de pressões influenciam na vazão dos emissores em razão da sua sensibilidade; sendo assim, outra causa que pode estar associada às variações das vazões dos emissores durante o ensaio, é a variação de pressão, o que foi demonstrado na Figura 17.

Quanto à dispersão absoluta dos valores de pressão e vazão obtidos ao longo da unidade de irrigação, observado nas Figuras 16 e 17, contatou-se que foram superiores aos recomendados por Keller e Karmelli (1974), que é de até 10% e 20% para vazão e pressão, respectivamente. Podem-se atribuir como principais fatores responsáveis por esse comportamento, além da baixa qualidade dos tubos emissores, a não consideração, embora pequena, da declividade existente no terreno, ou mesmo, alguma diferença ocorrido por ocasião na calibração das alturas dos tubos emissores, em relação ao que foi estabelecido no dimensionamento. Esta fase da montagem do sistema de irrigação "Bubbler" no campo requer muita atenção, pois, cada tubo emissor do sistema tem altura diferente em relação à superfície do solo dos demais.

4.2.7 Coeficiente de Variação de Pressão (CVp)

Constatou-se, na Figura 18, que os valores médios do Coeficiente de Variação de Pressão (CVp), no tempo inicial (0 h) das subunidades de irrigação sob os tratamentos T1, T2, T3 e T4 foram de 70,8; 26,6; 39,1 e 53,8%, respectivamente.

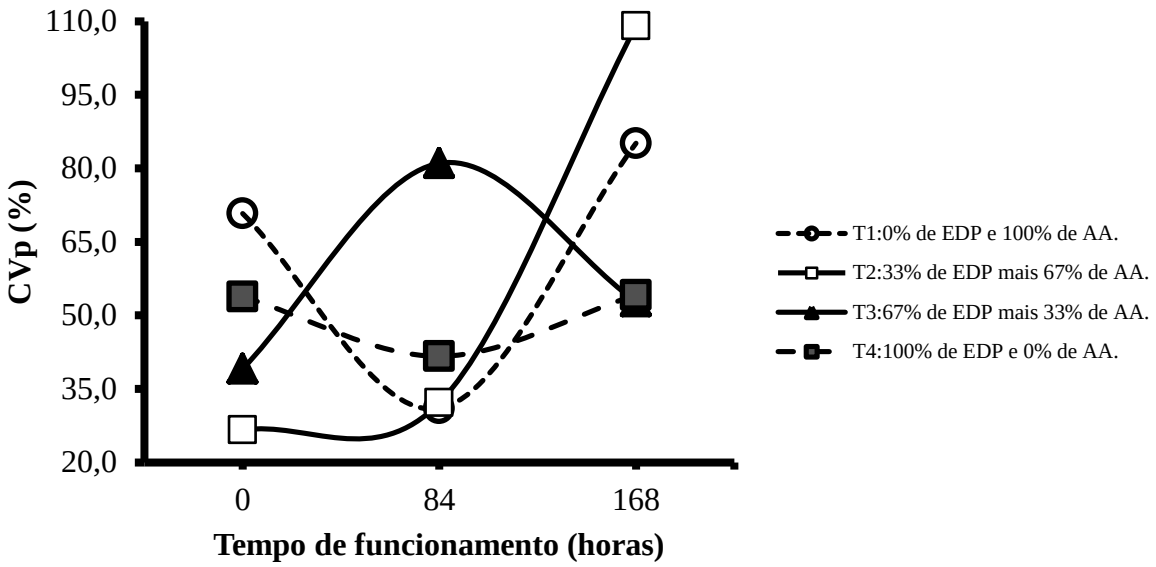


Figura 18 - Valores médios do CVp, ao longo do tempo de funcionamento do sistema de irrigação, operando com diferentes proporções de esgoto doméstico primário (EDP) e água de abastecimento (AA).

Notou-se, após 168 h de operação das subunidades de irrigação sob os tratamentos T1, T2, T3 e T4, que os valores do CVp variaram para 85,1; 109,1; 52,8 e 54,2%, respectivamente.

A análise de regressão (Tabela 11 em apêndice) mostrou haver efeito quadrático do tempo de funcionamento do sistema sobre a CVp em todas as proporções de EDP.

Estabelecendo comparação entre os tempos inicial e final evidenciou-se aumento do CVp de 20,3; 309,6; 35,1 e 0,7%, para o T1, T2, T3 e T4, respectivamente.

4.2.8 Vazão (Q)

Constatou-se, na Figura 19, que os valores médios da vazão (Q), no tempo inicial (0 h) das subunidades de irrigação sob os tratamentos T1, T2, T3 e T4 foram de 29,2; 29,3; 29,7 e 28,7 L h^{-1}, respectivamente.

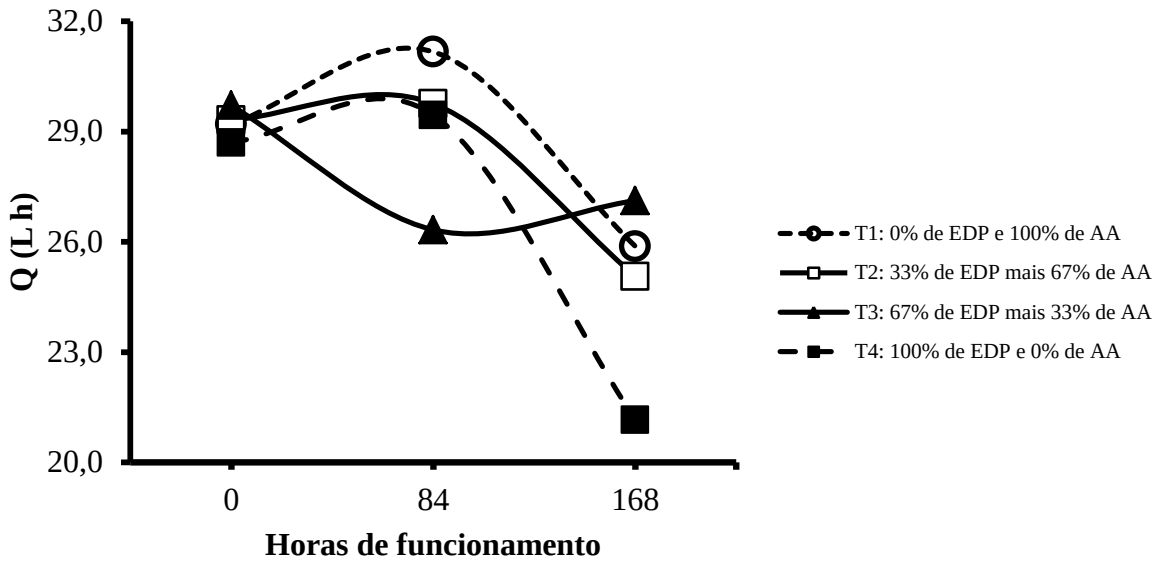


Figura 19 - Valores médios da Vazão (Q), ao longo do tempo de funcionamento do sistema de irrigação, operando com diferentes proporções de esgoto doméstico primário (EDP) e água de abastecimento (AA).

Notou-se, após 168 h de operação das subunidades de irrigação sob os tratamentos T1, T2, T3 e T4, que os valores da Q variaram para 25,9; 25,1; 27,1 e 21,2 L h^{-1}, respectivamente.

A análise de regressão (Tabela 11 em apêndice) mostrou haver efeito quadrático do tempo de funcionamento do sistema sobre a Q em todas as proporções de EDP.

Estabelecendo comparação entre os tempos inicial e final evidenciou-se redução na Q de 11,4; 14,5; 8,7 e 26,3%, para o T1, T2, T3 e T4, respectivamente.

4.3 CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS E MICROBIOLÓGICAS DO SOLO

4.3.1 Potencial hidrogeniônico (pH) e condutividade elétrica (CE)

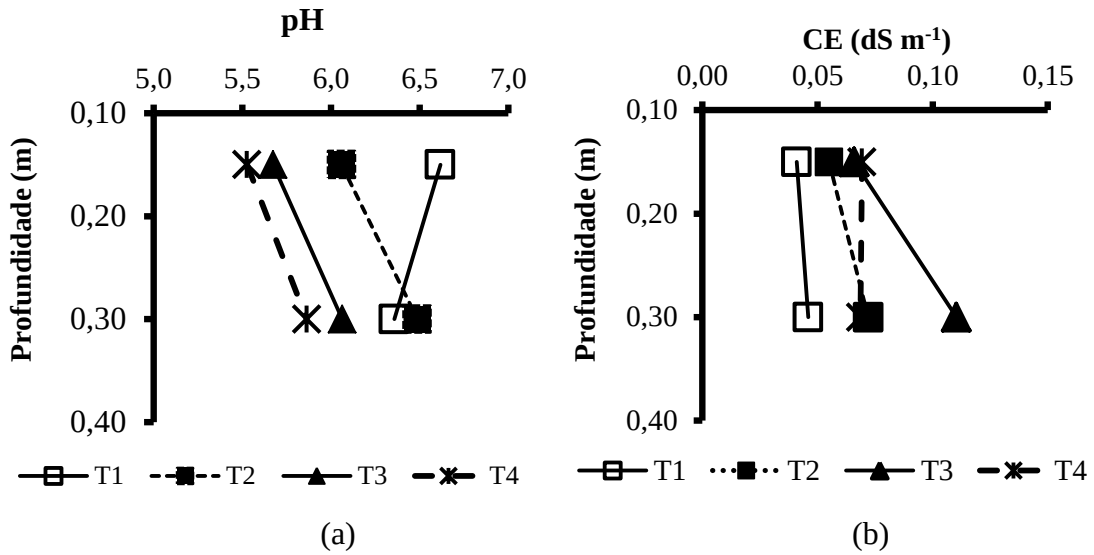
Constatou-se que o pH do solo sofreu efeito significativo na camada de 0 a 0,20m, tanto em relação as proporções de esgoto doméstico quanto em relação ao tempo de aplicação, ocorrendo um aumento linear com relação as proporções de esgoto doméstico e quadrático com o tempo de aplicação (Tabela 12 no Apêndice), já para a profundidade de 0,20 a 0,40m, não evidenciou-se efeito significativo (Tabela 13 no Apêndice).

De acordo com a Figura 20a, observou-se que entre as profundidades das camadas de solo, houve aumento do pH do solo em todos os tratamentos que possuíam em sua composição doses de esgoto doméstico primário, sendo que os tratamentos T2 e T3 foram os que provocaram maior aumento. Já o T1 reduziu o valor do pH solo com o aumento da profundidade da camada.

Segundo a classificação proposta pela CFSEMG (1999), o valor do pH do solo na camada de 0 a 0,20m, que variou de 5,5 (T4) a 6,6 (T1) é classificado como bom e alto, respectivamente. De modo semelhante ocorreu na camada de 0,20 a 0,40m, onde o pH variou de 5,9 (T4) a 6,4 (T1), classificando-se como bom e alto, respectivamente. O tratamento que recebeu em sua composição somente esgoto doméstico primário (T4) apresentou em todas as profundidades menores valores de pH, devido provavelmente ao aumento nas taxas de produção de amônio, pelo processo de mineralização do nitrogênio orgânico, que posteriormente, foi nitrificado liberando íons (H^+) no meio com consequente redução do pH.

A Literatura apresenta relatos tanto de aumento quanto de redução dos valores de pH decorrente da aplicação de água residuárias de distintas naturezas no solo, tais alterações estão associadas a composição e a dose do efluente (FERREIRA et al., 2003; SILVA et al., 2004; MEDEIROS et al., 2005).

Medeiros et al.(2005) observaram aumento do pH do solo quando comparou o manejo com água residuária de origem doméstica com o manejo com adubação química convencional. Ferreira et al. (2003) também observaram elevação no pH de um Argissolo Vermelho Distrófico Típico, ao aplicar efluentes de curtume e rejeito carbonífero. Entretanto, Silva et al. (2004) constataram diminuição do valor de pH do solo decorrente da aplicação de distintas doses de efluente de manipueira tratada (150, 450 e 900 m^3 ha^{-1}) como fonte de adubação para a cultura do sorgo.



Nota: (T1 – 0% de EDP mais 100% de AA, T2 – 33% de EDP mais 67% de AA, T3 – 67% de EDP mais 33% de AA, T4 – 100% de EDP mais 0% de AA).

Figura 20 - Comportamento do pH (a) e da CE (dS m^{-1}) (b) no perfil do solo, em função da profundidade, sob diferentes proporções de esgoto doméstico primário (EDP) e água de abastecimento (AA).

Resultado semelhante ao desse estudo foi encontrado por Costa (2012) cultivando Girassol com distintas proporções de esgoto doméstico primário que também constatou aumento do pH com o aumento destas e com a profundidade do solo.

Com relação à Condutividade Elétrica do extrato de saturação do solo, observou-se que esta não sofreu efeito significativo das proporções de esgoto doméstico na camada de 0 a 0,20m, mas houve efeito quadrático com relação ao tempo de aplicação das proporções (Tabela 12 em Apêndice). Já para a camada de 0,20 a 0,40m, a CE do solo não sofreu efeito significativo das proporções de esgoto doméstico nem do tempo de aplicação (Tabela 13 em Apêndice).

Pela Figura 20b, observa-se que entre as duas profundidades avaliadas, observou-se aumento da CE do solo com o aumento da proporção de esgoto doméstico, onde o T3 foi o que provocou maior aumento e o T1 menor aumento. Maiores valores de CE foram encontrados na camada de 0,20 a 0,40m. Resultados diferentes foram encontrados no trabalho de Costa (2012) onde neste constatou-se maiores valores da CE nas camadas de solo mais superficiais.

No que se refere ao risco de salinização do solo, o esgoto doméstico aplicado não representou grau de restrição, pois a condutividade elétrica ficou no intervalo 0,03 a

0,10 dS m^{-1} (AYERS; WESTCOT, 1999). No entanto este estudo mostrou tendência de aumento da CE com o tempo de aplicação de esgoto doméstico primário, o que pode ressaltar que para um período maior a CE do solo tenderia a aumentar. Este resultado corrobora com Fonseca (2001) que ao estudar as alterações nas características químicas do solo irrigado com esgoto doméstico tratado constatou um incremento na condutividade elétrica do solo em razão da aplicação do efluente.

4.3.2 Nitrogênio (N) e Matéria Orgânica (MO)

Para o nitrogênio (N) observou que este sofreu efeito significativo na camada de 0 a 0,20m, tanto em relação as proporções de esgoto doméstico quanto em relação ao tempo de aplicação, ocorrendo aumento quadrático com relação as proporções de esgoto doméstico e com o tempo de aplicação (Tabela 12 em Apêndice), já para a profundidade de 0,20 a 0,40m, não evidenciou-se efeito significativo de acordo com a análise de superfície de resposta (Tabela 13 em Apêndice).

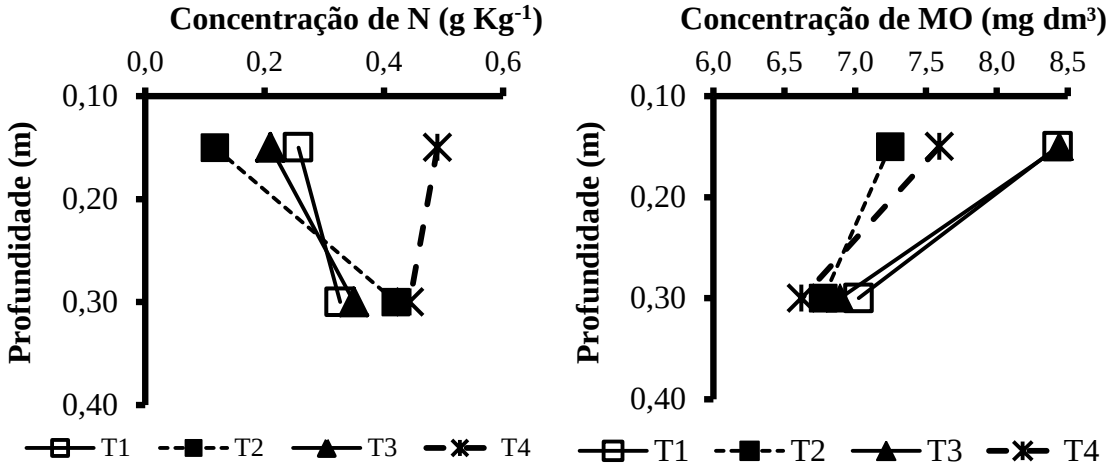
Entre as duas profundidades avaliadas observou aumento do N do solo com o aumento da proporção de esgoto doméstico, com exceção do T4 que reduziu moderadamente o valor de N com a profundidade. O T3 foi o que provocou maior aumento. Maiores valores de N foram encontrados na camada de 0,20 a 0,40m, com exceção do T4 que apresentou maior valor de N na camada mais superficial do solo (Figura 21a). Resultados diferentes foram encontrados no trabalho de Costa (2012) onde neste constatou-se maiores valores de N nas camadas de solo mais superficiais.

Tal resultado assemelha-se a do obtido por Medeiros et al. (2005) que constataram aumento na concentração do N ao longo do perfil de um solo irrigado com esgoto doméstico, com exceção da profundidade 0,10 m, na qual ocorreu diminuição na concentração desse nutriente, devido a extração pelo cafeeiro.

De acordo com Jnad et al. (2001), existem também, casos em que não foram observadas alterações significativas nas concentrações de N no solo mediante a fertirrigação com água residuária, pois a maior parte do N presente em águas residuárias encontra-se na forma orgânica, que pode ser mineralizada após sua disposição no solo, por meio de hidrólise enzimática produzida pela atividade da microbiota do solo e de outros processos de degradação do material orgânico.

A mineralização dos constituintes nitrogenados libera, para a solução do solo, íons inorgânicos de N, principalmente, NH_4^+ e NO_3^- (SANTOS et al., 2006). Segundo

Alcântara et al. (2007), a mineralização do nitrogênio no solo é facilitada quando os resíduos aplicados são de baixa relação C/N e, consequentemente, eficientes na disponibilidade de energia, sem excessos, para o bom desempenho da atividade da biomassa microbiana na sua degradação.



(a) (b)

Nota: (T1 – 0% de EDP mais 100% de AA, T2 – 33% de EDP mais 67% de AA, T3 – 67% de EDP mais 33% de AA, T4 – 100% de EDP mais 0% de AA).

Figura 21 - Comportamento do N (a) e da M.O (g Kg^{-1}) (b) no perfil do solo, sob diferentes proporções de esgoto doméstico primário (EDP) e água de abastecimento (AA).

Para a matéria orgânica (MO) observou-se efeito distinto ao do N. Constatou-se efeito significativo na camada de 0 a 0,20m, tanto em relação as proporções de esgoto doméstico quanto em relação ao tempo de aplicação, ocorrendo redução linear com relação as proporções de esgoto doméstico e quadrático com o tempo de aplicação (Tabela 12 no Apêndice). Para a profundidade de 0,20 a 0,40m, não evidenciou-se efeito significativo para as proporções de esgoto doméstico e efeito quadrático com o tempo de aplicação, ocorrendo para este caso, aumento quadrático, de acordo com a análise de superfície de resposta (Tabela 13 no Apêndice).

Pela observação feita na Figura 21b, verificou-se que houve redução nos valores da MO, ao longo do perfil do solo, em todos os tratamentos, devido provavelmente ao menor aporte de matéria orgânica no efluente. Entre os tratamentos que apresentava esgoto doméstico em sua composição, o que apresentou maior valor de MO foi o T3, na

camada mais superficial, já para a camada de 0,20 a 0,40m, não se observa diferenças entre os valores de matéria orgânica de cada tratamento.

No trabalho desenvolvido por Medeiros et al. (2005), houve redução do teor de matéria orgânica no solo comparando com os tratamento sob aplicação de água residuária doméstica e manejo convencional. O mesmo foi evidenciado neste trabalho, onde o teor de matéria orgânica do solo sob T1, apresentou maior valor em ambas profundidades, comparados aos demais tratamentos. Segundo Lima et al. (1994), a adição de resíduos orgânicos proporciona maior disponibilidade de matéria orgânica ao solo, promovendo aumento na mineralização da matéria orgânica e na capacidade de troca de cátions, contribuindo para o aumento da concentração de íons em solução e, consequentemente, aumento na condutividade elétrica do solo. No entanto, Baumgartner et al. (2007) notaram elevação de 68% nos teores de matéria orgânica de um solo irrigado com água residuária de suinocultura terciária.

4.3.3 Fósforo (P)

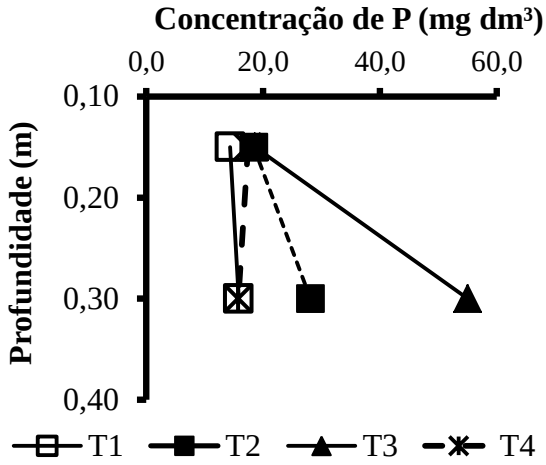
O P não sofreu efeito significativo nas duas camadas de solo avaliadas, das proporções de esgoto doméstico nem do tempo de aplicação, de acordo com a análise de superfície de resposta (Tabela 12 e 13 no Apêndice). No entanto, observou-se diferença na concentração de P entre as profundidades de solo, como pode ser visto na Figura 22.

Observou-se aumento do P do solo com o aumento da proporção de esgoto doméstico, com exceção do T4 que apresentou comportamento semelhante ao do T1. Maiores valores de P foram encontrados na camada de 0,20 a 0,40m, com exceção do T1 e T4 que apresentaram uma leve redução para esta camada. Na camada de solo mais superficial os tratamentos não apresentaram diferenças nas concentrações de fósforo. O T3 foi o que provocou maior variação entre as profundidades, provocando aumento do valor de P com o aumento da profundidade (Figura 22).

Pereira (2009) explica que os detergentes e produtos de limpeza incrementam P nas águas residuária de origem doméstica. Segundo Raij (2004), estima-se que, para cada unidade de pH reduzida ocorre um aumento da concentração de P, principalmente fosfatos de cálcio, na ordem de dez vezes na solução do solo.

Na literatura existem vários relatos de alterações nos teores de fósforo no solo em decorrência da aplicação de águas residuárias (KOURAA et al., 2002; DUARTE, 2006; FONSECA et al., 2007; MATOS et al., 2005). Fonseca (2001) não constatou alteração

no teor de P do solo mediante aplicação de água residuária de origem doméstica. Por outro lado, Kouraa et al. (2002) afirmaram que para ocorrer mudanças nas características químicas do solo são necessários vários anos de irrigação, visto que a dinâmica deste ocorre muito lentamente. Duarte (2006) obteve alterações significativas dos teores de P em solo cultivado com pimentão sob aplicação de água residuária doméstica tratada.



Nota: (T1 – 0% de EDP mais 100% de AA, T2 – 33% de EDP mais 67% de AA, T3 – 67% de EDP mais 33% de AA, T4 – 100% de EDP mais 0% de AA).

Figura 22 - Comportamento do P (mg dm-^{3}) no perfil do solo, sob diferentes proporções de esgoto doméstico primário (EDP) e água de abastecimento (AA).

Fonseca et al. (2007) evidenciaram baixo aporte de P para o solo, em razão da aplicação de água residuária de origem doméstica. Os referidos autores afirmaram, ainda, que a indisponibilização do P ao final do experimento pode ser associada à complexação do mesmo pela matéria orgânica adicionada ao solo e à formação de sais de baixa solubilidade (por exemplo, o fosfato de cálcio), ocorrendo, com isso, a redução do seu teor (MATOS et al., 2005).

De acordo com a CFSEMG (1999), na profundidade de 0,10 m com 10% de argila, o P recebe a classificação agronômica muito baixo (inferior a 10,0 mg dm^{-3}) e baixo (10,1 a 20,0 mg dm^{-3}); para a profundidade de 0,30 m o teor de argila é de 38%, o P é classificado agronomicamente como baixo (4,1 a 8,0 mg dm^{-3}) e médio (8,1 a 12,0 mg dm^{-3}); e na profundidade de 0,50 m com teor de argila de 47%, o P é classificado

agronomicamente como muito baixo (inferior a 4,0 mg dm^{-3}) e baixo (4,1 a 8,0 mg dm^{-3}).

A adsorção e a disponibilidade de P às plantas, além do teor de cátions, está correlacionada com a matéria orgânica, pH e grau de intemperização dos solos (TRINDADE et al., 2011).

4.3.4 Sódio (Na) e Porcentagem de Sódio Trocável (PST)

O Na sofreu efeito significativo das proporções de esgoto doméstico primário e do tempo de aplicação, ocorrendo aumento linear com as proporções de esgoto doméstico e quadrático com o tempo de aplicação, na camada de 0 a 0,20m (Tabela 12 em Apêndice). O mesmo comportamento foi encontrado para a profundidade de 0,20 a 0,40m (Tabela 13 em Apêndice).

Observou-se aumento do Na do solo com o aumento da proporção de esgoto doméstico em ambas as profundidades de solo, tendo maior concentração no tratamento que possuía somente esgoto doméstico primário (T4). Maiores valores de Na foram encontrados na camada de 0,20 a 0,40m, para todos os tratamentos. O T2 foi o que provocou maior aumento de Na entre as profundidades (Figura 23a).

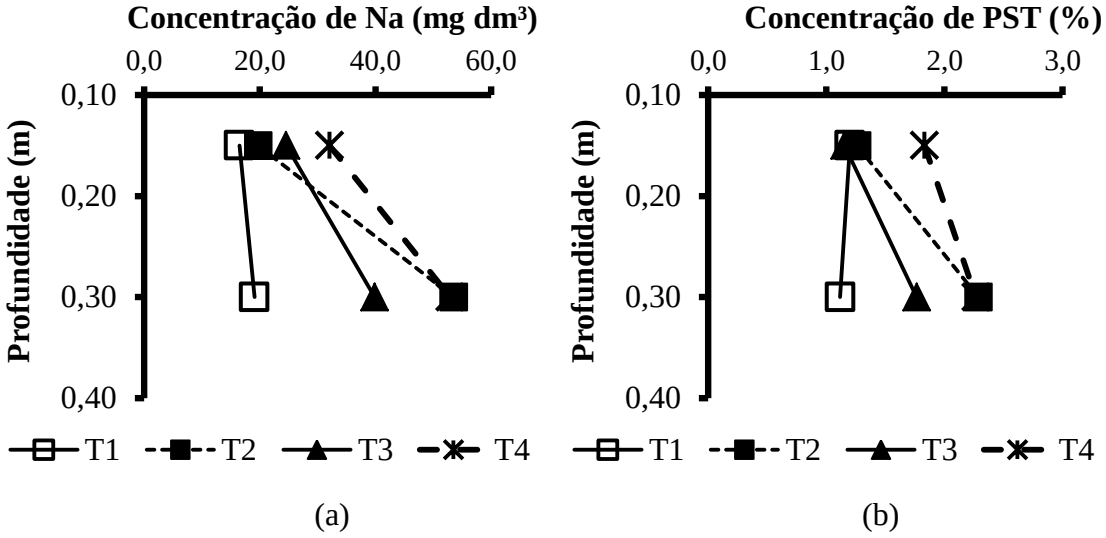
Costa (2012) também encontrou maiores concentrações de Na no tratamento constituído somente por esgoto doméstico primário em comparação com tratamentos que utilizavam menores proporções.

No trabalho desenvolvido por Santos et al. (2006) com água residuária de origem doméstica, verificou-se acúmulo de Na no solo, devido a elevada concentração do mesmo no efluente. Segundo Almeida (2010), a elevada concentração de Na, em relação à concentração de K, Ca e Mg, pode acarretar trocas destes dois últimos cátions pelo íon Na no solo, contribuído para a degradação do mesmo. As águas residuárias domésticas possuem elevada concentração de sódio, e o fato do aumento do cálcio em detrimento do sódio é de extrema importância, visto que o mesmo pode contribuir para a diminuição da permeabilidade do solo, devido à adsorção deste elemento às partículas de solo, que provoca a dispersão das argilas, reduzindo a porosidade e, consequentemente, a permeabilidade (AYERS; WESTCOT, 1999).

A PST também sofreu efeito significativo das proporções de esgoto doméstico primário e do tempo de aplicação, ocorrendo aumento linear com as proporções de

esgoto doméstico e quadrático com o tempo de aplicação, nas duas camadas de solo avaliadas (Tabelas 12 e 13 no Apêndice).

Observou aumento da PST do solo com o aumento da proporção de esgoto doméstico em ambas as profundidades de solo, tendo maior concentração no Tratamento que possuía somente esgoto doméstico primário (T4). Maiores valores de PST foram encontrados na camada de 0,20 a 0,40m, para todos os tratamentos que continham esgoto doméstico na sua composição. O T2 foi o que provocou maior aumento da PST entre as profundidades (Figura 23b).



Nota: (T1 – 0% de EDP mais 100% de AA, T2 – 33% de EDP mais 67% de AA, T3 – 67% de EDP mais 33% de AA, T4 – 100% de EDP mais 0% de AA).

Figura 23 - Comportamento do Na (mg dm^{-3}) (a) e da PST (%) (b) no perfil do solo, sob diferentes proporções de esgoto doméstico primário (EDP) e água de abastecimento (AA).

Garcia et al. (2012), verificaram em estudos realizados com solo cultivando Tifton 85 e Capim Marandu que, em curtos períodos de tempo, a aplicação de esgoto doméstico tratado em relação à adubação mineral, aumentou consideravelmente os teores de K, Na, RAS e PST no solo, enquanto nos demais atributos químicos não ocorreram alterações. Notaram ainda que, o aumento das doses de esgoto doméstico tratado aplicadas, também, promoveu um aumento dos teores de K, Na, RAS e PST nos solos cultivados com Tifton 85 e Capim Marandu, enquanto que nas demais características químicas os valores permaneceram em torno da média.

Analisando as concentrações de PST, Na, pH, e CE do solo, e comparando com os limites atribuídos em estudos realizados por Richards (1954), constatou-se que o solo estudado no presente trabalho em todos os tratamentos aplicados, pode ser classificado como um solo normal, com CE(dS m^{-1}a 25ºC)<4,0; PST(%)<15 e pH variando de 4 a 8,5.

Concentrações elevadas de sais no solo promovem a dispersão do colóides do solo, o que interfere nas características físicas dos solos, como a estrutura, porosidade, condutividade hidráulica, infiltração, aeração e capacidade produtiva destes solos (NOVAIS et al. 2007).

Diante disso, o monitoramento da acumulação desses nutrientes torna-se indispensáveis para as técnicas de fertirrigação com resíduos líquidos em geral, pois o aumento dos teores de K e especialmente de Na no solo, podem causar entre os efeitos acima, a toxidez para algumas culturas (GARCIA et al., 2012).

4.3.5 Cálcio (Ca), Magnésio (Mg) e Potássio (K)

O Ca não sofreu efeito significativo nem das proporções de esgoto doméstico primário nem do tempo de aplicação, para todas as profundidades de solo avaliadas, de acordo com a análise de superfície de resposta (Tabelas 12 e 13 no Apêndice).

Analisando a Figura 24a, observou-se aumento do Ca do solo com a redução da proporção de esgoto doméstico na profundidade de solo de 0 a 0,20 m, tendo nesta, maior concentração no tratamento que possuía somente água de abastecimento (T1). Na camada de 0,20 a 0,40m, as concentrações do T1, T2 e T4 foram praticamente iguais e o T3 apresentou menor valor comparado a estes.

Entre as camadas avaliadas, em quase todos os tratamentos, os valores do Ca praticamente não variaram, com exceção do T4, que apresentou um aumento significativo com o aumento da profundidade da camada de solo.

Para Medeiros et al. (2005), o aumento ou diminuição das concentrações de Ca no solo está diretamente relacionado à concentração na água residuária utilizada, à concentração absorvida pelas culturas e à lixiviação no perfil do solo.

Conforme as recomendações da CFSEMG (1999) os teores de Ca permitem classificar agronomicamente o solo como médio (1,21 a 2,40 $cmol_c$ dm^{-3}), bom (2,41 a 4,0 $cmol_c$ dm^{-3}) e muito bom (superior a 4,0 $cmol_c$ dm^{-3}). Para este trabalho quase todos

os solos, em ambas as profundidades avaliadas, foram considerados como bom, com exceção do solo do T4 na camada de 0 a 0,20m, que foi classificado como médio.

Santos et al. (2006), notaram reduções nos teores de Ca do solo irrigado com água residuária doméstica, ao longo do tempo, atribuindo o fato ao aumento da concentração de Na no solo que deslocam o Ca do complexo de troca. Enquanto, Ferreira et al. (2003) evidenciaram que a concentração de Ca aumentou, devido a alta concentração deste nutriente no lodo de curtume e resíduo carbonífero.

Mendonça e Rowell (1994) demonstraram que pequenas variações dos teores de Ca no solo podem ocorrer em função da baixa concentração do Ca na água residuária ou pela maior retenção de Ca pela matéria orgânica.

O acréscimo ou decréscimo deste elemento está diretamente relacionado à concentração na água residuária aplicada, à concentração absorvida pelas plantas e à lixiviação no perfil do solo (MEDEIROS et al., 2005).

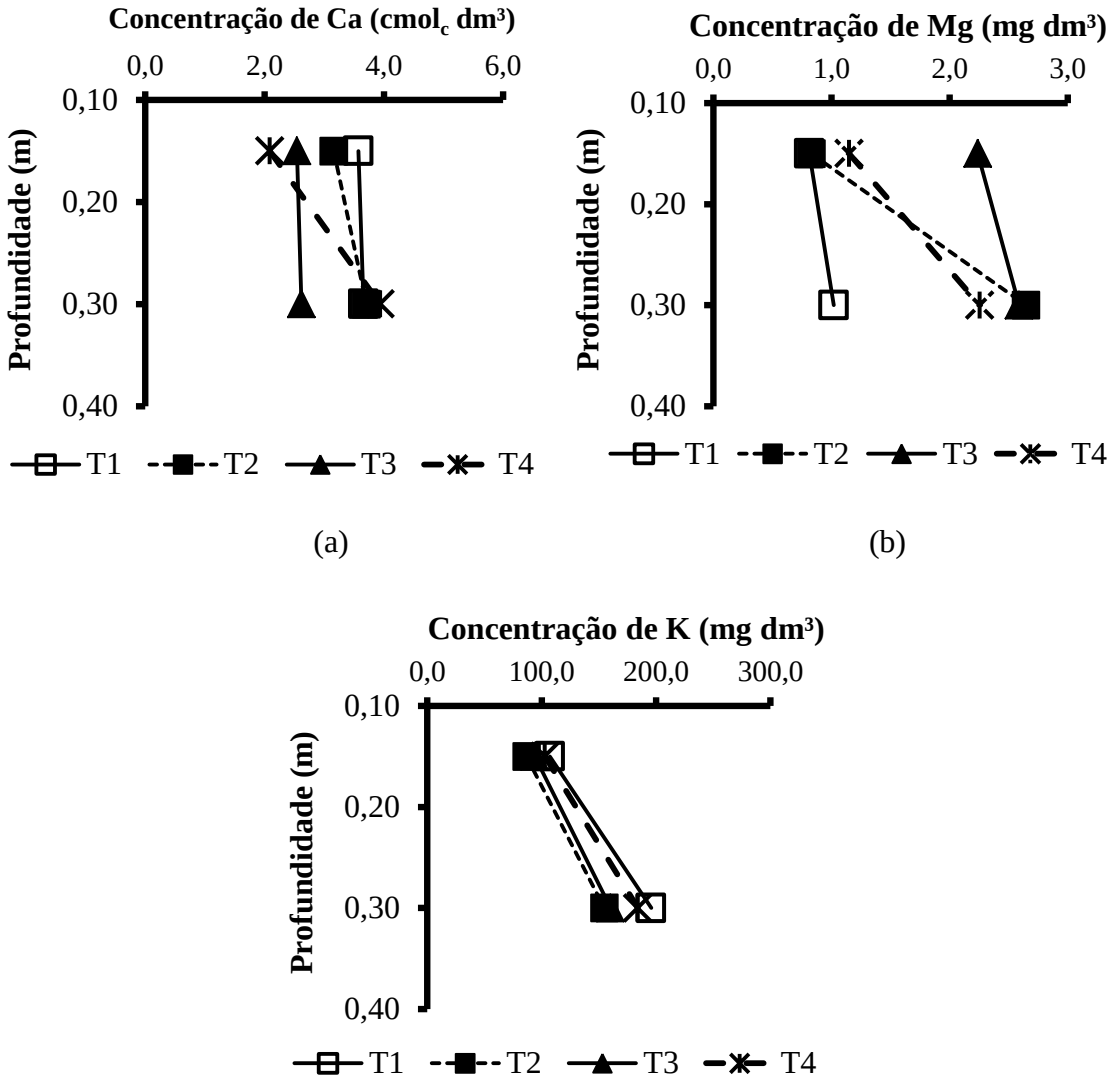
O Mg também não sofreu efeito significativo nem das proporções de esgoto doméstico primário nem do tempo de aplicação, na camada de solo de 0 a 0,20m (Tabela 12 em Apêndice), mas apresentou significância na camada de 0,20 a 0,40m, ocorrendo aumento quadrático com a proporção de esgoto doméstico primário e com o tempo de aplicação destas (Tabela 13 no Apêndice).

Observou-se na profundidade de solo de 0 a 0,20 m, que o T3 foi o que apresentou maior valor do Mg e o T1 e T2 o menor. Na camada de 0,20 a 0,40m, as concentrações do T2, T3 e T4 foram praticamente iguais entre si e o T1 apresentou menor valor comparado a estes. Entre as camadas de solo avaliadas, todos os tratamentos aumentaram a concentração de Mg com o aumento da profundidade da camada de solo (Figura 24b).

Segundo a CFSEMG (1999) o teor de Mg permite classificar agronomicamente o solo como médio (0,5 a 0,90 $cmol_c\ dm^{-3}$), bom (0,91 a 1,50 $cmol_c\ dm^{-3}$) e muito bom (superior a 1,50 $cmol_c\ dm^{-3}$). Para os valores de Mg encontrados neste trabalho, o solo dos diferentes tratamentos, nas duas profundidades avaliadas puderam ser classificados como: na camada de 0 a 0,20m (T1 e T2: médio, T3 muito bom e T4 bom); na camada de 0,20 a 0,40m (T1 bom e T2,T3 e T4 muito bom).

De acordo com Ricci et al. (2010), os teores de Mg são influenciados significativamente pela adição de lodo de esgoto no solo. No trabalho desenvolvido por Erthal (2009), as concentrações de Mg no solo aumentaram com o tempo de aplicação quando da aplicação de água residuária da bovinocultura. Miranda et al. (2008) notaram

redução nos teores de Mg do solo quando da aplicação localizada de efluente. Enquanto, Medeiros et al. (2005) evidenciaram incremento no teor de Mg trocável, demonstrando que água residuária de origem doméstica pode ser uma alternativa de aporte de Mg ao solo.



Nota: (T1 – 0% de EDP mais 100% de AA, T2 – 33% de EDP mais 67% de AA, T3 – 67% de EDP mais 33% de AA, T4 – 100% de EDP mais 0% de AA).

Figura 24 - Comportamento do Ca (a), Mg (cmolc dm^{-3}) (b) e K (mg dm^{-3}) (c) no perfil do solo, sob diferentes proporções de esgoto doméstico primário (EDP) e água de abastecimento (AA).

Com relação ao K do solo, verificou-se que o mesmo não sofreu efeito significativo das proporções de esgoto doméstico primário nem do tempo de aplicação destas, em todas as profundidades avaliadas (Tabela 12 e 13 no Apêndice). No entanto, entre as profundidades de solo analisadas, houve variação das concentrações sob os diferentes tratamentos, como pode ser observado na Figura 24c.

Observou-se na profundidade de solo de 0 a 0,20 m, que os valores do K foram praticamente iguais entre todos os tratamentos, assim com na camada de 0,20 a 0,40m. Entre as camadas de solo avaliadas, constatou-se que todos os tratamentos aumentaram a concentração do K com o aumento da profundidade da camada de solo, tendo na camada de solo de 0,20 a 0,40m, maiores concentrações deste elemento químico (Figura 24c).

O trabalho desenvolvido por Matos et al. (2005) com rampas de escoamento superficial sob aplicação intermitente de água residuária da despolpa do fruto do cafeeiro, as maiores concentrações de K trocável foram encontradas na camada superficial do solo de 0 a 0,10 m.

Notou-se que a concentração de K nas duas profundidades, para o T1 foi superior em relação aos tratamentos T2 a T4, devido provavelmente à adubação de fundação realizada na condução do experimento.

De acordo com CFSEMG (1999), os teores de K permitem classificar agronomicamente o solo como bom (71 a 120 mg dm^{-3}) e muito bom (superior 120 mg dm^{-3}). Neste trabalho, os valores da concentração de K sob os diferentes tratamentos, nas duas camadas de solo avaliadas, o solo pôde ser classificado como bom e muito bom, respectivamente, na camada de solo de 0 a 0,20m e de 0,20 a 0,40m em todos os tratamentos.

O K é considerado um elemento relativamente móvel no solo e embora não houve maior acúmulo do elemento na camada superficial do solo, o que provocaria efeito salino, a lixiviação pode acarretar a contaminação das águas subterrâneas. Além do acréscimo do K, também, ocorreu aumento nos teores de Ca e Mg onde excesso desses íons em solução pode promover maior ocupação dos sítios de trocas nos coloides do solo, dificultando a adsorção de K a estes coloides, liberando os íons à solução do solo e proporcionando consequentemente, maiores lixiviações (MATOS et al., 2005). Raij (1981) relatou que ao evitar a elevação do teor de K em relação ao Mg, mantendo elevado o teor de Ca, diminui as perdas de K por lixiviação. Segundo Feigin et al. (1991), mesmo que ocorra aumento na concentração de K disponível no solo mediante a

disposição de águas residuárias, a quantidade desse nutriente exigido pelas plantas é tão elevada que dificilmente apenas a irrigação com efluente poderia suprir adequadamente as necessidades nutricionais das plantas.

4.3.6 Acidez trocável (Al^{3+}), Acidez potencial (H+Al) e Saturação por Alumínio (m)

Para a acidez trocável (Al^{3+}), observou-se na camada de solo de 0 a 0,20m, que este sofreu efeito significativo do produto entre as proporções de esgoto doméstico primário e o tempo de aplicação, ocorrendo aumento linear com o produto daqueles e redução com o tempo de aplicação (Tabela 12 no Apêndice). Já para a camada de 0,20 a 0,40m, a Acidez trocável não sofreu efeito significativo, sendo neste caso, a acidez trocável melhor representada pelo valor médio (Tabela 13 no Apêndice).

Entre as profundidades avaliadas, constatou-se que os maiores valores de acidez trocável ocorreram na camada mais superficial do solo. Nesta as maiores concentrações foram encontradas nos tratamentos que apresentavam maiores proporções de esgoto doméstico primário (T4 e T3), devido a acidificação do solo pela aplicação do esgoto doméstico primário. Já para a camada de solo de 0,20 a 0,40m, o T3 superou o T4, e o T1 e T2 foram praticamente iguais, conforme apresentado na Figura 25a.

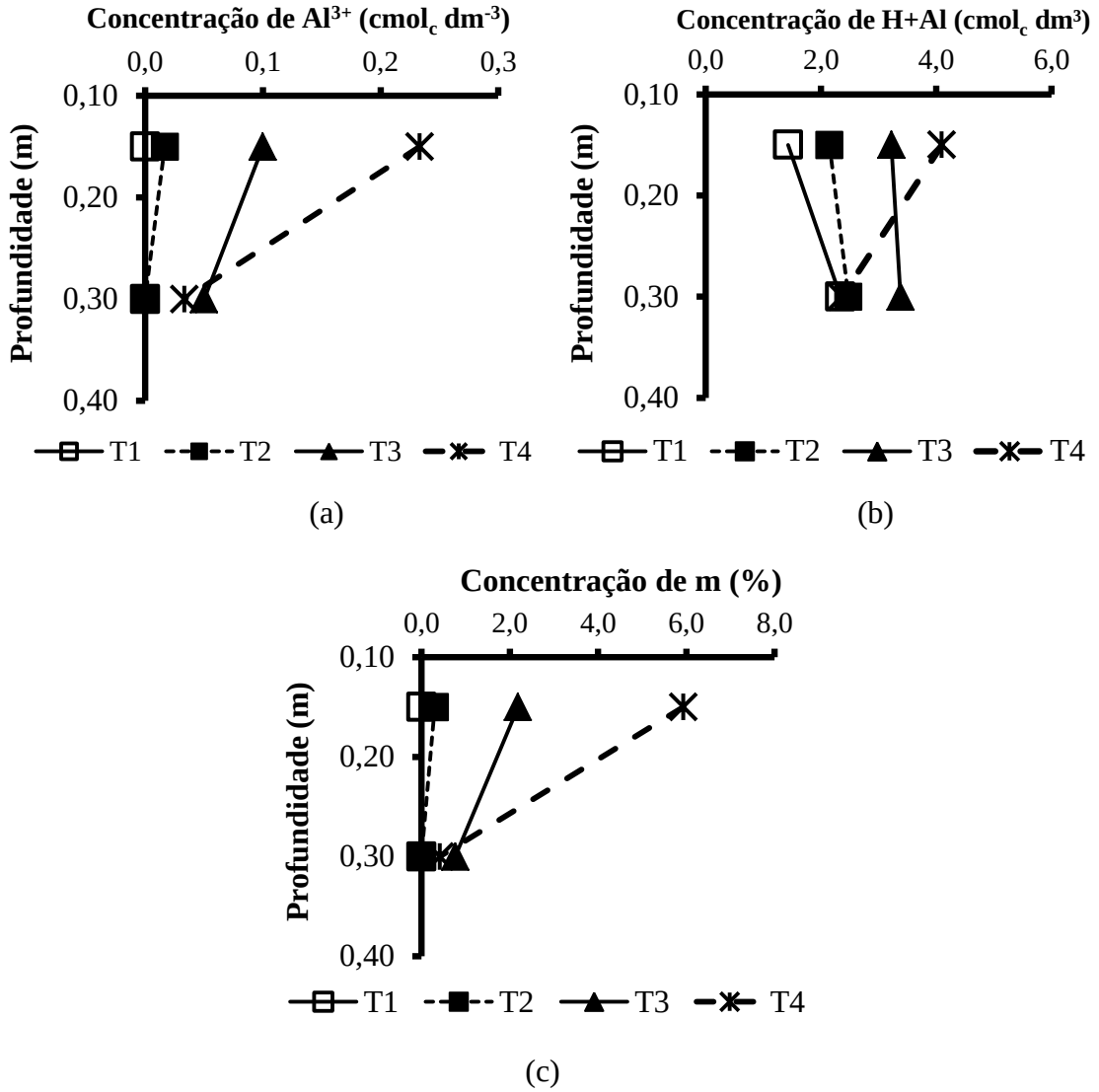
Tais resultados corroboram com Simonete et al. (2003) que verificaram redução nos valores de pH e incremento nos teores da acidez trocável pela aplicação de lodo de esgoto em Argissolo e Costa (2012) que também observou aumento da acidez trocável do solo pela aplicação de esgoto doméstico primário, sobretudo nas camadas mais superficiais do solo. Entretanto, no trabalho desenvolvido por Medeiros et al. (2005) houve redução na acidez trocável em resposta à aplicação de água residuária doméstica e ao manejo convencional. Segundo a CFSEMG (1999), os teores de acidez trocável classificam agronomicamente o solo como baixo (0,21 a 0,50 $cmol_c\ dm^{-3}$) e médio (0,51 a 1,00 $cmol_c\ dm^{-3}$). Para este trabalho, todos os tratamentos aplicados em ambas as camadas analisadas, o solo apresentou baixo teor de acidez trocável.

Para a acidez potencial (H+Al), observou-se na camada de solo de 0 a 0,20m, que o mesmo sofreu efeito significativo das proporções de esgoto doméstico primário e do tempo de aplicação destas proporções, ocorrendo aumento linear com as proporções de esgoto doméstico e redução quadrática com o tempo de aplicação (Tabela 12 no Apêndice). Já para a camada de 0,20 a 0,40m a acidez potencial não sofreu efeito

significativo, sendo neste caso, a acidez potencial melhor representada pelo valor médio (Tabela 13 no Apêndice).

Analisando a Figura 25b, constatou-se que entre as profundidades avaliadas, os maiores valores de acidez potencial ocorreram na camada mais profunda do solo para quase todos os tratamentos, com exceção do T4 que apresentou maior valor na camada de solo mais superficial.

Segundo a CFSEMG (1999), os teores de acidez potencial classificam agronomicamente o solo como baixo (1,01 a 2,50 $cmol_c$ dm^{-3}), médio (2,51 a 4,0 $cmol_c$ dm^{-3}) e alto (superior a 4,1 $cmol_c$ dm^{-3}). Para este trabalho o solo dos diferentes tratamentos, nas duas profundidades de solo analisadas foram classificados como: baixo (T1 e T2) médio (T3) e alto (T4) na camada de 0 a 0,20m; na camada de 0,20 a 0,40m, baixo (T1, T2 e T4) e médio (T3).



Nota: (T1 – 0% de EDP mais 100% de AA, T2 – 33% de EDP mais 67% de AA, T3 – 67% de EDP mais 33% de AA, T4 – 100% de EDP mais 0% de AA).

Figura 25 - Comportamento do Al^{3+} (a) e do H+Al ($cmol_c\ dm^{-3}$) (b) e de m (%) (c) no perfil do solo, sob diferentes proporções de esgoto doméstico primário (EDP) e água de abastecimento (AA).

Para a saturação por alumínio (m), observou-se na camada de solo de 0 a 0,20m, que a mesma sofreu efeito significativo das proporções de esgoto doméstico primário e do tempo de aplicação destas proporções, ocorrendo aumento quadrático com as proporções de esgoto doméstico e com o tempo de aplicação (Tabela 12 em Apêndice). Já para a camada de 0,20 a 0,40m a saturação por alumínio não sofreu efeito significativo, sendo neste caso, melhor representada pelo valor médio (Tabela 13 em Apêndice).

Entre as profundidades avaliadas, constatou-se que os maiores valores de acidez potencial ocorreram na camada superficial do solo para todos os tratamentos. Entre os tratamentos os maiores valores foram encontrados naqueles com maior proporção de esgoto doméstico primário. O maior valor encontrado foi o do T4 na camada de 0 a 0,20m (Figura 25c).

Resultados diferentes forma encontrados por Coelho (2013), onde cultivando capim com percolado de resíduo sólido urbano não evidenciou saturação por Alumínio entre o início e o final do experimento.

4.3.7 Saturação por Bases (V)

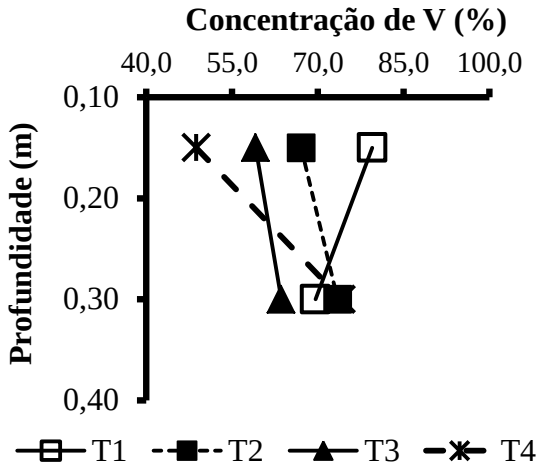
A saturação por bases (V) indica a participação das bases no complexo sortivo do solo, expressa em porcentagem, dada pela divisão da SB pela CTC a pH 7,0 (T), multiplicada por 100 (NOVAIS et al., 2007).

Observou-se na camada de solo de 0 a 0,20m, que a saturação por bases sofreu efeito significativo das proporções de esgoto doméstico primário e do tempo de aplicação, ocorrendo aumento linear com as proporções de esgoto doméstico e quadrático com o tempo de aplicação (Tabela 12 no Apêndice). Já para a camada de 0,20 a 0,40m observou-se que V não sofreu efeito significativo, sendo a mesma neste caso melhor representada pelo valor médio (Tabela 13 no Apêndice).

Observou-se, na Figura 26, que entre as profundidades avaliadas, os maiores valores de saturação por bases ocorreram na camada mais profunda do solo em quase todos os tratamentos, com exceção do T1 que diminui o valor com o aumento da profundidade do solo. O valor de V diminuiu, ao longo do perfil do solo, para o T1, podendo tal fato ter sido causado pela adubação convencional, e consequente acúmulo de K na camada superior (SILVA, 2008).

Resultados semelhantes foram encontrados no estudo de Coelho (2013) aplicando efluente de resíduo sólido urbano, onde os maiores valores de SB também foram encontrados nas camadas de solo mais profundas.

Entre os tratamentos aplicados, observou-se que na camada de 0 a 0,20m, os valores da saturação por bases foram inversamente proporcionais as proporções de esgoto doméstico primário. Já na camada de solo de 0,20 a 0,40m, o T4 e o T2 apresentaram maiores valores.



Nota: (T1 – 0% de EDP mais 100% de AA, T2 – 33% de EDP mais 67% de AA, T3 – 67% de EDP mais 33% de AA, T4 – 100% de EDP mais 0% de AA).

Figura 26 - Comportamento de V (%) no perfil do solo, sob diferentes proporções de esgoto doméstico primário (EDP) e água de abastecimento (AA).

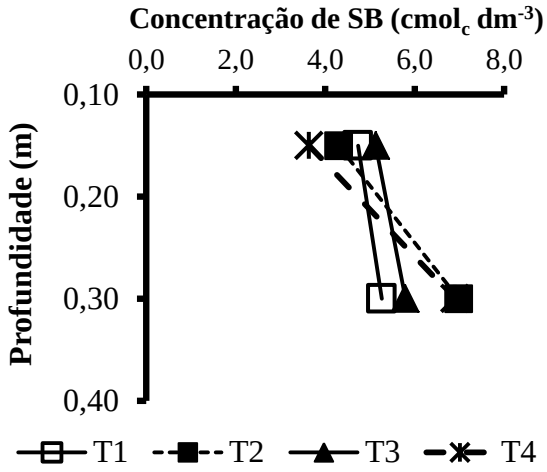
4.3.8 Soma de Bases (SB)

Constatou-se na camada de solo de 0 a 0,20m, que a soma de bases não sofreu efeito significativo das proporções de esgoto doméstico primário nem do tempo de aplicação, sendo a SB melhor representada, neste caso, pelo valor médio (Tabela 12 no Apêndice). Já para a camada de 0,20 a 0,40m, a SB sofreu efeito significativo das proporções de esgoto doméstico primário e do tempo de aplicação, ocorrendo aumento linear com as proporções de esgoto doméstico e quadrático com o tempo de aplicação (Tabela 13 no Apêndice).

Entre as profundidades avaliadas, evidenciou-se que os valores da soma de bases aumentaram na camada mais profunda do solo em todos os tratamentos, sendo o T4 foi o que provocou maior variação entre as profundidades. Na camada de solo de 0 a 0,20m, observou-se maior valor no T3, e na camada de 0,20 a 0,40 os maiores valores foram observados para os T4 e T2 (Figura 27).

Segundo a CFSEMG (1999), os valores da SB, permitem classificar agronomicamente o solo como bom (3,61 a 6,0 $cmol_c\ dm^{-3}$) e muito bom (superior a 6,0 $cmol_c\ dm^{-3}$). Para este trabalho, de acordo com os valores encontrados, o solo dos tratamentos podem ser classificados como: na camada de 0 a 0,20m (todos foram bom);

na camada de 0,20 a 0,40m (T1 e T3 também foram bom e o T2 e T4 foram classificados como muito bom).



Nota: (T1 – 0% de EDP mais 100% de AA, T2 – 33% de EDP mais 67% de AA, T3 – 67% de EDP mais 33% de AA, T4 – 100% de EDP mais 0% de AA).

Figura 27 - Comportamento da SB (cmol$_c$ dm^{-3}) no perfil do solo, sob diferentes proporções de esgoto doméstico primário (EDP) e água de abastecimento (AA).

4.3.9 Capacidade de Troca Catiônica Efetiva (CTC Efetiva ou t) e Capacidade de Troca Catiônica (CTC ou T)

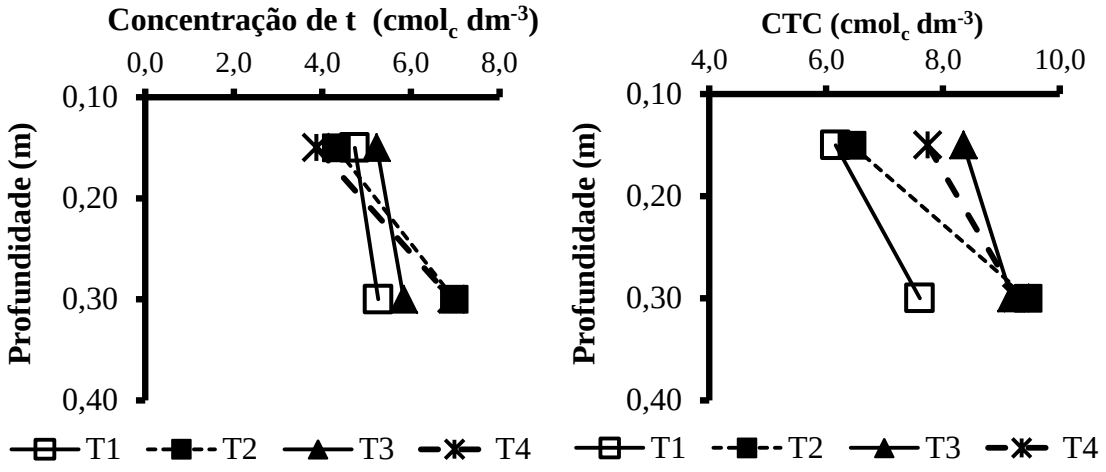
A CTC ou T indica a quantidade de cargas negativas presentes no solo, neutralizadas pelas cargas positivas (cátions) presentes (NOVAIS et al., 2007). É calculada pela soma de bases (SB) com a acidez potencial (H+Al), podendo ser, também, denominada de CTC a pH 7,0. Já a CTC efetiva é dada pela soma da SB com a acidez potencial (Al^{3+}).

A CTC efetiva (t) não sofreu na camada de solo de 0 a 0,20m, efeito significativo das proporções de esgoto doméstico primário nem do tempo de aplicação, sendo a mesma, neste caso melhor representada pelo valor médio (Tabela 12 no Apêndice). Já para a camada de 0,20 a 0,40m, a CTC sofreu efeito significativo das proporções de esgoto doméstico primário e do tempo de aplicação, ocorrendo aumento quadrático com as proporções de esgoto doméstico e com o tempo de aplicação (Tabela 13 em Apêndice).

Pela Figura 28a, notou-se que entre as profundidades avaliadas, os valores da CTC efetiva aumentaram na camada mais profunda do solo em todos os tratamentos, e o T4 foi o que provocou maior variação do valor entre as profundidades. Na camada de solo de 0 a 0,20m, não se observou grandes variações entre os tratamentos, tendo nesta o T3 apresentado maior valor. Na camada de 0,20 a 0,40 os maiores valores foram observados para os T4 e T2.

A CTC sofreu na camada de solo de 0 a 0,20m, sofreu efeito significativo das proporções de esgoto doméstico primário e do tempo de aplicação, ocorrendo aumento quadrático com as proporções de esgoto e o tempo de aplicação (Tabela 12 no Apêndice). O mesmo foi observado na camada de 0,20 a 0,40m, onde se constatou que nesta a CTC também sofreu efeito significativo das proporções de esgoto doméstico primário e do tempo de aplicação, ocorrendo redução linear com as proporções de esgoto doméstico e aumento quadrático com o tempo de aplicação (Tabela 13 em Apêndice).

Entre as profundidades avaliadas, constatou-se que os valores da CTC aumentaram na camada mais profunda do solo em todos os tratamentos, e o T4 foi o que provocou maior variação entre as profundidades. Na camada de solo de 0 a 0,20m, não se observou grandes variações entre os tratamentos, tendo nesta o T3 apresentado maior valor, e na camada de 0,20 a 0,40 os maiores valores foram observados nos tratamentos que possuíam em sua composição alguma porção de esgoto doméstico primário (Figura 28b).



Nota: (T1 – 0% de EDP mais 100% de AA, T2 – 33% de EDP mais 67% de AA, T3 – 67% de EDP mais 33% de AA, T4 – 100% de EDP mais 0% de AA).

Figura 28 - Comportamento de t (a) e da CTC (cmol$_c$ dm^{-3}) (b) no perfil do solo, sob diferentes proporções de esgoto doméstico primário (EDP) e água de abastecimento (AA).

4.3.10 Cobre (Cu), Ferro (Fe), Zinco (Zn) e Manganês (Mn)

Para o Cobre se observou na camada de solo de 0 a 0,20m, que ele sofreu efeito significativo das proporções de esgoto doméstico primário e do tempo de aplicação, ocorrendo redução linear com as proporções de esgoto doméstico primário e aumento quadrático com o tempo de aplicação (Tabela 12 no Apêndice). Na camada de 0,20 a 0,40m, o cobre também sofreu efeito significativo das proporções de esgoto doméstico primário e do tempo de aplicação, havendo redução linear com as proporções de esgoto doméstico primário e aumento linear com o tempo de aplicação (Tabela 13 em Apêndice).

Constatou-se que houve aumento do teor de cobre com o aumento da profundidade do solo em todos os tratamentos. Não se observou grandes variações no valor médio do cobre entre os tratamentos nas duas profundidades avaliadas (Figura 29a).

De acordo com a classificação elaborada pela CFSEMG (1999), os valores de cobre, permitem classificar agronomicamente o solo como: muito baixo (inferior a 0,3 mg dm^{-3}), baixo (0,4 a 0,7 mg dm^{-3}), médio (0,8 a 1,1 mg dm^{-3}) e alto (superior a 1,1 mg

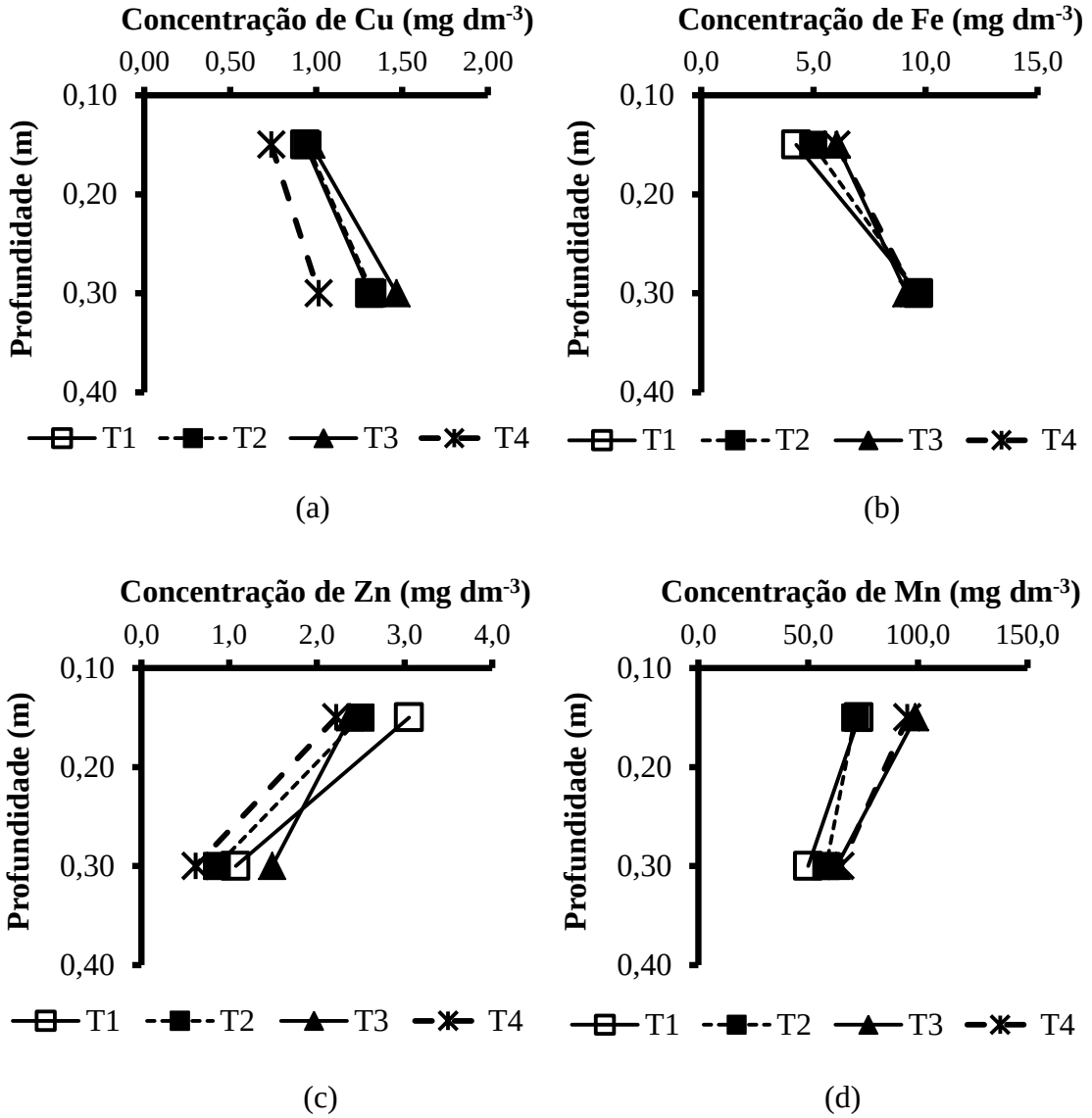
dm^{-3}). De acordo com os valores de cobre encontrados, o solo dos distintos tratamentos nas duas camadas pode ser classificado como: na camada de 0 a 0,20m como médio e na camada de 0,20 a 0,40m como alto.

A água residuária de origem doméstica possui baixa concentração de cobre que é adsorvida pelo complexo de troca das argilas, minimizando o risco de lixiviação e contaminação de águas subterrâneas. Ricci et al. (2010) estudaram a alteração nos atributos químicos de um solo mediante aplicação de lodo de esgoto e verificaram que o teor de cobre na profundidade de 0,10 m aumentou significativamente, após dois anos de aplicação, não apresentando alterações na profundidade de 0,30 m. Ainda fatores como o pH, pode ter exercido influência no comportamento do cobre, pois dificulta sua elevação e pode ainda interagir com o K, Zn, N e P, interferindo na sua disponibilidade.

Costa (2012) aplicando diferentes proporções de esgoto doméstico primário observou que não ocorreram mudanças significativas nos teores de Cu ao longo do perfil do solo.

Para o Fe também se observou nas camadas de solo de 0 a 0,20m e 0,20 a 0,40, que o mesmo sofreu efeito significativo das proporções de esgoto doméstico primário e do tempo de aplicação, ocorrendo redução linear com as proporções de esgoto doméstico primário e aumento quadrático com o tempo de aplicação e aumento linear com as proporções de esgoto doméstico primário e com o tempo de aplicação, respectivamente (Tabelas 12 e 13 no Apêndice).

Entre as profundidades constatou-se que houve aumento na concentração do ferro com o aumento da profundidade em todos os tratamentos assim como no cobre. Não se observou grandes variações no valor médio do ferro entre os tratamentos nas duas profundidades avaliadas (Figura 29b).



Nota: (T1 – 0% de EDP mais 100% de AA, T2 – 33% de EDP mais 67% de AA, T3 – 67% de EDP mais 33% de AA, T4 – 100% de EDP mais 0% de AA).

Figura 29 - Comportamento do Cu (a), Fe (b), Zn (c) e Mn (mg dm^{-3}) (d) no perfil do solo, sob diferentes proporções de esgoto doméstico primário (EDP) e água de abastecimento (AA).

Estes resultados corroboram com os encontrados por Costa (2012) e diferem dos encontrados por Coelho (2013) aplicando diferentes doses de percolado de resíduos sólidos urbanos, onde neste verificou-se redução na concentração do ferro com o aumento da profundidade da camada de solo.

De acordo com a classificação elaborada pela CFSEMG (1999), os valores das concentrações de ferro, permitem classificar agronomicamente o solo como: muito

baixo (inferior a 8,0 mg dm^{-3}) e baixo (9,0 a 18,0 mg dm^{-3}). De acordo com os valores de Ferro encontrados, o solo dos distintos tratamentos nas duas camadas podem ser classificados como: na camada de 0 a 0,20m como muito baixo e na camada de 0,20 a 0,40m como baixo.

Com relação às concentrações de Zinco (Zn), observou-se na camada de 0 a 0,20m, que as mesmas sofreram efeito significativo das proporções de esgoto doméstico e do tempo de aplicação, ocorrendo redução linear com as proporções de esgoto doméstico e quadrática com o tempo de aplicação (Tabela 12 no Apêndice). Já na camada de 0,20 a 0,40m, constatou-se que não houve efeito significativo dos tratamentos aplicados e nem do tempo de aplicação sobre a concentração de zinco (Tabela 13 no Apêndice).

Entre as profundidades analisadas (Figura 29c), observou-se redução das concentrações de Zn com o aumento da profundidade da camada de solo. Os tratamentos na camada de 0 a 0,20m, o T1 foi o que apresentou maior concentração e na camada de 0,20 a 0,40m, o T3 apresentou maior valor de Zinco.

Estes resultados diferem dos encontrados por Costa (2012) onde encontrou neste trabalho maiores valores de concentração de zinco na camada mais superficial do solo. Secco (2007) estudando a mobilidade do zinco em solo que recebeu doses de lodo de esgoto urbano tratado verificou a baixa mobilidade deste elemento, concluindo a não necessidade de se analisar profundidades maiores que as superficiais. Enquanto, Freitas et al. (2005) verificaram que os teores de zinco aumentaram com a aplicação de águas residuárias de suinocultura, devido ao suíno possuir baixa eficiência alimentar liberando em seus dejetos grandes aportes de micronutrientes presentes na composição da ração.

De acordo com a classificação elaborada pela CFSEMG (1999), os valores das concentrações de zinco, permitem classificar agronomicamente o solo como: muito baixo (inferior a 0,4 mg dm^{-3}), baixo (0,5 a 0,9 mg dm^{-3}), médio (1,0 a 1,5 mg dm^{-3}), bom (1,6 a 2,2 mg dm^{-3}) e muito alto (superior a 2,2 mg dm^{-3}). De acordo com os valores de zinco encontrados, o solo dos diferentes tratamentos nas duas camadas podem ser classificados como: na camada de 0 a 0,20m como muito alto (T1, T2 e T3) e bom (T4); e na camada de 0,20 a 0,40m, médio (T1 e T3) e baixo (T2 e T4)

Com relação às concentrações de manganês (Mn), observou-se na camada de 0 a 0,20m, que as mesmas sofreram efeito significativo das proporções de esgoto doméstico e do tempo de aplicação, ocorrendo aumento linear com as proporções de esgoto doméstico e redução quadrática com o tempo de aplicação (Tabela 12 no Apêndice). Na

camada de 0,20 a 0,40m, também se verificou significância dos tratamentos aplicados e do tempo de aplicação, ocorrendo redução linear com as proporções de esgoto doméstico primário e do tempo de aplicação (Tabela 13 no Apêndice).

Entre as profundidades analisadas observou-se redução na concentração do manganês com o aumento da profundidade do solo em todos os tratamentos aplicados. Verificou-se na Figura 29d, que os tratamentos com maiores proporções de esgoto doméstico primário (T4 e T3) apresentaram maiores concentrações de manganês nas duas profundidades avaliadas.

Costa (2012) também constatou redução do valor do manganês com o aumento da profundidade do solo, devido a baixa mobilidade desse elemento no solo. A disponibilidade do manganês no solo depende, sobretudo do pH, do potencial de oxi-redução, do teor de matéria orgânica e do equilibro com outros cátions como o ferro, cálcio e magnésio. Segundo Borkert et al. (2001), fatores ambientais (umidade e temperatura), também exercem grande influência na solubilidade do manganês.

De acordo com a classificação elaborada pela CFSEMG (1999), os valores das concentrações de manganês, permitem classificar agronomicamente o solo como: muito alto (superior a 12,0 mg dm^{-3}). De acordo com os valores de zinco encontrados, o solo dos distintos tratamentos nas duas camadas foi classificado como muito alto.

4.3.11 Coliformes Totais (CT) e Coliformes Termotolerantes (CTe)

De acordo com os valores encontrados na Tabela 7, observou-se que houve aumento dos níveis populacionais de CT e CTe com o aumento da proporção de esgoto doméstico primário.

Tabela 7 - Nível populacional de CT e CTe no solo (após 240 dias de aplicação) das distintas proporções esgoto doméstico primário (EDP) e água de abastecimento (AA).

Indicador microbiológico	**Camada de solo (m)**	**Tratamentos**			
		T1	**T2**	**T3**	**T4**
Coliformes Totais (NMP mL^{-1})	0 a 0,20	3,6	9,2	15	93
	0,20 a 0,40	0,0	3,6	9,2	23
Coliformes Termotolerantes (NMP mL^{-1})	0 a 0,20	0,0	3,6	3,6	11
	0,20 a 0,40	0,0	0,0	0,0	3,6

Nota 1: (T1 – 0% de EDP mais 100% de AA, T2 – 33% de EDP mais 67% de AA, T3 – 67% de EDP mais 33% de AA, T4 – 100% de EDP mais 0% de AA).
Nota 2: NMP mL^{-1} – Número Mais Provável por mL da amostra de esgoto doméstico primário.

Observando os valores dos Coliformes Totais (Tabela 7) evidenciou-se que os maiores valores foram encontrados na camada superior do solo, e no tratamento que continha somente esgoto doméstico em sua composição (T4). Resultado semelhante foi encontrado no trabalho de Santos et al. (2006), cultivando o cafeeiro com esgoto sanitário, e também constataram maiores valores de CT nas camadas de solo superficiais. Comprovaram ainda que a aplicação do esgoto doméstico deve ser suspensa, pelo menos, duas semanas antes da colheita dos frutos para minimizar o risco de contaminação ambiental e que não houve contaminação microbiológica dos frutos do cafeeiro coletados no solo.

Souza et al. (2011) aplicando esgoto doméstico, verificaram que a contaminação por coliformes fecais na superfície do solo foi mínima e sem risco para a saúde do homem, chegando à ausência de contaminação a 1,00 m de profundidade.

Para os Coliformes Termotolerantes (CTe) observou-se efeito semelhante aos do Coliformes Totais, com exceção da variação entre as camadas, que para este indicador, as diferenças foram menos evidentes, principalmente nos tratamentos que possuíam menos proporções de esgoto doméstico primário (T1, T2 e T3).

Santos (2004) estudou a contaminação microbiológica do solo no momento da fertirrigação de cafeeiro com esgoto sanitário tratado. Constatou-se que tal ação proporcionou o controle dos coliformes fecais ao suspender a aplicação do efluente por um período de duas semanas. Tal resultado confirma que a sobrevivência dessas bactérias é menor sob altas temperaturas, baixa umidade do solo, ou quando expostos a maior incidência de radiação solar.

Segundo Leon Suematsu e Cavallini (1999), os microrganismos podem sobreviver por períodos mais longos no solo do que nas superfícies das culturas, sendo que o tempo de sobrevivência dos coliformes fecais no solo, em clima quente (temperatura entre 20 e 30ºC) pode variar de 20 a 70 dias.

Al-Nakshabandi et al. (1997) observaram que o nível populacional de bactérias heterotróficas, na camada de 0,07 a 0,10 m de profundidade, é menor que na superfície de um solo que recebeu a aplicação de esgoto sanitário tratado. Relataram, também, que a aplicação deste efluente no solo proporcionou considerável aumento no nível populacional dos coliformes fecais, em relação ao solo seco. Segundo Rocha et al. (2003), após 54 dias da aplicação de esgoto sanitário tratado, não foram identificados coliformes fecais no solo, sendo que, a partir dos 60 dias, nenhuma amostra positiva com ovos de helmintos foi encontrada, apesar do alto nível de contaminação inicial.

Estudos indicaram que a própria estrutura da planta influencia na sobrevivência de microrganismos, particularmente no sistema radicular.

Com respeito ao efeito da estrutura da planta, Bell e Bole (1978) encontraram que 10 h de exposição à radiação solar foram suficientes para erradicar os coliformes fecais nas plantas de alfafa fertirrigadas com esgoto sanitário tratado, porém 50 h foram requeridas para eliminar os coliformes fecais na grama (*Phalaris arundinacea*).

Al-Lahham et al. (2003) analisaram a contaminação microbiológica de frutos do tomateiro, fertirrigados com esgoto sanitário tratado via sistema de irrigação por sulcos. Os níveis populacionais de coliformes fecais, na casca do fruto, oscilaram de $1,3x10^2$ a $3x10^2$ UFC por 100 g, porém nenhum coliforme fecal foi detectado na polpa do fruto.

5 CONCLUSÕES

A qualidade do esgoto doméstico primário e da água de abastecimento não compromete o uso para o cultivo agrícola, podendo ser utilizado com critérios de manejo.

O T2 foi o tratamento que proporcionou melhor desempenho do sistema de irrigação, apresentando melhores coeficientes de uniformidades (CUD e CUC) e eficiência de aplicação (EA).

Com relação às características do solo CE, P, K, Ca e Acidez total observou-se que os valores destas não sofreram alterações significativas em função dos tratamentos aplicados, alterando-se somente com a profundidade do solo e com o tempo de aplicação dos tratamentos.

As características pH, V, SB e Zn apresentaram tendência de redução com o aumento da proporção de esgoto doméstico primário e com o tempo de aplicação. Já os atributos N, MO, Mg, Na, PST, H+Al, m, t, CTC, Cu, Fe e Mn apresentaram tendência de aumento com a proporção de esgoto doméstico e com o tempo de aplicação.

Os Coliformes Totais e Termotolerantes apresentaram tendência de aumento com o aumento da proporção de esgoto doméstico primário e redução com o aumento da profundidade do solo.

Conforme o exposto neste estudo recomenda-se a proporção de 33% de EDP mais 67% de AA (T2), uma vez que a mesma garantiu um aporte parcial de nutrientes, contribuindo para a redução dos gastos com fertilizantes, o controle da poluição ambiental e não provocou obstrução ao sistema de irrigação utilizado.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AIROLDI, R. P. S. **Análise do desempenho de gotejadores e da prevenção do entupimento com águas residuárias.** Piracicaba: ESALQ/USP, 2007. 137 f. (Tese de Doutorado).

ALCÂNTARA, M. A. K.; AQUINO NETO, V.; CAMARGO, O. A. **Mineralização do nitrogênio em solos tratados com lodos de curtume.** Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v.42, n.4, p.548-555, 2007.

AL-LAHHAM, O.; EL-ASSI, N. M.; FAYYAD, M. Impact of treated wastewater irrigation on quality attributes and contamination of tomato fruit. **Agricultural Water Management,** v.61, n. 1, p.51-62, 2003.

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. **Evapotranspiracíon del cultivo, Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos.** Roma: FAO, 2006. 298p.

ALMEIDA, O. A. **Qualidade da água de irrigação.** 1. ed. Cruz das Almas: EMBRAPA, 2010. 234p.

AL-NAKSHABANDI, G. A.; SAQQAR, M. M.; SHATANAWI, M. R.; FAYYAD, M.; AL-HORANI, H. Some environmental problems associated with the use of the wastewater for irrigation in Jordan. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v.34, n.1, p.81- 94, 1997.

ANDRADE NETO, C. O. O uso de esgotos tratados em irrigação. In: ANDRADE NETO, C. O. **Sistemas Simples para Tratamento de Esgotos Sanitários: Experiência Brasileira**. Rio de Janeiro: ABES, 1997. 301 p.

ANDRADE, E. M.; SOUZA, I. H.; SILVA, E. L. Analise dos custos fixos de um sistema de irrigação localizado por gravidade-bubbler. **Revista de Ciência Agronômica,** Fortaleza, v.33, n.1, p.64-69, 2003.

ARRAES, F. D. D. ; ANDRADE, E. M.; SOUZA, I. H.; COSTA, M. P.; BRITO, J. L. D.; MIRANDA, C. A.; PALÁCIO, H. Q. A. Análise da uniformidade de aplicação de água em sistema de irrigação de baixa pressão, bubbler. In: XVII Congresso nacional de Irrigação e Drenagem (CONIRD). Mossoró-RN. **Anais...** 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13969. **Tanques sépticos - Unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos - Projeto, construção e operação.** Rio de Janeiro: ABNT, 1997. 27p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7229. **Projeto, construção e operação de sistemas de tanques sépticos**. Rio de Janeiro: ABNT, 1993, 15p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Requisitos mínimos para elaboração de projeto de sistema de irrigação localizada.** São Paulo, ABNT, 1997, 8p.

AYERS, R. S.; WESTCOT, D. W. **A qualidade da água na agricultura.** Traduzida por GHEYI, H. R.; MEDEIROS, J. F.; DAMACENO, F. A. V. Campina Grande: UFPB, 1999. 153 p. (Estudos FAO 29, 1999).

AZEVEDO, M. R. Q. A; KÖNIG, A; AZEVEDO, C. V; TAVARES, T. L; SOARES, F. A. L. Efeito da irrigação com água residuária tratada sobre a produção de milho forrageiro. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias,** Recife, v.2, n.1, p.63-68, 2007.

AZEVEDO, P. L.; OLIVEIRA, E. L. Efeitos da aplicação de efluente de tratamento de esgoto na Fertilidade do solo e produtividade de pepino sob irrigação subsuperficial. **Engenharia Agrícola,** Jaboticabal, v.25, n.1, p.253-263, 2005.

BARROSO, L.B.; WOLFF, D.B. **Reúso de esgoto sanitário na irrigação de culturas agrícolas.** Engenharia Ambiental, Espírito Santo do Pinhal, v.8, n. 3, p. 225 – 236, 2011.

BARTON, L.; SCHIPPER, L. A.; BARKLE, G. F.; MCLEOD, M.; SPEIR, T. W.; TAYLOR, M. D.; MCGILL, A. C.; VAN SHANAIK, A. P.; FITZGERALD, N. B.; PANDEY, S. P. Land application of domestic effluent onto four soil types: plant uptake and nutrient leaching. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v. 34, p. 635-644, 2005.

BASTOS, R. K. X; BEVILACQUA, P. D. Normas e critérios de qualidade para o reúso de água In: FLORENCIO, L; BASTOS,R,K,X; AISSE, M,M. **Tratamento e utilização de esgotos sanitários.** Rio de Janeiro: ABES, 2006, 427 p.

BATISTA, R. O.; COSTA, F. G. B.; LOPES, H. S. S.; COELHO, D. C. L.; COSTA PAIVA, M. R. F. Efeito das características do esgoto doméstico na uniformidade de aplicação de sistemas de irrigação por gotejamento. **Revista Caatinga**, Mossoró, v.24, p.137-144, 2011a.

BATISTA, R. O.; SOARES, A. A.; MOREIRA, D. A.; FEITOSA, A. P.; BEZERRA, J. M. Influência de diferentes qualidades de esgoto doméstico na vazão de gotejadores. **Revista Caatinga,** Mossoró, v.24, p.128-134, 2011b.

BAUMGARTNER, D.; SAMPAIO, S. C.; SILVA, T. R.; TEO, C. R. T. A.; VILAS BOAS, M. A. Reúso de águas residuárias da piscicultura e da suinocultura na irrigação da cultura da alface. **Engenharia Agrícola,** Jaboticabal, v.27, n.1, p.152-163, 2007.

BELL, R. G.; BOLE, J. B. Elimination of faecal coliform bacteria from soil irrigated with municipal sewage lagoon effluent. **Journal Environmental Quality**, Madison, v.7, n.2, p.193-196, 1978.

BERNARDI, C. C**. Reúso de água para a irrigação**. Brasilia: ISEA/FGV, 2003, 52 f. (Trabalho de Conclusão de Curso).

BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de irrigação**. 8. ed. Viçosa: UFV, 2006. 625 p.

BERTONCINI, E. I. Tratamento de efluentes e reuso da água no meio agrícola. Revista **Tecnologia & Inovação Agropecuária**, São Paulo, v. 1, n. 1, p. 152-169, 2008.

BORKERT, C. M.; PAVAN, M. A.; BATAGLIA, O. C. Disponibilidade e avaliação de elementos catiônicos: ferro e manganês. In: PEREIRA, M. E.; CRUZ, M. C. P.; RAIJ, B. VAN; ABREU, C. A. Micronutrientes e elementos tóxicos na agricultura**. Anais...** Jaboticabal: CNPq/FAPESP/POTAFOS, 2001. p.151-185.

BRASIL (2005). Resolução nº 357 de 17 de março de 2005. **Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes.** Brasília, 2005. Disponível em: <http://www. siam.mg.gov.br/sla/download.pdf? idNorma=2747>. Acesso em: 09 de jul. de 2013.

BRASIL (2011). Resolução nº 430 de 13 de maio de 2011. **Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução no 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA.** Brasília, 2011. Disponível em: < http://antigo.semace.ce.gov.br/integracao/biblioteca/legislacao/conteudo _legislacao.asp?cd=95>. Acesso em: 21 mar. 2013.

BUCKS, D.A; NAKAYAMA,F.S; GILBERT,R.G. Trickle irrigation water quality and preventive maintenance. **Agricultural Water Manage**, Amsterdam, v. 2, p. 149-162, 1979.

CAPRA, A.; SCICOLONE, B. Water quality and distribution uniformity in drip/trickle irrigation systems. **Journal of Agricultural Engineering Research**, London, v.70, n.4, p.355-365, 1998.

CARARO, D. C.; BOTREL, T. A.; HILLS, D. J.; LEVERENZ, H. L. Analysis of clogging in drip emitters during wastewater irrigation. **Applied Engineering in Agriculture,** St. Joseph, v. 22, n. 2, p. 251-257, 2006.

CARARO, D.C. **Manejo de irrigação por gotejamento para aplicação de água residuária visando à minimização do entupimento de emissores.** Piracicaba: ESALQ/USP, 2004. 130 f. (Tese de Doutorado).

CARLOS, J.A.; AQUINO, B.F.; SOUSA, G.G.; ALVINO, F.C.G.; GUIMARÃES, F.V.A. Produtividade da momoneira sob fontes e doses de nitrogênio irrigada com esgoto doméstico tratado. **Revista Verde,** Mossoró, v. 7, n. 2, p. 60-70, 2012.

CEARÁ (2002). **PORTARIA N°154, DE 22 DE JULHO DE 2002.** Dispõe sobre padrões e condições para lançamento de efluentes líquidos gerados por fontes poluidoras. Disponível em: <http://www.semace.ce.gov.br/biblioteca/legislacao/conteudo _legislacao.asp?cd=95>. Acesso em: 21 mar. 2013.

CHERNICHARO, C. A. L.; FLORENCIO, L.; BASTOS, R. K. X.; PIVELI, R. P.; von SPERLING, M; MONTEGGIA, L. O. Tratamento de esgotos e produção de efluentes adequados a diversas modalidades de reúso da água. In: FLORENCIO, L.; BASTOS, R. K. X.; AISSE, M. M. (Coord.). **Tratamento e utilização de esgotos sanitários.** Rio de Janeiro: ABEAS, 2006, cap. 3, p.63-110. (Projeto PROSAB).

COELHO, D.C.L. **Atributos químicos de um argissolo e produção de capim elefante decorrentes da aplicação de percolado de aterro sanitário.** Mossoró: UFERSA, 102 f. 2013. (Dissertação de Mestrado).

COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO DO ESTADO DE MINAS GERAIS - CFSEMG**. Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais - 5ª aproximação.** Viçosa: 1999, 359 p.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. **Instrução técnica n. 31: aplicação de água de reúso proveniente de estação de tratamento de esgoto doméstico na agricultura.** São Paulo, 2006. 12 p.

COSTA, D. M. A.; BARROS JUNIOR, A. C. **Avaliação da necessidade do reúso de águas residuais.** 2005. Disponível em http://www.google.com/search?q=cache:EdlwyNrWf70J:www.cefetrn.br/dpeq/holos/anterior/ 200509/pdf/081101.pdf+projetos+reuso+de+água+em+irriga%C3%A7%C3%A3o&hl=PTBR&gl=br&ct=clnk&cd=93. Acesso em 22 de mar. 2013.

COSTA, F. G. B. **Uso de água residuária de origem doméstica no cultivo do girassol no assentamento milagres, Apodi-RN.** Mossoró: UFERSA, 2012. 92 f. (Dissertação de Mestrado).

COSTA, R. H. P. G. Água: matéria-prima primordial à vida In: TELLES, D.D.; COSTA, R, H. P. G. (Coord.). **Reúso da Água: conceitos, teorias e práticas.** 2. Ed. São Paulo: Editora Blucher, 2010. p. 1–11.

DALTRO FILHO, J. **Saneamento ambiental: doença, saúde e o saneamento da água.** São Cristóvão: Editora UFS/Fundação Oviêdo Teixeira, 2004. 332p.

DANTAS, T.B. **Níveis de contaminação no solo e na água decorrentes do uso de efluentes em Perímetro urbano.** Mossoró: UFERSA, 2012, 46 f. (Dissertação de Mestrado).

DEON, M. D; GOMES, T. M; MELFI, A. J; MONTES, C. R; SILVA, E. Produtividade e qualidade da cana-de-açúcar irrigada com efluente de estação de tratamento de esgoto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira,** Brasília, v.45, n.10, p.1149-1156, 2010.

DEON, M.D. **Reciclagem de água e nutrientes pela irrigação da cana - de - açúcar com efluente de estação de tratamento de esgoto.** Piracicaba: ESALQ/USP, 2010, 88 f. (Tese de Doutorado).

DIDAN, K.; REINOLDS, C.; YITAYEN, M. Bubbler : version 1.1. **Users Manual.** A computer program for designing low-head gravity-flow bubbler irrigation systems for threes, Vines, and orchard crops. Agricultural Experimental Station. Tucson: University of Arizona, 33p, 1995.

DUARTE, A. S. **Reuso de água residuária tratada na irrigação da cultura do pimentão *(Capsicum annun L.)***. Piracicaba:ESALQ/USP, 2006, 187 f. (Dissertação de Mestrado).

DUARTE, A; AIROLDI, R. P. S; FOLEGATTI, M. V; BOTREL, T. A; SOARES, T. M. Efeitos da aplicação de efluente tratado no solo: pH, matéria orgânica, fósforo e potássio. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental,** Campina Grande, v.12, n.3, p.302–310, 2008.

DUTRA, I. **Distribuição da água e avaliação da salinidade no solo em cultivo de goiabeira irrigado por sistema localizado de baixa pressão.** Fortaleza: UFC, 2002. 73 f. (Dissertação de Mestrado).

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solo.** 2. ed. Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 1997. 212 p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Nutrição, calagem e adubação do mamoeiro irrigado.** EMBRAPA, 2004, 10p. (Circular Técnica n. 69).

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 2. ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA, 2006. 412p.

ERTHAL, V. J. T.; FERREIRA, P. A.; MATOS, A. T.;PEREIRA, O. G. Alterações físicas e químicas de um Argissolo pela aplicação de água residuária de bovinocultura. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental,** Campina Grande, v.14, n.5, p.467-477, 2010.

FACTOR, T.L.; ARAÚJO, J.A.C.; JÚNIOR, L.V.E.V. Produção de pimentão em substratos e fertirrigação com efluente de Biodigestor. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental,** Campina Grande, v. 12, n.1, p.143-149, 2008.

FEIGIN, A.; RAVINA, I.; SHALHEVET, J. Sources, treatment, processes and uses of sewage effluent. In: **Irrigation with treated sewage effluent.** (Eds.) Berlin: Springer-Verlag, Cap.2, p.3-33. 1991.

FERREIRA, A. S.; CAMARGO, F. A. O.; TEDESCO, M. J.; BISSANI, C. A. Alterações de atributos químicos e biológicos de solo e rendimento de milho e soja pela utilização de resíduos de curtume e carbonífero. **Revista Brasileira de Ciência do Solo,** Viçosa, v.27, n.4, p. 755-763. 2003.

FLORÊNCIO, L.; AISSE, M. M.;BASTOS, R. K. X.; PIVELI, R. P. Utilização de esgotos sanitários – Marcos conceituais e regulatórios. In: FLORÊNCIO, L.; BASTOS, R. K. X.; AISSE, M. M. (ED.). **Tratamento e utilização de esgotos sanitários.** Rio de Janeiro: ABES, 2006. Cap. 1, p.1-15.

FONSECA, A. F. **Disponibilidade de nitrogênio, alterações nas características químicas do solo e do milho pela aplicação de efluente de esgoto tratado.** Piracicaba: ESALQ/USP, 2001, 110 f, (Dissertação de Mestrado).

FONSECA, A. F. **Viabilidade agronômico-ambiental da disposição de efluente de esgoto tratado em um sistema solo-pastagem.** Piracicaba: ESALQ/USP, 2005. 174 f. (Tese de Doutorado).

FONSECA, A. F.; HERPIN, U.; PAULA, A. M.; VICTÓRIA, R.; MELFI, A. J. Agricultural use of treated sewage effluents: agronomic and environmental implications and perspectives for Brazil. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.64, n.2, p.194-209, 2007.

FONSECA, A. F.; MELFI, A. J.; MONTES, C. R. Maize growth and changes in soil fertility after irrigation with treated sewage effluent. I. Plant dry matter yield and soil nitrogen and phosphorus availability. **Communications in Soil Science and Plant Analysis,** New York, v. 36, p. 1965-1981, 2005a.

FONSECA, A. F.; MELFI, A. J.; MONTES, C. R. Maize growth and changes in soil fertility after irrigation with treated sewage effluent. II. Soil acidity, exchangeable cations, and sulfur, boron and heavy metals availability. **Communications in Soil Science and Plant Analysis,** New York, v. 36, p. 1983-2003, 2005b.

FREITAS, C.A.S. **Estudo comparativo do uso de esgoto doméstico tratado e água de poço freático na irrigação de culturas destinadas à produção de biocombustível.** Fortaleza: UFC, 2011. 296 f. (Dissertação de Mestrado).

FREITAS, W. S.; OLIVEIRA, R. A.; CECON, P. R.; PINTO, F. A.; GALVÃO, J. C. C. Efeito da aplicação de água residuária de suinocultura em solo cultivado com milho. **Engenharia na Agricultura,** Viçosa, v.13, n.2, p.95-102, 2005.

GARCIA, G. O.; RIGO, M. M.; CECÍLIO, R. A.; REIS, E. F.; BAUER, M. O.; RANGEL, O. J. P. Propriedades químicas de um solo cultivado com duas forrageiras fertirrigadas com esgoto doméstico tratado. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias,** Recife, v.7, suplementar, 2012, p. 737-742.

GILBERT, R.G.; FORD, H.W. Operational principles/emitter clogging. In: NAKAYAMA, F.S.; BUCKS, D.A. **Trickle irrigation for crop production,** Amsterdam: Elsevier, 1986. p.142-163.

GLOAGUEN, T. V. et al. Soil solution of a Brazilian Oxisol irrigated with treated sewage effluent**. Agriculture Water Management,** Amsterdam, v. 88, p. 119-131, 2007.

GUO, L.; SIMS, R. Soil response to eucalypt tree planting and meatworks effluent irrigation in a short rotation forest regime in New Zealand. **Bioresource Technology,** Oxford, v. 87, p. 341-347, 2003.

HERPIN, U. et al. Chemical effects on the soil plant system in a secondary treated wastewater irrigated coffee plantation - A pilot field study in Brazil. **Agricultural Water Management,** Amsterdam, v. 89, p. 105-115, 2007.

HESPANHOL,I. Potencial de reúso de água no Brasil: agricultura, indústria, município e recarga de aqüíferos. In: MANCUSO, P.C.S.; SANTOS, H.F. **Reúso de água**. Barueri: Manole, 2003. p. 37-97.

IDEMA. **Perfil do seu municipio, Apodi.** Disponível em:<http://www.idema.rn.gov.br/contentproducao/aplicacao/idema/socio_economicos/enviados/perfil_municipio.asp>.Acesso em: 23 de mar. 2013.

JNAD, I.; LESIKAR, B.; KENIMER, A.; SABBAGH, G. Subsurface drip dispersal of residential effluent: I. soil chemical characteristics. **Transactions of the ASAE,** St Joseph, v. 44, n. 5, p. 1152-1158, 2001.

KELLER, J; BLIESNER, R.D. **Sprinkle and trickle irrigation.** New York: Avibook, 1990, 649p.

KOURAA, A.; FETHI, F.; LAHLOU, A.; OUAZZANII N. Reuse of urban wastewater by combined stabilization pond system en Benslimane (Marocco). **Urban Water,** London, v.4, n.4, p.373-378, 2002.

LEAL, R. M. P.; HERPIN, U.; FONSECA, A. F.; FIRME, L. P.; MONTES, C. R.; MELFI, A. J. Sodicity and salinity in a Brazilian Oxisol cultivated with sugarcane irrigated with wastewater. **Agricultural Water Management,** Amsterdam, v. 96, p. 307-316, 2009a.

LEAL, R.M.P.; FIRME, L.P.; MONTES, C.R.; MELFI, A.J.; PIEDADE, S.M. de S. Soil exchangeable cations, sugarcane production and nutrient uptake after wastewater irrigation. **Scientia Agricola,** v.66, p.242-249, 2009b.

LEMOS, M. **Sistema modular para tratamento de esgoto doméstico em assentamento rural e reuso para produção de girassol ornamental.** Mossoró: UFERSA, 2011, 172 f. (Dissertação de Mestrado).

LEON SUEMATSU, G.; CAVALLINI, J. M. **Tratamento e uso de águas residuárias.** Tradução de: GHEYI, H. R.; KÖNIG, A.; CEBALLOS, B.S.O.; DAMASCENO, F.A.V. Campina Grande: UFPB, 1999. 109 p.

LIMA, V. C.; LIMA, J. M. J. C.; EDUARDO, B. J. F. P.; CERRI, C. C. Conteúdo de carbono e biomassa microbiana em agroecossistemas: Comparação entre métodos de preparo do solo. **Revista do Setor de Ciências Agrárias,** Curitiba, v.1391, n.2, p.297-302,1994.

LUCENA, A. M. A; GUERRA, H.O.C; CHAVES,L.H.G; COSTA, F. C. Análise de um efluente de esgoto tratado e seu efeito em propriedades químicas de um neossolo quartzarênico. **Revista Caatinga,** Mossoró, v.19, n.4, p.409-414, 2006.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações.** 2. ed. Piracicaba: Potafós, 1997. 319 p.

MANCUSO, P. C. S.; SANTOS, H. F. **Reúso de água.** Barueri: Manole, 2003. 579 p.

MANTOVANI, E. C**. AVALIA: Programa de avaliação da irrigação por aspersão e localizada.** Viçosa: UFV, 2001.

MARA, D.D.; CAIRNCROSS, S. Guidelines for the Safe Use of Watewater and Excreta in Agriculture and Aquaculture. In: **Measures for Public Health Protection.** World Health Organization , United Nations Environment Programme, Genebra , 1989.

MARECOS DO MONTE. H; ALBUQUERQUE. A. **Reutilização de Águas Residuais.** Lisboa, 2010, 319 p. (Série de Guias técnicos n. 14).

MARQUES, M. O.; CORAUCCI FILHO, B.; BASTOS, R. K. X.; KATO, M. T.; LIMA, V. L. A. DE; ANDRADE NETO, C. O.; MENDONÇA, F. C.; MARQUES, P. A. A.; MARQUES, T. A.; BELLINGIERI, P. H.; VAN HAANDEL, A. C. Uso de esgotos tratados em irrigação: Aspectos agronômicos e ambientais. In: BASTOS, R. K. X. **Utilização de esgotos tratados em fertirrigação, hidroponia e piscicultura.** Rio de Janeiro: ABES, RiMa, 2003, p.61-118.

MATOS, A. T. **Disposição de águas residuárias no solo.** Viçosa, MG: Associação dos Engenheiros Agrícolas de Minas Gerais, 2007. 140 p. (Caderno didático n. 38).

MATOS, A. T. **Tratamento e aproveitamento agrícola de resíduos sólidos**. Viçosa, MG: Associação dos Engenheiros Agrícolas de Minas Gerais, 2006, 125 p. (Série Caderno Didático, n.37).

MATOS, A. T.; PINTO, A. B. PEREIRA, O. G. BARROS, F. M. Alteração de atributos químicos no solo de rampas utilizadas no tratamento de águas residuárias. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental,** Campina Grande, v.9, n.3. p.406-412, 2005.

MATTOS, K. M. C. **Viabilidade da irrigação com água contaminada por esgoto doméstico na produção hortícola.** Botucatu: UNESP, 2003, 151 f. (Tese de Doutorado).

MEDEIROS, S. S.; SOARES, A. A.; FERREIRA, P. A.; MATOS, A. T.; SOUZA, J. A. A. Utilização de água residuária de origem doméstica na agricultura: Estudo das alterações químicas do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental,** Campina Grande, v.9, n.4, p.603- 612, 2005.

MENDONÇA, E. S.; ROWELL, D. L. Dinâmica do alumínio e de diferentes frações orgânicas de um Latossolo argiloso sobre cerrado e soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo,** Viçosa, v.18, p.295-303, 1994.

MERRIAN, J.L.; KELLER, J**. Farm irrigation system evaluation: a guide for management.** Logan: Utah State University, 285p, 1978.

MIRANDA, F. R.; LIMA, R. N.; CRISÓSTOMO, L. A.; SANTANA, M. G. S. Reuse of inland low-salinity shrimp farm effluent for melon irrigation. **Aquacultural Engineering,** Amsterdam, v.39, n.1, p.1-5, 2008.

MONTES, R. M. Irrigação com esgotos tratados: Impactos no solo e Aquíferos. In: FLORENCIO, L.; BASTOS, R. K. X.; AISSE, M. M. **Tratamento e utilização de esgotos sanitários.** Rio de Janeiro: ABES, 2006, 427 p.

MOTA, F. S. B; von SPERLING, M. **Nutrientes de esgoto sanitário: utilização e remoção.** Rio de Janeiro: ABES, 2009, p. 428.

MOTA, S; FONSECA, A. F; STEFANUTTI, R; VOLSCHAN, J. J; NAVAL, L. In: FLORENCIO, L; BASTOS, R. K. X; AISSE, M. M. **Tratamento e utilização de esgotos sanitários.** Rio de Janeiro: ABES, 2006, 427 p.

MOURA, F. N.; BATISTA, R. O.; SILVA, J. B. A.; FEITOSA, A. P.; COSTA, M. S. Desempenho de sistema para tratamento e aproveitamento de esgoto doméstico em áreas rurais do semiárido brasileiro. **Engenharia Ambiental,** Espírito Santo do Pinhal, v.8, n.1, p. 264-276, 2011.

NAKAYAMA, F. S.; BOMAN, B. J.; PITTS, D. MAINTENANCE. In: LAMM, F. R.; AYARS, J. E.; NAKAYAMA, F. S. (Eds.). **Microirrigation for crop production: Design, Operation, and Management.** Amsterdam: Elsevier, 2006, cap. 11, p. 389 - 430.

NIRIT, B.; ASHER, B. T.; HAYA, F.; PINI, S.; ILONA, R.; AMRAM, C.; MARINA, I. Application of treated wastewater for cultivation of roses (*Rosa hybrida*) in soil-less culture. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 108, n. 2, p. 185-193, 2006.

NOBRE, R.G.; GHEYI, H.R.; SOARES, F.A.L.; ANDRADE, L.O.; NASCIMENTO, E.C.S. Produção do girassol sob diferentes lâminas com efluentes domésticos e adubação orgânica. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental,** Campina Grande, v.14, n.7, p. 742–746, 2010.

NOGUEIRA, S. F. **Efeitos da irrigação com esgoto tratado e fertilização nitrogenada na ciclagem de carbono e nitrogênio e no metabolismo microbiano de um solo cultivado com capim-Bermuda Tifton 85.** Piracicaba: USP, 2008, 138 f, (Tese de Doutorado).

NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V., V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. **Fertilidade do solo.** Viçosa: SBCS, 2007. 1017p.

PAGANINI, W. S. Reúso de água na agricultura. In: MANCUSO, P. C. S.; SANTOS, H.F.(Ed). **Reúso de água.** Barueri: Manole, 2003. p. 37-97.

PARVAN, M; DANESH, S; ALIZADEH, A. Effects of irrigation with treated wastewater on Some Chemical Soil Properties in Parkandabad. **Geophysical Research Abstracts**, Vienna, v. 11, 2009.

PAULA, A. M. **Atributos microbiologicos do solo em área de pastagem irrigada com laminas excedentes de efluente de esgoto tratado**. Piracicaba: ESALQ/USP, 2008. 120 f. (Tese de Doutorado).

PEREIRA, B. F. F. **Alterações químicas no sistema solo-planta irrigado com efluente de esgoto tratado no cultivo dos citros.** Piracicaba: ESALQ/USP, 2009, 163 f. (Tese de Doutorado).

PINTO, M. A. T. ; FORESTI, E. ; Junior, J.M. Reuso das águas residuárias: uma análise crítica. In: FLORENCIO, L.; BASTOS, R. K. X.; AISSE, M. M. **Tratamento e utilização de esgotos sanitários.** Rio de Janeiro: ABES, 2006. p. 393-403.

PINTO, M.C.K. **Contaminação do lençol freático e cultivo de Alface sob irrigação com água residuária.** Botucatu: UNESP, 2011, 70 f. (Dissertação de Mestrado).

PIVELI, R. P.; MENDONÇA, F. C. Uso de esgotos tratados em lagoas de estabilização para fertirrigação nas culturas de milho e girassol. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 2003, Joinville. **Anais...** Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2003. p. 23-26.

PIVELI, R.P.; MELFI, A.J.; MONTES, C.R.; GOMES, T.M. Uma reflexão sobre a qualidade e uso de esgoto tratado por lagoas de estabilização na agricultura: caso de Lins/SP. **Revista DAE**, São Paulo, n.177, p.63-70, 2008.

QIAN, Y. L.; MECHAM, B. Long term effects of recycled wastewater irrigation on soil chemical properties on golf course fairways**. Agronomy Journal,** Madison, v. 97, p. 717-721, 2005.

RAIJ, B. van. **Avaliação da fertilidade do solo.** Piracicaba: Instituto Internacional da Potassa, 1981. 343p.

RAIJ, B. van. Métodos de diagnose de fósforo no solo em uso no Brasil. In: YAMADA, T.; ABDALLA, S. R. S. (Eds.). **Fósforo na agricultura brasileira.** Piracicaba: Potafos, 2004. p. 563-588.

RATTAN, R.K., DATTA, S.P., CHHONKAR, P.K., SURIBABU, K.; SINGH, A.K. Long-term impact of irrigation with sewage effluents on heavy metal content in soils, crops and groundwater: a case study. **Agriculture, Ecosystems & Environment,** Amsterdam, v. 109, n. 3/4, p. 310-322, 2005.

RAVINA, I.; PAZ, E; SOFER, Z.; MARCU, A.; SHISHA, A.; SAGI, G. Control of emitter clogging in drip irrigation with reclaimed wastewater**. Irrigation Science,** Berlin, v.13, p.129- 39, 1992.

RAWLINS, S.L. Uniform irrigation with a low head bubbler system. **Agriculture and Water Management.** Amsterdam, v.l, n.1, p.166-178, 1977.

REAMI, L. **Avaliação de produtividade agrícola e de concentrações de metais nos grãos, de cultura de milho irrigada com efluente anaeróbio**. Campinas: UECAM/FEC, 2008. 134 f. (Dissertação de Mestrado).

REICHARDT, K. **A água em sistemas agrícolas.** 1. ed. São Paulo: Editora Manole LTDA, 1990, 188 p.

REINALDO, G. P. B.; BATISTA, R. O.; SILVA, P. C. M.; LEMOS FILHO, L. C. A.; FERREIRA NETO, M. SANTOS, D. B. Desempenho de sistema decanto-digestor com filtro biológico seguido por alagado construído e reator solar no tratamento de esgoto doméstico. **Ambi-Agua,** Taubaté, v. 7, n. 2, p. 62-74, 2012.

REYNOLDS, C.A. **Design and evaluation of bubbler irrigation systems**. Arizona: UAA, 1993. 134 f. (Dissertação de Mestrado).

REYNOLDS, C.A; YITAYEW, M.; PETERSEN, M. Low-head bubbler irrigation systems. Part I: Design. **Agricultural Water Management.** Amsterdam, v.29, n.1, p.1-24, 1995.

RIBEIRO, M.C.F.; ROCHA, F.A.; SANTOS, A.C.; SILVA, J.O.; PEIXOTO, M.F.S.P.; PAZ, V.P.S. Crescimento e produtividade da mamoneira irrigada com diferentes diluições de esgoto doméstico tratado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental,** Campina Grande, v.16, n.6, p. 639-646, 2012.

RICCI, A. B.; PADOVANI, V. C. R.; PAULA JÚNIOR, D. R. Uso de lodo de esgoto estabilizado em um solo decapitado. I – Atributos físicos e revegetação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo,** Viçosa, v.34, n.2 p.535-542, 2010.

RICE, E. W.; BAIRD, R. B.; CLESCERI, A. D. **Standard methods for the examination of water and wastewater.** 22. ed. Washington: APHA, AWWA, WPCR, 2012. 1496 p.

RICHARDS, L. A. **Diagnosis and improvement of saline and álcali soils.** Washington, US Department of Agriculture, 1954. 160 p. (USDA Agricultural Handbook, 60).

ROCHA, R. E. M.; PIMENTEL, M. S.; ZAGO, V. C. P. Avaliação de biossólido de águas servidas domiciliares como adubo em couve. **Pesquisa Agropecuária Brasileira,** Brasília, v.38, n.12, p.1435-1441. 2003.

RODRIGUES, L.N. **Níveis de reposição da evapotranspiração da mamoneira irrigada com água residuaria.** Campina Grande: UFCG, 2008. 161 f. (Tese de doutorado).

RODRIGUES, L.N.; NERY, A.R.; FERNANDES, P.D.; BELTRÃO, N.E.M.; GHEYI, H.R. Crescimento e produção de bagas da mamoneira irrigada com água residuária doméstica. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental,** Campina Grande, v.13, (Suplemento), p. 825-835, 2009.

SALATI, E. **Controle de qualidade da água através de sistemas de wetlands construídos.** Fundação Brasileira para o Desenvolvimento sustentável. Disponível em: <http://www.fbds.org.br/fbds/Apresentacoes/Controle_Qualid_Agua_Wetlands_ES_out 06.pdf>. Acesso em: 19 de mar. 2013.

SANDRI, D.; MATSURA, E. E.; TESTEZLAF, R. Desenvolvimento da alface Elisa em diferentes sistemas de irrigação com água residuária. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental,** Campina Grande**,** v. 11, n. 1. p. 17–29, 2007.

SANTOS, A. P. R. **Efeito da irrigação com efluente de esgoto tratado, rico em sódio, em propriedades químicas e físicas de um Argissolo Vermelho distrófico cultivado com capim-Tifton 85.** Piracicaba: ESALQ/USP, 2004. 94 f. (Dissertação de Mestrado).

SANTOS, S. S. **Influência da aplicação via irrigação por gotejamento, de esgoto sanitário tratado na cultura do cafeeiro e no solo.** Viçosa: UFV, 2004. 70 f. (Dissertação de Mestrado).

SANTOS, S. S; SOARES A. A.; MATOS, A. T.; MANTOVANI, E. C.; BATISTA, R. O. Efeitos da aplicação localizada de esgoto sanitário tratado nas características químicas do solo. **Engenharia na Agricultura,** Viçosa, v.14 n.1, p. 32-38. 2006.

SANTOS, S.S.; SOARES, A.A.; MATOS, A.T.; MANTOVANI, E.C.; BATISTA, R.O.; MELO, J.C. Contaminação microbiológica do solo e dos frutos de cafeeiros fertirrigados com esgoto sanitário. **Engenharia na Agricultura,** Viçosa, v.14, n.1, p.16-22, 2006.

SECCO, R. C. **Fitodisponibilidade de zinco, cobre, cromo e níquel de lodo de esgoto e de dejetos de suínos aplicados superficialmente a latossolo vermelho sob plantio direto.** Curitiba: UFPR, 2007. 155 f. (Tese de Doutorado).

SEMIÁRIDO. Disponível em: < http://www.cliquesemiarido.org.br/semi_secas.htm>. Acesso em: 19 de março, 2013.

SILVA, D. F. **Efeito da aplicação de percolado de resíduo sólido urbano em solo cultivado com capim-tifton 85.** Viçosa: UFV. 2008. 148 f. (Tese de Doutorado).

SILVA, E. M.; ROSTON, D. M. Tratamento de efluentes de sala de ordenha de bovinocultura: lagoas de estabilização seguidas de leito cultivado. **Engenharia Agrícola,** Jaboticabal, v. 30, n.1, p. 67-73, 2010.

SILVA, F. C. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes.** 2.ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2009. 627p.

SILVA, F. F.; FREITAS, P. S. L.; BERTONHA, A.; REZENDE, R.; GONÇALVES, A. C. A.; DALLACORT, R. Impacto da aplicação de efluente maturado de fecularia de mandioca em solo e na cultura do sorgo. **Acta Scientiarum Agronomy,** Maringá, v.26, n.4, p.421-427, 2004.

SILVA, L.P.; SILVA, M.M.; CORREA, M.M.; SOUZA, F.C.D.; SILVA, E.F.F. Desempenho de gotejadores autocompensantes com diferentes efluentes de esgoto doméstico. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental,** Campina Grande, v.16, n.5, p.480–486, 2012.

SILVA, M. B. R. **Produção de pinhão manso com água residuária em função de reposição da evapotranspiração.** Campina Grande: UFCG, 2009. 150 f. (Tese Doutorado).

SILVA, M.M. **Irrigação com efluentes secundários no crescimento, produtividade e concentração de nutrientes no solo e na mamoneira.** Campina Grande: UFCG, 2010. 77 f. (Tese de Doutorado).

SILVA, M.M.; MEDEIROS, P.F.; SILVA, E.F.F. Reúso de água proveniente de esgoto doméstico tratado para a produção agrícola no semiárido Pernambucano. In: GHEYI, H.R.; PAZ, V.P.S.; MEDEIROS, S.S.; GALVÃO, C.O. **Recursos hídricos em regiões semiáridas: Estudos e aplicações.** Campina Grande: INSA/UFRB, 2012, cap.8, p.155-174.

SILVA, V.P. **Efeitos da fertirrigação com efluente de lagoa de estabilização nos atributos do solo e na produção do feijão caupi (*Vigna unguiculata (L.) Walp*).** Recife: UFPE, 2007. 128 f. (Tese de Doutorado).

SIMONETE, M. A.; KIEHL, J. C.; ANDRADE, C. A.; TEIXEIRA, C. F. A. Efeito do lodo de esgoto em um Argissolo e no crescimento e nutrição de milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira,** Brasília, v.38, n.10, p.1187-1195, 2003.

SOARES, A. A; RAMOS, M. M.; LUCATO JÚNIOR, J. Uso racional de energia elétrica em sistemas de irrigação tipo pivô-central no estado de Minas Gerais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 22, 1993, Ilhéus. **Anais**..., Ilhéus: SBEA, 1993. p. 2688- 2702.

SOUSA, C.C.M. **Avaliação do uso de esgoto doméstico tratado na irrigação do Capim Tifton 85, Aquiraz – CE.** Fortaleza: UFC, 2009, 117 f. (Dissertação de Mestrado).

SOUZA, I. H. **Avaliação do sistema de irrigação bubbler e do crescimento inicial do cajueiro anão precoce submetido a diferentes níveis de umidade de solo**. Fortaleza: UFC, 2001. 94 f. (Dissertação de Mestrado).

SOUZA, I. H.; ANDRADE, E.M.; SILVA, E.L. Avaliação hidráulica de um sistema de irrigação localizada de baixa pressão, projetado pelo software "bubbler". **Engenharia Agrícola,** Jaboticabal, v.25, n.1, p.264-271. 2005.

SOUZA, J.A.A.; BATISTA, R.O.; RAMOS, M.M.; SOARES, A.A. Alteração nas características físicas do solo decorrentes da aplicação de esgoto doméstico tratado. **Acta Scientiarum Technology,** Maringá, v. 32, n. 4, p. 361-366, 2010.

SOUZA, N.C.; MOTA, S.B.; BEZERRA, F.M.L.; AQUINO, B.F.; SANTOS, A.B. Produtividade da mamona irrigada com esgoto doméstico tratado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental,** Campina Grande, v.14, n.5, p.478–484, 2010.

SOUZA, V.A.A.; BATISTA, R.O.; RAMOS, M.M.; SOARES, A.A. Contaminação microbiológica do perfil do solo com esgoto sanitário. **Acta Scientarium Technology,** Maringá, v.33, n.1, p.5-8, 2011.

VAN DER HOEK, W.; HASSAN, U.M.; ENSINK, J.H.J.; FEENSTRA, S.; RASCHID-SALLY, L.; MUNIR, S.; ASLAM, R.; ALIM, N.; HUSSAIN, R.; MATSUNO, Y. **Urban wastewater: a valuable resource for agriculture.** A case study from Horoonabad, Pakistan. International Water Management Institute, Colombo, Sri Lanka, 2002. 29 p.

VARRALO, A. C. T.; CARVALHO, L.; SANTORO, B. L.; SOUZA, C. F. Alterações nos atributos de um Latossolo Vermelho-amarelo irrigado com água de reuso. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental,** Campina Grande, v.14, n. 4, p.372-377, 2010.

Von SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos.** 3.ed. Belo Horizonte: UFMG, 2011. 452p. (Princípios do tratamento biológico de águas residuárias, 1).

WHO. **Guidelines for the safe use of wastewater, excreta and greywater.** (Volume 2: wastewater use in agriculture). Genebra: World Health Organization, 2006. 196p.

WILCOX, J.C.; SWAILES, G.E. Uniformity of water distribution by some undertree orchard sprinklers**. Scientific Agriculture,** Ottawa. v.11, n.27, p.565-583. 1947.

ZOCOLER, J.L. **Avaliação de desempenho de sistemas de irrigação.** 2007. Disponível em: http://www.agr.feis.unesp.br/curso5.htm. Acesso em: 21 mar. 2013.

APÊNDICE

Figura 30 - Ilustração de frutos do mamoeiro irrigado com esgoto doméstico primário.

Tabela 8 - Características físico-químicas do solo antes da condução do experimento.

Camada do solo (m)	N	pH	CE	MO	P	K^+	Na^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Al^{3+}	(H+Al)	SB	t	CTC
	g kg^{-1}	(água)	dS m^{-1}	g Kg^{-1}	.....mg dm^{-3}.....			.....$Cmol_c$ dm^{-3}.....						
0 - 0,20	0,46	7,03	0,06	9,54	13,21	85,57	8,29	2,50	0,88	0,00	1,73	3,63	3,63	5,19
0,20 - 0,40	0,42	6,41	0,08	7,63	31,74	171,04	11,04	3,37	1,03	0,00	2,04	4,88	4,88	6,92

Continuação da Tabela 8.

Camada do solo (m)	V	m	PST	Cu	Mn	Fe	Zn
	.....%			.....mg dm^{-3}.....			
0 - 0,20	71,24	0,00	0,71	0,41	3,78	1,55	76,33
0,20 - 0,40	70,15	0,00	0,70	0,67	1,13	4,89	80,86

Nota: o pH em água é determinado na relação solo:água. CE=condutividade elétrica do extrato solo:água, na relação 1:5,0. Os elementos P, Na^+ e K^+ são extraídos com o extrator Melich-1 na relação solo:extrator de 1:10. Os elementos de Ca^{2+}, Mg^{2+} e Al^{3+} são extraídos com KCl 1 mol L^{-1} na relação solo:extrator de 1:10. (H+AL)=acidez potencial extraída com acetato de cálcio 0,5 mol L^{-1} na relação solo:extrator de 1:15. SB=soma de bases. t=CTC efetiva. CTC=CTC do solo ou CTC a pH 7,0. V=saturação por bases. m=saturação por alumínio. PST=porcentagem de sódio trocável. As análises foram realizadas no Laboratório de Solos, Água e Planta da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), seguindo as recomendações da EMBRAPA (1997) e Silva (2009).

Tabela 9 - Características físicas do solo antes do início do experimento.

Camada do solo (m)	Densidade do solo*	Areia	Silte	Argila	Relação silte/argilla	Classificação
	.....g cm^{-3}.....	.....g kg^{-1}.....				
0 - 0,20	1,85	0,82	0,10	0,08	1,32	Areia Franca
0,20 - 0,40	1,90	0,70	0,10	0,22	0,28	Franco Argilo Arenoso

Nota: * determinada pelo método do anel volumétrico. As análises foram realizadas no Laboratório de Física do Solo da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), seguindo as recomendações da EMBRAPA (1997).

Tabela 10 - Análise de variância das variáveis Q, CUC, CUD, EA, CVq, ΔP, ΔQ e CVp no esquema de parcelas subdivididas.

Fonte de variação	**Grau de Liberdade**	**Quadrado médio**									
		Q	**CUC**	**CUD**	**EA**	**CVq**	**CUE**	**ΔP**	**ΔQ**	**CVp**	**GE**
Proporções de esgoto doméstico (P)	3	8,44**	10,90**	25,37**	22,18**	36,47**	453,69**	57,18**	163,84**	233,99**	46,38**
Resíduo (a)	6	0,055	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	O,96	0,96	0,96	1,79
Tempo de amostragem (T)	2	77,37**	0,76^{ns}	0,88^{ns}	80,87*	13,27^{ns}	605,84**	1664,69**	85,29**	3243,91**	569.31**
P x T	6	12,23**	25,01^{ns}	76,5^{ns}	68,25**	24,86^{ns}	450,70**	424,69**	245,13**	2274,39**	193,93**
Resíduo (b)	18	0,069	14,04	14,04	14,04	14,04	14,04	14,04	14,04	14,04	0,0417

** Significativo a 1% de probabilidade, * Significativo a 5% de probabilidade e ns-não significativo.

Tabela 11 - Análise de variância das variáveis N, pH, CE, MO, P, K+, Na^{+}, Ca^{2+} e Mg^{2+} no esquema de parcelas subsubdivididas.

Fonte de variação	**Grau de Liberdade**	**Quadrado Médio**								
		N	**pH**	**CE**	**MO**	**P**	**K^{+}**	**Na^{+}**	**Ca^{2+}**	**Mg^{2+}**
Proporções de esgoto doméstico (P)	3	0,0773**	1,600 ns	0,00126 ns	4,15 ns	64,025 ns	6540,347 ns	2354,472 **	1,862 ns	6,314 **
Resíduo (a)	6	0,00863	0,809	0,00116	3,27	431,06	4218	324,615	3,351	0,385
Profundidade (Pr)	1	0,0549*	0,787**	0,00159 ns	34,896**	2,113 ns	85843,55 **	5642,625 **	14,392 **	11,00587 **
Pr x P	3	0,0559**	0,432**	0,717 ns	0,671 ns	300,15 ns	1730,19 **	725,637**	2,637 *	1,0437 ns
Resíduo (b)	8	0,0118	0,0596	0,00107	0.74	349,74	370,18	144,059	0,663	1,0957
Tempo de amostragem (T)	2	0,319**	7,689**	0,0137**	86,490 **	23,31 ns	5293,93 **	11456,49 **	3,632 **	16,457 **
T x P	6	0,0401º	1,161**	0,00243**	1,33 ns	408,55 *	2334,49 **	635,878 **	0,657 ns	3,568 **
T x Pr	2	0,0347 ns	3,497**	0,00243 *	1,203 ns	2110,52 **	2108,43 ns	1426,294 **	1,735 *	2,841 *
T x P x Pr	6	0,0473*	0,655*	0,000688 ns	1,27ns	379,83 º	1332,20 ns	164,299 º	0,736 ns	0,933 ns
Resíduo (c)	34	0,0197	0,242	0,000841	1,034	172,94	917,43	86,114	0,439	0,582

** Significativo a 1% de probabilidade, * Significativo a 5% de probabilidade, º Significativo a 10% de probabilidade e ns-não significativo.

Tabela 12 - Análise de variância das variáveis $Al^{3+,}$ (H+Al), SB, t, CTC, V, m, PST, Cu, Fe, Zn e Mn no esquema de parcelas subsubdivididas.

Fonte de variação	**Grau de Liberdade**	**Quadrado Médio**											
		Al^{3+}	**(H+Al)**	**SB**	**t**	**CTC**	**V**	**m**	**PST**	**Cu**	**Fe**	**Zn**	**Mn**
Proporções de esgoto doméstico (P)	3	0,0747**	3,772 ns	10,67 º	10,541 º	15,549**	295,332 ns	45,155**	3,172 **	0,152 ns	6,409 ns	1,885 **	1571,841**
Resíduo (a)	6	0,00304	1,872	4,61	4,42	1,981	336,419	1,504	0,487	0,141	3,639	0,229	188,1406
Profundidade (Pr)	1	0,0722 **	0,549 ns	67,03**	62,703**	55,448**	1000,203**	55,469**	4,607 **	1,665 **	297,273 ns	36,247**	9456,563**
Pr. x P	3	0,0264 **	2,344 **	7,45 **	6,655 *	1,659 ns	481,323 **	27,974**	0,841 **	0,0143ns	7,483 ns	0,591 **	448,820 º
Resíduo (b)	8	0,00174	0,25	1,62	1,558	2,141	29,537	0,328	0,0784	0,0152	6,821	0,0928	186,302
Tempo de amostragem (T)	2	0,0531 **	25,544**	41,12**	43,984**	91,64	1350,405**	28,164**	20,261**	4,740 **	1219,116**	9,043 **	7437,855**
T x P	6	0,0213 **	1,472 **	3,54 **	3,378 **	4,366 **	179,472 *	13,874**	1,471 **	0,0434ns	4,746 ns	0,734 *	873,484 **
T x Pr	2	0,0189 **	3,504 **	7,55 **	7,047 **	1,145 ns	690,863 **	16,849**	1,920 **	0,660 **	119,831 **	7,305 **	4222,959**
T x P x Pr	6	0,00948**	0,864 º	0,613 ns	0,552 ns	0,531 ns	117,067 º	9,844 **	0,196 ns	0,0285ns	3,246 ns	0,567 º	454,563 *
Resíduo (c)	34	0,00187	0,406	0,984	0,955	1,194	55,531	0,585	0,179	0,0261	6,101	0,258	168,246

** Significativo a 1% de probabilidade, * Significativo a 5% de probabilidade, º Significativo a 10% de probabilidade e ns-não significativo.

Tabela 13 - Equações de regressão dos indicadores de desempenho do sistema de irrigação “Bubbler” em função do tempo de operação (T) para cada proporção de esgoto doméstico primário (EDP).

Variável dependente	Proporção de EDP	Equação	R^2
Q	P1=0%	$Q=29,1978+0,06664\ ^{**}T-0,0005142\ ^{**}T^2$	0,99
	P2=33%	$Q=29,3111+0,3588\ ^{**}T-0,0003642\ ^{**}T^2$	0,99
	P3=67%	$Q=29,7111-0,06517\ ^{**}T+0,0002962\ ^{**}T^2$	0,97
	P4=100%	$Q=28,7000+0,06263\ ^{**}T-0,0006401\ ^{**}T^2$	0,99
CUC	P1=0%	$CUC=\overline{CUC}=90,07$	-
	P2=33%	$CUC=\overline{CUC}=90,67$	-
	P3=67%	$CUC=\overline{CUC}=87,53$	-
	P4=100%	$CUC=\overline{CUC}=89,06$	-
CUD	P1=0%	$CUD=85,5408+0,03885\ ^{ns}T-0,0005041\ ^{o}T^2$	0,67
	P2=33%	$CUD=77,6072+0,2371\ ^{**}T-0,001151\ ^{*}T^2$	0,69
	P3=67%	$CUD=80,3808-0,1002\ ^{*}T+0,0007330\ ^{*}T^2$	0,56
	P4=100%	$CUD=86,8411-0,1447\ ^{*}T+0,000733\ ^{*}T^2$	0,53
EA	P1=0%	$EA=81,2637+0,0602\ ^{ns}T-0,0007566\ ^{*}T^2$	0,82
	P2=33%	$EA=73,7520+0,2502\ ^{**}T-0,001395\ ^{**}T^2$	0,68
	P3=67%	$EA=\overline{EA}=74,34$	-
	P4=100%	$EA=82,5206-0,1144\ ^{*}T+0,0004132\ ^{ns}T^2$	0,61
CVq	P1=0%	$CVq=10,7791-0,004347\ ^{ns}T+0,000244\ ^{ns}T^2$	0,54
	P2=33%	$CVq=16,0949-0,1736\ ^{*}T+0,0008616\ ^{*}T^2$	0,54
	P3=67%	$CVq=\overline{CVq}=15,92$	-
	P4=100%	$CVq=\overline{CVq}=14,60$	-
ΔP	P1=0%	$\Delta P=41,3333-0,4399\ ^{**}T+0,00302\ ^{**}T^2$	0,95
	P2=33%	$\Delta P=25,0935-0,2035\ ^{*}T+0,00275\ ^{**}T^2$	0,97
	P3=67%	$\Delta P=30,9126+0,2278\ ^{**}T-0,00124\ ^{**}T^2$	0,77
	P4=100%	$\Delta P=37,93-0,2981\ ^{**}T+0,002393\ ^{**}T^2$	0,94
ΔQ	P1=0%	$\Delta Q=33,0205+0,1528\ ^{**}T$	0,95
	P2=33%	$\Delta Q=45,1961-0,4237\ ^{**}T+0,0022\ ^{**}T^2$	0,86
	P3=67%	$\Delta Q=\overline{\Delta Q}=41,64$	-
	P4=100%	$\Delta Q=\overline{\Delta Q}=42,02$	-
CVp	P1=0%	$CVp=70,7652-1,0315\ ^{**}T+0,0066\ ^{**}T^2$	0,99
	P2=33%	$CVp=27,1348-0,3702\ ^{**}T+0,00508\ ^{**}T^2$	0,99
	P3=67%	$CVp=39,7772+0,8892\ ^{**}T-0,004793\ ^{**}T^2$	0,98
	P4=100%	$CVp=54,2313-0,3221\ ^{**}T+0,001935\ ^{**}T^2$	0,85

** Significativo a 1% de probabilidade, * Significativo a 5% de probabilidade
º Significativo a 10% de probabilidade e ns-não significativo

Tabela 14 - Superfícies de resposta das características físico-químicas do solo em função do tempo de aplicação (T) e das proporções de esgoto doméstico (P) na profundidade de 0 a 0,20m.

Variável dependente	**Equação**	**R^2**
Mn	$Mn=0,00599+0,531\ ^{**}T-0,00247\ ^{**}T^2+0,327\ ^{**}P$	0,63
Zn	$Zn=4,265-0,0235\ ^{**}T-0,0000627\ ^{**}T^2-0,00965\ ^{**}P$	0,67
Fe	$Fe=1,993+0,155\ ^{**}T-0,000607\ ^{**}T^2-0,0484\ ^{o}P+0,000506\ ^{o}T^2$	0,79
Cu	$Cu=0,487+0,00686\ ^{**}T-0,0000141\ ^{**}T^2-0,00153\ ^{*}P$	0,86
RAS	$RAS=1,173+0,278\ ^{**}T-0,000956\ ^{**}T^2-0,104\ ^{**}P$	0,67
PST	$PST=0,450+0,245\ ^{**}T-0,0000927\ ^{**}T^2+0,00515\ ^{*}P$	0,66
m	$m=-1,653+0,0158\ ^{**}T-0,0404\ ^{ns}P+0,00986\ ^{**}P^2$	0,64
V	$V=81,0141+0,1417\ ^{*}T-0,000919\ ^{**}T^2-0,195\ ^{**}P$	0,54
CTC	$CTC=4,319+0,0315\ ^{**}T-0,0000691\ ^{*}T^2+0,0497\ ^{*}P-0,000413\ ^{*}P^2$	0,63
t	$t=\bar{t}=4,862$	-
SB	$SB=\overline{SB}=7,319$	-
H+Al	$H+Al=0,625-0,00497\ ^{ns}T+0,0000656\ ^{**}T^2+0,0187\ ^{**}P$	0,75
Al	$Al=0,00846-0,000277\ ^{o}T+0,000142\ ^{ns}P+0,0000172\ ^{**}T.P$	0,79
Mg	$Mg=\overline{Mg}=1,464$	-
Ca	$Ca=\overline{Ca}=2,934$	-
Na	$Na=-0,01560+0,488\ ^{**}T-0,00171\ ^{**}T^2+0,455\ ^{*}P-0,00331\ ^{o}P^2$	0,59
K	$K=\overline{K}=104,505$	-
P	$P=\overline{P}=2,934$	-
MO	$MO=10,100-0,00279\ ^{ns}T-0,000058\ ^{*}T^2-0,0111\ ^{*}P$	0,70
CE	$CE=0,0580+0,000745\ ^{**}T-0,00000365\ ^{**}T^2+0,0000464\ ^{ns}P$	0,50
pH	$pH=7,40-0,0272\ ^{**}T+0,0000957\ ^{**}T^2-0,00746\ ^{*}P$	0,54
N	$N=0,482-0,00338\ ^{**}T+0,00000952\ ^{**}T^2-0,00698\ ^{**}P+0,0000827\ ^{**}P^2$	0,58

** Significativo a 1% de probabilidade, * Significativo a 5% de probabilidade

º Significativo a 10% de probabilidade e ns-não significativo pelo teste "t"

Tabela 15 - Superfícies de resposta das características físico-químicas do solo em função do tempo de aplicação (T) e das proporções de esgoto doméstico (P) na profundidade de 0,20 a 0,40m.

Variável dependente	**Equação**	**R^2**
Mn	$Mn=75,034+0,1847\ ^{**}T-0,09899\ ^{o}P$	0,65
Zn	$Zn=\overline{Zn}=1,752$	-
Fe	$Fe=3,704+0,2611\ ^{**}T-0,001105\ ^{**}T^2+0,02368\ ^{*}P$	0,92
Cu	$Cu=0,661+0,01464\ ^{**}T-0,00005097\ ^{**}T^2-0,005033\ ^{o}P-0,0000636\ ^{*}P^2$	0,79
RAS	$RAS=-0,6288+0,3084\ ^{**}T-0,0008681\ ^{**}T^2+0,1624\ ^{**}P$	0,77
PST	$PST=0,1067+0,02695\ ^{**}T-0,00008329\ ^{**}T^2+0,01184\ ^{**}P$	0,71
m	$m=\overline{m}=1,186$	-
V	$V=\overline{V}=69,913$	-
CTC	$CTC=5,691+0,01696\ ^{**}T+0,05284\ ^{*}T^2-0,0003342\ ^{o}P$	0,67
t	$t=3,9953+0,0297\ ^{**}T-0,00007187\ ^{**}T^2+0,01774\ ^{**}P^2$	0,61
SB	$SB=4,0219+0,02935\ ^{**}T-0,00007072\ ^{*}T^2+0,0172\ ^{**}P$	0,59
H+Al	$H+Al=\overline{H+Al}=2,525$	-
Al	$Al=\overline{Al}=0,054$	-
Mg	$Mg=0,076+0,0243\ ^{**}T^2-0,00007098\ ^{**}T^2+0,04377\ ^{**}P^2-0,0003176\ ^{*}P^2$	0,61
Ca	$Ca=\overline{Ca}=3,381$	-
Na	$Na=-0,0602+0,594\ ^{**}T-0,001622\ ^{**}T^2+0,3411\ ^{*}P$	0,77
K	$K=\overline{K}=139,034$	-
P	$P=\overline{P}=21,363$	-
MO	$MO=7,831+0,006376\ ^{ns}T-0,00008235\ ^{**}T^2-0,003945\ ^{ns}P$	0,66
CE	$CE=\overline{CE}=0,067$	-
pH	$pH=\overline{pH}=6,171$	-
N	$N=\overline{N}=0,306$	-

** Significativo a 1% de probabilidade, * Significativo a 5% de probabilidade

º Significativo a 10% de probabilidade e ns-não significativo pelo teste "t"