



**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE AGRONOMIA E MEDICINA VETERINÁRIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA**

**IRRIGAÇÃO COM EFLUENTE DE ESGOTO TRATADO NA PRODUÇÃO DE
PIMENTÃO E PROPRIEDADES QUÍMICAS DO SOLO**

LUCAS FERRAZ HEBLING

ORIENTADOR: PROF. DR. DELVIO SANDRI

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM AGRONOMIA

**BRASÍLIA/DF
MARÇO DE 2019**

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE AGRONOMIA E MEDICINA VETERINÁRIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA**

**IRRIGAÇÃO COM EFLUENTE DE ESGOTO TRATADO NA PRODUÇÃO DE
PIMENTÃO E PROPRIEDADES QUÍMICAS DO SOLO**

Lucas Ferraz Hebling

PROJETO DE MESTRADO SUBMETIDO AO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA, COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS À OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM AGRONOMIA.

APROVADA POR:

Delvio Sandri Doutor/FAV/UnB/ - Orientador

Cícero Célio de Figueiredo, Doutor/FAV/UnB - Examinador interno

Marcos Brandao Braga, Doutor/Embrapa Hortaliças - Examinador externo

Brasília-DF

Fevereiro de 2019

FICHA CATALOGRÁFICA

Hebling, Lucas Ferraz

Irrigação com efluente de esgoto tratado na produção de pimentão e propriedades químicas do solo. Lucas Ferraz Hebling, orientação de Delvio Sandri - Brasília, 2019. 82 p.

Dissertação de Mestrado (M) – Universidade de Brasília/ Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, 2019.

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

HEBLING, LUCAS FERRAZ. Irrigação com efluente de esgoto tratado na produção de pimentão e propriedades químicas do solo. Brasília: Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade de Brasília, 2019, 82 p. Dissertação de Mestrado.

CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: Lucas Ferraz Hebling

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: Irrigação com efluente de esgoto tratado na produção de pimentão e propriedades químicas do solo.

GRAU: Mestre ANO: 2019

É concedida à Universidade de Brasília de Brasília permissão para reproduzir cópias desta dissertação de mestrado para única e exclusivamente propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva para si os outros direitos autorais, de publicação. Nenhuma parte desta dissertação de mestrado pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor. Citações são estimuladas, desde que citada à fonte.

Nome: Lucas Ferraz Hebling

CPF: 389.174.018.21

Endereço: Olhos D'água Ch. Broken Hill, Casa 03, Lago Norte, Brasília/DF. CEP: 71510-970

Cel. (19)99225-8986 Email: hebling123@gmail.com

*Aos meus amados pais Luíz e Leticia, pilares da minha vida; a minha querida
companheira Mariana e minha estimada irmã Cecília pelo apoio e incentivo.*

Dedico

AGRADECIMENTOS

Ao Dr. Delvio Sandri pela orientação, sugestões e auxílio na realização deste trabalho.

À Secretaria do Programa de Pós-graduação da Faculdade de Agronomia e Veterinária Universidade de Brasília.

À Universidade de Brasília.

À Fazenda Água Limpa, onde foi realizado o experimento, e seus atenciosos funcionários.

À Fundação de Apoio à Pesquisa do Distrito Federal-FAPDF, Edital 03/2016 – Demanda Espontânea, Número do processo: 0193.001456/2016, pela concessão de recursos financeiros e bolsas de Iniciação Científica.

À minha querida família: Pai, Mãe, Cica e Mariana pelo amor.

E a todos que de alguma forma contribuíram significativamente para a realização deste trabalho, obrigado.

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS	I
LISTA DE FIGURAS	II
RESUMO	1
ABSTRACT	2
1. INTRODUÇÃO	3
2. OBJETIVOS	5
2.1 OBJETIVO GERAL	5
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	5
3. REVISÃO DE LITERATURA	6
3.1 TRATAMENTO DE EFLUENTE POR SISTEMA DE ZONA DE RAÍZES (SZR) E REÚSO NA AGRICULTURA....	6
3.2 QUALIDADE DA ÁGUA PARA IRRIGAÇÃO: PARÂMETROS E LIMITES	7
3.3 CARACTERÍSTICA BIOLÓGICAS E ASPECTOS SANITÁRIOS DOS EFLUENTES	11
3.4 EFEITO POTENCIAL DO USO DE EFLUENTES EM CULTIVOS AGRÍCOLAS	11
3.5 CULTURA DO PIMENTÃO	15
3.6 SANIDADE DOS FRUTOS - COLIFORMES TOTAIS E. COLI, BOLORES E LEVEDURAS	17
3.7 DENSIDADE DE PLANTIO NA CULTURA DO PIMENTÃO	18
4. MATERIAL E MÉTODOS	18
4.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA EXPERIMENTAL	18
4.2 ORIGEM DO ESGOTO TRATADO	19
4.3 PLANEJAMENTO ESTATÍSTICO EXPERIMENTAL	21
4.4 CULTIVAR DE PIMENTÃO, FORMAÇÃO DAS MUDAS E TRANSPLANTIO	23
4.5 CONTROLE DE PRAGAS, DOENÇAS E PLANTAS DANINHAS	23
4.6 PREPARO DO SOLO, CALAGEM, ADUBAÇÃO DE PLANTIO E DE COBERTURA	23
4.7 IRRIGAÇÃO PIMENTÃO	25
4.7.1 Sistema de Irrigação	25
4.7.2 Manejo da Irrigação	26
4.7.3 Tensão de água no solo	27
4.8 UNIFORMIDADE DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA E ENTUPIMENTO DE EMISSORES	28
4.9 ATRIBUTOS DO EFLUENTE DE ESGOTO TRATADO (EET) E ÁGUA DO CÓRREGO	29
4.10 APORTE DE NUTRIENTES AO SOLO	31
4.11 CARACTERÍSTICAS AGRONÔMICAS E SANITÁRIAS DAS PLANTAS E FRUTOS DO PIMENTÃO	32
4.12 ANÁLISE ESTATÍSTICA	34
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	35
5.1 DADOS CLIMATOLÓGICOS	35
5.2 UNIFORMIDADE DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA DOS GOTEJADORES	37
5.3 TENSÃO DE ÁGUA NO SOLO	40

5.4 ATRIBUTOS FÍSICO-QUÍMICOS DO EFLUENTE DE ESGOTO TRATADO E DA ÁGUA DO CÓRREGO.....	43
5.5 APORTE DE NUTRIENTES NO SOLO E RETORNO ECONÔMICO	48
5.6 ANÁLISE DA QUALIDADE QUÍMICA DO SOLO	49
5.7 AVALIAÇÃO DAS PLANTAS E DOS FRUTOS DE PIMENTÃO.....	55
5.7.1 <i>Atributos Agronômicos das Plantas de Pimentão</i>	55
5.7.2 <i>Características dos Frutos do Pimentão</i>	58
5.7.3 <i>Qualidade Microbiológica dos Frutos de Pimentão</i>	59
6. CONCLUSÕES.....	61
7. REFERÊNCIAS.....	62

LISTA DE TABELAS

<i>TABELA 1. Atributos para avaliação de água para irrigação.....</i>	<i>8</i>
<i>TABELA 2. Grau de restrição de uso de atributos da água para irrigação.....</i>	<i>9</i>
<i>TABELA 3. Risco potencial de entupimento de emissores pela água de irrigação.....</i>	<i>10</i>
<i>TABELA 4. Valores dos atributos químicos do solo na camada 0 a 0,20 m para determinação da dosagem para correção do solo da área do experimento com cultivo de pimentão.....</i>	<i>24</i>
<i>TABELA 5. Valores dos atributos químicos do solo na camada 0 a 0,20 m para estimar a adubação do experimento com cultivo de pimentão.....</i>	<i>24</i>
<i>TABELA 6. Parcelamento da adubação de cobertura com NPK no solo das parcelas experimentais.....</i>	<i>25</i>
<i>TABELA 7. Critérios de classificação quanto à uniformidade do CUD e do CUE.....</i>	<i>29</i>
<i>TABELA 8. Atributos analisados no EET e na água do córrego utilizadas de irrigação do pimentão em condições de campo.....</i>	<i>30</i>
<i>TABELA 9. Valores médios dos atributos químicos do solo cultivado com pimentão na camada de 0 a 0,20 m no início do experimento.</i>	<i>32</i>
<i>TABELA 10. Valores médios dos atributos físico-químicos no EET e na Ac utilizadas na irrigação da cultura do pimentão.....</i>	<i>44</i>
<i>TABELA 11. Aporte de macronutrientes adicionados ao solo, redução da adubação em relação ao necessário para o solo do local do experimento (RA), em % e redução de custos estimados (RC), em R\$ ha-1 quando do uso de Ac e EET durante um ciclo do cultivo do pimentão.</i>	<i>48</i>
<i>TABELA 12. Atributos químicos do solo avaliados ao final do experimento para os fatores, tipo de água, arranjo espacial e sua interação na camada de solo de 0 a 0,20 m.</i>	<i>49</i>
<i>TABELA 13. Variação dos atributos químicos, em porcentagem, entre o início e final do ciclo de cultivo do pimentão, na camada de solo de 0 a 0,20 m.....</i>	<i>53</i>
<i>TABELA 14. Características agronômicas das plantas avaliadas aos 70, 91, 102 DAT e atributos dos frutos avaliados, durante o ciclo de cultivo do pimentão.</i>	<i>56</i>
<i>TABELA 15. Características dos frutos do pimentão irrigado com efluente de esgoto tratado (EET) e água de córrego (Ac) para diferentes densidades de plantio.</i>	<i>59</i>

LISTA DE FIGURAS

<i>FIGURA 1: Localização de algumas dependências da FAL e planta baixa da estação de tratamento de esgoto - ETE/FAL/UnB. Unidades em m.</i>	20
<i>FIGURA 2. Croqui do experimento com indicação dos equipamentos de irrigação e distribuição dos tratamentos nos blocos.</i>	22
<i>FIGURA 3. Equipamentos utilizados para a aplicação da águas e efluente tratado para irrigação.</i>	26
<i>FIGURA 4. Determinação da vazão dos gotejadores no sistema de irrigação por gotejamento.</i>	28
<i>FIGURA 5. Medição da altura das plantas, com régua graduada (a); Medição do diâmetro das plantas com paquímetro digital (b).</i>	33
<i>FIGURA 6. Valores de temperatura e umidade relativa do ar máxima, mínima e média durante o ciclo do pimentão.</i>	36
<i>FIGURA 7. Valores de ETo e ETc ao longo do ciclo da cultura do pimentão.</i>	37
<i>FIGURA 8. Valores de precipitação e radiação global, diários, ao longo do ciclo de cultivo do pimentão.</i>	37
<i>FIGURA 9. Coeficiente de uniformidade de distribuição (CUD e coeficiente de uniformidade estatístico (CUE) dos emissores utilizados para aplicar Ac e EET aos 7 DAT (início) e 161 DAT (final).</i>	39
<i>FIGURA 10. Tensões de água no solo na profundidade de 0,15 m, em turno de rega de 2 dias durante o ciclo do pimentão.</i>	41
<i>FIGURA 11. Tensões de água no solo na profundidade de 0,30 m, em turno de rega de 2 dias durante o ciclo do pimentão. pimentão.</i>	41
<i>FIGURA 12 . Diâmetro do caule das plantas de pimentão durante todo o ciclo do cultivo.</i>	57
<i>FIGURA 13 . Altura das plantas de pimentão durante todo o ciclo do cultivo.</i>	57

IRRIGAÇÃO COM EFLUENTE DE ESGOTO TRATADO NA PRODUÇÃO DE PIMENTÃO E PROPRIEDADES QUÍMICAS DO SOLO

RESUMO

A crescente conscientização de que os meios de produção são limitados traz nova perspectiva sobre o desenvolvimento de tecnologias para o uso sustentável. Dentre elas, o uso de efluentes de esgoto doméstico tratado (EET) para fins de irrigação, que se justifica pelo reaproveitamento de água, aporte de nutrientes ao solo podendo favorecer o desenvolvimento das plantas, bem como contribui com a redução de impactos ambientais na medida em que se reduz o lançamento de efluentes nos corpos hídricos superficiais. Assim, o objetivo deste trabalho foi avaliar a utilização de EET e água de córrego (Ac) na irrigação da cultura do pimentão (*Capsicum annuum* L.), híbrido Dahra RX, nas densidades de plantio de 25.000 (1,0 x 0,4 m), 20.000 (1,0 x 0,5 m) e 27.778 (0,8 x 0,45 m) plantas ha⁻¹. O experimento foi desenvolvido em condições de campo na Fazenda Água Limpa (FAL) da Universidade de Brasília (UnB), Brasil, no período de março a novembro de 2018, em delineamento estatístico em blocos casualizados, em fatorial 2 x 3, sendo dois tipos de água e três espaçamentos entre plantas (densidade de plantio), com quatro repetições. Foram avaliadas a uniformidade de distribuição de água do sistema de irrigação por gotejamento superficial no início e no final de um ciclo de cultivo do pimentão, a quantidade de nutrientes adicionados ao solo através aplicação de EET, as propriedades químicas de um Latossolo Vermelho Amarelo na camada de 0,00 a 0,20 m, o desenvolvimento das plantas durante o ciclo da cultura (altura das plantas, diâmetro do caule) e características fonométricas dos frutos (massa úmida, massa seca, largura, altura, produtividade) e qualidade sanitária dos frutos (coliforme totais, *E.coli*, bolores e leveduras). O uso de EET e Ac reduziram os índices de uniformidade de distribuição (CUD) e coeficiente de uniformidade estatístico (CUE) similarmente, mesmo assim mantiveram a classificação como excelente. Os teores de matéria orgânica e enxofre no solo foram maiores para os tratamentos irrigados com EET em comparação com o uso de Ac. Ao final do ciclo do pimentão, o tipo de água e a densidade de plantio não alteraram os teores de sódio, CTC efetiva, P, K, Ca Mg, Mn e Fe no solo. O uso de EET propiciou o aporte ao solo de 65,94 kg de K₂O, 18,17 kg de N-total e 26,80 kg de P₂O₅ por ha⁻¹. O diâmetro do caule e altura das plantas, bem como o diâmetro, comprimento, massa úmida e massa seca dos frutos não foram influenciados pelo tipo de água e densidade de plantio. A maior produtividades foi obtida na menor e maior densidade de plantio com o uso de EET. Os tipos de água (EET e Ac) aplicadas por gotejamento superficial não contaminaram os frutos de pimentão por *E.coli*, bolores e leveduras.

Palavras-chave: Pimentão, reúso, qualidade da água, densidade de plantio, aporte de nutrientes ao solo, gotejamento.

IRRIGATION WITH TREATED SEWAGE EFFLUENT IN THE PRODUCTION OF PEPPER AND SOIL CHEMICAL PROPRIETIES

ABSTRACT

The awareness that the means of production are limited, brings a new perspective over the development and use of sustainable techniques. Among them, the use of effluents from treated domestic sewage (TSE) for irrigation proposes, which is justified by the reuse of water, nutrient supply to the soil and better development of plants, as well as contributes to the reduction of environmental impacts related to the discharge of those effluents into water bodies. The objective of this work was to evaluate the use of TSE and stream water (Ac) in the irrigation of the sweet pepper crop (*Capsicum annum L.*), Dahra RX hybrid, at planting densities of 25.000 (1,0 x 0,4 m), 20.000 (1,0 x 0,5 m), 27.778 (0,8 x 0,45 m) plants ha⁻¹. The experiment was developed under open field conditions at Fazenda Água Limpa (FAL) at the Universidade de Brasília (UnB), Brazil, from March to November 2018, in a complete randomized block design, in 2 x 3 factorial, two types of water and three plant spacings (planting density), with for replications. The water distribution uniformity of the drip irrigation system at the beginning and at the end of the crop cycle, the amount of nutrients added to the soil by the application of TSE, the chemical properties of the soil in 0,00 to 0,20 m depth, the plant development (plant height, stem diameter) and fruit characteristics (wet mass, dry mass, width, height, productivity) and sanitary quality (total coliform, E. coli, molds and yeasts) were all availed in this project. The use of TSE and Ac reduced the uniformity of water distribution (CUD) and the statical uniformity coefficient (CUE) in a similar way, but both maintained their classification as excellent. The soil organic matter and sulfur contents were higher for treatments irrigated with TSE in comparison with the use of Ac. At the end of the crop cycle, the water type and the planting density did not expressed any change in the levels of sodium, effective cation exchange capacity, P, K, Ca, Mg, Mn and Fe in the soil. The use of TSE provided to the soil 65,94 kg of K₂O, 18,17 kg of N and 26,80 kg of P₂O₅ per ha. The diameter of the stem and height of the plants, as well as the diameter, length, wet mass and dry mass of the fruits were not influenced by the different types of water and planting density. The highest yields were obtained in the lowest and highest planting density with the use of TSE. The type of water (TSE and Ac) applied by surface dripping did not contaminated the pepper fruits by E. coli, molds or yeasts.

Key-words: Pepper, water quality, planting density, nutrient supply to soil, dripping.

1. INTRODUÇÃO

O conjunto das atividades humanas associadas ao crescimento demográfico e a concentração populacional em grandes centros urbanos vêm exigindo maior atenção às demandas do uso da água. Observa-se que o crescimento da população aliado a urbanização precária, a produção e consumo de forma intensificada causam desequilíbrio nos recursos hídricos dentro das diversas bacias hidrográficas. Historicamente, além dos desequilíbrios ligados ao consumo, existe também limitação à qualidade e quantidade da água (SEIFFERT, 2010; MELO et al., 2014).

O Distrito Federal não é exceção, com o incremento populacional exacerbado e demanda crescente por recursos hídricos, tanto para a produção agrícola como para atender as necessidades de atividades industriais e urbanas. Como consequência, gerou-se maior pressão sobre as fontes destes recursos, contribuindo para o aumento do número de conflitos entre os diversos setores de usuários, bem como a produção de maiores quantidades de resíduos e dejetos prejudiciais ao meio ambiente. Para Costa et al. (2012) outra problemática para essa questão, é a redução da precipitação pluviométrica nos últimos anos no Distrito Federal, restringindo ainda mais a disponibilidade hídrica nesta região.

Nesse contexto, torna-se evidente a influência das atividades agropecuárias, responsável pelo uso de grande parte da água captada de fontes superficiais e subterrâneas. Em busca de novas fontes, que possam atender as restrições de uso de meios de produção, como da água na agricultura, a utilização de efluentes de esgoto tratados (EET) vem se destacando, não somente pelo reaproveitamento da água para irrigação, mas também pelo aporte de nutrientes para os cultivos agrícolas, bem como propiciando benefícios ambientais (MARTÍNEZ et al., 2013).

Existem riscos inerentes a prática do reúso, como contaminação por microrganismos. Nesse sentido é essencial o tratamento de águas residuais antes de sua reutilização, respeitando os limites e exigências estabelecidos para a cultura, área e solo em que serão utilizadas (BARROSO e WOLFF, 2011). Dentre as técnicas utilizadas para o tratamento de efluentes domésticos destacam-se os sistemas de zona de raízes (SZR) ou sistemas alagados construídos (SACs), por apresentarem simplicidade de instalação, fácil gerenciamento, baixo custo, pouca mecanização, boa eficiência e serem baseados em mecanismos naturais de purificação, com baixo custo energético. Os SACs consistem de reservatórios preenchidos com materiais poroso, de alta condutividade hidráulica, que serve de suporte para o desenvolvimento de plantas filtrantes. No meio de suporte, cria-se um biofilme composto pelas raízes das plantas, o qual facilita a degradação de parte da matéria orgânica no efluente, juntamente com a remoção desta por meio de processos físicos (PRATA et al., 2013).

Após tratamento dos efluentes, é possível sua utilização na irrigação, como demonstrado por diversos autores (SANDRI et al., 2009; SOUZA et al., 2010; ANDRADE-FILHO et al., 2013; NASCIMENTO e FIDELES FILHO, 2015). Porém, estes autores identificaram algumas alterações significativas em vários atributos do solo, como concentração de sódio, condutividade elétrica (CE), dentre outros. Por sua vez, Andrade-Filho et al. (2013) relataram que apesar dos efluentes tratados apresentarem menor potencial salinizante do que o efluente bruto, deve-se antes de utilizá-los observar todos os cuidados inerentes a tal prática, como as características do efluente, da cultura e do solo.

Quando da irrigação de culturas a serem irrigadas com EET, deve-se priorizar as que não são consumidas *in natura* e que também não estejam em contato direto com o solo, como o pimentão, que se adotado o sistema de gotejamento para aplicação do EET reduz a possibilidade de contaminação das partes de interesse comercial.

Segundo Albuquerque et al. (2012), o pimentão está entre as dez hortaliças de maior importância no mercado nacional, decorrente do rápido estabelecimento da cultura e boa taxa de retorno, por isso, trata-se de uma cultura bastante explorada em todo o território nacional, que segundo Alcantara (2011), o Distrito Federal é um dos maiores produtores do país, com níveis tecnológicos de produção considerados os melhores no país.

A resposta da cultura do pimentão é dependente de vários fatores, como a densidade de plantio é um dos principais, pois está diretamente associada à competição por luz, água e nutrientes entre as plantas. Estudos relacionados à densidade de plantio e sua relação com alterações das características agrônômicas e fisiológicas comprovam essa influência (SILVA et al., 2010; PAULUS et al., 2015).

Tendo em vista a necessidade de expansão da produção agropecuária para suprir a crescente demanda da também crescente população, em um plano onde essa atividade vem sendo antagonizada, requer que a mesma, além de melhorar sua produtividade, utilize seus meio de produção da melhor maneira possível. Portanto, soluções devem ser buscadas de forma a minimizar danos ambientais e propiciar melhoria na qualidade de vida da população, reduzindo conflitos e incompatibilidades pelo uso da água. Nesse contexto, o reuso de EET na irrigação pode ser considerado como solução viável. Porém, se torna necessário o monitoramento em todas as etapas do processo em questão, desde o tratamento do esgoto, seus efeitos sobre a cultura, solo, sistema de irrigação utilizado e sobre os trabalhadores e consumidores, dessa forma, garantindo e maximizando os benefícios e ao mesmo tempo mitigando efeitos negativos.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Avaliar a eficiência da utilização de efluente de esgoto doméstico tratado (EET) pelo sistema de zona de raízes (SZR), aplicado por gotejamento superficial sobre o cultivo de pimentão sob diferentes densidades de plantio em condições de campo.

2.2 Objetivos específicos

- Quantificar o aporte de nutrientes aplicados via EET ao solo;
- Quantificar os teores de sais no solo no início e final de um ciclo de cultivo do pimentão irrigado com EET e água de córrego (Ac);
- Acompanhar as tensões de água no solo durante todo o ciclo da cultura;
- Determinar a influência do EET sobre determinadas características agronômicas das plantas e dos frutos de pimentão;
- Avaliar a contaminação dos frutos de pimentão irrigados com EET e Ac por coliformes totais e *E. Coli*, bolores e leveduras;
- Estimar o coeficiente de uniformidade de distribuição (CUD) e coeficiente de uniformidade estatístico (CUE) dos emissores utilizados para aplicar EET e Ac no início e final de um ciclo de cultivo do pimentão

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Tratamento de Efluente por Sistema de Zona de Raízes (SZR) e Reúso na Agricultura

Dentre as várias opções de tratamento secundário destaca-se a utilização de leitos cultivados com plantas macrófitas, hidrófila, também chamados de sistema de zona de raízes (SZR), que consistem em uma alternativa simples, envolve baixos custos de implantação e manutenção e não necessita de mão de obra especializada, e se baseia em processos naturais. Trata-se da união entre os processos físico, químicos e biológicos que ocorrem por causa do filtro físico (material inerte de suporte para o crescimento das macrófitas), das comunidades bacterianas e das macrófitas. As bactérias e microrganismos são fundamentais para o tratamento do efluente, pois são responsáveis pela degradação da matéria orgânica presente, por meio de processos anaeróbios e aeróbios. As condições aeróbias só ocorre devido ao fornecimento de oxigênio pelas raízes dessas plantas, que cria condições de oxidação no meio (PRATA et al., 2013).

O potencial de remoção de contaminantes biológicos pelo sistema de zona de raízes foi fonte de estudos de diversos trabalhos e tem se mostrado promissor (PINTO et al., 2010; COLARES e SANDRI, 2013; HEADLEY et al., 2013; CARBALLEIRA et al., 2016). Os autores Schirmer et al. (2009), Almeida et al. (2010) e Matos et al. (2012), comprovaram a eficiência do tratamento com SRZ para os parâmetros considerados limitantes para o lançamento de efluentes em corpos de água no Brasil, definidos conforme a resolução nº 430 de 2011 do Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA). Os estudos demonstram a redução de parâmetros na seguinte ordem de: demanda bioquímica de oxigênio - DBO (77-98%), Fósforo (54%), Nitrogênio (14 a 70%), demanda química de oxigênio - DQO (80-97%), Turbidez (67%), Coliformes Totais (94%) e *E. coli* (99,6%). Segundo os trabalhos conduzidos por Almeida e Almeida (2005) e Colares e Sandri (2013), há eficiência na remoção de coliformes totais e fecais com a utilização de SZR com valores superiores a 95%. Weerakoon et al. (2013) avaliaram SZR cultivados com *Typha angustifolia* e sem vegetação, obtiveram respectivamente 96,5 e 95,1 % de eficiência na remoção de coliformes fecais.

Face à grande vazão de águas oriundas do esgotamento sanitário doméstico e a grande necessidade de água envolvida na produção agropecuária, o seu reúso para este tipo de atividade surge como solução. Além dos benefícios relacionados ao meio ambiente e a disponibilidade hídrica, existem ainda benefícios econômicos relacionados aos impactos positivos destes sobre as plantas, propiciados pelos nutrientes e pela matéria orgânica encontrada nos efluentes que leva à economia no uso de fertilizantes químicos (VERONEZ, 2009).

Duarte et al. (2008) avaliaram o efeito da aplicação de EET na cultura do pimentão e constataram aumento nos teores de nitrogênio no solo. Assim, o reúso pode possibilitar outra forma de benefício econômico na agricultura através do fornecimento de nutrientes.

3.2 Qualidade da Água para Irrigação: Parâmetros e Limites

No contexto da irrigação agrícola utilizando efluentes de esgoto doméstico, é importante considerar os constituintes presentes neste tipo de água residuária, podendo ser potencialmente prejudiciais aos cultivos agrícolas (VAZQUEZ-MONTIEL et al., 1996).

A definição de parâmetros e seus limites mais favoráveis ou contrários à utilização de um tipo de água para fins de irrigação agrícola dependem, não somente das condições químicas, físicas e biológicas que a água apresente no momento em que é analisada, como também, das características dos solos em que serão aplicadas, assim como das características dos cultivos irrigados (PULSCHEN et al., 2013; FRANÇA et al., 2014).

No que se refere a qualidade da água para irrigação um conjunto de parâmetros deve ser considerado na avaliação, compostos por atributos físicos, químicos e biológicos, que irão definir a adequação e possibilidade de uso dessa fonte. São eles: potencial hidrogeniônico (pH), condutividade elétrica (CE), total de sais dissolvidos (TSD), sódio (Na^+), potássio (K^+), cálcio (Ca^+), magnésio (Mg^{++}), cloreto (Cl^-), sulfato (SO_4^{++}), fosfato (PO_4^{3-}), carbonato (CO_3^-), bicarbonato (HCO_3^-) e por sua toxidez é conveniente a análise do íon boro (B^+) (Tabela 1).

TABELA 1. Atributos para avaliação de água para irrigação.

Atributos	Símbolo	Unidade	Intervalo usual na água de irrigação
Salinidade			
Condutividade Elétrica	CE	dS m ⁻¹	0 - 3
Total de Sais Dissolvidos	TSD	mg L ⁻¹	0 - 2.000
Cátions e Ânions			
Cálcio	Ca ²⁺	mol L ⁻¹	0 - 20
Magnésio	Mg ²⁺	mol L ⁻¹	0 - 5
Sódio	Na ⁺	mol L ⁻¹	0 - 40
Carbonato	CO ₃ ²⁻	mol L ⁻¹	0 - 0.1
Bicarbonato	HCO ₃ ⁻	mol L ⁻¹	0 - 10
Cloreto	CL ⁻	mol L ⁻¹	0 - 30
Sulfato	SO ₄ ²⁻	mol L ⁻¹	0 - 20
Íons			
N-Nitrato	NO ₃ ⁻	mg L ⁻¹	0 - 10
N-Amoníaco	NH ₄ ⁺	mg L ⁻¹	0 - 5
P-Fosfato	PO ₄ ³⁻	mg L ⁻¹	0 - 2
Potássio	K ⁺	mg L ⁻¹	0 - 2
Outros			
Boro	B ³⁺	mg L ⁻¹	0 - 2
Acidez	pH		6 - 8.5
Razão de Adsorção de Sódio	RAS	(mmol L ⁻¹) ^{1/2}	0 - 15

Fonte: Adaptado ALMEIDA (2010)

Para irrigação com águas residuárias de maneira direta ou indireta, o principal limitante de sua utilização em quantidades são os tipos de sais nela dissolvidos e o seu potencial de salinização, correspondentes a alterações nos efeitos osmóticos com diminuição de rendimentos dos cultivos e deterioração da estrutura do solo. Na irrigação, o principal limitante da água é a quantidade e o tipo de sais nela dissolvidos, sendo que quanto mais sais, maior o problema para o solo e para as culturas, pois este irá se acumular ao longo do tempo (AYERS e WESTCOT, 1991).

No que se refere a irrigação com águas residuárias de maneira direta ou indireta, o principal limitante de sua utilização em quantidades são os tipos de sais nela dissolvidos e o seu potencial de salinização, correspondentes a alterações nos efeitos osmóticos com diminuição de rendimentos dos cultivos e deterioração da estrutura do solo (AYERS e WESTCOT, 1991).

Na irrigação, o principal limitante da água é a quantidade e o tipo de sais nela dissolvidos, sendo que quanto mais sais, maior o problema para o solo e para as culturas, pois irá se acumular ao longo do tempo (AYERS e WESTCOT, 1991). Problemas resultantes de atributos inadequados da água dependem do clima, do solo e do manejo do sistema, não existindo limite único de atributos da água. Tais problemas podem ser divididos em quatro mais comuns: a salinização, que pode reduzir a disponibilidade de água para as culturas; altos teores de sódio (Na) somado a baixos teores de cálcio (Ca), que podem afetar a infiltração de água; excesso de íons como Na⁺, Cl⁻ e boro (B) (Tabela 2) e outros problemas referentes ao excesso de nutrientes que podem reduzir o rendimento da cultura (ERTHAN et al., 2010).

TABELA 2. Grau de restrição de uso de atributos da água para irrigação.

Problema potencial	Unidade	Grau de restrição para uso		
		Nenhuma	Ligeira ou moderada	Severa
Salinidade				
CEa	dS m ⁻¹	< 0,7	0,7 - 3,0	> 3,0
TSD**	mg L ⁻¹	< 450	450 – 2000	> 2000
Infiltração		CEa (dS m ⁻¹)		
RAS*** entre 0 – 3	(mmol _c L ⁻¹) ^{1/2}	> 0,7	0,7 - 0,2	< 0,2
RAS entre 3 – 6	(mmol _c L ⁻¹) ^{1/2}	> 1,2	1,2 - 0,3	< 0,3
RAS entre 6 – 12	(mmol _c L ⁻¹) ^{1/2}	> 1,9	1,9 - 0,5	< 0,5
RAS entre 12 – 20	(mmol _c L ⁻¹) ^{1/2}	> 2,9	2,9 - 1,3	< 1,3
RAS entre 20 – 40	(mmol _c L ⁻¹) ^{1/2}	> 5,0	5,0 - 2,9	< 2,9
Íons Tóxicos				
Na (por superfície)	mg L ⁻¹	< 29	29 – 207	> 207
Na (por aspersão)	mg L ⁻¹	< 29	> 29	
Cl (por superfície)	mg L ⁻¹	< 142	319,5 – 355	> 355
Cl (por aspersão)	mg L ⁻¹	< 106,5	> 106,5	
B	mg L ⁻¹	< 0,7	0,7 - 3,0	> 3,0

Problema potencial	Unidade	Grau de restrição para uso		
Outros				
N	mg L ⁻¹	< 5,0	5,0 – 30	> 30
HCO ₃	mg L ⁻¹	< 91,5	91,5 – 518,5	< 518,5
pH	Faixa normal entre 6,5 e 8,4.			

*CEa – Condutividade elétrica em água.

**TSD – Total de Sólidos Dissolvidos.

***RAS – Relação de adsorção de sódio, definida em revisão bibliográfica.

Fonte: AYERS e WESTCOT (1991).

Para Ravina et al. (1997), o entupimento se agrava ainda mais quando estes sistemas de irrigação utilizam água residuárias, principalmente se estocadas em reservatórios superficiais, devido à presença de partículas suspensas, algas, zooplanctons entre outros organismos.

Nakayama e Bucks (1986) apresentam uma classificação de caráter quantitativo para alguns parâmetros da água, indicando critérios para avaliação do risco de entupimento de emissores (Tabela 3).

TABELA 3. Risco potencial de entupimento de emissores pela água de irrigação.

Tipo de problema	Reduzido	Médio	Alto
Físicos			
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 - 2,000	>2,000
Manganês (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
Dureza*	<150	150 – 300	>300
Biológico			
População bacteriana (NMP 100 mL ⁻¹)	<10,000	10,000 - 50,000	>50,000

*Dureza como mg.L⁻¹ de CaCO₃, TODD *apud* Pitts et al. (1990).

Fonte: NAKAYAMA e BUCKS (1986).

A dureza é medida pela concentração em mg L⁻¹ de CaCO₃, determinada pela presença de cálcio e magnésio, sendo considerada outro indicador do entupimento de gotejadores devido a qualidade da água, Todd *apud* Pitts et al. (1990). O Ca e Mg são dados em mg L⁻¹ a dureza pode ser estimada pela Equação 1.

$$\text{Dureza} = (2,5 \times \text{Ca}) + (4,1 \times \text{Mg}) \quad (1)$$

3.3 Característica Biológicas e Aspectos Sanitários dos Efluentes

A possibilidade da utilização de efluentes de esgoto na irrigação de culturas agrícolas depende, dentre outras coisas, da qualidade microbiológica deste efluente. Organismos considerados patogênicos (bactérias, protozoários, vírus e ovos de parasitas) podem ser responsáveis pela transmissão de doenças para pessoas e animais expostos a efluente de maneira acidental, pelo contato físico, durante práticas de irrigação com efluentes ou pelo consumo direto de culturas irrigadas com EET (BERTONCINI, 2008; SOUZA et al., 2011).

Não somente o risco de contaminação está relacionado a presença de patógenos nos efluentes, mas também é dependente da concentração em que estes chegam a área irrigada, sua latência, capacidade de multiplicação, forma de infecção e persistência (RIBAS e FORTES NETO, 2008).

3.4 Efeito Potencial do Uso de Efluentes em Cultivos Agrícolas

pH - Potencial Hidrogeniônico e Alcalinidade

O potencial hidrogeniônico (pH) representa o equilíbrio entre íons de hidrogênio e íons hidroxila na solução do solo, o pH da água de irrigação pode influenciar a solução do solo pelo aporte de tais íons. O pH da água depende de sua origem e características naturais, mas pode ser alterado pela introdução de resíduos. Trata-se de um bom indicador de qualidade da água uma vez que valores anormais podem incidir negativamente na população microbiológica do solo, danificar o sistema radicular das plantas ou alterar o equilíbrio químico em que se encontra (ALMEIDA, 2010; SILVA et al., 2011).

Em diversos trabalhos como os realizados por Duarte et al. (2008), estudando os efeitos da aplicação de efluente doméstico tratado em algumas características químicas do solo e Andrade-Filho et al. (2013), que buscaram os efeitos da aplicação de água residuária sobre os atributos

químicos do solo, ambos obtiveram resultados semelhantes, onde o uso desse tipo de água residuária não provocou alterações significativas no pH do solo.

A alcalinidade representa a quantidade de íons na água capaz de reagir para neutralizar os íons de hidrogênio. Essa medida quantifica a capacidade da água ou efluente de neutralizar os ácidos, ou seja, sua capacidade tampão (Lira et al., 2015).

Nitrogênio (N) e Matéria Orgânica (MO)

O nitrogênio proveniente de um EET tem o mesmo efeito para as plantas que o nitrogênio aplicado por meio de fertirrigação, nesse sentido, a aplicação de quantidades excessivas de irrigação com EET podem causar os mesmos problemas causados pelo excesso de fertilizante nitrogenado.

Trabalhos que investigaram o aporte de nutrientes no solo após a irrigação com EET, como o realizado por Silva et al. (2015), não mostram diferença significativa nos teores de nitrogênio do solo. No entanto, como sugere Feigin et al. (1991), efluentes muitas vezes possuem altas concentrações de nitrogênio em compostos orgânicos, que são altamente suscetível a decomposição por microrganismos presentes no solo, que os quebra em compostos simples disponíveis as plantas, como amônio e nitrato. Outros estudos como os realizados por Xavier (2014), Firmino et al. (2015) obtiveram resultados semelhantes onde o uso da água residuária favoreceu a rápida mineralização da matéria orgânica, em virtude da concentração de nitrogênio e carbono existentes na mesma.

Fósforo

Segundo Bettiol e Camargo (2000), o risco para as plantas em decorrência do excesso de fósforo no solo é praticamente nulo, porque dificilmente é constatada toxicidade por causa deste nutriente, e por outro lado, os solos brasileiros além de deficientes em fósforo, apresentam elevada capacidade de retenção desse nutriente, reduzindo sua disponibilidade para as plantas.

Kouraa et al. (2002) irrigaram batatinha e alface com água potável, esgoto bruto e água residuária tratada, onde após um ano de cultivo não houve alterações significativas nos teores de fósforo do solo. Os autores constataram, ainda, que para ocorrerem mudanças expressivas nos atributos químicos do solo são necessários vários anos de irrigação, visto que a dinâmica de seus atributos ocorre muito lentamente. Por outro lado Sandri et al. (2009) constataram aumento de fósforo no solo cultivado por dois ciclos de alface na profundidade de 10 a 20 centímetros irrigado com EET. Assim, o acréscimo de fósforo pode ser uma das vantagens do sistema de reúso, uma vez que esse elemento é abundante para esse tipo de água.

Segundo Parvan e Denesh (2011), a aplicação de EET doméstico no solo por um período de seis anos, proporcionou aumento significativo nos teores de fósforo do solo na camada de 0 a 0,25 m, evidenciando o potencial desse tipo de efluente na adubação deste nutriente a longo prazo.

Potássio

O potássio (K) é um dos elementos mais absorvidos pelas plantas e sua reserva mineral nos solos do bioma Cerrado, que são bastante intemperizados, é relativamente pequena, insuficiente para suprir as quantidades extraídas pelas culturas em cultivos sucessivos, como no caso das hortaliças (SILVA et al., 2008).

Segundo Parvan e Danesh (2011), a aplicação de EET doméstico no solo por um período de seis anos, proporcionou aumento significativo nos teores de potássio do solo na camada de 0 a 0,25 m, evidenciando o potencial desse tipo de efluente na adubação deste nutriente a longo prazo. Costa et al. (2012) afirmaram que a aplicação de EET na cultura do milho é capaz de proporcionar níveis nutricionais satisfatórios às plantas. No entanto, Gonçalves et al. (2013), concluíram que a aplicação de EET doméstico não foi suficiente para atender às necessidades nutricionais do cafeeiro em sua totalidade.

Sódio, Cálcio e Magnésio

A relação entre os elementos cálcio e magnésio no solo tem efeito direto na capacidade de troca catiônica (CTC), contribuindo de forma expressiva com a fertilidade do solo. A adsorção de magnésio (Mg) no solo ocorre em quantidades superiores ao sódio (Na), porém inferiores ao cálcio (Ca). Sendo os efeitos negativos causados pelo sódio mais intensos quando a relação Ca/Mg é menor que 1. Fica evidenciada a redução na produtividade de algumas culturas quando expostas a altos teores de magnésio, o que pode ser relacionado à baixa absorção de cálcio pela planta induzida pelo excesso de magnésio trocável na solução do solo (AYERS e WESTCOT, 1991). Entretanto, é importante notar que os potenciais efeitos da relação destes dois elementos devem ser avaliados em conjunto com os teores de Na⁺, avaliação nesse caso já embutida no parâmetro chamado de razão de adsorção de sódio (RAS).

Varallo et al. (2012) avaliaram as características físico-químicas do solo após a irrigação com água de reúso na cultura da alface-crespa e constataram que não houve diferença significativa para os valores de cálcio no solo entre as parcelas testemunha e aquelas tratadas com água de reúso. Contrário aos resultados de Pavan e Danesh (2011), estudando os impactos da irrigação com esgoto

sanitário tratado, concluíram que as concentrações de Ca e Mg aumentaram para o tratamento com a irrigação usando EET.

Todavia, Sandri et al. (2009), ao aplicarem EET em dois cultivos de alface, cv. Elisa, com os sistemas de irrigação por aspersão, gotejamento superficial e gotejamento subterrâneo, constataram que para o sistema de gotejamento superficial não houve alteração significativa nos teores de sódio do solo após o primeiro ciclo de cultivo. Ao ponto que somente no segundo ciclo houve diferença significativa quando na utilização do sistema de irrigação por aspersão, com aumento de sódio.

Devido a problemática relacionada ao sódio ser dependente de outros fatores, os resultados estimados pela razão de adsorção de sódio (RAS) são mais precisos e substituem a análise isolada do Na⁺, este valor é obtido através da razão entre a concentração de Na⁺ e a raiz quadrada da meia parte da concentração total de Ca e Mg (AYERS e WESTCOT, 1991).

Enxofre

A aplicação de enxofre (S) em excesso afeta negativamente a produtividade de hortaliças, conforme demonstrado por Paula et al. (2002). No entanto, Sandri et al. (2009) observaram o aumento de enxofre disponível no solo quando irrigado com EET, porém não é fator suficientemente preocupante por conta de sua fácil lixiviação no solo, mas que o seu aporte no solo corresponde um benefício às plantas.

Poucos são os estudos relacionados ao S nos solos irrigados com EET. Gomes et al. (2009) verificaram por meio da análise foliar, que a utilização de EET doméstico utilizado como fonte hídrica supriu totalmente as necessidades nutricionais de S à cultura.

Boro

O boro é um elemento essencial para as plantas, porém em quantidades relativamente pequenas pode ser tóxico, por isso deve ser tratado como elemento limitante para a utilização de águas residuárias ou efluentes tratados na agricultura (ALMEIDA, 2010).

Monteiro et al. (2014) avaliando o efeito da aplicação de EET nos teores de micronutrientes no solo para a cultura do algodoeiro evidenciaram que a aplicação de EET contribui para a elevação dos teores de boro no solo, mas que o valor não é suficiente para gerar malefícios para as plantas, justificado pelo baixo teor deste no EET.

Condutividade Elétrica

A condutividade elétrica (CE) como outros parâmetros ligados diretamente a salinidade são muito dependentes do manejo utilizado e dos atributos dos meios de produção utilizados, em que as concentrações de sais no solo aumentam conforme haja deposição destes, ou através da evapotranspiração aumentando sua concentração no solo e abaixam conforme são lixiviados. Valores elevados desse parâmetro em efluentes podem trazer danos aos cultivos e devem ser monitorados (ALMEIDA, 2010; SILVA et al., 2015).

Sandri et al. (2007) avaliando a variação dos constituintes químicos do solo em diferentes camadas do solo após a aplicação de EET durante dois ciclos da cultura da alface, constataram que a condutividade elétrica, de maneira geral, não apresentou variações significativas, mas concluíram que a utilização de EET requererá monitoramento do balaço de cátions no solo para posteriores cultivos com esta técnica. Varallo et al. (2010) avaliaram o impacto do reúso sobre as características físico-químicas do solo submetidos à irrigação com efluente esgoto doméstico e notaram aumento na CE, portanto, pode-se inferir que a utilização de efluentes depende de uma série de fatores como, solo, constituição e concentração do efluente, intensidade de uso e cultura. Finocchiaro e Kremer (2010) verificaram a existência de uma relação inversa entre a atividade microbiana do solo e a deposição de EET em comparação à água de córrego. Nesse contexto, a utilização de EET na agricultura deve ser acompanhada de medidas de controle, com restrições de uso quando necessárias e acompanhamento periódico.

3.5 Cultura do Pimentão

A espécie *Capsicum annuum* é uma solanácea perene, porém cultivada como cultura anual. É tipicamente de origem americana, ocorrendo de forma silvestre desde o sul dos Estados Unidos até o norte do Chile. De origem tropical, desenvolve-se e produz melhor sob temperaturas relativamente elevadas ou amenas, sendo intolerante a baixas temperaturas. O fotoperíodo não é um fator limitante nesta cultura entretanto, a planta é de dia curto facultativo, ou seja, o florescimento, a frutificação e a maturação dos frutos são mais precoces em dias curtos, favorecendo a produtividade. O solo mais adequado é de textura média, com pH 5,5 a 6,8 (FILGUEIRA, 2008).

Filgueira (2008) determina que o ciclo da cultura para frutos verdes desde a semeadura até o início da colheita dos frutos é de 100-110 dias. O autor destaca que o período pode ser maior para a produção de outras variedades de frutos, como amarelo e vermelho. A colheita pode prolongar-se por 3 a 6 meses, dependendo do estado nutricional e fitossanitário da lavoura.

Há muito tempo o pimentão faz parte da dieta do brasileiro, destacando-se entre as hortaliças mais apreciadas no Brasil, conferido pelo grande volume de vendas, como também pelo valor de comercialização nos principais centros de distribuição e abastecimento de hortaliças no país (NASCIMENTO e BOITEUX, 1992). A produção do pimentão vem crescendo nas últimas décadas e, hoje, o Distrito Federal já está entre os maiores produtores de pimentão. Grande parte da produção no Distrito Federal encontra-se nos núcleos rurais do Pipiripau e Taquara, localizados em Planaltina, onde os níveis tecnológicos de produção já são considerados os melhores no país (ALCANTARA, 2011).

Como a maioria das hortaliças cultivadas, o pimentão é altamente sensível à deficiência hídrica no solo, sendo mais sensíveis durante o seu florescimento, formação e desenvolvimento dos frutos. Essa deficiência pode ser malefica, reduzindo de pegamento de frutos, provocando deficiência de cálcio, escaldadura de frutos e outros (MAROUELLI e SILVA, 2012).

O manejo da água de irrigação na cultura do pimentão, consiste basicamente na determinação do momento mais apropriado, ao desenvolvimento da cultura do pimentão, de se fornecer água e em quantidade correta. A demanda por água durante o cultivo varia normalmente entre 450 e 650 mm (MAROUELLI e SILVA, 2012), essa faixa pode ser comprovada em outros estudos como os realizados por Silva et al. (2011), que comparando a evapotranspiração e eficiência de uso da água da cultura do pimentão em diversos sistemas de plantio, onde as lâminas totais aplicadas foram de 507,4 mm para o plantio convencional e 459,7 mm para o plantio direto. Esses valores variam principalmente em relação à evapotranspiração de cultura (ETc), que engloba os fatores relacionados a evapotranspiração da água no solo e da transpiração das plantas.

A eficácia da utilização de efluentes como material de fertirrigação para a cultura do pimentão já é comprovada. Factor et al. (2008) avaliaram a produtividade de frutos de pimentão em substrato adubado com efluente de origem suína tratado por biodigestor e comprovaram que apesar de não proporcionar produtividade maior ou equivalente à fertilização mineral, é possível alcançar similaridade no padrão produtivo e produtividade. De modo geral, a utilização de EET para irrigação de hortaliças já vem sendo estudada por diversos profissionais.

Nesse contexto, esse tipo de técnica na cultura do pimentão é tema recorrente e vem demonstrando grande aptidão. Sousa et al. (2006) avaliaram o desempenho da cultura do pimentão submetida a irrigação com efluente de lagoa de polimento e de reatores UASB (up flow anaerobic sludge blanket), constatou que o valor fertilizante dos nutrientes oriundos de águas residuárias pode, de modo geral, ser considerado benéfico. Destacam os autores, que os tratamentos irrigado com efluente do reator UASB não diferiram estaticamente do tratamento contendo adubação

convencional para o parâmetro produtividade. Duarte et al. (2008), que avaliaram os efeitos diretos do uso de EET em algumas características químicas do solo sobre o cultivo do pimentão observaram que não foram alteradas tais características de maneira significativa após um ciclo da cultura.

3.6 Sanidade dos Frutos - Coliformes Totais *E. Coli*, bolores e leveduras

O entendimento é de que a utilização de efluentes de esgoto na irrigação de culturas agrícolas desprovido do uso de técnicas adequadas pode trazer malefícios relacionados à sanidade do produto final.

Varallo et al. (2011) avaliaram a qualidade sanitária de plantas de alface irrigadas por gotejamento com água de reúso comparadas com amostras que foram irrigadas com água de abastecimento, e inferiram que não houve presença de coliformes termotolerantes sobre os vegetais irrigados com água residuária, porém o número de coliformes totais foi maior para os tratamentos com água de reúso. Verificaram ainda que determinadas técnicas de aplicação, como irrigação por gotejamento, reduziram a contaminação consideravelmente quando comparadas a irrigação convencional por aspersão.

Souza et al. (2006) avaliando o reúso agrícola de água residuária de origem doméstica na produção do pimentão, aplicado via irrigação superficial, verificaram que o número para contagem de coliformes termotolerantes foi superior nos frutos de pimentão do tratamento que foi irrigado utilizando água de poço quando em comparação àqueles irrigados por efluente da lagoa de polimento. Entretanto, todos os resultados estavam dentro dos níveis aceitáveis pela legislação.

Os padrões e limites regulamentados para alimentos têm sido estabelecidos para assegurar que o alimento adquirido pelo consumidor final seja seguro, saudável e de qualidade. No Brasil a resolução RDC nº 12, da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA), de 2 de Janeiro de 2001, estabelece os padrões microbiológicos sanitários para alimentos destinados ao consumo humano. No caso de hortaliças frescas para consumo *in natura*, como o pimentão é estabelecido o limite máximo de 10^2 g⁻¹ Número Mais Provável de microrganismos (NMP) para coliformes termotolerantes.

Outros trabalhos evidenciam que o uso de sistema de irrigação por gotejamento superficial ou subterrâneo para águas residuárias produz resultados satisfatórios em relação a presença de contaminantes biológicos mesmo em hortaliças consumidas *in natura*. Sandri (2003), avaliando a aplicação de efluente de esgoto tratado por SZR de origem doméstica na cultura da alface, não registrou a presença de coliformes termotolerantes nas folhas, parte de interesse comercial da

planta, quando aplicado por gotejamento superficial ou subterrâneo, porém sua presença foi evidente quando utilizada irrigação por aspersão.

Nesse sentido, o reúso de águas aliado à técnicas específicas como a irrigação por gotejamento, tratamento adequado dessas águas, escolha da cultura, dentre outras têm se mostrado suficiente para mitigar os efeitos nocivos relacionados à sanidade dos efluentes na agricultura.

3.7 Densidade de Plantio na Cultura do Pimentão

A densidade de plantio é um dos principais fatores que influenciam o rendimento do desenvolvimento das culturas do pimentão e consequentemente da produção (JOLLIFFE e GAYE, 1995; LÓPEZ-BELLIDO et al., 2005). O arranjo espacial das plantas do pimentão pode ser modificado tanto pelo espaçamento entre linhas quanto pelo espaçamento entre plantas, o que altera a área espacial disponível para cada planta dentro do cultivo, que se reflete diretamente na competição intraespecífica nos indivíduos (SILVA et al., 2010).

De maneira geral, a eficiência de incidência da radiação solar sobre a planta depende principalmente do arranjo espacial do plantio. Ao aumentar a população de plantas por unidade de área torna-se real a possibilidade de que as plantas comecem a competir por alguns fatores essenciais a seu desenvolvimento, como radiação, água e nutrientes (MONTEIRO et al., 2011).

Não são raros estudos relacionados à densidade de plantio e seus efeitos sobre características agronômicas e fisiológicas dentro da grande área de estudo das hortaliças. Em contraste, trabalhos dentro dessa temática considerando esses efeitos para a cultura do pimentão são incomuns. Silva et al. (2010) em seus estudos sobre o pimentão observaram que o aumento do espaçamento entre plantas influenciou de maneira positiva a massa seca de folhas, área foliar, frutos e massa seca total. Concluíram que a densidade de plantio é fator determinante da produção de frutos nessa cultura.

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Caracterização da Área Experimental

O trabalho foi desenvolvido na Fazenda Água Limpa (FAL/UnB), da Universidade de Brasília, DF, localizada nas coordenadas 15°56' a 15°59' S e 47°55' a 47°58' W. A altitude média é de 1100 m, e o clima da região, segundo Köppen-Geiger, é do tipo Aw, caracterizado como tropical, com estação seca no inverno. A precipitação média anual é de 1360 mm, com temperaturas médias anuais máxima de 26,7 °C e mínima de 16,1°C (ALVARES, 2014).

O solo da área experimental é classificado como Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico típico, segundo o sistema brasileiro de classificação de solos (EMBRAPA, 2013) e apresenta classe

textural argilosa, contendo 6,0% de areia, 34,8% de silte e 59,2% argila e densidade de 1 g cm³, após o preparo do solo.

As informações de temperatura, umidade relativa do ar, velocidade do vento e radiação solar foram obtidas a partir de uma estação agrometeorológica localizada a 300 m do local do experimento e foram utilizadas para determinação da evapotranspiração de referência (ET_o) e posterior manejo da irrigação durante o cultivo.

As plantas daninhas existentes no local do experimento foram incorporadas ao solo cerca de 50 dias antes do transplante das mudas de pimentão, através de gradagem a 0,20 m de profundidade.

4.2 Origem do Esgoto Tratado

Na FAL/UnB, são gerados esgotos, prioritariamente de descargas sanitárias e do refeitório, que pela sua composição é caracterizado essencialmente como esgoto doméstico. Sendo as descargas sanitárias e do refeitório as únicas fontes de esgoto destinadas ao tratamento, não sendo destinado à Estação de Tratamento de Esgoto da Fazenda Água Limpa (ETE/FAL/UnB) nenhum efluente de laboratórios. O volume diário gerado na FAL/UnB é muito variável, devido à frequência de uso pela oscilação de pessoas que frequentam a fazenda. O efluente gerado no refeitório da FAL passa inicialmente por uma caixa de gordura antes de ser conduzido à ETE/FAL/UnB.

A ETE/FAL/UnB é composta por:

Tanques sépticos (TS): O conjunto de três TS em série, interligados por tubos de 0,075 m, é destinado ao tratamento primário, constituídos de caixas de policloreto de vinil (PVC), com tampa roscável, com volume útil de cada tanque de 5100 L, ou seja, 15300 L de volume útil total. O dimensionamento dos tanques sépticos seguiu a norma da ABNT, 1993.

Caixa de passagem: A caixa de passagem do efluente para os três sistemas de zona de raízes (SZR) e um não cultivado (SnC) foi construída em fibra de vidro com capacidade total de 72 L (0,30 m, 0,40 m, 0,60 m – largura, comprimento e altura), de onde saem quatro tubos de PVC com diâmetro de 0,040 m, um para cada leito. Para melhorar o controle da vazão de entrada em cada SZR e SnC, implantou-se vertedouro triangular, com ângulo interno de 38°, sendo a distribuição das vazões independe da inclinação dos tubos de condução do efluente, já que não funciona afogados

Sistema de zona de raízes (SZR): O tratamento secundário é constituído por três unidades de SZR, um vegetado com a taboa, *Typha latifolia* (SZR_t), um com papiro-brasileiro, *Cyperus giganteus* (SZR_{pb}) e outro com sobrinha-chinesa, *Cyperus alternifolius* (SZR_{sc}) e um sistema não cultivado (SnC), todas de fluxo subsuperficial, preenchido com brita # 2 com porosidade de 50%.

O efluente após passar pelo sistema de zona de raízes (SZR) é direcionado à caixa de fibra de vidro (reservatório) com volume total de 5000 L e útil de 4750 L, de onde é bombeado para outro reservatório de 1000 L e então é utilizado na irrigação (Figura 1).

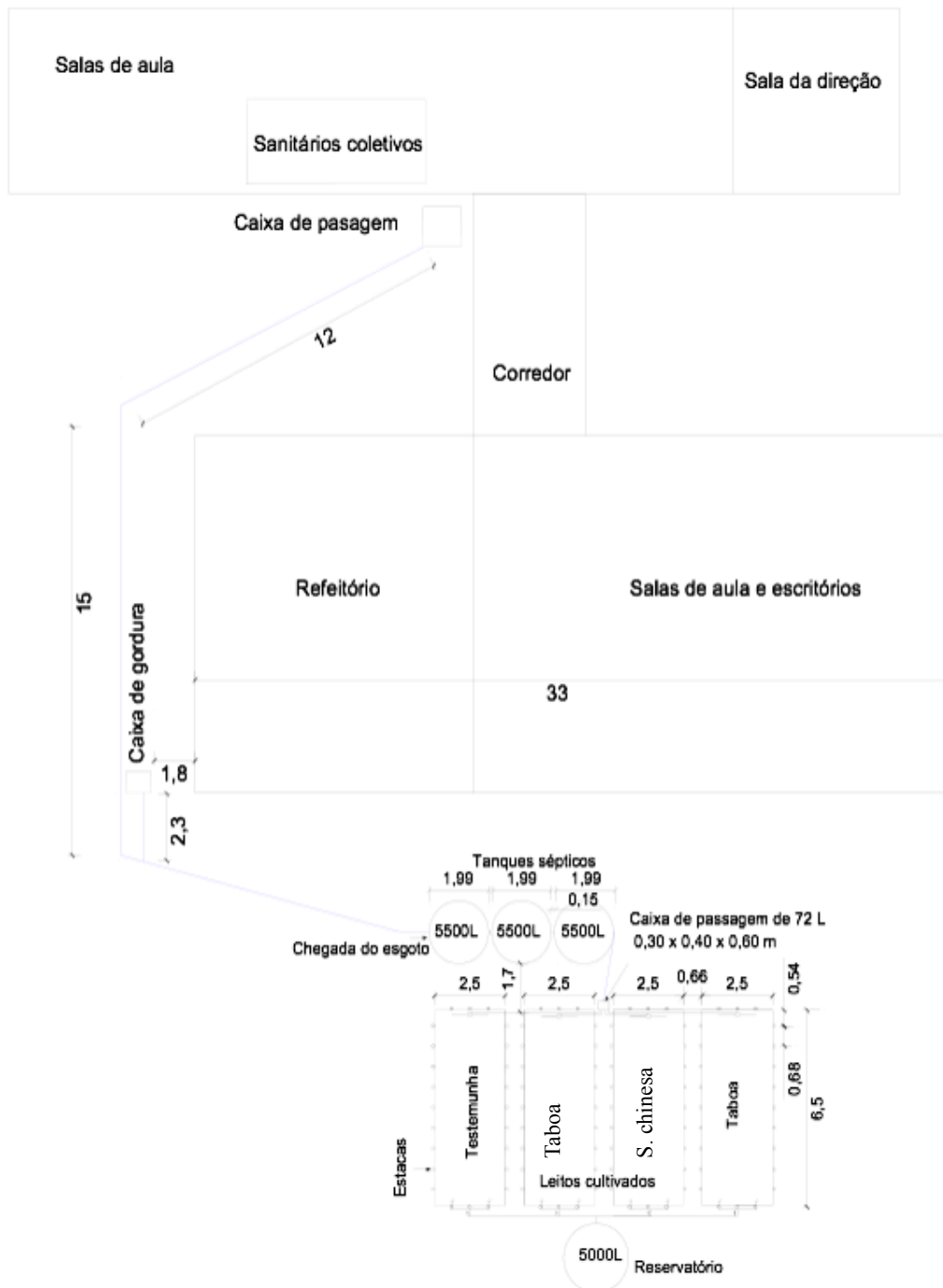


FIGURA 1: Localização de algumas dependências da FAL e planta baixa da estação de tratamento de esgoto - ETE/FAL/UnB. Unidades em m.

4.3 Planejamento Estatístico Experimental

O delineamento experimental utilizado foi do tipo blocos casualizados, em esquema fatorial 2 x 3, com quatro repetições, sendo os fatores: o tipo de água (efluente tratado e água do córrego) e a densidade de plantio (espaçamento entre linhas x espaçamento entre plantas - 1,0 m x 0,40 m (25.000 plantas ha⁻¹); 1,0 m x 0,50 m (20.000 plantas ha⁻¹); 0,8 m x 0,45 m (27.778 plantas ha⁻¹), totalizando seis tratamentos, conforme a seguir:

T1) Água de córrego e espaçamento entre fileiras x plantas de 1,0 x 0,40 m (AcE40);

T2) Água de córrego e espaçamento entre fileiras x plantas de 1,0 x 0,50 m (AcE50);

T3) Água de córrego e espaçamento entre fileiras x plantas de 0,80 x 0,45 m (AcE45);

T4) Efluente de esgoto tratado e espaçamento entre fileiras x plantas de 1,0 x 0,40 m (EETE40);

T5) Efluente de esgoto tratado e espaçamento entre fileiras x plantas de 1,0 x 0,50 m (EETE50);

T6) Efluente de esgoto tratado e espaçamento entre fileiras x plantas de 0,8 x 0,45 m (EETE45).

Cada parcela experimental foi formada por quatro linhas de plantio com 6 plantas cada linha, considerando-se úteis para as análises às plantas das duas linhas centrais, excluindo as plantas das bordadura, resultando em 8 plantas úteis por parcela e 32 por tratamento. As dimensões estabelecidas para as parcelas foram de 3,4 x 3,4 m, assim, a área correspondente de cada parcela foi de 11,56 m². A Figura 2 representa o croqui da área experimental e os detalhes do sistema de irrigação.

A densidade de plantio para cada um dos tratamentos foi de 25.000 plantas ha⁻¹ para os tratamentos T1 e T4, 20.000 plantas ha⁻¹ para T2 e T5 e 27.778 plantas ha⁻¹ para T3 e T6.

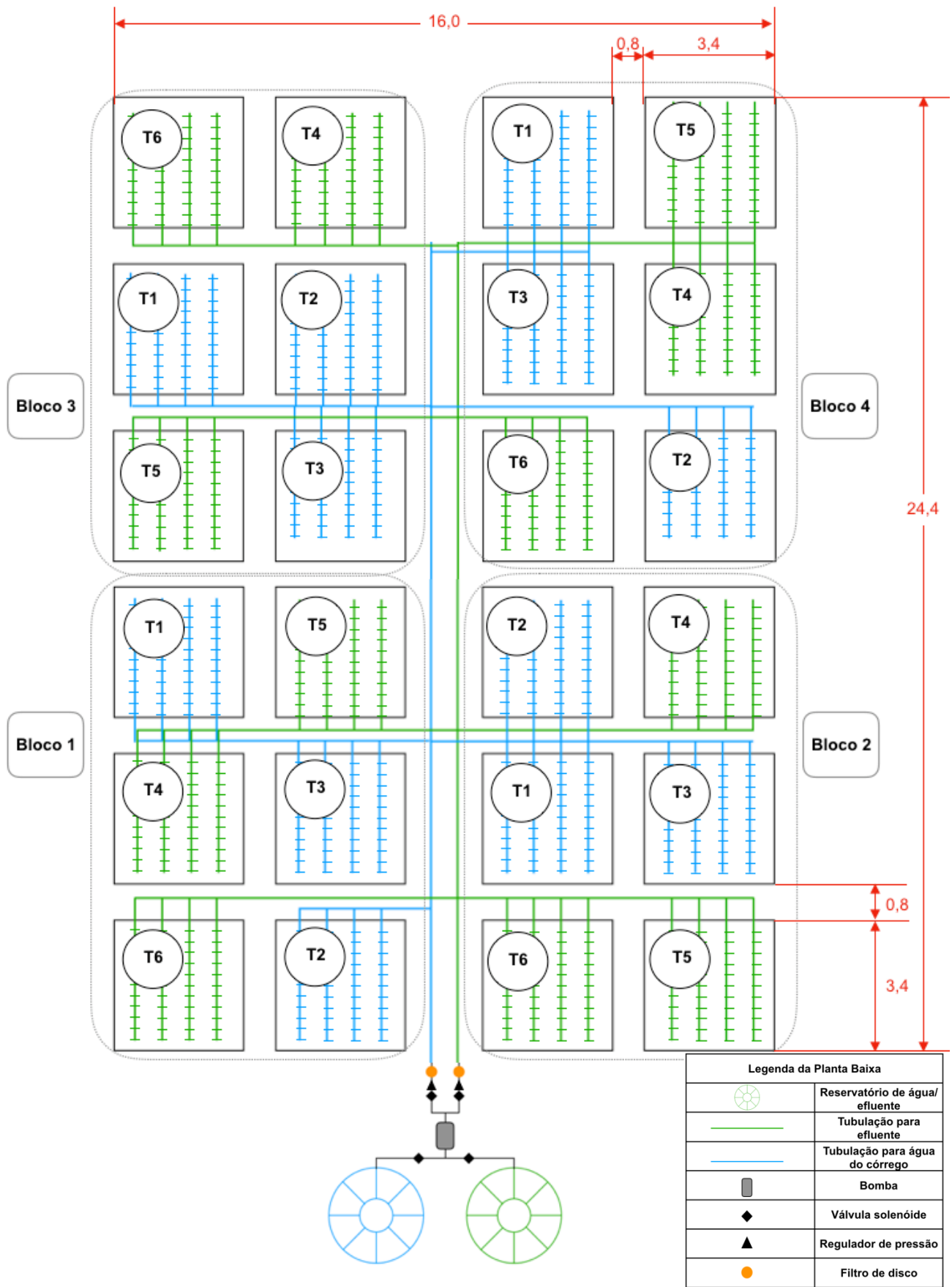


FIGURA 2. Croqui do experimento com indicação dos equipamentos de irrigação e distribuição dos tratamentos nos blocos.

4.4 Cultivar de Pimentão, Formação das Mudanças e Transplântio

Foi utilizada a cultivar de pimentão (*Capsicum annuum* L.) híbrido Dahra RX, desenvolvida pela empresa Sakata Seed Sudamerica. Esta cultivar é indicada para cultivo em campo aberto, de coloração verde brilhante e elevados índices de resistência a vírus (PVY e ToMV) e a *Xanthomona* (SAKATA, 2014).

No Distrito Federal esta é a cultivar mais cultivada pelos agricultores, motivo de sua escolha. As mudas foram formadas em bandejas de polietileno com 128 células, em viveirista especializado. O transplântio foi feito no dia 18 de maio de 2018, 40 dias após a semente.

4.5 Controle de Pragas, Doenças e Plantas Daninhas

Utilizou-se defensivos químicos convencionais para o controle de pragas e doenças, em caso de ataque severo, que comprometia o experimento. Inseticida foi utilizado pertencente ao grupo químico organofosforado com o objetivo de controlar o inseto praga Vaquinha Amarela (*Diabrotica speciosa*). A dosagem utilizada foi de 0,5 kg ha⁻¹, conforme a indicação do fabricante, em três aplicações, distribuídas nos primeiros 3 meses pós-transplântio.

Posteriormente, fez-se necessária a administração de um bactericida do grupo químico antibiótico com o intuito de controlar a doença conhecida como, podridão-mole (*Pectobacterium carotovorum subsp. carotovorum*). Segundo Bedendo (2011), esta bactéria é considerada o principal agente bacteriano associado às podridões moles podendo afetar dezenas de espécies. Foi utilizada dosagem de 300 mL 100 L⁻¹ de água, distribuído em 3 aplicações. Essas aplicações foram feitas no final do ciclo da cultura, momento em que a doença se tornou evidente. O desenvolvimento desta doença é favorecido por temperaturas variando de 25 °C a 30 °C e alta umidade, condição que ocorreu na época de aparecimento da doença. Já o controle das plantas daninhas foi feito em sua totalidade por capina manual.

4.6 Preparo do Solo, Calagem, Adubação de Plantio e de Cobertura

Antes da instalação do experimento (01/02/2018) foi realizada uma análise química do solo da área (Tabela 4), que serviu para estimar a dosagem para calagem para toda área do experimento. Para isso foi coletada uma amostra de solo composta, por 10 subamostras coletadas em zig zag na profundidade de 0 a 0,20 m. Utilizou-se calcário dolomítico, incorporado através de gradagem 60 dias antes do transplântio das mudas, para elevar a saturação de bases a 70%. Na correção da acidez do solo aplicou-se 0,44 t ha⁻¹ de calcário dolomítico com PRNT de 100%, 47% de Ca e 7% de

MgO, de acordo com a metodologia da saturação por bases descrita por Alvarez e Ribeiro (1999), em área total e incorporado ao solo com gradagem a 0,20 m de profundidade.

TABELA 4. Valores dos atributos químicos do solo na camada 0 a 0,20 m para determinação da dosagem para correção do solo da área do experimento com cultivo de pimentão.

pH	SB	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	AcP	CTCe	CTCt		m	V
								pH 7	Pmeh ⁻¹		
							cmol _c dm ⁻³	mg dm ⁻³	%	%	
5,8	6,21	0,23	4,46	1,52	0,01	3,30	6,22	9,50	5,62	0,20	65,4

pH: pH em água; MO: Matéria Orgânica; K: Potássio Extraível; Ca: Cálcio Extraível; Mg: Magnésio Extraível; Al: Alumínio Trocável; AcP: Acidez potencial; CTCe: CTC efetiva; CTCt: CTC total; m: Saturação por Al trocável; V: Saturação por bases e P: Fósforo Extraível. CTC: Capacidade de Troca de Cátions, SB: soma de bases.

Para determinação da adubação, conforme necessidade da cultura do pimentão, que foi a mesma em todos os tratamentos, foi realizada análise de fertilidade do solo da área experimental em 10/05/2018 (Tabela 5). Coletou-se amostra de solo formando uma composta, a partir de 10 subamostras coletadas em zig zag na profundidade de 0 a 0,20 m, após a confecção dos canteiros, posterior a calagem. Observou-se que a saturação por base (V) ainda não havia alcançado valores considerados ideais para a cultura do pimentão (70%) (Tabela 5). Assim, foi realizada uma segunda calagem, determinada considerado os resultados da análise do solo conforme Tabela 5, aplicando-se 0,88 t ha⁻¹ de calcário sobre a área das parcelas e incorporado manualmente.

TABELA 5. Valores dos atributos químicos do solo na camada 0 a 0,20 m para estimar a adubação do experimento com cultivo de pimentão.

pH	SB	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al	AcP	CTC e	CTCt pH 7	Pmeh ⁻¹	m	V
5,7	5,30	0,38	3,73	1,20	0,01	3,45	5,31	8,75	6,89	0,11	60,60

pH: pH em água; MO: Matéria Orgânica; K: Potássio Extraível; Ca: Cálcio Extraível; Mg: Magnésio Extraível; Al: Alumínio Trocável; AcP: Acidez potencial; CTCe: CTC efetiva; CTCt: CTC total; m: Saturação por Al trocável; V: Saturação por bases e P: Fósforo Extraível. CTC: Capacidade de Troca de Cátions, SB: soma de bases.

Para a adubação de base estimada a partir da análise de solo apresentada na Tabela 5, seguiu-se Alvarez e Ribeiro (1999), em que os teores de fósforo e potássio foram classificados com, baixo e muito boa, respectivamente. Assim, as doses sugeridas pelo autor são de 300 kg ha⁻¹ de P₂O₅, 0 kg ha⁻¹ de K₂O e 150 kg ha⁻¹ de N, os fertilizantes minerais utilizados foram o superfosfato simples como fonte de P e a ureia como fonte de N. Estes foram aplicados a lanço sobre as leiras de plantio e incorporados ao solo.

A adubação de cobertura foi parcelada, onde parte dos fertilizantes que continham NPK, 20% de N, 100% de P foram aplicados e incorporados sobre as linhas de cultivo durante o transplântio das mudas no terreno. A adubação de cobertura, com fertilizantes contendo nitrogênio, foram aplicadas a cada 15 dias após o transplântio nas proporções apresentados na Tabela 6, em pequenos sulcos ao lado das plantas.

TABELA 6. Parcelamento da adubação de cobertura com NPK no solo das parcelas experimentais.

Nutrientes	Plantio	Quinzena					
		1 ^a	2 ^a	3 ^a	4 ^a	5 ^a	6 ^a
		% do total a ser aplicado					
N	20	10	10	15	15	20	10
P	100	0	0	0	0	0	0
K	0	0	0	0	0	0	0

Fonte: CASALI e FONTES (1999) modificada.

4.7 Irrigação pimentão

4.7.1 Sistema de Irrigação

Para cada tipo de água instalou-se um sistema composto de um reservatório de água de 1000 L, com um registro de esfera, um filtro de disco de 125 micros, by-pass compostos por válvulas de gaveta, duas válvulas solenóides para automação do sistema, essas acionadas por um painel de controle e uma motobomba de 1 CV (Figura 3).



FIGURA 3. Equipamentos utilizados para a aplicação de águas e efluente tratado para irrigação.

A irrigação foi realizada por gotejamento superficial, utilizando tubos de 16 mm de diâmetro externo, com vazão de $1,57 \text{ L h}^{-1}$ para cada emissor na pressão de 100 kPa, instalados a 0,05 m da linha de plantio e com espaçamento de 0,2 m entre emissores. As dimensões da faixa molhada foram medidas *in loco*, sendo de 0,50 m de largura, resultando em uma área molhada de 58,82% por parcela. Assim, considerando a presença de 17 gotejadores por linha de gotejador, sendo cada parcela experimental composta de 4 linhas laterais, se obteve uma vazão $106,59 \text{ L h}^{-1}$ por unidade experimental

4.7.2 Manejo da Irrigação

A demanda evapotranspirométrica da cultura foi determinada considerando a evapotranspiração da cultura do pimentão (E_{Tc}) obtida pela Equação 2, a partir da evapotranspiração de referência (E_{To}) estimada pela da equação de Penman-Monteith (ALLEN et al., 1998).

Os dados diários de precipitação, radiação, velocidade do vento, temperatura e umidade relativa, foram coletados a cada dois dias, que corresponde ao turno de rega adotado no experimento e o tempo de irrigação foi obtido pelas Equações 3 e 4, seguindo procedimentos utilizados por Padrón (2016).

Os valores dos coeficientes de cultura (K_c) para o pimentão, no sistema de irrigação por gotejamento em turno de rega de dois dias, foram considerados conforme os estádios de desenvolvimento da cultura, sendo, 0,40 no estágio I, que compreendeu o período de 10 dias após transplante (DAT) (29/05/18) a 39 DAT (26/06/18), 1,10 para o estágio III, no período de 75 DAT (01/08/18) a 129 DAT (24/09/18) e 0,85 no estágio IV, ou seja, de 130 DAT (25/06/18) até o final

do cultivo (160 DAT), enquanto que o k_c para o estágio II foi obtido pela interpolação entre os estádios I e III (MAROUELLI e SILVA, 2012).

A aplicação de água residuária iniciou-se aos 10 DAT das mudas no campo, assim, até esse período as plantas de pimentão foram irrigadas por aspersão convencional para garantir o melhor adaptação e stand das mesmas.

$$ET_c = ETo * K_c \quad (2)$$

$$Tr = \frac{(At * Nr * Pu)}{(q * CUE)} \quad (3)$$

$$Nr = ET_c - Pe \quad (4)$$

em que,

Tr = Tempo de funcionamento do sistema de irrigação (min);

At = Área total da parcela (m²);

Nr = Necessidade de irrigação no período de 48 horas (mm);

ET_c = ET_c no período de 48 horas;

Pe = Precipitação total no período de 48 horas (mm);

Pu = Porcentagem de área molhada por parcela (%);

q = Vazão por parcela (L h⁻¹);

CUE = Coeficiente estatístico de uniformidade (%);

4.7.3 Tensão de água no solo

No intuito de avaliar a umidade no solo e auxiliar no manejo da irrigação, foram instalados tensiômetros nas profundidades de 0,15 m e 0,30 m, sendo 6 tensiômetros para cada tratamento, distribuídos em 3 blocos, totalizando 36 aparelhos em todo o experimento. As leituras da tensão nos tensiômetros foram realizadas com o uso de um tensímetro digital de punção com precisão de 0,01 kPa, antes do início de cada irrigação, sendo escorvados em seguida.

Segundo Marouelli e Silva (2012), a irrigação deve ser realizada toda vez que a tensão de água no solo atingir valores entre 10 kPa e 25 kPa, onde o menor valor é indicado para solos de textura grossa e/ou estádios mais críticos ao déficit de água (pegamento de mudas, floração/frutificação e produção).

4.8 Uniformidade de Distribuição de Água e Entupimento de Emissores

Foram medidas as vazão dos gotejadores no início 7 DAT (25/06/18) e ao final do experimento 161 DAT (26/10/18). Foram avaliadas 8 linhas de gotejadores, sendo 4 para EET e 4 para água do córrego, medindo-se a vazão de 10 emissores por linha. O tempo de coleta da vazão utilizado foi de 2 minutos com 3 repetições, medida pelo método volumétrico utilizando uma proveta graduada, com precisão de 1,0 mL. Para coleta dos dados, as linhas de tubo gotejador foram fixadas a 0,15 m do solo, suspensas por cavaletes, para que as gotas dos emissores fossem coletadas por coletores específicos (Figura 4).



FIGURA 4. Determinação da vazão dos gotejadores no sistema de irrigação por gotejamento.

O coeficiente de uniformidade de distribuição de água (CUD) foi estimado pela Equação 6, o coeficiente estatístico de uniformidade (CUE) pela Equação 7 e ambos são classificados de acordo com a Tabela 7.

$$CUD = \frac{q_{25}}{\bar{q}} * 100 \quad (6)$$

em que,

CUD = Coeficiente de uniformidade de distribuição (%);

q_{25} = Vazão média dos 25% menores valores de vazão dos emissores ($L h^{-1}$);

\bar{q} = Média de todas as vazões observadas ($L h^{-1}$).

$$CUE = 100 * \left(1 - \frac{S}{\bar{x}}\right) \quad (7)$$

em que,

CUE = Coeficiente estatístico de uniformidade (%);

S = Desvio padrão dos dados de vazão dos gotejadores (mL);

\bar{x} = Média geral dos valores de vazão dos gotejadores (mL).

TABELA 7. Critérios de classificação quanto à uniformidade do CUD e do CUE.

Classe	*Uniformidade CUD (%)	**Uniformidade CUE (%)
Excelente	Acima de 90	Acima de 84
Bom	80 – 90	84-68
Razoável	70 – 80	68-52
Ruim	< 70	52-32
Inaceitável	-	Abaixo de 36

* MERRIAN e KELLER (1978) e ** MANTOVANI (2001)

4.9 Atributos do Efluente de Esgoto Tratado (EET) e Água do Córrego

Foram feitas análises do EET e da água do córrego utilizada na irrigação, no início do experimento e a cada 25 dias durante o ciclo de cultivo do pimentão totalizando 6 amostragens.

As análises foram executadas no Laboratórios de Análise de Água da Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária da Universidade de Brasília, seguindo as metodologias da APHA (2005). Os atributos analisados, suas unidades de medida e métodos de análise são descritos na Tabela 8.

TABELA 8. Atributos analisados no EET e na água do córrego utilizadas de irrigação do pimentão em condições de campo.

Atributos	Unidade	Método
Sólidos totais	mg L ⁻¹	Gravimétrico
Sólidos suspensos	mg L ⁻¹	Gravimétrico
Sólidos totais dissolvidos	mg L ⁻¹	Gravimétrico
Alcalinidade total	mg L ⁻¹ de CaCO ₃	Titulométrico
Boro	mg L ⁻¹	Fotocolorimétrico
Sódio	mg L ⁻¹	Fotometria de chama
Cálcio	mg L ⁻¹	Fotocolorimétrico
Magnésio	mg L ⁻¹	Fotocolorimétrico
Manganês	mg L ⁻¹	Fotocolorimétrico
Potássio	mg L ⁻¹	Fotocolorimétrico
Nitrogênio total	mg L ⁻¹	Fotocolorimétrico
Nitrato	mg L ⁻¹	Fotocolorimétrico
Nitrito	mg L ⁻¹	Fotocolorimétrico
Fosfato total	mg L ⁻¹	Fotocolorimétrico
Fósforo total	mg L ⁻¹	Fotocolorimétrico
Ferro	mg L ⁻¹	Fotocolorimétrico
Turbidez	NTU	Fotocolorimétrico
Potencial Hidrogeniônico	-	Eletroquímico
Condutividade elétrica	dS m ⁻¹	Condutivímetro
<i>E. coli</i>	NMP 100 mL ⁻¹	Substrato Cromogênico
Coliformes Totais	NMP 100 mL ⁻¹	Substrato Cromogênico

A quantificação de coliformes totais e *E. coli*, foi realizada pelo método do substrato cromogênio, de acordo com o descrito no Standard Methods (APHA, 2005). Os equipamentos utilizados na análise foram a cartela Quanti-Tray, seladora Quanti-sealer e lâmpada ultra-violeta (UV) do método conhecido comercialmente como Colilert-IDEXX e uma estufa biológica.

4.10 Aporte de Nutrientes ao Solo

Para cada um dos tratamentos foram avaliados os atributos químicos do solo na profundidade de 0 a 0,20 m, em dois momentos, ou seja, no início e ao término do experimento.

No momento do transplântio das mudas de pimentão para o campo, após a adubação de plantio, duas amostra de solo composta de 10 subamostras coletadas em zig zag na área total do experimento foi realizada, cujos resultados médios estão dispostos na Tabela 9. Optou-se por apresentar a média devido aos resultados das duas amostras serem muito similares, o que demonstra que a área do experimento apresenta grande homogeneidade na composição química inicial.

No final do experimento foram coletadas 4 subamostras em três parcelas de um mesmo tratamento, para formar uma amostra composta, resultando em três repetições por tratamento totalizando 18 amostras de solo.

O local de coleta foi próximo ao centro do raio do bulbo molhado formado, cerca de 0,06 m do gotejador (PORTO FILHO et al., 2011). As análises de fertilidade foram efetuadas em laboratórios terceirizados, e as metodologias de determinação analítica seguiram o proposto por Silva (1999).

A partir das análises dos atributos químicos, presentes no EET, determinou-se a quantidade de nutrientes adicionados ao solo, em kg ha^{-1} , por meio das análises quantitativas de nutrientes presentes no EET e lâmina total aplicada por hectare. Assim, foi possível estimar a quantidade que não seria necessária aplicar via fertilizantes químicos.

TABELA 9. Valores médios dos atributos químicos do solo cultivado com pimentão na camada de 0 a 0,20 m no início do experimento.

Atributo	Unidade	Resultado***
pH em água (1:2,5)		5,70
Matéria Orgânica	g kg ⁻¹	34,00
Potássio Disponível*	mg (dm ³) ⁻¹	145,50
Fósforo Disponível**	mg (dm ³) ⁻¹	6,89
Enxofre	mg (dm ³) ⁻¹	17,00
Cálcio	cmol _c (dm ³) ⁻¹	3,73
Magnésio	cmol _c (dm ³) ⁻¹	1,20
Boro	mg (dm ³) ⁻¹	0,12
Manganês	mg (dm ³) ⁻¹	11,45
Ferro	mg (dm ³) ⁻¹	28,00
Sódio	mg kg ⁻¹	< 0,005
Alumínio Trocável	cmol _c (dm ³) ⁻¹	0,01
Acidez Potencial	cmol _c (dm ³) ⁻¹	3,45
CTC Efetiva	cmol _c (dm ³) ⁻¹	5,31
CTC Total	cmol _c (dm ³) ⁻¹	8,75
Saturação por Bases	%	60,60

* Teores de potássio disponível (Mehlich-1)

** Teores de fósforo disponível (Mehlich-1)

*** Média de 6 amostragens

CTC (Capacidade de troca de cátions)

4.11 Características Agronômicas e Sanitárias das Plantas e Frutos do Pimentão

Altura de plantas (Ap): determinada com o auxílio de régua de polietileno graduada com precisão de 1,0 mm. Foi mensurada a altura do caule principal das plantas eretas desde a base do solo até o ápice em 5 plantas úteis por parcela, ou seja, 20 por tratamento, aos 5, 15, 31, 50, 70, 91 e 133 DAT (Figura 5a.).

Diâmetro médio de caule (Dmc): O diâmetro médio de caule foi determinado com o auxílio de um paquímetro digital com precisão de 0,01 mm. Foi medida a circunferência do caule a uma altura de 5 cm acima da superfície do solo, nas mesmas 5 plantas úteis onde foi medida a altura, nas mesmas datas (Figura 5b.).



FIGURA 5. Medição da altura das plantas, com régua graduada (a); Medição do diâmetro das plantas com paquímetro digital (b)

Diâmetro médio dos frutos (Df) Comprimento médio dos frutos (Cf): O diâmetro e comprimento dos frutos de pimentão foram avaliados considerando a média de uma amostra representativa dos frutos recém-colhidos. Foram selecionados 10 frutos ao acaso por parcela por cada uma das três colheitas de frutos, resultando em 30 frutos por parcela ou 120 frutos por tratamento, medidos com o auxílio de um paquímetro digital com precisão de 0,01 mm.

Número médio de frutos por planta (Nfp): Medido pela contagem dos frutos em todas as três colheitas em cada parcela.

Produtividade (Prod.): A produtividade foi obtida considerando a produção das plantas úteis de cada parcela com posterior conversão para $t\ ha^{-1}$. As três colheitas realizadas no período de condução do experimento foram de acordo com a produção de frutos potencialmente comercializáveis, conforme maturação e desenvolvimento dos mesmos.

Massa úmida dos frutos (Muf): A massa úmida dos frutos foi determinada utilizando uma balança analítica, com precisão de 0,01 g, logo após a colheita dos frutos. Todos os frutos colhidos foram pesados.

Presença de coliformes totais e *E. Coli* nos frutos do pimentão: A determinação de coliformes totais e *E. Coli* foi realizada pelo uso de substratos cromogênicos, as amostras foram retiradas no momento da colheita e analisadas conforme a metodologia proposta por Souza et al. (2006). Foram selecionados, aleatoriamente, dois frutos por tipo de água e acondicionados em sacos plásticos esterilizados, juntamente com 10 mL de solução salina para cada grama de fruto. Em

contato com a solução, o fruto foi massageado externamente a embalagem por cinco minutos e o preparado, então, foi diluído uma segunda vez (10^{-2}). O extrato preparado então foi analisado para a quantificação de coliformes totais e *E. coli*.

Bolores e Leveduras nos Frutos do Pimentão: Foram retiradas 3 unidades analíticas de 25 g de 3 frutos diferentes para cada tipo de água, fazendo em duplicata para cada uma dessas 3 unidades, totalizando 12 amostras.

A cada amostra adicionaram-se 225 mL de água peptonada e homogenizou-se, obtendo-se a primeira diluição (10^{-1}), as amostras foram então diluídas uma segunda vez, transferindo 10 mL da primeira diluição para 90 mL de água peptonada. Então, plaqueou-se estas amostras em placas com meio de cultura seletivo para bolores e leveduras. As placas foram incubadas à 25 °C por aproximadamente 5 dias. Após a incubação, foi verificada a presença ou não de colônias e contabilizadas.

4.12 Análise Estatística

Os dados foram analisados estatisticamente para comparação entre tratamentos a partir de análise de variância e comparação de médias pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, utilizado o Software Assistat V. 7.7 Beta 2014 (ASSIS, 2014).

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Dados Climatológicos

Durante 129 dias do ciclo da cultura, houve condições adversas para o cultivo, ou seja, temperaturas consideradas baixa, inferiores a 15 °C, durante 36 dias. No entanto, para temperaturas consideradas muito elevadas, considerando máximas acima de 35 °C, não foram registradas (Figura 6). Segundo Tivelli (1999) a incidência de temperaturas de 15 a 18 °C pode ocasionar danos à cultura, comprometendo a floração e inclusive afetar a fotossíntese. Com relação às altas temperaturas, acima de 35 °C, estas também podem levar a perdas significativas na produção, sendo a máxima tolerada para floração da cultura (SGANZERLA, 1995).

Ao longo do ciclo de cultivo foram registrados valores de umidade relativa do ar média considerada adequada (50 a 70 %) durante 84 dias, com valores menores que 50 % em 9 dias e altas, acima de 70%, em 37 dias (Figura 6). Assim, pode ter havido por breve período de tempo interferência destes fatores sobre o cultivo, que durante o período de floração e produção plena apresentou queda de flores e frutos. De acordo com Silva et al. (2002), ao avaliarem os valores máximos e médios de umidade relativa do ar em ambientes com e sem a cultura do pimentão nas condições de cultivo protegido e campo aberto, estes afirmam que existe relação entre o desenvolvimento da planta e essa variável, onde há maior crescimento da planta em condições de alta umidade relativa, também destacam que a combinação de baixa umidade relativa com altas temperaturas, causa um déficit de água na planta, provocando morte de gemas, queda de flores e formação de frutos pequenos.

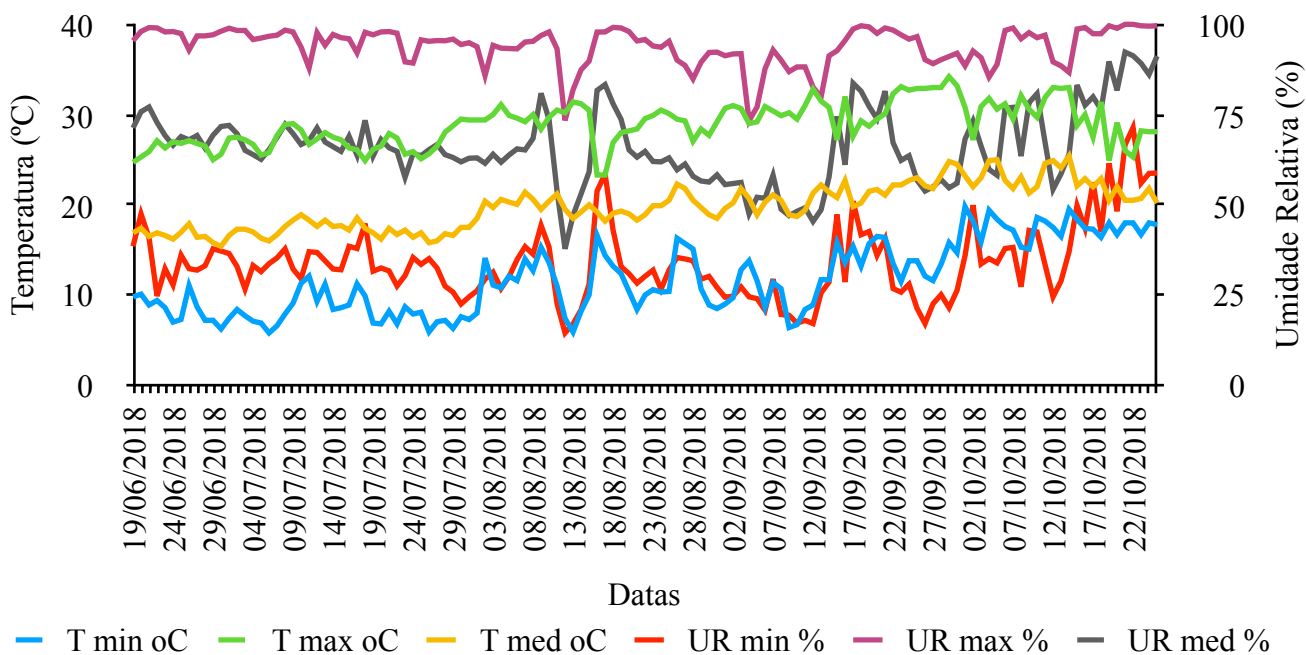


FIGURA 6. Valores de temperatura e umidade relativa do ar máxima, mínima e média durante o ciclo do pimentão.

A ETc total durante todo ciclo do experimento foi de 499,5 mm, enquanto o ETo foi de 545,83 mm, observando-se que no período inicial do cultivo estes parâmetros se apresentaram com valores distintos, em valor absoluto, e ao longo do ciclo da cultura tenderam a se aproximar, isso por conta dos valores de Kc inicial de 0,40 e sua mudança para 1,10 posteriormente (Figura 7).

Os resultados obtidos corroboraram com os encontrados por Klar e Jadoski (2002), que manejando a irrigação na cultura do pimentão, encontraram lâminas de água aplicadas de 322,6 e 627,8 mm, para as condições de cultivo com e sem cobertura do solo. Souza et al. (2011) também encontraram valores similares para lâmina totais acumulada aos 181 DAT de 461 mm para ETo e 363 mm para ETc para plantio convencional da cultura do pimentão.

Analisando-se a Figura 7, percebe-se que o uso de diferentes valores de kc ao longo do cultivo proporcionaram valores crescentes de ETc durante o início do ciclo da cultura e seguiu a tendência de ETo ao longo do cultivo.

A precipitação total foi de 136,74 mm ao longo do ciclo do pimentão, sendo mais incidente durante o mês de outubro, já a radiação solar total foi de 1948,0 $Mj\ m^{-2}\ d$, com quedas evidentes durante os períodos de chuva (Figura 8).

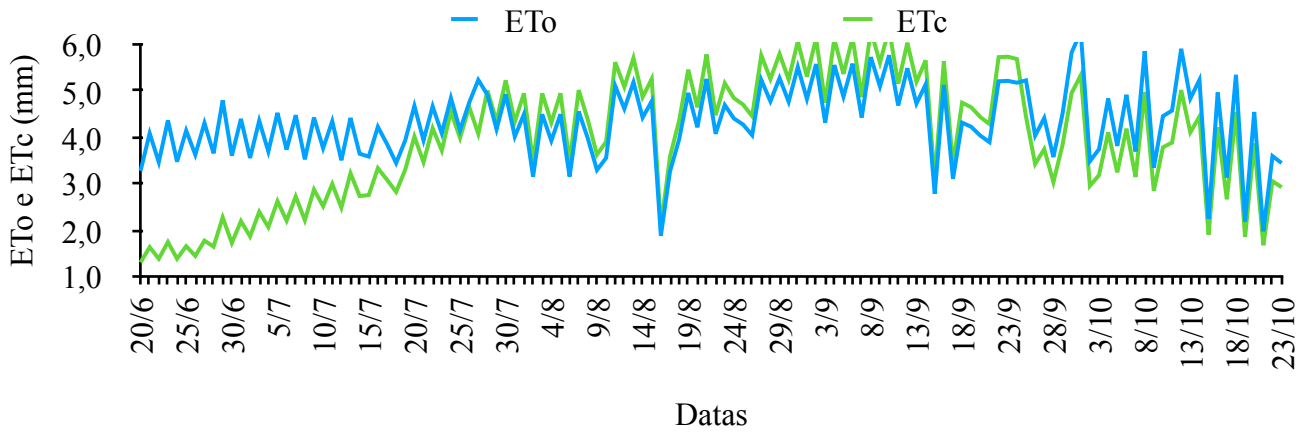


FIGURA 7. Valores de ET₀ e ET_c ao longo do ciclo da cultura do pimentão.

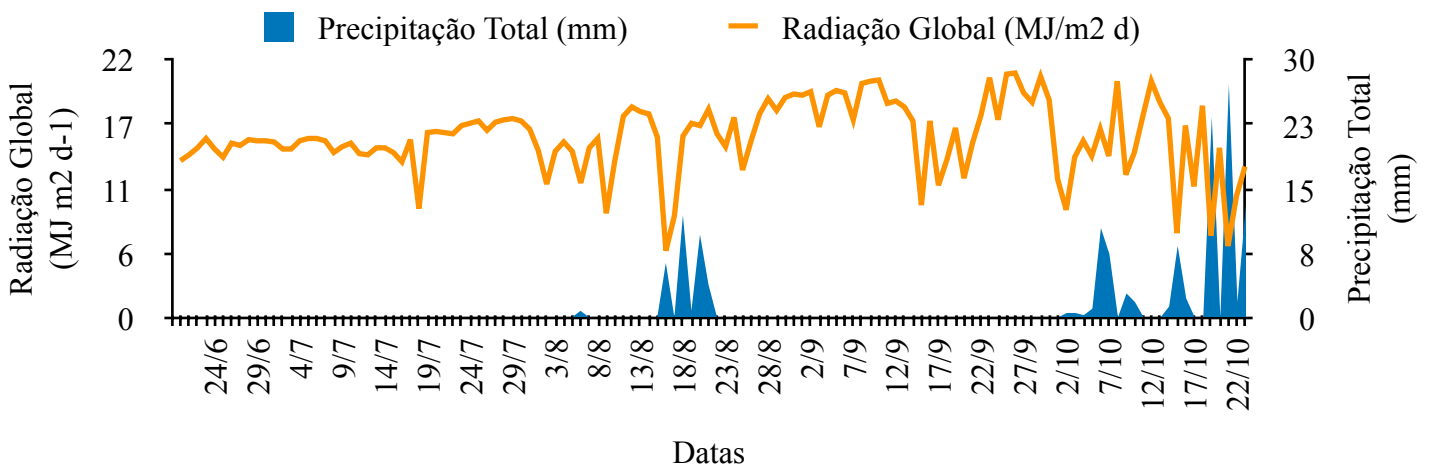


FIGURA 8. Valores de precipitação e radiação global, diários, ao longo do ciclo de cultivo do pimentão.

5.2 Uniformidade de Distribuição de Água dos Gotejadores

Os índices médios de CUD no início do experimento foram de 95,7 e 97,4 % para água do córrego (Ac) e efluente de esgoto tratado (EET), respectivamente, sendo classificados como excelente, enquanto que ao final do ciclo de cultivo, apresentou valores de 91,7% (redução de 4,0%) para Ac e 92,4 % (redução de 5,0 %) para EET, mantendo sua classificação como excelente. O CUE demonstrou comportamento similar, com valores iniciais de 96 e 97,8 %, com reduções para 92,9 (redução de 3,1 %) e 93,7 % (redução de 4,1 %), para Ac e EET, respectivamente. Classificou-se o CUE como excelente, para os dois tipos de água em ambos momentos, inicial e fina (Figura 9), (MERRIAN e KELLER, 1978; MANTOVANI, 2001).

As vazões para cada um dos tipos de água foram, 1,59 e 1,55 L h⁻¹ para Ac e EET, respectivamente, no início do experimento, ao final os valores aferidos foram de 1,55 (redução de

0,04 L) e 1,42 L h⁻¹ (redução de 0,13 L), respectivamente, que mostra uma tendência de ter havido maior obstrução dos emissores quando do uso de EET.

Embora a classificação de CUD e CUE ao final do experimento tenha se mantido a mesma do início do experimento considerando a classificação proposta por Merriam e Keller (1978) e Mantovani (2001), observa-se que apesar do pouco tempo de uso do sistema, 46,24 horas, sendo distribuídas em 54 dias de efetivo acionamento do sistema de irrigação, houve redução da uniformidade nos dois tipos de água de forma bastante similar. Para evitar que o processo de obstrução se agrave, Freitas et al. (2015) sugerem quando do uso contínuo de efluente, que seja feito juntamente com um plano de manejo, a realização de limpezas programadas no sistema para evitar perda na uniformidade e vazão.

Observa-se também que ao classificar o EET quanto a atributos químicos e físicos (Tabela 10) quanto ao risco potencial de entupimento de emissores, conforme proposto por Nakayama e Bucks (1986) (Tabela 7), que o EET possui potencial médio de entupimento para os teores de manganês, e ferro e para o pH.

Dantas et al. (2014) ao estudarem o desempenho de um sistema de irrigação por gotejamento utilizando EET de origem doméstica na cultura do girassol, observaram que não houve redução significativa da uniformidade de distribuição, durante 100 dias de uso, semelhante aos resultados encontrados no presente estudo.

Puig-Bargués et al. (2010) utilizando águas residuárias urbanas, obtiveram, em diferentes épocas de avaliação, 540 e 1620 h de operação, redução nos valores do CUD de 95,1% para 94,2 e 76%, respectivamente, onde a redução dos valores de CUD observados pode ser associada ao pouco tempo de uso do sistema de irrigação. Ilustrando a relação do tempo de uso do sistema com EET e no entupimento de emissores.

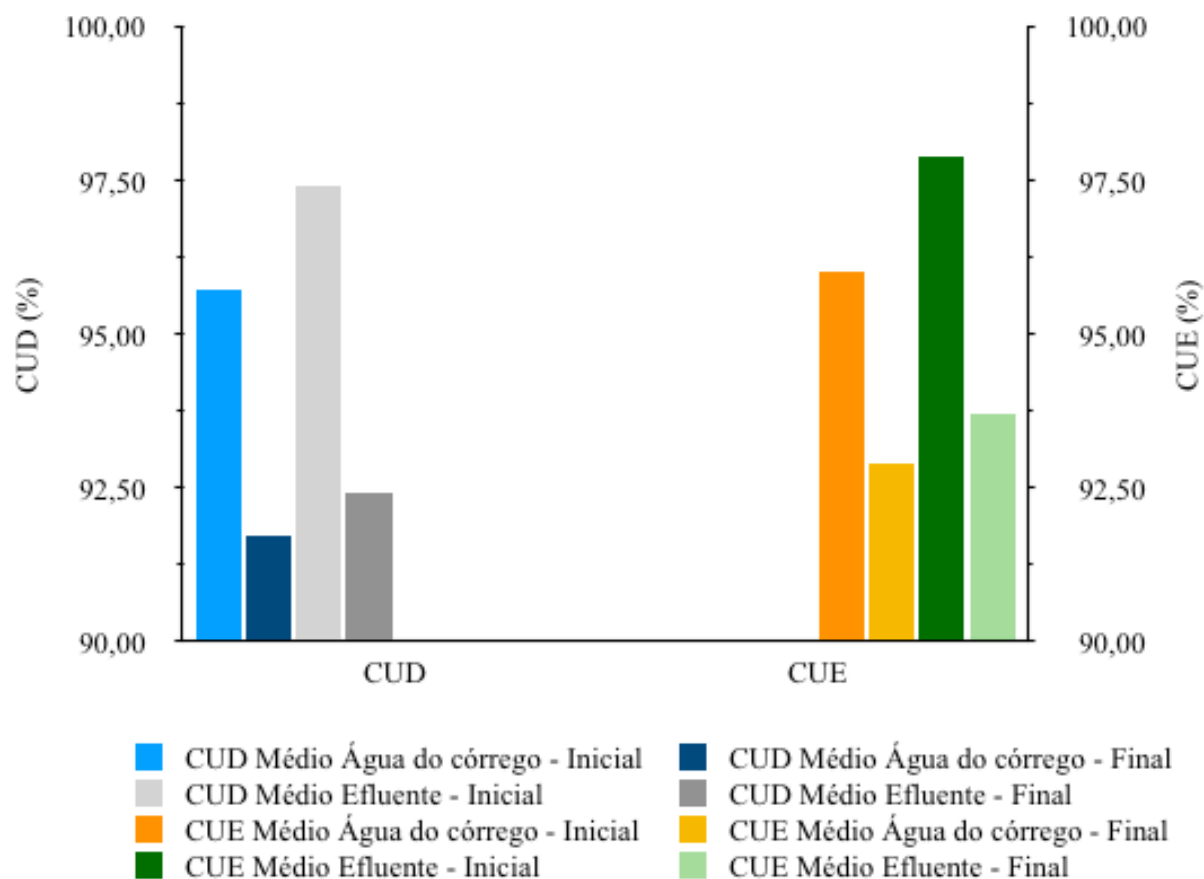


FIGURA 9. Coeficiente de uniformidade de distribuição (CUD e coeficiente de uniformidade estatístico (CUE) dos emissores utilizados para aplicar Ac e EET aos 7 DAT (início) e 161 DAT (final).

Silva et al. (2012) avaliaram o desempenho de gotejadores autocompensantes com diferentes efluentes de esgoto doméstico sob pressões variadas e concluíram que o uso contínuo de águas residuárias é capaz de diminuir a uniformidade de distribuição. Ao final do experimento, com 120 dias de uso, aproximadamente 48 horas de uso, os autores observaram reduções de 23,9 a 48,2% no CUD e 7,3 a 10,5 % no CUE. Valores acima dos que foram encontrados no presente experimento, para um tempo de uso relativamente semelhante, pode-se atribuir essa diferença à qualidade do efluente tratado, uma vez que o tipo de tratamento utilizado pelos autores foi diferente daquele no presente estudo.

Freitas et al. (2015) ao avaliar o desempenho hidráulico de gotejadores em função do tempo de exposição ao EET, concluíram que os emissores em geral apresentaram uniformidade aceitável

nas primeiras 120 h de funcionamento do sistema, mas que a limpeza do sistema se faz imprescindível antes das 180 h de uso para que não haja perdas significativas na uniformidade do sistema, assim, observaram redução na ordem de 12,45 % para o CUD do sistema após 60 horas de uso.

Batista et al. (2010) avaliaram a influência do uso de EET doméstico sobre a uniformidade de distribuição de um sistema de irrigação por gotejamento aplicado durante 120 h na cultura do café, onde observaram relação da diminuição da uniformidade e vazão do sistema com a formação de um biofilme, resultante da interação entre bactérias e algas.

A pouca redução dos coeficientes ao final presente estudo está relacionado diretamente com a qualidade do EET e água utilizados para irrigação, que apresentaram pouca, ou nenhuma restrição de uso.

5.3 Tensão de Água no Solo

Constatou-se que a tensão média foi superior a 25 kPa (sugerida por Marouelli e Silva (2012)) para o T1 (29,91 kPa), T3 (25,32 kPa), T5 (28,30 kPa) e T6 (26,43 kPa) e inferior para T2 (22,07 kPa) e T4 (21,20 kPa), a 0,15 m de profundidade, variações normais, considerando os inúmeros fatores que interferem nos índices de tensão, como, contato da cápsula com o solo, posição da cápsula em relação ao bulbo molhado, variação inerente ao próprio processo de confecção das cápsulas e dos tensiômetros (Figura 10 e 11).

Lima et al. (2012) avaliaram as tensões de água no solo (20, 40, 60 e 120 kPa) durante as fases vegetativa e reprodutiva da cultura da pimenta Cayenne irrigada por gotejamento, em ambiente protegido.. Concluíram que a produtividade da cultura decresceu com o aumento das tensões de água no solo durante as fases vegetativa e reprodutiva, e que a tensão de 20 kPa se mostrou mais adequada para o desenvolvimento da cultura estudada. Concluíram também com base em fatores de resposta que a fase reprodutiva é mais sensível ao déficit hídrico.

Nesse sentido, a tensão de água no solo se torna fator limitante ao desenvolvimento e capacidade produtiva das plantas cultivadas (BILIBIO et al., 2010).

Durante a condução do experimento, seguindo o manejo da irrigação proposto a partir dos dados climáticos obtidos da estação agrometeorológica, não foi necessária a irrigação em 7% do total do ciclo da cultura (coincide com o dias que houve precipitação natural), momento em que a precipitação foi suficiente para atender as necessidades da cultura, já em 93% do ciclo houve necessidade de irrigação, onde a lâmina total de água aplicada foi de 422,01 mm.

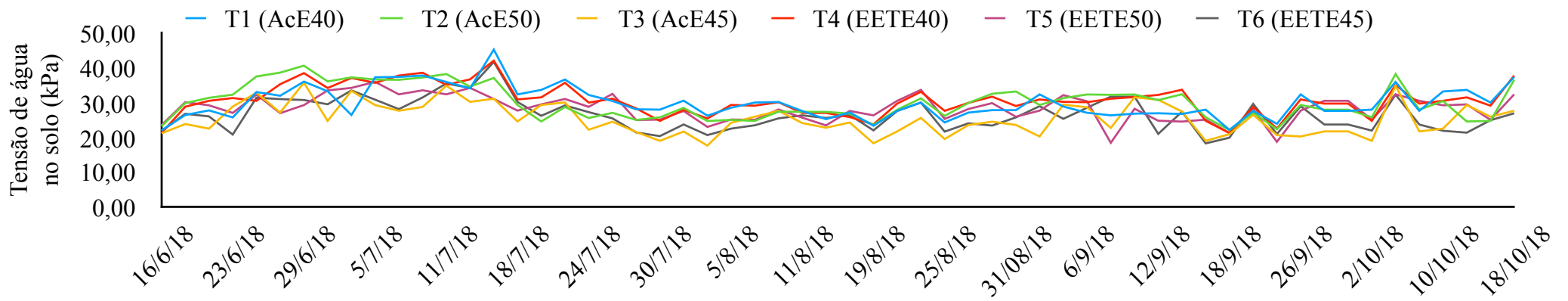


FIGURA 10. Tensões de água no solo na profundidade de 0,15 m, em turno de rega de 2 dias durante o ciclo do pimentão.

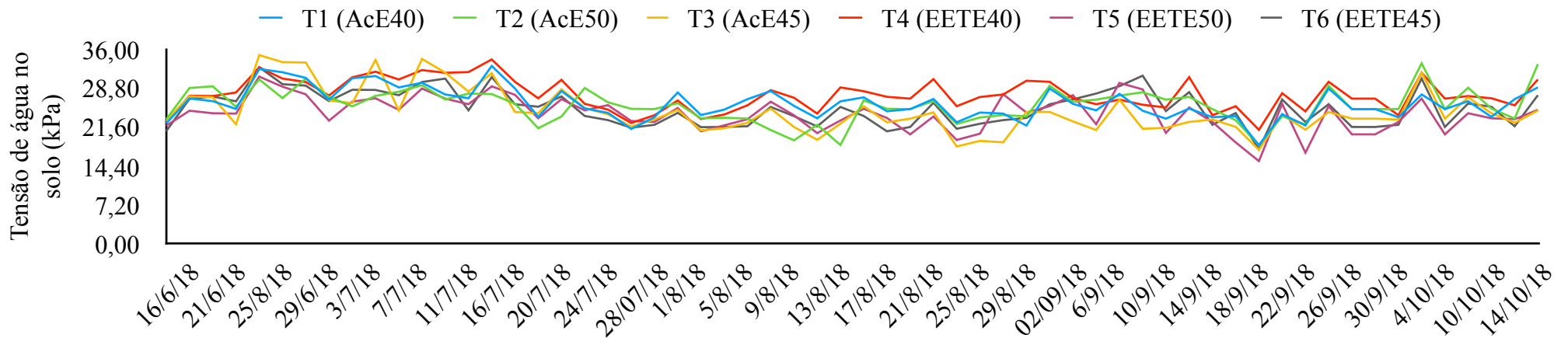


FIGURA 11. Tensões de água no solo na profundidade de 0,30 m, em turno de rega de 2 dias durante o ciclo do pimentão.

A curva de retenção de água no solo, expressa a ação dos atributos físicos do solo que influenciam a retenção da água, como sua distribuição granulométrica (Souza et al., 2017).

A curva de retenção de umidade do solo (Figura 12) para diferentes tensões (0, 3, 6, 10, 33, 80, 400, 1000 e 1500 kPa) foi elaborada a partir de ensaio pelo método da centrifuga, utilizando 5 amostras de solo indeformadas coletadas em cilindros de metal na profundidade de 0,10 m.

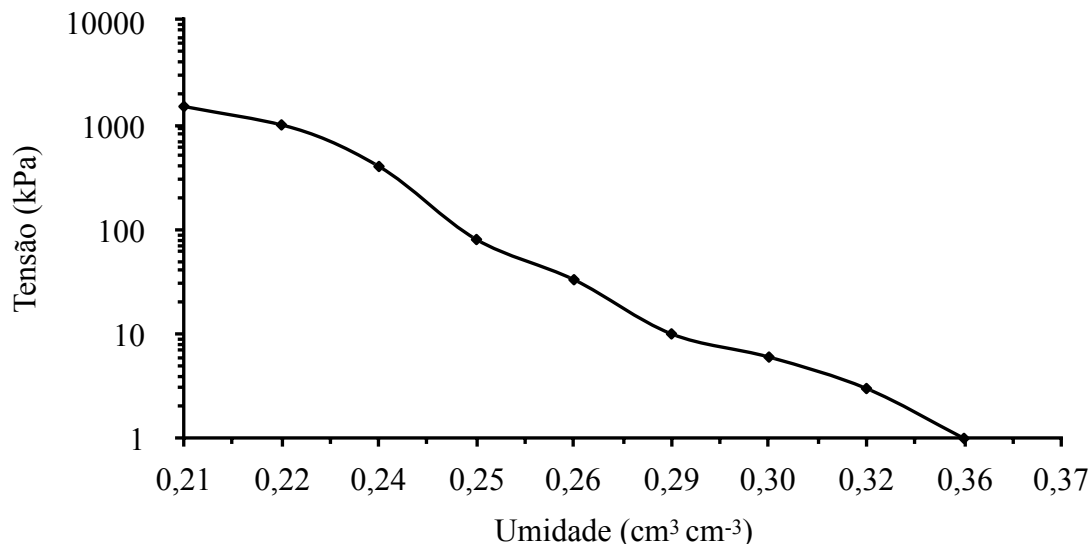


FIGURA 12. Curva de retenção de água do solo no local do experimento.

Gerou-se a Equação de van Genuchten (1980) representativa da curva conforme Equação (8).

$$\theta = \theta_r + \frac{(\theta_s - \theta_r)}{\left[1 + (\psi \cdot \alpha)^m\right]^n} \quad (8)$$

$R^2 = 985$

em que,

θ = conteúdo atual de água do solo ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$); θ_r = conteúdo de água residual ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$); θ_s = conteúdo de água na saturação ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$); ψ = potencial matricial (kPa); α , n e m são os parâmetros empíricos do modelo.

De acordo com o observado na Figura 12, existe variação do volume de água no solo mais intensa na faixa de tensão de 0 a 10 kPa. Constata-se que a maioria das tensões permaneceu na faixa de 10 a 33 kPa, com umidade volumétrica correspondente a 0,29 a 0,26 $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ (Figuras 10 e 11).

5.4 Atributos Físico-Químicos do Efluente de Esgoto Tratado e da Água do Córrego

O EET apresentou, de maneira geral, valores maiores para os atributos sólidos totais, sólidos suspensos, sólidos dissolvidos, alcalinidade total, sódio, cálcio, magnésio, manganês, potássio, nitrato, nitrito, fosfato total, ferro, turbidez, pH, condutividade elétrica e RAS, quando comparado a Ac (Tabela 10).

TABELA 10. Valores médios dos atributos físico-químicos no EET e na Ac utilizadas na irrigação da cultura do pimentão.

Atributos	Unidade	Ac	EET	Variação entre o EET e a Ac (%)
Sólidos Totais	mg L ⁻¹	64,33 ± 36,73	503,83 ± 349,25	683,2
Sólidos Suspensos	mg L ⁻¹	5,00 ± 2,89	36,17 ± 28,58	623,4
Sólidos Totais Dissolvidos	mg L ⁻¹	59,33 ± 35,62	467,67 ± 367,04	688,3
Alcalinidade Total	mg L ⁻¹ de CaCO ₃	1,00 ± 0,00	54,83 ± 18,80	5383,0
Boro	mg L ⁻¹	0,43 ± 0,17	0,38 ± 0,11	-11,6
Sódio	mg L ⁻¹	12,14 ± 0,56	75,69 ± 20,86	523,5
Cálcio	mg L ⁻¹	0,00 ± 0,00	19,59 ± 5,19	-
Magnésio	mg L ⁻¹	2,58 ± 3,53	39,25 ± 21,45	1421,3
Manganês	mg L ⁻¹	0,02 ± 0,01	0,21 ± 0,06	950,0
Potássio	mg L ⁻¹	1,62 ± 2,32	31,25 ± 12,03	1829,0
Nitrato NTD	mg L ⁻¹	0,08 ± 0,12	4,06 ± 3,02	4975,0
Nitrito NTD	mg L ⁻¹	0,00 ± 0,00	0,25 ± 0,18	-
Amônia	mg L ⁻¹	0,09 ± 0,10	0,00 ± 0,00	-100,0
Nitrogênio total	mg L ⁻¹	0,17 ± 0,18	4,31 ± 3,07	2435,3
Fosfato total	mg L ⁻¹	0,72 ± 0,35	12,70 ± 1,05	1663,9
Ferro total	mg L ⁻¹	0,09 ± 0,07	0,72 ± 0,17	700,0
Turbidez	NTU	1,79 ± 0,42	7,54 ± 2,29	321,2
Potencial Hidrogeniônico - pH	-	6,98 ± 0,72	7,87 ± 0,14	12,8
Condutividade Elétrica - C.E.	dS m ⁻¹	0,02 ± 0,00	1,10 ± 0,04	5400,0
<i>I. E.coli</i>	NMP 100 mL ⁻¹	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00	-
Coliformes totais	NMP 100 mL ⁻¹	> 2419,5	> 2419,5	-
RAS*	(mmolc L ⁻¹) ^{0,5}	1,61 ± 0,67	2,26 ± 0,40	40,4
Dureza Total	mg L ⁻¹ de CaCO ₃	2,58 ± 3,35	58,83 ± 20,74	

Os principais efeitos das características físicas, como sólidos suspensos e dissolvidos, químicas e biológicas dos efluentes oriundos de esgotamento doméstico na agricultura, têm relação direta com a uniformidade de distribuição do sistema de irrigação (NAKAYAMA et al., 2006; BATISTA et al., 2011). Em relação a influência da qualidade das águas no potencial de obstrução dos emissores em sistemas de irrigação localizada quanto à presença de sólidos suspensos e dissolvidos (Tabela 10), ambas não apresentaram nenhum grau de restrição de uso (NAKAYAMA et al., 2006).

A alcalinidade total foi maior no EET, este fato pode indicar uma maior eficiência da mineralização da matéria orgânica e conseqüentemente maior liberação de carbono inorgânico (METCALF e EDDY, 2003). O valor médio no EET foi de 54,83 mg CaCO₃.L⁻¹, inferiores ao valor típico de alcalinidade para efluente doméstico tratado por SZR, correspondente a 198 mg CaCO₃.L⁻¹ segundo Decezaró (2016).

O boro proveniente dos produtos de limpeza utilizados higienização do refeitório da FAL/UnB, como elemento químico que pode ter efeitos tóxicos para as plantas, onde 0,5 mg L⁻¹ na água da irrigação já pode ocasionar problemas no desenvolvimento da planta, segundo Canovas Cuenca (1980), sendo observado 0,43 mg L⁻¹ na Ac e 0,38 mg L⁻¹ no EET, assim, não apresentam restrição de uso na irrigação (AYRES e WESTCOT, 1991).

O cálcio na Ac não foi observado, já o EET chegou a média de 19,59 mg L⁻¹, no entanto, de acordo com Ayres e Westcot (1991), o cálcio em concentrações superior a 6,0 mg L⁻¹, pode provocar precipitados e obstruir os emissores do sistema de irrigação. No entanto, esse fato não foi observado com clareza, uma vez que tanto na Ac como no EET houve redução nos índices de CUD e CUE de forma similar. Tal similaridade na redução pode ser atribuída no caso do presente estudo ao pouco tempo de utilização do sistema. A presença de cálcio, assim como de magnésio é influenciada pela dissolução mineral que são sua principal fonte, como, rochas calcárias e despejos industriais (VON SPERLING, 2007). Por outro lado, o cálcio de maneira geral é essencial, onde elevadas concentrações são relativamente inofensivas as plantas (DOMINGUES et al., 2014).

O manganês têm efeito semelhante ao cálcio sobre os sistemas de irrigação, com relação ao potencial de entupimento, no entanto, este não apresentou restrição de uso para nenhum dos tipos de água apesar da diferença observada dentro de cada tipo de água (NAKAYAMA et al., 2006).

O menor teor de potássio foi obtido na Ac com 1,62 mg L⁻¹, porém chegou a 31,25 mg L⁻¹ no EET, ou seja, 1829,0% maior, evidenciando a capacidade do EET como fonte deste nutriente às plantas, sendo o mesmo observado por Souza et al. (2015) ao avaliarem a eficiência de uma estação

de tratamento de esgoto doméstico dotada de sistema de zona de raízes, quantificaram no EET, uma concentração de potássio de 11,96 mg L⁻¹, inferior ao deste trabalho.

Em relação ao nitrogênio amoniacal, tanto no EET (0,0 mg L⁻¹) quanto na Ac (0,09 mg L⁻¹) não apresentaram nenhuma restrição para uso agrícola ou lançamento em cursos de água superficiais. A baixa concentração da forma amoniacal pode ser relacionada à sua oxidação em nitrato durante o processo de tratamento pelas macrófitas (MATOS et al., 2010).

Os teores de nitrato também foram baixos (0,08 mg L⁻¹) na Ac, já no EET chegou 4,06 mg L⁻¹, o que representa 4975,0% maior, já o nitrato foi de 0 (zero) na Ac e de 0,25 mg L⁻¹ no EET. Matos et al. (2010) analisando os teores de nitrato em efluentes tratados pelo SZR, observaram valores de 2,5 mg L⁻¹ para o nitrato. O nitrogênio total por sua vez foi de 0,17 mg L⁻¹ na Ac e de 4,31 mg L⁻¹ no EET (2435,3% maior). Os maiores valores observados de nitrato e nitrito no EET com relação à Ac estão relacionados ao processo de nitrificação, transformação biológica do N-amoniacal em nitrato (PHILIPPI, 2004). De maneira geral, tanto o EET como a Ac não apresentaram restrição de uso na irrigação (AYRES e WESTCOT, 1991).

Os valores de fósforo foram superiores no EET, chegando a 12,70 mg L⁻¹, já na Ac foi de 0,75 mg L⁻¹, o que representa 1663,9% maior, mas bastante variáveis entre as amostragens, que esta relacionado ao fluxo variável de pessoas nas instalações da FAL/UnB, por ser considerado elemento químico abundante em esgotos de origem doméstica proveniente das descargas sanitárias do local do estudo.

Os valores de fosfato total foram de 0,72 mg L⁻¹ na Ac e de 12,70 mg L⁻¹ no EET (1663,9% maior) sendo próximo ao observado por Mendonça et al. (2012), (11,35 mg L⁻¹).

O ferro total em concentrações superiores a 0,2 mg L⁻¹ pode resultar em precipitados e consequentemente obstrução de tubulações e emissores, ocasionando danos ao sistema de irrigação. Assim, no EET foi de 0,72 mg L⁻¹, 700% maior que na Ac, o que representa risco moderado para a utilização deste EET conforme o estabelecido por Nakayama et al. (2006). Batista et al. (2011) observaram resultados semelhantes ao avaliarem o risco de determinadas características do esgotamento doméstico sobre a obstrução de emissores em sistemas de irrigação localizada.

A turbidez média para os tipos de água foi de 1,79 NTU para Ac e 7,54 NTU para EET. O fator turbidez é de grande importância quando considerado para o lançamento do EET em ambientes aquáticos, pois tem ação direta sobre a eficiência dos processos dependentes de radiação solar nesses meios (França et al., 2014). Segundo a resolução Conama nº 357, tanto o EET (7,54 NTU) quanto a Ac não apresentam qualquer tipo de restrição de lançamento, que fixa em até 40 NTU para águas doces de classe 1, águas destinadas ao contato primário (CONAMA, 2005). França

et al. (2014) avaliaram o tratamento de efluente doméstico com macrófitas para reúso na fertirrigação e obtiveram resultados semelhantes com uma média de 15,5 NTU para seus diferentes tratamentos, superior aos obtidos neste trabalho, mas ainda sem nenhuma restrição de uso e lançamento em cursos de água superficiais, mesmo para águas doces de classe 1.

Duarte et al. (2008), avaliando os efeitos da aplicação de EET no solo, comparando diversos tipos de água e observaram que, o pH da água residuária de origem urbana foi ligeiramente mais básico quando comparado à água bruta. Com relação ao efeito do pH em águas utilizadas para irrigação, os autores, Ayers e Westcot (1991), recomendam que o pH esteja na faixa de 6,5 a 8,4, assim, nenhuma das águas utilizadas para irrigação durante o experimento apresentaram qualquer restrição de uso. Os resultados obtidos no EET foram similares aos observados por Mendonça et al. (2015), em seu experimento analisando a regulação do pH no tratamento de efluentes utilizando SZR, onde o efluente tratado manteve a faixa de pH aceitável (Tabela 10).

A condutividade elétrica (CE) considera a quantidade total de sais presentes na água, sem especificá-los, portanto quanto maior o conteúdo salino de uma solução maior será a CE da mesma. Assim, é evidente que, como EET apresentou uma CE superior à Ac o mesmo possui uma quantidade de sais também superior. Tendo em vista as diretrizes apresentadas por Ayers e Westcot (1991), vê-se que, em se tratando de qualidade de água para irrigação, a CE do EET apresentou moderada restrição de uso, o mesmo não foi observado para Ac. Todavia, no que se refere à restrição de íons específicos, no caso sódio, o EET apresentou, no geral, restrição moderada, com valor médio de 75,69 mg L⁻¹ (Tabela 10).

Não houve qualquer restrição de uso considerando os valores de RAS do EET (2,26 (mmol_c L⁻¹)^{0,5}) e Ac (1,61 (mmol_c L⁻¹)^{0,5}), considerando a CE dos tipos de água, compreendida a faixa 0 a 3 (mmol_c L⁻¹)^{0,5} para o EET segundo Ayers e Westcot (1991), onde relataram ainda que a RAS denota a proporção relativa em que se encontra sódio em relação ao cálcio e magnésio, cátions divalentes que competem com esse elemento químico nas ligações nas partículas do solo. Esse índice permite uma avaliação mais precisa do grau de restrição dos teores de sódio na água.

Não foi observada a presença de *E. coli* em nenhuma das análises realizadas no EET e na Ac, que pode estar relacionado ao efeito do uso de diferentes sanitizantes na higienização da refeição da FAL, específicos na eliminação de *E. coli*, bem como do efeito das plantas aquáticas, que como explica Diniz et al. (2005), estas exercem efeito filtrante significativo sobre bactérias indicadoras de poluição fecal, como a *E. coli*, devido ao fato de que nas raízes destas plantas formam-se comunidades periféricas que tem efeito de competição com os coliformes e, ainda a um provável efeito tóxico de substâncias excretadas pelas raízes.

5.5 Aporte de Nutrientes no Solo e Retorno Econômico

Considerando a lâmina total aplicada pela irrigação de 422,01 L m² ao longo do ciclo da cultura do pimentão, foram acrescentados via EET, 18,17 kg ha⁻¹ de N; 158,86 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 122,76 kg ha⁻¹ de K₂O, enquanto que pela Ac foi adicionado 0,719 kg ha⁻¹ de N; 6,99 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 8,43 kg ha⁻¹ de K₂O (Tabela 9).

Considerando o teores iniciais do solo (Tabela 9), a quantidade estimada de aporte de nutrientes ao solo (Tabela 11) e as exigências nutricionais da cultura do pimentão, constatou-se que a aplicação do EET foi capaz de suprir 100% da necessidade de potássio, 40,92% de fósforo e 12,13% do nitrogênio, que correspondem a uma economia de R\$ 818,44 e 327,51 por hectare, respectivamente, considerando as condições do experimento e os preços médios dos fertilizantes no mercado de Brasília.

Resultados similares foram encontrados por Sousa Neto et al. (2012), que concluíram que o uso de EET pode substituir completamente a fertilização convencional. Freitas et al. (2012) estudando o uso de efluentes domésticos, notaram que este foi capaz de adicionar 50 kg ha⁻¹ de N, maior no constatado neste trabalho. Freitas et al. (2018), ao utilizarem EET como fonte nutricional, concluíram que houve redução de até 100% da adubação de NPK na cultura do feijoeiro.

TABELA 11. Aporte de macronutrientes adicionados ao solo, redução da adubação em relação ao necessário para o solo do local do experimento (RA), em % e redução de custos estimados (RC), em R\$ ha⁻¹ quando do uso de Ac e EET durante um ciclo do cultivo do pimentão.

Atributo	Ac (kg ha ⁻¹)	RA (%)	RC (R\$ ha ⁻¹)	EET (kg ha ⁻¹)	RA (%)	RC (R\$ ha ⁻¹)
K ₂ O	8,21	0	0	158,86	0	0
N Total	0,72	0,48	12,96	18,17	12,13	327,51
P ₂ O ₅	6,99	2,33	30,49	122,76	40,92	818,44

*Fontes dos macronutrientes para redução de custos: Nitrogênio, uréia; P₂O₅, superfosfato simples.

5.6 Análise da Qualidade Química do Solo

A acidez potencial ($H^+ Al$) e a CTCe do solo ao final do experimento não apresentou diferença entre os tratamentos (Tabela 12). Silva (2018), avaliando os efeitos do reúso de efluentes domésticos tratados na cultura da laranja, também não observou diferença na acidez potencial.

Erthal et al. (2010), ao contrário, observaram aumentos na CTCe do solo com a aplicação de efluentes de bovinocultura, atribuindo esse fato a alta concentração de íons e a presença de colóides orgânicos no efluente, diferentemente do que foi observado no presente trabalho.

TABELA 12. Atributos químicos do solo avaliados ao final do experimento para os fatores, tipo de água, arranjo espacial e sua interação na camada de solo de 0 a 0,20 m.

Atributo	Tipo de água	Espaçamento entre plantas		
		1,0 x 0,4 m	1,0 x 0,5 m	0,8 x 0,45 m
		20.000 plantas ha ⁻¹	25.000 plantas ha ⁻¹	27.778 plantas ha ⁻¹
H + Al ($cmol_c (dm^3)^{-1}$)	Ac	3,57 aA	3,43 aA	3,43 aA
	EET	3,70 aA	3,57 aA	3,57 aA
F = 0,00 ^{ns} ; CV = 3,76 %				
CTC efetiva	Ac	5,16 aA	5,68 aA	5,71 aA
	EET	4,65 aA	5,15 aA	5,08 aA
F = 0,02 ^{ns} ; CV = 10,00 %				
V (%)	Ac	58,77 aA	62,30 aA	62,27 aA
	EET	55,67 aA	58,90 aA	58,73 aA
F = 0,0074 ^{ns} ; CV = 5,32 %				
M.O. (dag kg ⁻¹)	Ac	2,87 bB	3,23 bA	3,10 aAB
	EET	3,60 aA	3,73 aA	2,97 aB
F = 11,08 ^{**} ; CV = 5,08 %				
P _{meh-1} (mg dm ⁻³)	Ac	26,96 aA	22,99 aA	17,58 aA
	EET	21,11 aA	20,05 aA	17,72 aA
F = 1,01 ^{ns} ; CV = 17,31 %				

Espaçamento entre plantas

Atributo	Tipo de água	Espaçamento entre plantas		
		1,0 x 0,4 m 20.000 plantas ha ⁻¹	1,0 x 0,5 m 25.000 plantas ha ⁻¹	0,8 x 0,45 m 27.778 plantas ha ⁻¹
K (mg dm⁻³)	Ac	39,00 Aa	33,00 Aa	45,67 Aa
	EET	34,33 Aa	37,67 Aa	51,00 Aa
F = 1,6 ^{ns} ; CV = 13,66 %				
Ca (cmol _c dm ⁻³)	Ac	3,78 aA	4,11 aA	4,13 aA
	EET	3,46 aA	3,80 aA	3,75 aA
F = 0,02 ^{ns} ; CV = 9,26 %				
Mg (cmol _c dm ⁻³)	Ac	1,27 Aa	1,48 Aa	1,45 Aa
	EET	1,10 Aa	1,25 Aa	1,19 Aa
F = 0,12 ^{ns} ; CV = 12,68 %				
Mn (cmol _c dm ⁻³)	Ac	13,50 Aa	13,30 Aa	13,13 Aa
	EET	13,07 Aa	12,57 Aa	12,10 Aa
F = 0,13 ^{ns} ; CV = 7,90 %				
Fe (mg (dm ³) ⁻¹)	Ac	46,00 Aa	43,67 Aa	41,00 Aa
	EET	41,00 Aa	37,67 Aa	38,00 Aa
F = 0,24 ^{ns} ; CV = 9,33 %				
S (mg (dm ³) ⁻¹)	Ac	10,33 bA	8,33 bA	8,67 bA
	EET	13,67 aC	16,33 aB	19,00 aA
F = 14,91 ^{**} ; CV = 8,89 %				

Médias seguidas por letras iguais minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey. *Teste F significativo (p<0,05); **Teste F significativo (p<0,01); ns Não significativo; Obs. Na (sódio): Metodologia de análise: EMBRAPA Solos 2011-RJ Extrator KCl 1N, Resultado: < 0,005 mg kg⁻¹.

A saturação de bases (V) não demonstrou diferença entre os tratamentos. Resultados semelhantes foram obtidos por Garcia et al., (2012), que ao avaliarem as propriedades químicas de um solo fertirrigado com esgoto doméstico tratado. Diferente do esperado, devido à forte relação entre a saturação por bases e a soma de cátions trocáveis como sódio, cálcio e magnésio, que normalmente são elementos químicos mais comuns na composição de efluentes. No entanto, este

resultado pode ser explicado pela alta disponibilidade de enxofre fornecida pelo EET resultando na formação de sulfatos no solo, conforme explica Freire e Freire (2007).

A matéria orgânica (MO) presente no solo apresentou diferença nos tratamentos, onde constatou-se maior valor foi no tratamento irrigados com EET nos espaçamentos de 1,0 x 0,4 e 1,0 x 0,5 m, isso atribuído à carga orgânica mais pronunciada no EET aliada a mais lenta mineralização da MO em espaçamentos menos adensados. Andrade-Filho et al. (2013), comparando os teores de matéria orgânica adicionados a dois tipos de solos, Latossolo e Cambissolo, por efluente, não observaram diferença significativa para o Latossolo, no entanto, o Cambissolo demonstrou diferentes teores de MO.

Nascimento et al. (2009) constataram que a irrigação com água residuária provocou aumento nos teores de MO do solo quando comparada à água de abastecimento, corroborando com o obtido neste trabalho.

Sandri e Rosa (2017) avaliando os atributos químicos do solo irrigado com EET em comparação a água de poço, afirmaram que os teores deste se elevaram ao final do experimento em todos os tratamentos e camadas de solo, com destaque para os tratamento utilizando microaspersão onde a maior elevação foi de 127,7% na camada de solo de 0,2 a 0,4 m.

O teor de fósforo não apresentou diferença entre os tratamentos e corroboram com os resultados obtidos por Fonseca (2011), ao utilizar efluente tratado no solo adubado. Andrade-Filho et al. (2013), avaliaram os efeitos de águas residuárias em atributos químicos do solo, concluíram que mesmo existindo aporte de P com a aplicação de efluente, foram maiores os teores nos tratamentos testemunha, os autores sugerem que tal fato está relacionado à baixa concentração desse nutriente no efluente e que é necessário um longo período de uso desta técnica, visto que a dinâmica do P ocorre de forma muito lenta, fato que também pode explicar o que aconteceu no neste trabalho.

Apesar da expressiva diferença na quantidade de potássio na Ac e no EET não foi observada diferença no solo entre os tratamentos ao final do experimento. Diferentemente do observado por Cabral et al. (2014), ao avaliarem o efeito da aplicação de diferentes dosagens de água residuária em área de capim elefante, concluíram em primeiro momento, que houve elevação de potássio, mas análises posteriores indicaram redução para os teores de potássio e também fósforo. Sandri e Rosa (2017), avaliando atributos químicos do solo irrigado com EET, notaram que existiu variação nos teores de potássio na camada de 0,20 a 0,40 m, para todos os tratamentos irrigados com efluentes em relação aos irrigados com água de poço.

O cálcio, assim como a CTC, acidez potencial e saturação de bases, não apresentaram diferenças. Cabral et al. (2014) avaliando parâmetros do solo sob aplicação de dosagens

diferenciadas de efluente, em épocas distintas, observaram maior elevação nos teores de cálcio logo na primeira aplicação, com diminuição dos valores nas aplicações subsequentes.

Observou-se que não houve diferença entre os tratamentos para o magnésio, embora para a maioria dos tratamentos tenha havido aumento no Mg do solo em comparação ao início do experimento, que pode ter sido favorecido pela presença de 39,25 mg L⁻¹ no EET contra 2,58 mg L⁻¹ na Ac, o que corresponde a 1421,3% maior (Tabela 10), resultados semelhantes foram obtidos Caovilla et al. (2010) e Andrade filho et al. (2013), ao aplicarem efluentes.

Os teores de Mn e Fe não apresentaram diferença entre os tratamentos, embora ambos apresentaram elevação em valor absolutos como mostra a Tabela 13 entre o início e final do ciclo do pimentão. Sendo maiores para o Mn, apesar de haver maior concentração no EET, sendo de 0,21 e 0,72 mg L⁻¹, respectivamente, enquanto que na AC foi próximo a 0 (zero). Silva (2018) em seu trabalho com reúso de águas e sua influência sobre as características químicas do solo, encontrou resultados semelhantes aos deste trabalho, sem alterações nos teores de Fe. Já Sandri e Rosa (2017) observaram variação de Fe de 10,4 mg dm⁻³ a 16 mg dm⁻³ na camada de solo de 0 a 0,2 m e de 3,2 mg dm⁻³ a 18 mg dm⁻³ na camada de 0,2 a 0,4 m para esse atributo, já neste trabalho foram sempre maiores que 37,00 mg dm⁻³.

O S foi maior no tratamento que usou EET e espaçamento de 0,8 x 0,45 m, ou seja, o mais adensado. Sandri e Rosa (2017) observaram que os teores de S no solo foi significativamente maior quando o EET foi aplicado via gotejamento em comparação a microaspersão, mas que os teores foram maiores ao final do experimento para todos os tratamentos em relação ao início de um ciclo da cultura da bananeira. Para Moreira e Siqueira (2006) o aumento na concentração de S no solo está diretamente relacionado à mineralização da matéria orgânica. Nesse sentido, a MO do EET (12,70 mg L⁻¹), mas principalmente a decomposição de MO já disponível no solo de origem da vegetação disponível no local, pode ter influenciado os valores de S no solo.

No que se refere a variação dos atributos químicos do solo entre o início e o final do experimento, observou-se que o P apresentou aumento, e, valor absoluto, para todos os tratamentos ao final do experimento em comparação a análise inicial, na ordem de 291,29; 233,67; 155,15; 206,39; 191,00; 157,18% para T1,T2,T3,T4,T5 e T6, respectivamente (Tabela 13), que pode estar relacionado com o aporte desse nutriente pela adubação de base realizada no início do experimento, sendo que os tratamentos mais adensados, T3 e T6, com espaçamento de 0,80 x 0,45 m, apresentaram menores teores de fósforo no solo (Tabela 13), que pode ser pela absorção pelas plantas, uma vez que o sistema radicular foi mais adensado também.

TABELA 13. Variação dos atributos químicos, em porcentagem, entre o início e final do ciclo de cultivo do pimentão, na camada de solo de 0 a 0,20 m.

Tratamentos	Inicial	T1 (Ac e 1,0 x 0,4 m)	T2 (Ac e 1,0 x 0,5 m)	T3 (Ac e 0,8 x 0,45m)	T4 (EET e 1,0 x 0,4 m)	T5 (EET 1,0 x 0,5 m)	T6 (EET e 0,8 x 0,45m)
Unidade	-	%					
pH em água	5,70	0,00	1,75	1,75	-1,23	0,00	0,00
MO	34,00 g kg ⁻¹	-15,59	-5,00	-8,82	5,88	9,71	-12,65
Kdisp.	145,50 mg (dm ³) ⁻¹	-73,18	-77,30	-68,59	-76,39	-74,09	-64,92
Fósforo Disponível	6,89 mg (dm ³) ⁻¹	291,29	233,67	155,15	206,39	191,00	157,18
Enxofre	17,00 mg (dm ³) ⁻¹	-39,24	-51,00	-49,00	-19,59	-3,94	11,76
Cálcio	3,73 cmol _c (dm ³) ⁻¹	1,34	10,19	10,72	-7,24	1,88	0,54
Magnésio	1,20 cmol _c (dm ³) ⁻¹	5,83	23,33	20,83	-8,33	4,17	-0,83
Boro	0,12 mg (dm ³) ⁻¹	-58,33	-66,67	-58,33	-16,67	-8,33	-58,33
Manganês	11,45 mg (dm ³) ⁻¹	17,90	16,16	14,67	14,15	9,78	5,68
Ferro total	28,00 mg (dm ³) ⁻¹	64,29	55,96	46,43	46,43	34,54	35,71
Sódio	<0,005 mg kg ⁻¹	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
m	0,001 cmol _c (dm ³) ⁻¹	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
APot	3,45 cmol _c (dm ³) ⁻¹	3,48	-0,58	-0,58	7,25	3,48	3,48
CTCe	5,31 cmol _c (dm ³) ⁻¹	-2,82	6,97	7,53	-12,43	-3,01	-4,33
CTC Total	8,75 cmol _c (dm ³) ⁻¹	-0,34	4,00	4,34	-4,69	-0,46	-1,26
SB	60,60%	-3,02	2,81	2,76	-8,14	-2,81	-3,09

* Teores de potássio disponível (Mehlich⁻¹); Teores de fósforo disponível (Mehlich⁻¹); CTC: Capacidade de troca de cátions. SB: Saturação por Bases, APot: Acidez Potencial, Kdisp.: Potássio Disponível, MO: Matéria Orgânica, m: Alumínio Trocável.

Não foram observadas alterações expressivas nos valores de pH do solo entre o início e final do ciclo da cultura (Tabela 13). Lira et al. (2015), ao avaliarem os atributos químicos do solo fertirrigado com águas residuárias, observaram aumento no pH do solo aos 70 DAT, fato que os próprios autores atribuíram, entre outros fatores, ao pH básico do efluente, fator que não ocorreu neste trabalho onde a média do pH no EET foi de 7,87 enquanto que na Ac foi de 6,68, ou seja, esta foi mais ácida que o próprio EET.

O teor médio de N-total no EET foi de 4,31 mg L⁻¹ e na Ac de 0,17 mg L⁻¹, ou seja 2.435,3% maior, e isso pode ter favorecido a rápida mineralização e consequentemente a redução dos teores de MO do solo, como ocorreu em quatro dos tratamentos (Tabela 13), já que, segundo Duarte et al. (2008) afirma que os efluentes contêm, de maneira geral, maiores teores de nitrogênio e carbono quando comparados à águas superficiais, que favorece a proliferação da biota do solo, capaz de transformar o nitrogênio orgânico em nitrogênio assimilável às plantas.

Os teores de K e B reduziram de maneira geral ao final do experimento em comparação as análises iniciais, em decorrência, possivelmente, da absorção desses sais pelas plantas ao longo do ciclo de cultivo e também pela possível lixiviação devido a precipitação que ocorreu especialmente nos 30 dias finais do ciclo do pimentão. Por sua vez, Erthal et al. (2010) ao aplicarem água residuária, observaram aumento nas concentrações de K em consequência do aumento da concentração desse tipo de água e Lira et al. (2015), concluíram que não houve aumento significativo no teor de K em Latossolo Vermelho Amarelo após aplicar EET, a exemplo deste trabalho, em que em todos os tratamentos houve redução de K disponível, variando de -64,92% a 77,30%, o mesmo ocorreu com o boro que reduziu de -8,33% (EET 1,0 x 0,5 m) a - 66,67% ((Ac 1,0 x 0,5 m).

O teor de Fe total aumentou no final do ciclo de cultivo de 34,54 a 64,29% entre os tratamentos, com menores acréscimos nos tratamentos irrigados com EET, embora havia maiores concentrações no EET, que pode ser atribuído a própria variabilidade espacial na área experimental.

O Na e o Al trocável no solo não se alteraram entre o início e final do ciclo do pimentão, permanecendo o mesmo, onde o Na foi < 0,005 mg kg⁻¹ e o Al permaneceu em 0,01 cmolc dm⁻³, mesmo o EET possuindo teores maiores que a Ac, sendo a média de 75,69 mg L⁻¹. De maneira geral, solos de textura mais grossa, geralmente com drenagem interna favorável, como no caso da área do experimento, são mais fáceis de estabelecer um balanço hídrico capaz de manter os teores de sais em níveis aceitáveis, pela aplicação de lâminas de água adicionais, lixiviando os sais. Outra explicação é a elevada presença de enxofre aplicado via efluente, extraíndo o sódio do solo na forma de sulfato de sódio (Na₂SO₄) (FREIRE e FREIRE, 2007).

Sandri et al. (2009) notaram que ao utilizar EET na irrigação, o Na apresentou tendência de elevação progressiva em relação ao tempo de uso aplicação em área irrigada com bananeira. Os autores relacionam a capacidade de absorção das plantas que pode influenciar os teores deste íon no solo, assim como a lixiviação pela precipitação natural. Nesse contexto, pode ter havido influência no teor de Na no solo favorecida pelas chuvas durante o ciclo de cultivo do pimentão que chegaram a 136,74 mm, concentrado principalmente em 15 dias (07/10 a 22/10/18), ou seja, final do ciclo.

5.7 Avaliação das Plantas e dos Frutos de Pimentão

5.7.1 Atributos Agronômicos das Plantas de Pimentão

Observou-se que o diâmetro de caule das plantas aumentou de forma similar entre os tratamentos até aos 50 DAT, o mesmo ocorreu para a altura das plantas, porém a partir deste momento houve elevação mais acentuada no diâmetro do caule para os tratamentos em que foi utilizado o EET (Figura 12), podendo ter sido favorecido pelo maior teor de nutrientes no EET, especialmente de P, K e N-total (Tabela 10), podendo terem sido absorvidos pelas plantas, motivo que pode explicar a não existência de diferenças desses nutrientes no solo entre os tipos de água e densidade de plantio, mesmo não mostrando diferença estatística (Tabela 14).

A altura das plantas também não foi observada diferença entre os tratamentos, embora exista uma tendência das plantas nos tratamentos com EET terem maiores alturas (Figura 13). Também observado por Silva et al. (2014), que avaliaram diferentes concentrações de efluentes domésticos no crescimento da pimenta e para Sousa (2006) cultivando pimentão com uso de efluente, comparado a água natural.

Observa-se um desenvolvimento crescente da planta ao longo do ciclo, com crescimento lento até 50 DAT, o que é explicado em parte pela baixa absorção de nutrientes, em função do crescimento radicular mais superficial e pelo pequeno índice de área foliar (AUMONDE et al., 2011). Pedó et al. (2013) avaliando comparativamente as características fisiológicas de crescimento entre cultivares de pimenta, obtiveram resultados semelhantes aos do presente estudo com desenvolvimento de plantas lento até os 42 DAT.

A melhoria de características agronômicas relacionadas ao desenvolvimento das plantas pode resultar em melhor resposta em função da aplicação de EET de maneira sucessiva, onde seu uso prolongado pode promover melhorias em relação ao acréscimo e absorção de nutrientes pelas plantas e conseqüentemente influenciar no seu desenvolvimento, como observado com mais clareza nas medidas do diâmetro do caule aos 70, 91, 102 DAT. No entanto, ao analisar estaticamente os

dados obtidos para estas características, as mesmas não demonstraram diferenças entre os tratamentos (Tabela 14).

TABELA 14. Características agrônômicas das plantas avaliadas aos 70, 91, 102 DAT e atributos dos frutos avaliados, durante o ciclo de cultivo do pimentão.

		Espaçamento entre plantas		
Altura das plantas (em)	Tipo de água	1,0 x 0,4 m 25.000 planta ha ⁻¹	1,0 x 0,5 m 20.000 planta ha ⁻¹	0,8 x 0,45 m 27.778 planta ha ⁻¹
70 DAT	Ac	29,80	29,65	30,90
	EET	31,35	32,05	31,45
F = 0,14 ^{ns} ; CV = 11,34 %				
91 DAT	Ac	39,07	37,90	39,95
	EET	41,2	42,55	41,55
F = 0,23 ^{ns} ; CV = 11,88 %				
102 DAT	Ac	48,80	51,60	53,00
	EET	52,15	53,55	51,70
F = 0,70 ^{ns} ; CV = 7,81 %				
Diâmetro do caule (mm)				
70 DAT	Ac	8,27	8,67	8,98
	EET	9,99	10,56	10,14
F = 0,29 ^{ns} ; CV = 10,64 %				
91 DAT	Ac	9,53	9,73	10,48
	EET	11,42	11,91	11,46
F = 0,57 ^{ns} ; CV = 10,83 %				
102 DAT	Ac	12,37	12,89	12,98
	EET	14,91	15,20	14,94
F = 0,10 ^{ns} ; CV = 9,37 %				

^{ns} Não significativo nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey

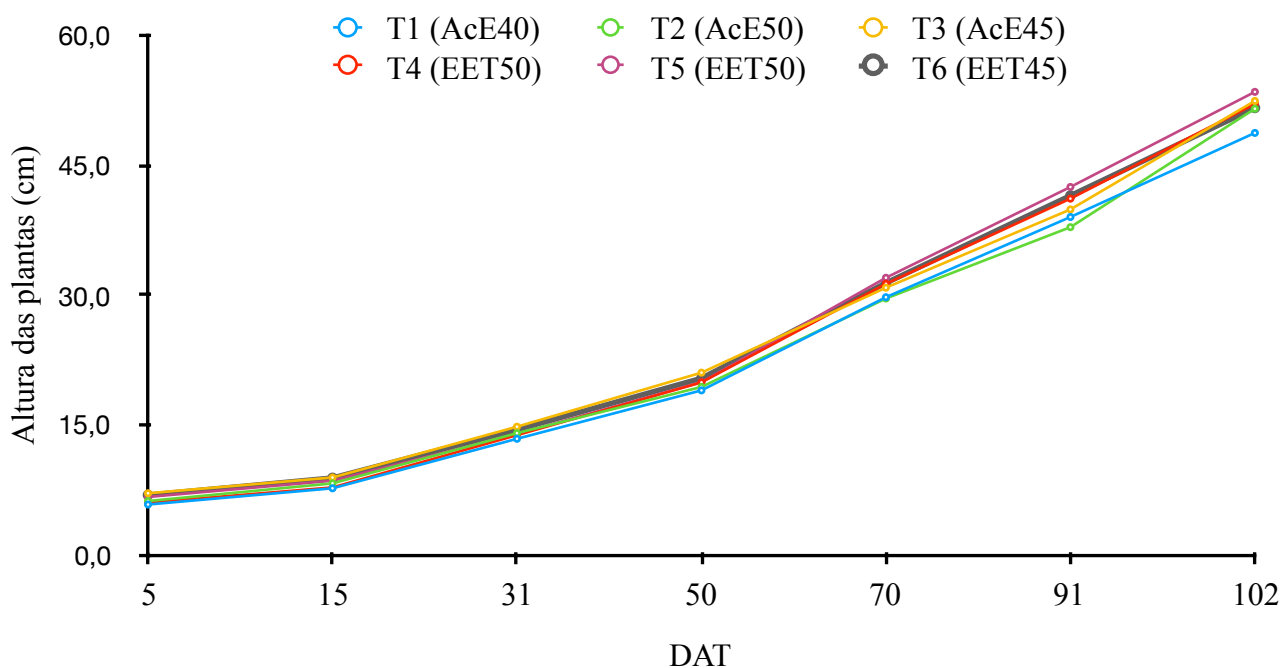


FIGURA 12 . Diâmetro do caule das plantas de pimentão durante todo o ciclo do cultivo.

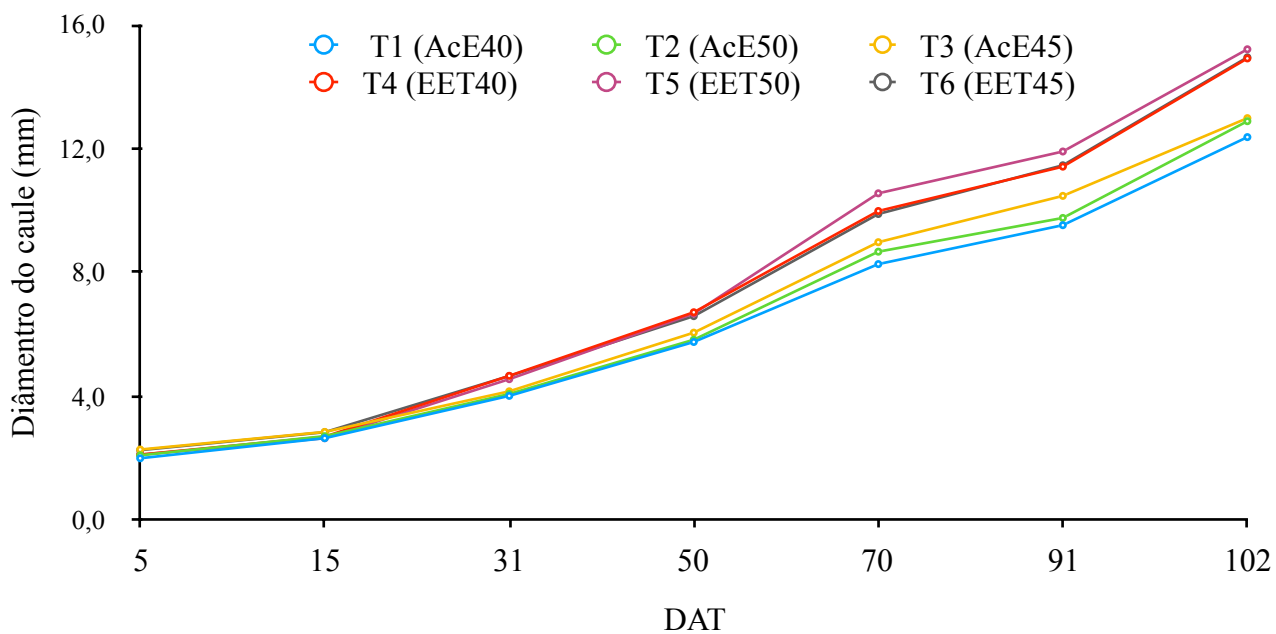


FIGURA 13 . Altura das plantas de pimentão durante todo o ciclo do cultivo.

5.7.2 Características dos Frutos do Pimentão

Foram realizadas três colheitas dos frutos, a primeira aos 105 DAT (31/08/18), a segunda aos 126 DAT (21/09/18) e a terceira aos 161 DAT (26/10/18). A massa úmida dos frutos e seu percentual, considerando todas as colheitas, não apresentou diferença, o mesmo ocorreu para o diâmetro, comprimento dos frutos e massa seca (Tabela 15), resultado também confirmado por Sousa et al. (2006) ao avaliar o reúso na cultura do pimentão de efluente do reator UASB e comparado a água de poço.

A maior produtividade foi obtida no tratamento T6 (EET com espaçamento de 0,8 x 0,45 m), e menor no T2 (Ac com espaçamento 1,0 x 0,5 m). Os tratamentos irrigados com EET (T4, T5 e T6) apresentaram valores maiores em relação a aqueles irrigados com Ac, exceto ao T1, onde não foi observada diferença significativa. O arranjo espacial menos adensado demonstrou menor influência na produtividade das plantas em comparação aos plantios mais adensados, isso porque o último comporta maior número de plantas por área, consequentemente produzindo mais frutos na mesma área, desde que não haja competição entre as plantas por luz e nutrientes. A produtividade média que se obteve no presente trabalho foi, em geral, maior do que a obtida para o mesmo híbrido de 22.304 kg ha⁻¹ (Pujol, 2016).

Queiroz et al. (2015), ao avaliarem o reúso de efluentes domésticos na irrigação por gotejamento do tomateiro, concluíram que a aplicação do efluente de lagoa de estabilização elevou a produtividade da cultura, similarmente ao que aconteceu com o pimentão neste trabalho em tratamentos irrigados com EET.

TABELA 15. Características dos frutos do pimentão irrigado com efluente de esgoto tratado (EET) e água de córrego (Ac) para diferentes densidades de plantio.

Atributo	Tipo de água	Espaçamento entre plantas/densidade		
		1,0 x 0,4 m 25.000 planta ha ⁻¹	1,0 x 0,5 m 20.000 planta ha ⁻¹	0,8 x 0,45 m 27.778 planta ha ⁻¹
Comprimento dos frutos (mm)	Ac	146,19	150,37	148,70
	EET	143,80	143,27	144,24
F = 0,32 ^{ns} ; CV = 4,02 %				
Diâmetro dos frutos (mm)	Ac	62,76	60,69	62,73
	EET	67,27	62,67	65,54
F = 0,31 ^{ns} ; CV = 5,13 %				
Massa úmida dos frutos (g fruto ⁻¹)	Ac	165,46 Aa	153,98 Aa	160,14 Aa
	EET	178,03 Aa	164,58 Aa	172,07 Aa
F = 0,0227 ^{ns} ; CV = 5,70 %				
Massa seca dos frutos (g fruto ⁻¹)	Ac	2,58	2,66	2,48
	EET	2,76	3,17	3,07
F = 1,08 ^{ns} ; CV = 10,65 %				
Massa úmida em relação a massa seca dos frutos (%)	Ac	94,59	94,34	94,60
	EET	94,40	94,14	94,49
F = 0,04 ^{ns} ; CV = 0,37 %				
Produtividade (t ha ⁻¹)	Ac	38935,42 aA	22228,33 bC	29421,73 bB
	EET	37938,54 aAB	32640,00 aB	39259,06 aA
F = 9,77 ^{**} ; CV = 7,54 %				

Letra minúscula na coluna e maiúscula na linha iguais não diferem ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey. ^{**}Teste F significativo (p<0,01); ^{ns} Não significativo

5.7.3 Qualidade Microbiológica dos Frutos de Pimentão

Não houve presença de *E. coli* nos frutos de pimentão, entretanto houve presença de coliformes totais, sendo de 35.3925 NMP g⁻¹ para o EET e 32.4875 NMP g⁻¹ para a água do

córrego. A ausência de *E. coli* se justifica, já que os mesmos não foram observados no EET devido ao uso de sanitizantes na higienização dos refeitório e a ação das plantas macrófitas utilizadas na ETE/FAL/UnB, que aliados ao uso do gotejamento superficial na irrigação do pimentão, o que evitou o contado direto da água de irrigação com os frutos. Resultados similares foram observados por Feitosa et al. (2009), que ao avaliarem a qualidade microbiológica de frutos de melancia irrigados com EET doméstico por gotejamento e microaspersão, não encontraram contaminação dos frutos por *E. coli*.

Queiroz et al. (2015) também relatam a inexistente de contaminação superficial dos frutos de tomate por coliformes totais, *E. coli* e *Salmonellas sp.* após reúso de efluente doméstico tratado aplicado por gotejamento.

Os microorganismos ficam expostos às condições ambientais consideradas adversas na superfície das culturas, nessa situação o tempo de sobrevivência destes tende a ser menor do que no solo ou no interior de seus hospedeiros. Assim, a sobrevivência dos microrganismos em geral depende de fatores como a radiação solar, temperatura e umidade, nesse sentido, a sobrevivência destes depende, sobretudo, das condições climáticas adequadas (BASTOS et al., 2002), fato que pode justificar a inexistência de microrganismos nos frutos conforme observado neste trabalho (*E. coli*) e relatado nos trabalhos de outros autores citados acima (coliformes totais, *E. coli* e *Salmonellas sp.*).

Destaca-se que não foram detectados bolores e leveduras nos frutos do pimentão irrigados com EET e água do córrego. Considerando a legislação vigente, NBR 13.969/97 da ABNT, não é aconselhável o uso de efluentes, para a irrigação de hortaliças, como o pimentão. No entanto, observa-se nos resultados obtidos, a ausência de contaminação dos frutos de pimentão por *E. coli*, coliformes de origem fecal, bolores e leveduras, indicando a possibilidade de utilização de EET aplicado por gotejamento nas condições do experimento, bem como a possibilidade de consumos destes frutos após a devida higienização dos mesmos. Sem qualquer restrição considerando-se a Resolução RDC nº 12, da Agência Nacional de Vigilância Sanitária do Ministério da Saúde (ANVISA) estabelece padrões microbiológicos sanitários para hortaliças destinados ao consumo *in natura*.

6. CONCLUSÕES

- A uniformidade de distribuição de água dos gotejadores (CUD e CUE) foi afetada de maneira similar quando do uso de efluente de esgoto tratado (EET) e água do córrego (Ac);
- O EET apresentou risco moderado quanto ao efeito no ferro no entupimento de emissores;
- Ao final do ciclo de cultivo foram adicionados ao solo 18,17 kg ha⁻¹ de nitrogênio total, 158,86 kg ha⁻¹ de potássio total e 122,76 kg ha⁻¹ de fósforo total ao solo através da irrigação com EET;
- Os nutrientes adicionados ao solo ao final do ciclo de cultivo corresponderam aproximadamente a uma economia de R\$327,51 ha⁻¹ de nitrogênio e R\$ 818,44 ha⁻¹ de fósforo pela utilização do EET;
- No final do ciclo do pimentão o enxofre e matéria orgânica foram maiores quando aplicou-se EET.
- O potássio disponível e o enxofre no solo no final de um ciclo de cultivo de pimentão em relação ao seu início reduziram em todos os tratamentos, já o fósforo disponível, cálcio, manganês, ferro total aumentaram, enquanto que o sódio e o alumínio não se alteraram.
- Os frutos de pimentão não apresentaram presença de *E. Coli*, bolores e leveduras;
- O diâmetro do caule, altura das plantas, bem como o diâmetro, comprimento, massa úmida e massa seca dos frutos não apresentaram diferença entre os tratamentos.
- Na densidade de plantio de 20.000 planta ha⁻¹ e 27.778 planta ha⁻¹ a maior produtividade foi obtida com o uso de EET;
- As tensões de água no solo foram semelhantes para ambos tipos de água e apresentaram valores dentro do esperado durante todo o ciclo de cultivo.

7. REFERÊNCIAS

ABNT.. Construção e instalação de fossas sépticas e disposição dos efluentes finais. NBR 7229, São Paulo/SP, 1993.

ABNT. Tanques sépticos - Unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos - Projeto, construção e operação. NBR 13969, São Paulo/SP, 1997

AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA. Resolução RDC nº 12, de 2 de janeiro de 2001.

Albuquerque, F. S.; Silva, Ê. F. de F. e; Albuquerque Filho, J. A. C.; Lima, G. S. Necessidade hídrica e coeficiente de cultivo do pimentão fertirrigado. *Irriga*, v.17, p.481-493, 2012.

ALCANTARA M., *Correio Brasiliense*. DF se torna autossuficiente na produção de pimentão. ago. 2011. Disponível em < http://www.correiobrasiliense.com.br/app/noticia/cidades/2011/08/03/interna_cidadesdf,263709/df-se-torna-autossuficiente-na-producao-de-pimentao.shtml>. Acesso: 18 de jan. de 2018

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. *Crop Evapotranspiration: Guidelines for Computing Crop Water Requirements*. Rome: FAO, 1998, 297p. FAO. Irrigation and Drainage Paper, 56.

ALMEIDA, R. de A.; ALMEIDA, N. A. M. Remoção de coliformes no esgoto por meio de espécies vegetais. *Rev. Eletrônica de Enferm.*, v.7, n.3, p. 306-317, 2005.

ALMEIDA, R. A.; PITALUGA, D. P. S.; REIS, R. P. A. Tratamento de esgoto doméstico por zona de raízes precedida de tanque séptico. *Revista Biociências*, v. 16, n. 1, 2010.

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2014.

ALVAREZ, V. H.; RIBEIRO, A. C. Calagem. in: RIBEIRO, A.C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVARES, V. H. (Eds.). *Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª aproximação*. Viçosa, MG: UFV, 1999. p43-60.

ANDRADE-FILHO, J. A., SOUSA, O. N., SIAS, N. S., NASCIMENTO, I. B., MEDEIROS, J. F. and COSME, C. R., Atributos químicos de solo fertirrigado com água residuária no semiárido brasileiro. *Irriga*, v. 18, n. 4, p. 661–674. 2018.

APHA; AWWA; WEF. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 21st ed. Washington: APHA; AWWA; WEF, 2005.

ASSIS, F. software assistat V. 7.7 Beta 2014. Departamento de Engenharia Agrícola. Centro de Tecnologia e Recursos Naturais. Universidade Federal de Campina Grande (UFCG).

AUMONDE, T. Z.; LOPES, N. F.; MORAES, D. M.; PEIL, R. M. N.; PEDÓ, T. Análise de crescimento do híbrido de mini melancia Smile® enxertada e não enxertada. *Interciencia*, Caracas, v. 36, n. 9, p. 677-681, 2011

AYERS, R. S.; WESTCOT, D. W. A qualidade da água na agricultura. Campina Grande: UFPB, 1991. 218 p.

BARROSO, L. B.; WOLFF, D. B. Reuso de esgoto sanitário na irrigação de culturas agrícolas. *Engenharia Ambiental: Pesquisa e Tecnologia*, v.8, n.3, p.225-236, 2011.

BASTOS, R. K. X.; NEVES, J. C. L.; BEVILACQUA, P. D.; SILVA, C. V. C.. Avaliação da contaminação de hortaliças irrigadas com esgotos sanitários. In: XXVIII Congresso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, 2002, Cancún, Mexico. *Trabajos tecnicos*, Ciudad de Mexico: AIDIS, p. 1-8, 2002.

BATISTA R.O.; SOUZA J. A. R. ; FERREIRA D. C. Effect of treated domestic sewage on the performance of a drip irrigation system. *Rev. Ceres*. n. 57, p. 18-22, 2010.

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*, v. 24, p.137-144, 2011.

BEDENDO, I.P. Podridões de Orgãos de Reserva. In: AMORIM, L.; REZENDE, J.A.M.; BERGAMIN FILHO, A. (ed.). *Manual de fitopatologia - princípios e conceitos*. vol.1. 4a. ed. Editora Agronômica Ceres, São Paulo. 2011. p.427-433.

BILIBIO, C. et al. Desenvolvimento vegetativo e produtivo da berinjela submetida a diferentes tensões de água no solo. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 14, n. 07, p. 730-735, 2010.

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

BRASIL. CONAMA. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Ministério do Meio Ambiente. Resolução n.430 de 13 de maio de 2011. *Diário Oficial da União*, Brasília, 2011. 8p.

BRASIL. CONAMA. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Ministério do Meio Ambiente. Resolução n.357 de 17 de março de 2005. *Diário Oficial da União*, Brasília, 2005.

BETTIOL, W. & CAMARGO, O.A., eds. Impacto ambiental do uso agrícola do lodo de esgoto. Jaguariúna, EMBRAPA Meio Ambiente, p.181-204, 2000.

CABRAL, J. R.; FREITAS, P. S. L.; REZENDE, R.; MUNIZ, A. S.; BERTONHA, A. Changes in chemical properties of dystrophic Red Latosol as result of swine wastewater application. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v.18, n.2, p.210–216, 2014.

CANOVAS CUENCA, J. *Calidad agronómica de las aguas de riego*. Madrid: Ediciones Publicaciones Extensión Agraria. 55p. 1980.

CARBALLEIRA, T.; RUIZ, I.; SOTO, M. Effect of plants and surface loading rate on the treatment efficiency of shallow subsurface constructed wetlands. *Ecological Engineering*, v. 90, p. 203 - 214, 2016.

CASALI, V. W. D.; FONTES, P. C. R. Pimentão. in: RIBEIRO, A.C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVARES, V. H. (Eds.). *Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª aproximação*. Viçosa, MG: UFV, p. 201, 1999.

COLARES, C. J.G.; SANDRI, D. Eficiência do tratamento de esgoto com tanques sépticos seguidos de leitos cultivados com diferentes meios de suporte. *Revista Ambiente & Água*, v.8, n. 1, 172-185, 2013.

COSTA, H.C.; MARCUZZO, F. F. N.; FERREIRA, O. M.; ANDRADE, L. R. Espacialização e sazonalidade da precipitação pluviométrica do Estado de Goiás e Distrito Federal. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v.1, p. 87-100, 2012.

COSTA, M. S. et al. Avaliação nutricional do milho cultivado com diferentes doses de efluente doméstico tratado. *Irriga*, v. 1, n. 1, p. 12-26, 2012.

CAOVILLA, F. A.; SAMPAIO, S. C.; SMANHOTTO, A. NÓBREGA, L. H. P.; QUEIROZ, L. M. F.; GOMES, B. M. Características químicas de solo cultivado com soja e irrigado com água residuária da suinocultura. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v.14, n.7, p.692–697, 2010

DANTAS, D. C.; SILVA, E. F. F.; MELO, R. F.; DANTAS, M. S. M.; SILVA, G. F.;

SILVA, M. M. desempenho de um sistema de irrigação por gotejamento utilizando efluente doméstico. *Irriga*, Botucatu, p. 179-189, 2014. Edição Especial.

DECEZARO, S.T., 2016. Nitrificação e remoção de matéria orgânica carbonácea e sólidos de efluente doméstico em wetland construído de fluxo vertical. *Dissertação (Mestrado)*. Universidade Federal de Santa Maria, UFSM

DINIZ, C.R.; CEBALLOS, B.S.O.; BARBOSA, J.E.D.L.; KONIG, A. Uso de macrófitas aquáticas como solução ecológica para melhoria da qualidade de água. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 9, n. Suplemento, p. 226-230, 2005.

DOMINGUES, L. da S.; RIBEIRO, N. D.; ANDRIOLO, J. L.; POSSOBOM, M. T. D. F., & ZEMOLIN, A. E. M. Selection of common bean lines for calcium use efficiency. *Revista Ciência Agronômica*, v. 45, n. 4, p. 767-776, 2014.

DUARTE, A. S.; 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*, v.12, p.302- 310, 2008

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisas de Solos. Sistema brasileiro de classificação de solos. 3.ed. Rio de Janeiro, 2013. 353p.

ERTHAL, V. J. T. et al. Alterações físicas e químicas de um Argissolo pela aplicação de água residuária de bovinocultura. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 14, n. 5, p. 467-477, 2010.

FACTOR, T. L.; ARUJO, J. A. C.; VILELLA JUNIOR, L. V. E. Produção de pimentão em substratos e fertirrigação com efluente de biodigestor. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.12, p.143-149, 2008.

FEIGIN, A.; RAVINA, I.; SHALHEVET, J. Irrigation with treated sewage effluent: management for environmental protection. Berlin: Springer-Verlag, 1991. 224p.

FEITOSA, T.; GARRUTI, D. dos S.; LIMA, J. R.; MOTA, S.; BEZERRA, F. M. L.; AQUINO, B. F de.; SANTOS, A. B dos.; Qualidade de frutos de melancia produzidos com reúso de água de esgoto doméstico tratado. *Revista Tecnologia*, v.30, p.53-60, 2009.

FILGUEIRA, F. A. R. Novo manual de olericultura. 3 ed. Viçosa: UFV, 2008. 421p.

FINOCCHIARO, R. G.; KREMER, R. J. Effect of municipal wastewater as a wetland water source on soil microbial activity. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, v.4, p.1974-1985. 2010.

FIRMINO MC, FARIAS MSS, MEDEIROS SS, GUERRA HOC, GUIMARÃES JP. Características químicas do solo influenciadas pela adição de água residuária tratada sob cultivo do pinhão manso. *Agropec Cient Semiárido*. 2015;11:32-7.

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

FRANÇA, J.B.A., MORAES, T.V., VAZ, D.C., FERREIRA, A.A. and SOARES, F.A.L. Tratamento de efluente doméstico com macrófitas aquáticas para reúso na fertirrigação. *Brazilian Journal of Irrigation and Drainage*, vol. 1, pp. 85-93, 2014.

FREIRE, M. B. G. S.; FREIRE, F. J. Fertilidade do solo e seu manejo em solos afetados por sais. In: NOVAIS, R. F., et al. (Ed.). Fertilidade do solo. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. p.929-954. 2007.

FREITAS, C. A. S. DE; NASCIMENTO, J. A. M. DO; BEZERRA, F. M. L., & LIMA, R. M. M. DE. Uso Do Esgoto Doméstico Tratado Como Fonte Hídrica E Nutricional Para A Cultura Do Feijoeiro. Revista Caatinga, 31(2), 487-494, 2018.

FREITAS, C. A. S. DE; NOGUEIRA, L. K. A.; MOREIRA, L. C. J.; FERREIRA, C. DA S. Desempenho hidráulico de gotejadores sob o tempo de exposição ao esgoto doméstico tratado. Revista Caatinga, Mossoró, v. 28, n. 1, p. 214 – 219, 2015.

FREITAS, C. A. S. et al. Crescimento da cultura do girassol irrigado com diferentes tipos de água e adubação nitrogenada. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v. 16, n. 10, p. 1031-1039, 2012.

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

GOMES, T. M.; MELFI, A. J.; MONTES, C. R.; SILVA, E. DA; SUNDEFELD JÚNIOR, G. C.; DEON, M. D.; PIVELI, R. P. Aporte de nutrientes e estados nutricional da cana-de-açúcar irrigada com efluente de estação de tratamento de esgoto com e sem desinfecção. Revista DAE, v.60, p. 19-25, 2009.

GONÇALVES, I. Z. et al. Nutrition and growth of the conilon coffee after application of treated wastewater. Revista Brasileira de Ciências Agrárias, v. 8, n. 1, p. 71-77, 2013.

HEADLEY, T.; NIVALA, J.; KASSA, K.; OLSSON, L.; WALLACE, S.; BRIX, H.; VAN AFFERDEN, M.; MULLER, R. Escherichia coli removal and internal dynamics in subsurface flow ecotechnologies: effects of design and plants. Ecological Engineering, v. 61, p. 564 - 574, 2013.

JOLLIFFE, P.A.; GAYE, M.-M. Dynamics of growth and yield component responses of bell peppers (*Capsicum annuum* L.) to row covers and population density. Scientia Horticulturae, v.62, p.153-164, 1995.

KLAR, A. E.; JADOSKI, S. O. Efeitos da irrigação e da cobertura do solo por polietileno preto sobre as características morfológicas do pimentão. Irriga, v. 7, n. 3, p. 154-167, 2002

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

LIMA, E. M. de C. Manejo de irrigação da pimenta Cayenne cultivada em ambiente protegido. 2012. 83 p. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos em Sistemas Agrícolas) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2012.

LIRA, R. M. De; NASCIMENTO, A.; SOARES, J.; MARIA, J.; BARNABÉ, C.; RAMALHO, H. A utilização de águas de qualidade inferior na agricultura irrigada. *Revista Geama Environmental Sciences*, v.3, n.1, 62–83, 2015.

LÓPEZ-BELLIDO, F.J.; LÓPEZ-BELLIDO, L.; LÓPEZ-BELLIDO, R.J. Competition, growth and yield of faba bean (*Vicia faba* L.). *European Journal of Agronomy*, v.23, p.359-378, 2005.

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

MAROUELLI WA; SILVA WLC. Irrigação na cultura do pimentão. 1ª Ed. Brasília: Embrapa, 2012, 20p (Circular Técnica, 101).

MARTÍNEZ, S.; SUAY, R.; MORENO, J.; SEGURA, M. L. Reuse of tertiary municipal wastewater effluent for irrigation of *Cucumis melo* L. *Irrigation Science*, v.31, p.661–672, 2013

MATOS, A. T.; ABRAHÃO, S. S.; LO MONACO, P. A. V. Eficiência de sistemas alagados construídos na remoção de poluentes de águas residuárias de indústria de laticínios. *Engenharia Agrícola, Jaboticabal*, v. 32, n. 6, p. 1144-1155, 2012.

MATOS, A.T.; FREITAS, W.S.; LO MONACO, P.A.V. Eficiência de sistemas alagados construídos na remoção de poluentes de águas residuárias da suinocultura. *Revista Ambiente e Água*, v.5, n.2, p. 119-132, 2010.

MELO, N. A.; SALLA, M. R.; OLIVEIRA, F. R. G. de; FRASSON, V. M. Consumo de água e percepção dos usuários sobre o uso racional de água em escolas estaduais do triângulo mineiro. *Ciência & Engenharia*, jul-dez, 2014.

MENDONÇA, H. V. Remoção de nitrogênio e fósforo de águas residuárias de laticínios por sistemas alagados construídos operando em bateladas. *Revista Ambient. Água*, Taubaté, v. 7, n. 2, p. 75-87, 2012

MENDONÇA, H.V.; RIBEIRO, C.B.M.; BORGES, A.C.; BASTOS, R.R. Sistemas alagados construídos em batelada: remoção de demanda bioquímica de oxigênio e 133 regulação de pH no tratamento de efluentes de laticínios. *Ambi-Agua*, v.10, n.2, p.442-453, 2015.

MERRIAN, J. L., KELLER, J. Farm irrigation system evaluation: A guide for management. Logan: Agricultural and Irrigation Engineering Department, Utah State University, 1978. 271p.

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

MONTEIRO, D. R.; SILVA, T. T. S.; SILVA, L. V. B. D.; LIMA, V. L. A.; SANTOS, C. L. M.; PARSON, H. W. Efeito da aplicação de efluente doméstico tratado nos teores de micronutrientes no solo. Irriga, Botucatu, v. Especial, n. Especial, p. 40-46, dez. 2014

MONTEIRO, R.; DESCHAMPS, C.; BIASI, L. A.; BIZZO, H. Desenvolvimento vegetativo de *Mentha campestris* Schur e produção de mentol em diferentes espaçamentos de plantio e épocas de colheita. Revista Brasileira de Plantas Mediciniais, Botucatu, v. 13, n. 4, p.401- 407, 2011.

MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. Microbiologia e bioquímica do solo. 2. ed. Lavras: UFLa , 2006.

NAKAYAMA FS, BOMAN BJ & PITTS D Maintenance. In: Lamm FR, Ayars JE & Nakayama FS (Eds.) Microirrigation for crop production: Design, Operation, and Management. Amsterdam, Elsevier. p.389-430, 2006.

NAKAYAMA, F. S.; BUCKS, D.A. Trickles Irrigation for crop Production U. S. Department of Agriculture, Agricultural Research Service, U. S. Water Conservation Laboratory, Phoenix, Arizona - U. S. A. p.383, 1986.

NASCIMENTO, B. H.; LIMA, V. L. A. de; AZEVEDO, C. A. V. Propriedades químicas do solo cultivado com mamona, irrigado com água residuária tratada e adubado com biofósforo. Revista Verde, Mossoró – RN, v.4, n.1, p. 08 – 15. 2009.

NASCIMENTO J.S.; FIDELES FILHO J. Crescimento, produção e alterações químicas do solo em algodão irrigado com água de esgotos sanitários tratados. Revista Caatinga. v.28, n.2,p. 36-45, 2015.

NASCIMENTO, W. N.; BOITEUX, L. S. Produção de sementes de pimentão em Brasília. Horticultura Brasileira, Brasília, DF, v. 10, p. 125-6, 1992.

PUJOL, O; HERMINIA, L. Interferência de plantas daninhas na produtividade e nutrição do pimentão cultivar Dahra. 2016. 113 p. Tese (Doutorado em Agronomia)–Universidade Estadual Paulista . Botucatu, 2018.

PADRÓN, Ri. A. R.. Irrigation Management And Water Use Efficiency In Bell Pepper With And Without Shading. 2016. 80 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2016.

PARVAN, M.; DANESH, S. Effects of Irrigation with Treated Wastewater on Some Chemical Soil Properties in Parkandabad. Irrigation Department, College of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, 2011.

PAULA, M. B.; PÁDUA, J. G.; FONTES, P. C. R.; BERTONI, J. C. Produtividade, qualidade de bulbos de cebola e teores de nutrientes na planta e no solo influenciados por fontes de potássio e doses de gesso. *Ceres: the FAO Review on Agriculture and Development*, Viçosa, v. 43, n.283, p. 231-244, 2002.

PAULUS, D; VALMORBIDA, R; SANTIN, A; TOFFOLI, E; PAULUS, E. 2015. Crescimento, produção e qualidade de frutos de pimenta (*Capsicum annum*) em diferentes espaçamentos. *Horticultura Brasileira*. v. 33, p. 91-100, 2015.

PEDÓ T, AUMONDE TZ, LOPES NF, VILLELA FA, MAUCH CR. Análise comparativa de crescimento entre genótipos de pimenta cultivados em casa de vegetação. *Bioscience Journal* 29, p. 125-131, 2013b.

PHILIPPI, L. S.; SEZERINO, P. H. Aplicação de sistemas tipo wetlands no tratamento de águas residuárias: utilização de filtros plantados com macrófitas. Florianópolis: Editora do autor, 2004.

PINTO, F.R., HENARES, M.N.P., CRUZ, C. AND AMARAL, L.A. Remoção de *Escherichia coli* de efluentes de carciniculturapor macrófitas aquáticas flutuantes. *ARS Veterinária*, v. 25, p. 147-150, 2010.

PORTO FILHO, F. Q. et al. Evolução da salinidade e do pH de um solo sob cultivo de melão irrigado com água salina. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v. 15, n. 11, p. 1130-1137, 2011.

PRATA, R. C. C., MATOS, A. T. de, CECON, P. R., MONACO, P. A. V. Lo, & PIMENTA, L. A. Tratamento de esgoto sanitário em sistemas alagados construídos cultivados com lírio-amarelo. *Engenharia Agrícola*, v. 33, n.6, p.1144-1155, 2013.

PUIG –BARGUÉS, J.; ARBAT, G.; ELBANA, M.; DURAN-ROS, M.; BARRAGÁN, J.; CARTAGENA, F. R.; LAMM, F. R. Effect of flushing frequency on emitter clogging in microirrigation with effluents. *Agricultural Water Management*, Amsterdam, v. 97, p. 883- 891, 2010.

PULSHEN, A.; GOMES, M. P. M.; BASTOS, R. G.; SOUZA, C. F. Tratamento biológico de efluentes sanitários em ETE mista. In: *SImpósio Internacional Sobre Gerenciamento De Resíduos Agropecuários E Agroindustriais*, 3., 2013, São Pedro. Anais do... São Pedro: SIGERA, 2013.

QUEIROZ, A. A.; DE QUEIROZ, S. O. P.; ARAGÃO, C. A.. Reúso de efluentes domésticos na irrigação por gotejamento do tomateiro. *Pesquisa Agropecuária Pernambucana*, Brasil, v. 20, n. 1, p. 36-42, jan. 2015.

RAVINA, I.; PAZ, E.; SOFER, Z.; MARCU, A.; SCHISCHA, A.; SAGI, G.; YECHIALY, Z. e LEV, Y. Control of clogging in drip irrigation with stored treated municipal sewage effluent. *Agricultural Water Management*. Elsevier v.33, p.127-137, 1997

RIBAS, T.B.C.; FORTES NETO, P. Disposição no solo de efluentes de esgoto tratado visando à redução de coliformes termotolerantes. Revista Ambi -Água, Taubaté, v.3, p.81 -94, 2008.

SAKATA. Pimentão Dahra RX. Bragança Paulista: Sakata Seed Sudamerica. 2014. Disponível em <<http://www.sakata.com.br/produtos/hortalicas/solanaceas/pimentao>>. Acesso em: 02 jan. 2018.

SANDRI, D. Irrigação da cultura da alface com água residuária tratada com leitos cultivados com macrófita. 2003. 207f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade de Campinas, Campinas, 2003

SANDRI, D.; MATSURA, E. E.; TESTEZLAF, R. Alteração química do solo irrigado por aspersão e gotejamento subterrâneo e superficial com água residuária. Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v.13, n.6, p.755–764, 2009.

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, 11(1), 17-29., 2007.

SANDRI. D.; ROSA R. R. B. Atributos Químicos do Solo Irrigado com Efluente de Esgoto Tratado, Fertirrigação Convencional e Água de Poço. Revista Irriga, Botucatu, v. 22, n. 1, p.18-33, 2017.

SCHIRMER, W. N. Tratamento de esgoto por zona de raízes em comunidade rural-parte 2: avaliação. Revista Acadêmica de Ciências Agrárias Ambientais, Curitiba, v. 7, n. 2, p. 165-173, abr./jun., 2009.

SEIFFERT, M. E. B. Gestão ambiental: instrumentos, esferas de ação e educação ambiental. 3. ed. São Paulo: Atlas, 2010, 310 p.

SGANZERLA, E. Nova agricultura: a fascinante arte de cultivar com os plásticos. 5.ed. Esteio: Agropecuária, 1995. 324 p.

SILVA, A. A. F. da, Irrigação com esgoto doméstico tratado em área cultivada com laranja / Andreia Aparecida Ferreira da Silva. 2018. 80 p. Tese (Doutorado em Agronomia)–Universidade Estadual Paulista . Botucatu,2018

SILVA, F. C. Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes. Embrapa, Brasília, v. 2, 1999. p. 70.

SILVA, I. N.; FONTES, L. de O.; TAVELLA, L. B.; OLIVEIRA, J. B.; OLIVEIRA, A. C. Qualidade de Água na Irrigação. ACSA - Agropecuária Científica no Semi-Árido, v.07, n 03, p. 01 – 15, julho/setembro. 2011.

SILVA, L. L.; CARVALHO, C. M.; SOUZA, R. P. F.; FEITOSA, H. O.; FEITOSA, S. O.; GOMES FILHO, R. R. Utilização de efluentes domésticos no crescimento da pimenta (*Capsicum chinense*), cultivar tequila bode vermelha. *Revista AGROTEC*, Porto, v. 35, n. 1, p. 121-133, jan./fev. 2014.

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*, v.16, n.5, p.480-486, 2012.

SILVA, M. A. A.; ESCOBEDO, J. F., GALVANI, M. Influência da cultura do pimentão (*Capsicum annum* L.) nos elementos ambientais em ambiente protegido. *Irriga*, v.7, n.3, p.230- 240, 2002.

SILVA PIB; NEGREIROS MZ; MOURA KKCF; FREITAS FCL; NUNES GHS; SILVA PSL; GRANGEIRO LC. Crescimento de pimentão em diferentes arranjos espaciais. *Pesq. Agropec. Bras.* v. 45, p. 132-139, 2010.

SILVA, R. J.; GAVAZZA, S.; FLORENCIO, L.; NASCIMENTO, C. W. A.; KATO, M. T. Cultivo de mudas de eucalipto irrigadas com esgoto doméstico tratado. *Engenharia Sanitária e Ambiental (Online)*, v. 20, p. 323-330, 2015.

SILVA, V. A.; MARCHI, G.; GUILHERME, L. R. G.; LIMA, J. M.; NOGUEIRA, F. GUIMARÃES, P. T. G. Kinetics of K release from soils of Brazilian coffee regions: effect of organic acids. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 32, p. 533-540, 2008.

SOUZA NETO, O. N. et al. Fertigação do algodoeiro utilizando efluente doméstico tratado. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v. 16 n. 2, p. 200-208, 2012

SOUZA, A.P.; PEREIRA, J.B.A.; SILVA, L.D.B.; GUERRA, J.G.M.; CARVALHO, D.F. Evapotranspiração, coeficientes de cultivo eficiência do uso da água da cultura do pimentão em diferentes sistemas de cultivo. *Acta Scientiarum. Agronomy*, v.33, n.1, p.15-22, 2011a.

SOUZA, C. F. et al. Eficiência de estação de tratamento de esgoto doméstico visando reuso agrícola. *Revista Ambiente & Água*, Taubaté, v. 10, n. 3, jul./ set. 2015.

SOUZA, T. J.; CEBALLOS, O. S. B; HENRIQUE, N. I; DANTAS, P. J; LIMA, S. M. S. Frações do carbono orgânico, biomassa e atividade microbiana em um Latossolo Vermelho sob Cerrado submetido a diferentes sistemas de manejos e usos do solo. *Acta Sci. Agron.* Maringá, v. 28, n. 3, p. 323-329, 2006.

SOUZA, J. T.; CEBALLOS, B. S. O.; HENRIQUE, I. N.; DANTAS, P. J.; LIMA, S. M. S. Reúso de água residuária na produção de pimentão (*Capsicum annum* L.). *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v.10, n.1, p.89-96, 2006.

SOUZA, J. A. A. et al. 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 J. A. A. ; BATISTA R.O.; RAMOS M.M. ; Soares A.A. .Contaminação microbiológica do perfil do solo com esgoto sanitário. *Acta Scientiarum. Technology*, v. 33, p.5-8, 2011.

SOUZA, P. G. C., BORGES, J. C. F., JÚNIOR, & VIANA, J. H. M. Curva De Retenção E Disponibilidade Total De Água Em Latossolos Empregando Funções De Pedotransferência. *Revista Engenharia Na Agricultura*, v. 25, n. 5, p. 417-427. 2017.

TIVELLI, S. W. Sistemas de cultivo na cultura do pimentão (*Capsicum annum L.*) vermelho em ambiente protegido. 1999. 157f. Tese (Doutorado em Agronomia/Horticultura) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 1999.

TODD, D.K. *Groundwater Hydrology*. p. 282. John Wiley and Sons, N.Y. 1980. In: PITTS, D.J.; HAMAN, D.Z. & SMAJSTRLA, A.G. Causes and prevention of emitter plugging in microirrigation systems. Florida Cooperative Extension Service, Bulletin 258, University of Florida, april 1990.

VAN GENUCHTEN, M. TH. A closed form equation for predicting hydraulic conductivity of unsaturated soils. *Soil Science Society of America Journal*, v. 44, p. 892-898, 1980.

VON SPERLING, M. Estudos de modelagem da qualidade da água de rios. Belo Horizonte: UFMG, 2007. Vol. 7. 452 p.

VARALLO, A.C.T.; CARVALHO, L.; SANTORO, B.L.; SOUZA, C.F. Alterations in attributes of a Red-yellow Latosol irrigated with reuse water. *Brazilian Journal of Agricultural and Environmental Engineering*, v.14, n.4, p.372-377, 2010.

VARALLO, A. C. T.; SOUZA, C. F.; SANTORO, B. de L. Mudanças nas características físico-químicas de um latossolo vermelho-amarelo distrófico após a irrigação com água de reúso na cultura da alface-crespa (*Lactuca sativa, L.*). *Engenharia Agrícola*, v.32, n.2, p.271-279, 2012.

VARALLO, A. C. T.; SOUZA, J. M. de; REZENDE, S. S. R.; SOUZA, C. F. Avaliação da qualidade sanitária da alface (*Lactuca sativa, L.*) irrigada com água de reúso comparada com amostras comercializadas. *Revista Ambiente & Água*, v. 6, n. 2, p. 295-304, 2011.

VAZQUEZ-MONTIEL, O.;HORAN, N. J.; MARA, D. D. Management of domestic wastewater for reuse in irrigation. *Water Science & Technology*, V. 33, p.355-362, 1996.

VERONEZ, A. H. Irrigação de eucalipto com efluente sanitário de lagoa facultativa: eficiência do sistema solo-planta no pós-tratamento. 2009. 130 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia civil)-Faculdade de Engenharia civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2009.

WEERAKOON, G. M. P. R.; JINADASAA, K. B. S. N.; HERATHA, G. B. B.; MOWJOODB, M. I. M.; VANBRUGGEN, J. J. A. Impact of the hydraulic loading rate on pollutants removal in tropical horizontal subsurface flow constructed wetlands. *Ecological Engineering*, v. 61, p.154-160, 2013.

XAVIER, J. de F. Resposta da fisiologia e produção do pinhão manso à adubação fosfatada residual e água residuária. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola), Universidade Federal de Campina Grande/UFCG. Campina Grande, PB, 2014. 121p.