



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
Campus de Botucatu



ANDREIA APARECIDA FERREIRA DA SILVA

**IRRIGAÇÃO COM ESGOTO DOMÉSTICO TRATADO EM ÁREA CULTIVADA
COM LARANJA**

Botucatu

2018

ANDREIA APARECIDA FERREIRA DA SILVA

**IRRIGAÇÃO COM ESGOTO DOMÉSTICO TRATADO EM ÁREA CULTIVADA
COM LARANJA**

Tese apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas da Unesp Campus de Botucatu, para obtenção do título de Doutora em Agronomia – Irrigação e Drenagem

Orientador: Prof.Dr. Hélio Grassi Filho
Coorientador: Prof.Dr. Antonio Evaldo Klar
Coorientador: Prof. Dr. Reginaldo Ferreira Santos

Botucatu

2018

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA SEÇÃO TÉCNICA DE AQUISIÇÃO E TRATAMENTO DA INFORMAÇÃO - DIRETORIA TÉCNICA DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - UNESP - FCA - LAGEADO - BOTUCATU (SP)

S586i Silva, Andreia Aparecida Ferreira da, 1976-
Irrigação com esgoto doméstico tratado em área cultivada com laranja / Andreia Aparecida Ferreira da Silva. - Botucatu: [s.n.], 2018
80 p.: il., color., grafs., tabs.

Tese (Doutorado) - Universidade Estadual Paulista Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu, 2018
Orientador: Hélio Grassi Filho
Coorientador: Antonio Evaldo Klar
Coorientador: Reginaldo Ferreira Santos
Inclui bibliografia

1. Irrigação com águas residuais. 2. Laranja - Irrigação
3. Efluente - Qualidade. 4. Água - Reutilização. I. Grassi Filho, Hélio. II. Klar, Antonio Evaldo. III. Santos, Reginaldo Ferreira. IV. Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (Câmpus de Botucatu). Faculdade de Ciências Agrônômicas. V. Título.

Ficha elaborada por : Maria Lúcia Martins Frederico - CRB-8:5255

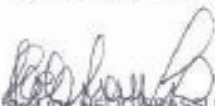
"Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte"

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: **IRRIGAÇÃO COM ESGOTO DOMÉSTICO TRATADO EM ÁREA CULTIVADA COM LARANJA**

AUTORA: **ANDREIA APARECIDA FERREIRA DA SILVA**
ORIENTADOR: **HÉLIO GRASSI FILHO**
COORIENTADOR: **REGINALDO FERREIRA SANTOS**
COORIENTADOR: **ANTONIO EVALDO KLAR**

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Doutora em AGRONOMIA (IRRIGAÇÃO E DRENAGEM), pela Comissão Examinadora:



PROF. DR. HÉLIO GRASSI FILHO

Depto de Solos e Recursos Ambientais / Faculdade de Ciências Agronômicas de Botucatu - UNESP



Profa. Dra. MARIA HELENA MORAES SPINELLI

Depto de Solos e Recursos Ambientais / Faculdade de Ciências Agronômicas de Botucatu, SP



Profa. Dra. CÂMILA PIRES CREMASCO GABRIEL

Coordenadora do Curso de Engenharia de Biosistemas / Faculdade de Ciências e Engenharia - FCE - UNESP - Tupã/SP



PROF. DR. ALINE AZEVEDO NAZARIO

ÁGUA E SOLO/ REUSO DE ÁGUA NA AGRICULTURA / CENTRO UNIVERSITÁRIO ADVENTISTA DE SÃO PAULO - ENG. COELHO



DR. ALYSSON JALLES DA SILVA

ESTATÍSTICA / NOVAMERICA AGRÍCOLA, UNIDADE DE TARUMÃ

Botucatu, 07 de maio de 2018.

Dedico aos meus pais, João e Terezinha que compartilharam dos meus ideais, incentivando-me sempre a seguir em frente, quais fossem os obstáculos; a vocês que mesmo diante de todas as dificuldades estiveram sempre comigo, lutando, se empenhando para que este título fosse alcançado, dedico essa conquista com a mais profunda admiração e respeito.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por conceder o dom da vida, por ser inspiração, orientação, força, estímulo e por me livrar de todos os perigos da estrada.

Ao Prof. Dr. Hélio Grassi Junior, por ter aceitado o desafio de encerrar este trabalho comigo! Muito obrigada pela confiança.

Ao Prof. Dr. Antonio Evaldo Klar, por todo aprendizado e confiança em mim depositada.

Ao Prof. Dr. Reginaldo Ferreira Santos, por compartilhar comigo seus conhecimentos, pelo apoio nos momentos difíceis, pela acolhida em sua casa, pelos almoços nos dias das coletas, por me mostrar o quão importante é a vivência em família, por acreditar na minha “coragem”, por ter sido mais que orientador, por ter sido amigo. Muito obrigada!

À Faculdade de Ciências Agrônômicas Campus Botucatu (FCA/ UNESP), por fazer parte do corpo discente e pelo título concedido.

Aos mais que amigos, Elisangela Fernandes, Ronaldo Miranda, Rosana Regina Lopes de Deus, Danila Zago, Creusa Vilella, Edinei Aparecido Mora, por toda ajuda, pela amizade leal e verdadeira, pelo companheirismo nos momentos críticos e por não me deixarem desistir nunca.

Aos amigos Álvaro Mari Junior, Ana Claudia Cabral Mari, Miriam Medeiros, Jannaylton Everton, Elvis Alves, Thiara Silvestre, Victor Rocha Araújo, Renan Lima, Carla Brito, Barbara Puretz, Amanda Rodrigues, Marcos Liodorio, Patrícia Costa da Silva, Flavia Diniz Mota, Paulo Ferreira da Silva e ao pequeno Pedro Mota por todos os momentos que estivemos juntos, por todas as dificuldades que vencemos e todas as alegrias que partilhamos. Por vocês esse tempo de doutorado valeu muito à pena. Muito obrigada!

Ao anjo que Deus colocou na minha vida durante esse tempo de doutorado e que com certeza levarei para sempre em meu coração... *Wanderley Ferreira Junior*. Obrigada pelo magnífico trabalho, pela disposição de sempre e pelo carinho com que sempre me tratou. Muito obrigada!

A Profa. Dra. Aline Azevedo Nazário, por todo conhecimento, amizade e prestatividade com que me acolheu. Que nossa amizade permaneça por todo sempre. Obrigada!

Aos professores do Programa de Pós Graduação em Agronomia – Irrigação e Drenagem, pelos ensinamentos transmitidos.

Ao técnico do Laboratório de Relação Solo – Água – Planta, do departamento de Engenharia Rural, Gilberto, por todo apoio, prestatividade e pela confecção dos equipamentos necessários a realização deste trabalho... Muito obrigada!

Ao Centro Universitário Adventista de São Paulo – UNASP, Campus de Engenheiro Coelho, por ter disponibilizado a área para a realização da pesquisa.

Ao IAPAR – Unidade de Santa Tereza do Oeste – PR, em especial ao Prof. Dr. Luiz Antonio Zanão Junior por toda ajuda na realização das análises de solo.

A UNICAMP pela disponibilização do filtro de areia para realização do experimento.

A NETAFIM pela doação dos tubos gotejadores.

Aos anjos que encontrei pelo caminho que direta ou indiretamente me ajudaram nesta conquista, em especial ao Sr. Pedro Gomes.

Chris... Agradeço a você, por todos os momentos que compartilhamos no transcorrer dessa etapa. Por toda palavra de estímulo, companheirismo, carinho e compreensão. “Que a força esteja conosco!”

A estrada... Minha sempre companheira.

Muito obrigada!

*“Vê! Quem te elegeu, te ungiu e consagrou
Não temas! Nos lábios santos teu nome ressoou
Não te chamou como um servo qualquer
Mas com carinho, um filho seu
Te capacitou, toda força te deu
Amparou e acolheu
Ergue-te, pois, Deus te fez um vencedor!”*

Celebra a vitória!

(Walmir Alencar, 1997)

RESUMO

Dentre as alternativas propostas para conter a crise hídrica, está à utilização de esgoto doméstico tratado (EDT) na agricultura, sendo esta uma proposta eficiente na preservação dos recursos naturais disponíveis tanto qualitativa quanto quantitativamente. O presente trabalho objetivou avaliar os parâmetros químicos do solo cultivado com laranjeiras e irrigado com esgoto doméstico tratado via gotejamento superficial e subsuperficial. As avaliações foram conduzidas na Fazenda Lagoa Bonita/UNASP em Engenheiro Coelho, SP. O delineamento experimental utilizado foi em faixas de cultivo no esquema de parcelas subdivididas, o experimento constituído por 5 tratamentos com 5 repetições, totalizando 25 unidades experimentais. Nas parcelas foram avaliadas as duas qualidades de água (esgoto doméstico tratado – EDT, e água de reservatório – AR) e nas subparcelas o sistema de gotejamento superficial, o sistema de gotejamento subsuperficial; e a testemunha sem irrigação. Foram realizadas análises de solo, água de reservatório e EDT e também dos frutos para verificação das características químicas e de produtividade. O tratamento irrigação subsuperficial com aplicação de água foi o que apresentou as maiores médias para o pH, Ca na profundidade de 0,20 m, Mg nas profundidades de 0,20 e 0,40m também MO. O tratamento irrigação subsuperficial com aplicação de efluente apresentou as menores médias para o pH, Ca e Mg nas profundidades de 0,20 e 0,60m. O tratamento sem irrigação apresentou as maiores médias para o NO_3^- , S, Zn e B e o tratamento subsuperficial apresentou as maiores médias para NH_4^+ e Mn. Há que se considerar que durante o ciclo da cultura houve um grande volume de precipitação que pode ter interferido diretamente na movimentação dos nutrientes no solo e conseqüentemente afetado a produtividade da planta. A aplicação do efluente quando comparado a água apresentou as maiores médias para as variáveis: NH_4^+ , Cu, Zn, Fe e Mn. O presente trabalho apresentou resultados promissores em relação à irrigação da cultura da laranja com EDT via irrigação superficial e subsuperficial, porém sugere-se, trabalhos futuros, estudos em longo prazo que detalhem de forma mais minuciosa o balanço de nutrientes realmente aplicados no solo.

Palavras-chave: Reúso, Efluente, Gotejamento Subsuperficial, *Citrus sinensis* (L), Solo.

ABSTRACT

Among the alternatives proposed to contain the water crisis, is the use of treated domestic sewage (EDT) in agriculture, which is an efficient proposal to preserve the natural resources available both qualitatively and quantitatively. The present work aimed to evaluate the chemical parameters of soil cultivated with orange trees and irrigated with domestic sewage treated via surface and subsurface drip irrigation. The evaluations were conducted at Fazenda Lagoa Bonita / UNASP in Engenheiro Coelho, SP. The experiment was carried out in 5 subplots, with 5 replicates, totaling 25 experimental units. In the plots were evaluated the two qualities of water (domestic sewage treated - EDT, and reservoir water - AR) and in the subplots the surface drip system, the subsurface drip system; and the control without irrigation. Soil, reservoir and EDT analyzes were carried out, as well as the fruits to verify chemical and productivity characteristics. The subsurface irrigation treatment with water application was the one that presented the highest averages for the pH, Ca in the depth of 0.20 m, Mg in the depths of 0.20 and 0,40 m also MO. The subsurface irrigation treatment with effluent application showed the lowest averages for pH, Ca and Mg at the depths of 0.20 and 0.60 m. The treatment without irrigation presented the highest averages for NO_3^- , S, Zn and B and the subsurface treatment showed the highest averages for NH_4^+ and Mn. It should be considered that during the crop cycle there was a large volume of precipitation that may have directly interfered with the movement of nutrients in the soil and consequently affected the productivity of the plant. The application of effluent when compared to water presented the highest averages for the variables NH_4^+ , Cu, Zn, Fe and Mn. The present work presented promising results regarding the irrigation of the orange crop with EDT via surface and subsurface irrigation, but future studies are suggested in the long term, which more detail the balance of nutrients actually applied in the soil.

Keywords: Reuse, Effluent, Subsurface Drip, *Citrus sinensis* (L), Soil.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	18
2 REVISAO DE LITERATURA	20
2.1 Cultivo de laranjeiras	20
2.2 Uso de esgoto doméstico tratado na irrigação agrícola	22
2.3 Patógenos presentes no esgoto doméstico	25
2.4 Legislação	26
2.5 Irrigação por gotejamento superficial e subsuperficial	27
2.6 Laranjeiras irrigadas com EDT	29
2.7 Reúso de efluentes nos atributos do solo	29
3 MATERIAL E MÉTODOS	34
3.1 Localização do experimento	34
3.2 Cultura	36
3.3 Delineamento Experimental e Tratamentos	37
3.4 Captação de esgoto (Estação de Tratamento de Esgoto - ETE) e Água	39
3.5 Manejo da Irrigação	40
3.6 Análise Tecnológica e Produtividade da Cultura	40
3.7 Avaliações dos atributos químicos do solo	42
3.8 Análise estatística dos dados	42
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	44
4.2 Caracterização da Água de Reservatório e EDT utilizados na Irrigação	44
4.3 Parâmetros Químicos do Solo	47
4.3.1 pH	47
4.3.2 Fósforo	49
4.3.3 Potássio	50
4.3.4 Cálcio	51
4.3.5 Magnésio	52
4.3.6 Alumínio	54
4.3.7 H+Al (Acidez Potencial)	55
4.3.8 Matéria Orgânica (MO)	56
4.3.9 Amônio (NH_4^+)	58
4.3.10 Nitrato (NO_3^-)	59
4.3.11 Enxofre	60
4.3.12 Cobre	61
4.3.13 Zinco	62
4.3.14 Ferro	62

4.3.15 Manganês	63
4.3.16 Boro	64
4.4 Análise Tecnológica e Produtividade da Cultura	65
5 CONCLUSÕES	67
REFERENCIAS	68

1 INTRODUÇÃO

Sendo a água um recurso substancial à vida no planeta, tendo ainda, inestimável valor econômico, social e ambiental, cabe inexorável utilização. As mudanças que ocorrem em seu ciclo são essenciais e, influenciam fortemente os processos que operam no desenvolvimento e manutenção à sobrevivência da espécie humana e dos ecossistemas no nosso planeta. A complexidade de seus usos pelo homem vem aumentando e produzindo desmedidas ações de degradação, contaminação e poluição. Em face disso, retiradas permanentes, uso demasiado para diversas finalidades têm limitado consideravelmente a disponibilidade de água e conseqüentemente, acarretando incontáveis problemas de escassez (TUNDISI, 2009).

Desde o início deste século, a crise hídrica vem preocupando nações de inúmeros países, haja vista que a crise da água configura ameaça permanente e, tornando-se de grande relevância e interesse geral, pois, além de colocar em perigo a sobrevivência de todos os seres, incluindo o homem, incluindo revezes ao desenvolvimento, aumentando também a tendência a doenças de natureza hídrica, desencadeando extenuação social e econômica, corroborando para a expansão das desigualdades.

A necessidade de utilização dos recursos hídricos em razão do aumento da população, principalmente no que concerne à produção de alimentos, confere nas causas fundamentais desta crise. Segundo a FAO (2015) o setor agrícola é um dos principais consumidores de água, chegando a valores próximos a 70% de toda água consumida pela população, reiterando o fato de que os conflitos pelos usos múltiplos estão cada vez mais evidentes, mesmo em regiões com grande disponibilidade hídrica.

O reúso de água para fins na agricultura apresenta-se como uma possibilidade para reversão do quadro de escassez e uma das maneiras de unir comprometimento social e ambiental, pois constitui método que minimiza a poluição nos mananciais e possibilita a utilização dos recursos hídricos de boa qualidade para outras atividades executadas em geral pela sociedade, devido à recolocação da água de boa qualidade, visando o emprego racional e eficiente de água na agricultura (ANA, 2011; ANDRADE et al., 2005; SANDRI et al., 2009).

Assim, a utilização de esgoto doméstico tratado na irrigação de plantas, não obstante por ser uma prática antiga e comum em diversos países (RAMIREZ, 2002) é recente no Brasil e representa uma alternativa no uso de nutrientes, com grande potencial de uso em áreas agrícolas (LEAL, 2007).

Nesse contexto, nota-se que é preciso investir e investigar sobre métodos de irrigação que contemplem a utilização consciente da água. Paralelo a isso, verifica-se possibilidades de utilização, por exemplo, de esgoto doméstico tratado que, devido suas características físicas, químicas e biológicas o tornam fundamental a agricultura sustentável, ao passo que se considera o solo como um elemento no processo de depuração de efluentes. Sendo o sistema solo planta um agente para a utilização dos nutrientes, a disposição de esgotos tratados pode ser vista não como um problema ambiental, mas como fonte de água e energia às culturas.

Uma possibilidade que vislumbre o aumento da produtividade na cultura do citros é o reuso direto de fontes alternativas de água e nutrientes de diversas fontes. Uma delas é o uso de EDT, que tem instigado a produtores e também estudiosos da área, não apenas pelo fato de proporcionar economia em relação a água e fertilizantes, mas também pela sua importância ambiental. Essa prática de reuso pode impedir que milhares de litros de esgoto sejam lançados nos corpos hídricos e no solo, mantendo assim as águas superficiais potáveis para o abastecimento humano e a dessedentação animal, preservando ainda a fauna e flora aquática.

Tendo como hipótese que a aplicação de esgoto doméstico tratado no solo cultivado com laranja via gotejamento superficial e subsuperficial pode fornecer resultados que orientem a otimização de reuso de água na irrigação, minimizando custos e impactos ambientais. O objetivo deste trabalho é avaliar os parâmetros químicos e físicos do solo cultivado com laranjeiras e irrigado com esgoto doméstico tratado via gotejamento subsuperficial.

2 REVISAO DE LITERATURA

2.1 Cultivo de laranjeiras

Desde os anos de 1980 o Brasil é tido como um dos maiores produtores de citros, com mais de 1Mha de plantas cítricas em seu território (NEVES et al. 2010). Dentre os citros, a laranja é considerada a fruta de maior importância para a fruticultura nacional em razão do valor nutricional dispensado aos frutos bem como, a toda grandeza na organização e logística aplicada na exportação do produto.

Hasse (1987) relata que desde 1960 o Brasil processa o fruto da laranja, transformando-o em suco. Tal fato se deu em razão de acontecimentos climáticos nos Estados Unidos, o que possibilitou ao país se lançar nos mercados da Europa e norte americano. Ainda na mesma época começaram a surgir módicas fábricas, principalmente no estado de São Paulo (HASSE, 1987).

O fruto da laranja é constituído basicamente por água e outros compostos como ácido ascórbico, sais minerais, carboidratos e outros. A planta pertence à família *Rutaceae*, subfamília *Aurantioideae*, ressalta-se que o gênero *Citrus* se evidencia dentre as espécies existentes e mais especificamente a *Citrus sinensis* (L.) tem destaque na produção e comercialização (SWINGLE, 1967). No Brasil muitas variedades são cultivadas, dando-se real destaque a variedade Natal, Pêra-Rio, Hamlin e Valência. Sendo a Pêra - Rio a de maior relevância na comercialização de sucos. Isso se deve as características físicas e químicas do fruto que proporcionam bom rendimento (DONADIO, 1995).

De acordo com a legislação brasileira o suco de laranja deve passar por uma análise físico-química eficiente com o objetivo de se estabelecer um padrão de identidade e qualidade, possibilitando assim sua caracterização (BRASIL, 2000). Dentre os parâmetros analisados pelas agroindústrias que processam o suco da laranja destaca-se o ácido ascórbico, o potencial hidrogeniônico, o *ratio*, a porcentagem de sólidos solúveis, a viscosidade, a concentração de óleos essenciais e a cor. Faz-se necessário ressaltar que todos esses parâmetros são imprescindíveis para uma boa comercialização e atendimento do mercado externo (MACHADO, 2010).

Camargo et al (1999) em seu trabalho relatou que vários são os fatores que podem contribuir para que um pomar tenha uma produtividade deficiente,

principalmente quando se tratar a questão hídrica e nutricional da planta. Fato este que se agrava pela implementação de fertilizantes de forma e em períodos incorretos.

As laranjeiras requerem uma quantidade de água suficiente para que ocorra seu desenvolvimento desde a floração até a maturação dos frutos. No Brasil em razão da irregularidade das chuvas, especialmente em regiões produtoras de citros, observa-se falta de água no solo, o que possivelmente ocasiona nas laranjeiras um estresse hídrico. Dessa forma, a irrigação contribui no aumento da produtividade nos pomares (PEREIRA et al., 2009). O mesmo não é observado nos pomares não irrigados, onde nota-se menor produtividade (LEMOS et al., 2010).

A laranjeira necessita ser irrigada com maior frequência em alguns dos seus estágios de desenvolvimento, principalmente na floração e frutificação. Nos demais estágios de desenvolvimento da planta e maturação dos frutos a necessidade de água é diminuída. É relevante afirmar que para alguns autores o processo de irrigação das laranjeiras é de suma importância para o desenvolvimento da planta e dos frutos. Cabe ressaltar também as características como alta resistência estomática e manutenção de água no fruto (AZEVEDO et al., 2005).

A quantidade de água requerida pela planta está diretamente associada a produtividade, sendo que algumas exigem um consumo da ordem de 600 a 1200 mm, reiterando a necessidade ou não de irrigação em função da precipitação na região onde estão inseridos os pomares. Pereira et al. (2009) recomendaram que em regiões de clima árido e semi árido durante a fase em que a planta encontra-se em desenvolvimento convém aplicar 10, 15, 25, 45 e 65 L planta.dia⁻¹ nos primeiros anos de estabelecimento da planta, após este período recomenda-se 100 L planta dia⁻¹.

Para alguns estados observa-se um consumo médio estimado em torno de 3 mm dia⁻¹ para os irrigados e de 1,5 mm dia⁻¹ nos pomares que não são irrigados, é o que acontece por exemplo em São Paulo (RODRIGUES et al., 1991). Dessa forma, a prática da irrigação evitaria os efeitos da distribuição sazonal das chuvas, proporcionando elevada produtividade por hectare. Entretanto, conflitos pelos usos múltiplos da água são cada vez mais evidentes, até mesmo em regiões com considerável disponibilidade hídrica, como o Sudeste do Brasil e para um setor, como o agrícola que o consumo de água é relativamente alto. A busca por métodos de irrigação que sejam eficazes quanto ao uso da água, juntamente com a utilização

de fontes alternativas, como o de esgoto doméstico tratado (EDT), será fundamental para o desenvolvimento sustentável da agricultura e em especial a cultura da laranja.

2.2 Uso de esgoto doméstico tratado na irrigação agrícola

A Agência Nacional das Águas (2011) propõe a utilização de métodos alternativos como, o reuso de água de estações de tratamento de esgoto para irrigação, sendo esta uma opção economicamente viável e ambientalmente sustentável, por ser elevada a utilização de água pelo setor agrícola. De acordo com Mara e Cairncross (1989) há muito tempo a utilização de esgotos na agricultura vem sendo empregada como uma forma de dispor e tratar o efluente como também de melhorar as condições do solo e da planta. No entanto era necessário atentar-se aos microrganismos patogênicos possivelmente presentes no efluente (MARA e CAIRNCROSS, 1989).

O fornecimento de água para a realização de atividades agrícolas não poderá ser mantido sem o uso de tecnologias que promovam a conservação dos recursos hídricos. Tal situação baseia-se no fato de que a demanda na produção de alimentos não será atingida somente pela expansão de terras agrícolas, mas também, pelo uso de solos irrigados (HESPANHOL, 2003).

O uso sustentável dos recursos associado à redução da qualidade e também da disponibilidade da água em algumas regiões, tem incentivado o desenvolvimento de estudos que buscam alternativas para o uso de águas residuárias. À vista disso, o uso de EDT na agricultura tornou-se um importante objeto de pesquisa, porém, faz-se necessário um grande movimento de sensibilização sociopolítica no concerne ao reaproveitamento das águas residuárias visto que no Brasil não existe uma lei que regulamenta o uso dessa técnica na agricultura (FIRME, 2007).

Com o desenvolvimento industrial e crescimento populacional urbano, em sua maioria, nota-se geração de grande quantidade de resíduos e, ou esgoto (TASSO JÚNIOR et al., 2007) principalmente esgoto doméstico. O tratamento de esgoto por meio de lagoas de estabilização resulta em dois produtos finais sendo o efluente de esgoto doméstico e biossólido, sendo este último constituído por sólidos sedimentáveis que se depositam no fundo das lagoas. O EDT constitui a água que provem das lagoas de estabilização de indústrias e ou comunidades, onde é

possível observar a presença de muita matéria orgânica suspensa ou dissolvida e ainda compostos inorgânicos (PESCOD, 1992).

Quando os esgotos domésticos não passam por nenhum tipo de tratamento, observa-se a ocorrência da decomposição de grande quantidade de material orgânico presente, o que culmina na produção de gases e com a presença de organismos patogênicos e nutrientes, ocorrerá a eutrofização de mananciais, já que estes resíduos apresentam grande quantidade de fósforo e nitrogênio acima do permitido pela Resolução n° 20/1986 (CONAMA, 2012). Assim, quando o esgoto é lançado diretamente no rio sem tratamento prévio, verifica-se uma redução na concentração de oxigênio da água, o que prejudica o desenvolvimento e sobrevivência da flora e fauna aquática.

A utilização de EDT na agricultura passa por grandes avanços na área das pesquisas, principalmente e em razão das questões econômicas e ambientais que este apresenta, tais como; (i) redução do volume de esgoto lançado em cursos de água a céu aberto, (ii) a maior disponibilidade de água potável para o uso humano e (iii) o fornecimento de nutrientes para as culturas (PAGANINI, 2013). Vale ressaltar que os riscos de contaminações dos recursos ambientais envolvidos na agricultura irrigada variam em função do manejo oferecido aos diversos elementos da cadeia produtiva, por isso maior atenção deve ser dada, por exemplo, o solo existente, a cultura a ser explorada e os mecanismos de irrigação utilizados (MATTOS, 2003; SOUZA et al., 2010).

Na agricultura, a utilização de EDT apresenta características agronômicas favoráveis, em especial, ao fornecimento de alguns nutrientes aos vegetais cultivados e, em períodos de estação do ano, assim como a água de irrigação limpa, funciona como a principal fonte hídrica para as plantas, consolidando a agricultura em diversas regiões, principalmente nas que apresentam problemas de escassez hídrica (SANTOS, 2004; LUBELLO et al., 2004).

Os EUA, a Austrália, o México e Israel apresentam-se como os principais países que utilizam a água de esgoto nas práticas agrícolas e confirmam o potencial dessa tecnologia ao garantir a qualidade dos recursos ambientais envolvidos, além de maiores rendimentos na produção das culturas exploradas (MARQUES et al., 2003). A utilização de EDT via irrigação, em países como México, Israel e Austrália é extremamente difundido, chegando a valia de aproximadamente 70% em grandes

extensões cultivados com forragens e cereais e cana de açúcar (CAPRA; SCICLONE, 2004).

É importante ressaltar que em alguns desses países todo esse processo de reutilização é norteado por meio de legislação em outros casos não há nenhuma lei que regulamenta a disposição desses efluentes. No Brasil, tal prática vem apontando para uma regulamentação tanto no que diz respeito ao controle, tratamento e disposição final (BERTONCINI, 2008).

O reuso de água via irrigação ainda se evidencia de forma menos evidente na agricultura brasileira, exigindo que sejam alavancados todos os entraves legislativos que limitam esta atividade. Um dos principais fatores que limitam a prática do reuso está no fato de que existem poucos estudos que subsidiem a organização de leis para tal intento, a falta de informações sobre a origem, composição dos dejetos e os riscos a saúde que estes podem ocasionar também são fatores limitantes, além do alto custo para implantação dos sistemas de tratamento (COSTANZI, 2008).

A aplicação dos fertilizantes por meio da água de irrigação proporciona aumento da eficiência da adubação e do uso de nutrientes pela cultura, devido à possibilidade do parcelamento da aplicação, conforme as necessidades da mesma (FOLEGATTI 1999). Além disso, o uso de efluentes de esgoto é considerado economicamente viável já que permite a reciclagem tanto do carbono, quanto dos demais nutrientes presentes no efluente (MELO et al., 2008) e, também, quando associado à irrigação do tipo subsuperficial apresenta as vantagens de reduzir os odores desagradáveis e de contaminação do operador.

Outros problemas de ordem técnica podem ser observados quando se utiliza o esgoto doméstico como, por exemplo, sistemas em que exista a possibilidade de separação e tratamento de esgoto doméstico e industrial e remoção dos patógenos, possibilitando assim sua utilização na agricultura (BERTONCINI, 2008). Um dos grandes problemas da utilização de esgoto doméstico está relacionado a questões de ordem sanitária. No entanto, Sousa (2003) resalta que o esgoto doméstico necessita de tratamento para ser utilizado e a qualidade apresentada dependerá do mecanismo de tratamento recebido.

A utilização de EDT na agricultura pode reduzir custos, reitera a viabilidade ecológica e sanitária do processo, quando associada a outras técnicas aumenta a produtividade das culturas, possibilitando o crescimento do setor agrícola, em especial, pela redução dos custos de produção e redução do uso de adubos

químicos, assegurando a diminuição dos impactos ambientais e reafirmando o caminho para uma agricultura irrigada sustentável.

2.3 Patógenos presentes no esgoto doméstico

O lançamento de EDT tratado ou não nos corpos receptores sem a certificação de desinfecção, pode contribuir com variações significativas no número de organismos vivos no solo, poluindo e causando doenças (REINALDO et al., 2012). Entre os fatores que podem aumentar está o grupo dos coliformes fecais, que sabidamente são agentes específicos de doenças de veiculação hídrica. Se não tratado o EDT pode ser altamente poluidor. O tratamento geralmente tem custo elevado. Dependendo do país ou região, por mais benéfico que seja a saúde pública, pode se tornar inviável.

Diferente do esgoto doméstico o esgoto industrial apresenta algumas características que quando dispensado no solo de forma contínua e irregular pode ocasionar a contaminação do mesmo, fato este que se deve a presença de metais pesados, podendo atingir inclusive os aquíferos (SIGOLO; PINHEIRO 2010). As diversas alterações físicas e químicas sofridas pelo solo são prerrogativas para que haja maior movimentação de metais pesados na solução do solo, o que de certa forma, acarretaria numa maior impregnação pelas plantas e ou ainda infiltração no solo. Os efeitos da absorção de metais pesados tanto por plantas como por organismos humanos são agudamente prejudiciais (BERTONCINI, 2008).

Além do prejuízo na produtividade da planta, contaminação do solo e águas subsuperficiais, quando utilizado de forma indiscriminada, o uso de efluentes na agricultura acarreta numa concentração alta de sódio e sais que, provocam tanto deficiência hídrica nas plantas como salinidade do solo (METCALF; EDDY, 2003).

O uso de esgoto tratado na agricultura tem se afirmado com um mecanismo de preservação da disponibilidade e da qualidade de água no ambiente. Contudo, é necessário atentar-se a presença de microrganismos patogênicos nos efluentes, tais como vírus entérico, ovos de helmintos e cistos de protozoários (SANTOS, 2010).

Os principais microrganismos considerados como indicadores de contaminação fecal são os chamados coliformes termotolerantes (BERTONCINI, 2008). Estudos remetem a aplicação de tecnologias que sejam viáveis e sustentáveis no tratamento e disposição de águas residuárias. Uma vez lançado ao solo, em vez de sua

disposição direta nos corpos de água, o esgoto contribuirá de forma efetiva para o controle biológico de poluentes, pois de acordo com Ribas e Fortes Neto (2008) o solo passa a ser um elemento filtrador.

Há que se considerar que acontaminação por bactérias de origem fecal possibilita a inserção de inúmeros patógenos na água, fazendo com que esta se torne fonte de grande preocupação para a saúde pública em razão de ser veículo de transmissão de doenças. Dessa forma tem que se pensar num controle bacteriológico sistêmico e eficaz para as estações de tratamento de esgotos que reutilizam suas águas, evitando assim riscos a saúde da população em geral.

Dentre os organismos patogênicos, denominam-se as bactérias coliformes termotolerantes, especialmente a espécie *Escherichia coli*, como as que provocam maiores riscos a saúde e ao meio ambiente, pois sua presença indica contaminação fecal e provável presença de microrganismos intestinais patogênicos. Salienta-se que por se apresentarem em grande quantidade nas fezes humanas e por terem resistência parecida com as bactérias patogênicas intestinais, os coliformes são usados como indicadores de contaminação fecal e ainda pelo fato de possibilitarem uma contagem rápida pela técnica de identificação (KHAMKURE et al., 2013).

O tempo de vida no solo dos patógenos presentes no esgoto doméstico é variável, sendo possível, os mesmos viverem dias, meses ou anos, dependendo muito de fatores como formas de resistência e o próprio ambiente. Em razão de que muitos destes percolam ou permanecem por longo período na superfície do solo, recomenda-se que os processos de desinfecção e tratamento sejam eficientes (CAVINATTO; PAGANINI, 2007).

Todavia, o uso de esgotos em solos agricultáveis via irrigação deve ser utilizado de forma a garantir a qualidade do solo, da planta e de todos os organismos.

2.4 Legislação

Em 17 de março de 2005 foi publicada a Resolução N. 357 do CONAMA que dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes. Mesmo tendo sido amplamente discutida, essa resolução ainda aponta para a continuidade do debate em torno da temática sobre o lançamento de efluentes.

A legislação mais próxima ao reuso de esgoto doméstico tratado na agricultura refere-se ao uso do lodo de esgoto doméstico, onde estão os preceitos para o uso agrícola do resíduo gerado. Não existe uma resolução específica que regulamente o uso de esgoto na agricultura. De acordo com Bertoncini (2008) a Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (CETESB) do estado de São Paulo disponibilizou uma instrução técnica que determina alguns critérios e parâmetros para caracterização do reuso de água.

Quanto aos parâmetros microbiológicos, os valores permitidos de coliformes fecais e ovos de helmintos ficam em torno de 103 a 106 de *Escherichia coli* em 100 mililitros de efluente, igual ou inferior a um ovo de helminto por litro de efluente, no entanto isso dependerá do tipo de cultivo irrigado (CETESB, 2010).

A contribuição de estudos utilizando-se o esgoto doméstico tratado em laranjeiras faz-se necessária tanto do ponto de vista agrônomo da produção, como na questão econômica e ambiental, em se tratando de reuso de efluentes.

2.5 Irrigação por gotejamento superficial e subsuperficial

A irrigação localizada, também chamada de irrigação por gotejamento na superfície vem se destacando em razão de uma série de inovações tecnológicas e apresenta dentre suas características o fato de que a uniformidade de aplicação e redução no consumo de água, a tornam em evidência no contexto de se aproveitar melhor o uso da água. A técnica de irrigação localizada consiste na aplicação de água diretamente na região radicular, em pequenas quantidades, onde são utilizados gotejadores ou microaspersores com alta frequência de irrigação, mantendo a umidade do solo próximo ao valor ótimo para o desenvolvimento da planta, pelo maior período possível, com o mínimo de perdas por evaporação e percolação profunda e sem necessidade de molhar toda a superfície do terreno (GOMES, 1997; MEDINA, 1985).

De acordo com Marques et al. (2006) a irrigação por gotejamento subsuperficial é constituída por emissores instalados na subsuperfície do solo e é derivada do tipo de gotejamento superficial, sendo que a primeira instalação desse tipo de gotejamento se deu em Israel na década de 1960 e, nos EUA é bastante usada na produção de frutas. No Brasil, tal tecnologia vem sendo utilizada nos plantios de cana de açúcar, onde é possível avaliar a relação da eficiência do sistema e a

produtividade da cultura, pois esse tipo de sistema possibilita o suprimento de água às culturas (PARKES et al., 2010).

O interesse pelo sistema de gotejamento subsuperficial se dá em função da necessidade de tecnologias que apresentem maior eficiência na aplicação da água e que permitam o reuso de águas residuárias. Devido ao fato de se utilizar quantidade baixa de água em razão de uma taxa evaporativa baixa, redução dos impactos mecânicos e além da utilização em diversas culturas, o sistema de irrigação subsuperficial é indispensável em locais onde ocorre grande consumo de água pelas plantas, acarretando aumentada produtividade e, garantindo a eficiência do sistema (SINGH et al., 2006).

O solo funciona como um filtro com alto poder depurador, quando comparado a água, porque auxilia na decomposição da matéria orgânica. O reuso de esgoto fornece algumas substâncias essenciais para as plantas como água, nutrientes, no entanto, a utilização deste tipo de efluente deve ser efetivamente controlada, evitando assim possíveis situações de contaminação (BERTONCIN, 2008).

Segundo Westcot (1988) o sistema de irrigação por gotejamento subsuperficial é altamente eficiente por estar situado abaixo da superfície do solo, atingindo grande parte da raiz da planta. Embora as plantas respondam de forma muito efetiva à irrigação, o excesso no tempo de irrigação pode causar problemas no crescimento e desenvolvimento das plantas, conseqüentemente comprometendo todo o vegetal principalmente as raízes. A infiltração de água no solo é um processo físico muito complexo e de difícil caracterização, devido às condições anisotrópicas e heterogêneas comumente encontradas no solo. Por isso, estudos têm sido conduzidos a fim de se compreender melhor o processo de infiltração sob aplicação contínua de água no solo (SAMANI et al., 1985).

A irrigação por gotejamento subsuperficial pode ser utilizado em quase todos os cultivos, devido ao fato de reduzir perdas nos sistemas de irrigação (SILVA et al., 2014; PARKES et al., 2010). Alguns autores como Oron et al. (1991) observaram que a utilização de sistemas de gotejamento subsuperficial diminui a contaminação dos cultivos quando comparados a outros sistemas como por exemplo a micro aspersão. Por outro lado, o efeito do encharcamento está na dependência da temperatura do solo.

Dessa forma, são necessárias mais pesquisas com a aplicação deste tipo de efluente nas condições brasileiras visando à produção citrícola, principalmente

relacionado com os atributos do solo, e um estudo mais detalhado em relação à nutrição da cultura e exportação de nutrientes e, assim, tornando mais claro o sistema efluente-solo-planta-atmosfera para uma maior sustentabilidade ao longo dos anos no cultivo de citros visando o reuso de EDT.

2.6 Laranjeiras irrigadas com EDT

O sistema de irrigação por gotejamento subsuperficial com o uso de efluente se destaca como uma possibilidade de elevação da produtividade da cultura utilizada devido à alta eficiência do sistema, isso se deve ao fato de que ocorre um acúmulo de nutrientes e fornecimento de água necessária para o desenvolvimento da planta (GOMES et al., 2009).

Em um de seus trabalhos Deon (2010) verificou que o reuso da água e dos nutrientes via irrigação com EDT, possibilitou maior eficiência no desenvolvimento vegetativo e produtividade das plantas, no entanto, surgiram alterações envolvendo significativamente a potencialidade da planta irrigada com esgoto.

A citricultura se sobressai como uma atividade agrícola promissora, porém, faz-se necessário aprofundamento dos estudos, sobretudo em razão da grave crise hídrica que assola o país. O mercado citrícola no Brasil vem apresentando baixas tanto na produção como na comercialização. Para tanto o investimento em pesquisas, em irrigação e novas tecnologias é imprescindível (STUCHI, 2010).

2.7 Reúso de efluentes nos atributos do solo

No que diz respeito à qualidade do solo que foi irrigado com esgoto doméstico observa-se alterações quanto a alguns elementos dentre eles o nitrogênio e o carbono, a dinâmica microbiana, salinidade, entre outros. Algumas verificações são cruciais para a utilização de esgotos tratados via irrigação, por exemplo, o sódio que em grande concentração acarreta toxidez nas plantas e as perdas de nitrogênio (FONSECA et al., 2007).

O EDT em sua maior parte é constituído basicamente de água, e em menor proporção, de sólidos orgânicos e inorgânicos como, os dejetos humanos, nos quais contem geralmente inúmeros patógenos. O material orgânico no solo de certa forma ativa os microrganismos em razão da presença de carbono e outros nutrientes ou

ainda, inibe os mesmos pela presença de metais pesados (PALESE et al., 2009; SIMÕES et al., 2013; MARTINS 2010).

Finocchiaro e Kremer (2010) verificaram correlação entre os microrganismos presentes no solo e o acúmulo de EDT quando comparado com a água de rio, considerando parte dos microrganismos do solo se denominam organismos heterotróficos, é possível compreender que a grande concentração de fontes de carbono no solo aumente consideravelmente a ação dos microrganismos (SIMÕES et al., 2013).

2.7.1 Atributos físicos do solo

A irrigação de áreas cultivadas com águas residuárias mostra-se como alternativa viável na destinação de efluentes, em especial, nas regiões onde há escassez de chuvas por longos períodos. Porém, quando mal manejada essa atividade pode promover riscos à produção das culturas, ocasionados, principalmente, pela degradação dos atributos físicos do solo (MANDAL et al., 2008).

Tal problema refere-se aos efeitos negativos proporcionados pelo íon Na^+ , uma vez que esse elemento pode apresentar-se em altas concentrações no EDT, por conta dos resíduos de sabões, detergentes, desinfetantes e seus derivados de uso tão rotineiro nas atividades domésticas (ARCHELA, 2003).

Um solo que apresenta índices adequados de agregação possui também, boas condições de porosidade, densidade, fornecimento de nutrientes, armazenamento de água, menor resistência à penetração e melhor desenvolvimento de raízes, fatores, esses, necessários à manutenção da capacidade produtiva do solo e ao aumento da produtividade das culturas economicamente exploradas (AGUIAR, 2008; BAYER e MIELNICZUK, 2008).

As altas concentrações de Na^+ nos sítios livres das argilas são responsáveis por reduzirem a afinidade entre as partículas do solo e ocasionar a dispersão entre os minerais. Esse processo pode promover o translocamento de argilas no perfil do solo e sua acomodação nos espaços porosos livres ocasionando problemas relacionados ao aumento da densidade, a redução da infiltração de água no solo e a menor estabilidade de agregados (RAIJ, 1991).

No estudo de Santos (2004) foi avaliado o efeito do EDT rico em sódio nos atributos físicos de um Argissolo, em que se constatou um aumento da dispersão de

argila em praticamente todas as camadas estudadas, principalmente, na superfície. Segundo o autor, isso foi influenciado pelos aumentos ocorridos no Potencial de Sódio Trocável (PST) e na Razão de Adsorção de Sódio (RAS). Além disso, verificou-se que o efluente de esgoto utilizado promoveu a dispersão de argilas mesmo nos valores de PST abaixo dos considerados pela literatura como causadores de deterioração.

A qualidade física do solo exerce importante função nos estudos de indicadores de sustentabilidade, pois apresenta influência direta nas reações químicas e biológicas ocorridas entre o sistema solo-planta e, ainda, manifesta-se em processos de retenção de água resistência do solo a degradação, crescimento de raízes, liberação de calor e trocas gasosas com o meio (STRECK et al., 2008).

Diante dos possíveis problemas ocasionados pelo uso de EDT nos atributos físicos do solo é necessário que, antes de utilizá-lo como água de irrigação, sejam observadas as características do efluente e dos atributos químicos e físicos do solo, para que dessa forma, se torne possível o estabelecimento de um manejo correto para a irrigação e, com isso, seja evitado alterações indesejáveis na qualidade do solo (LADO & BEN-HUR, 2009).

2.7.2 Atributos químicos do solo

Os danos causados pela aplicação de efluentes na superfície do solo são constatados geralmente depois de algum tempo de aplicações consecutivas, quando analisados os parâmetros físicos e químicos, o tipo de solo, porém, os efeitos no solo podem ocorrer em um curto período de tempo se houver altas concentrações de nutrientes no efluente e dependendo da quantidade e frequência aplicada. Por outro lado, as alterações nos atributos biológicos do solo, ocorrem em função dos microrganismos existentes no solo, e as condições que estes são submetidos, onde, o reuso acarretará adição de matéria orgânica, aumentando capacidade que o solo tem de reter água (HESPANHOL, 2002).

O uso de EDT na irrigação agrícola, além de amenizar os possíveis riscos de contaminação dos rios e lagos e, suprir hidricamente as culturas, apresenta um alto potencial de fornecimento de nutrientes fundamentais ao desenvolvimento da planta, em especial, nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K) (SANDRI et al., 2009). As alterações ocorridas nos atributos químicos do solo, influenciadas pela adoção de tal

técnica, são proporcionais à qualidade do EDT utilizado e ao tempo de irrigação. Por isso, curtos prazos de aplicação nem sempre são suficientes para surtirem efeitos significativos na qualidade química do solo, sendo necessários, para isso, alguns anos de adoção (KOURAA et al., 2002; BAUMGARTNER et al., 2007).

Azevedo; Oliveira (2005) realizaram um trabalho a fim de avaliar os possíveis efeitos aplicação de EDT via irrigação sobre os atributos químicos de um solo cultivado com pepino, verificou o aumento dos teores de N total, N amoniacal, nitrato, K, cálcio (Ca), magnésio (Mg), zinco (Zn) e enxofre (S) do solo irrigado com EDT em comparação a um outro solo irrigado com água de abastecimento (AZEVEDO; OLIVEIRA, 2005).

Na Grécia, o uso de EDT na irrigação proporcionou incrementos significativos nos teores de P, Zn e nos valores de pH do solo (KALAVROUSZIOTIS et al., 2009). No México, Fuentes et al. (2002) observaram que o uso de EDT eleva os teores de carbono (C) e nitrogênio (N) do solo e que o aumento das concentrações de magnésio (Mg), mercúrio (Hg), molibidênio (Mo), cálcio (Ca), cobre (Cu) e cromo (Cr) é proporcional ao tempo de aplicação do efluente. No Irã, o uso EDT como água de irrigação foi eficiente somente para o fornecimento de potássio (K) (HEIDAPOUR, 2007).

No estudo de Pereira (2009) foi investigada a influência do EDT sobre os atributos químicos de um Argissolo Vermelho-Amarelo cultivado com laranjeiras onde foram atendidas 100%, 125%, 150% e 200% da necessidade hídrica da cultura, além disso, foi avaliada uma área sem irrigação utilizada como tratamento controle. Ainda o mesmo autor observou que o aumento da lâmina de irrigação, além de elevar os teores de enxofre (S), boro (B), cobre (Cu) e sódio (Na) no solo, reduziu a acidez ativa (H^+), a acidez potencial ($Al^{3+}H^+$) e a saturação por alumínio corroborando com os resultados encontrados por Fonseca (2001).

No entanto, é importante esclarecer que mesmo havendo a redução da acidez do solo pelo uso de EDT, nem sempre há o fornecimento concomitante de alguns elementos, podendo ser citados o Ca e Mg, que são disponibilizados quando a correção do pH é realizada por meio da aplicação de calcário. Além disso, a alta concentração de Na^+ presente no EDT pode promover um desequilíbrio na disponibilidade de outros nutrientes como, por exemplo, o K que do ponto de vista agrícola, deve ser corrigido via aplicação de adubo químico (LEAL, 2007).

Paula (2008) avaliou a influência da irrigação com EDT sobre o aporte de C e N em um Argissolo Vermelho, com tratamentos baseados na irrigação do capim Tifton 85 com EDT tratado e aplicado com lâminas excedentes (0, 25, 50 e 100 % a mais da necessidade da cultura). Os autores afirmaram que o aumento do teor de C foi proporcionado pelo incremento do material orgânico fornecido pela irrigação, que variou de 784 Kg ha⁻¹ para a lâmina de 25% até 1441 Kg ha⁻¹ para a lâmina excedente de 100%. A forma mineral de N encontrada no EDT (NH₄⁺, NO₂⁻, NO₃⁻) apresentou um valor de 337 kg ha⁻¹ para a lâmina de controle (0%) e 618 kg ha⁻¹ para a lâmina que ofereceu 100% de excesso.

No que se refere à qualidade ambiental, a disposição de águas residuárias no solo funciona como alternativa para o uso dessas águas e pode contribuir para o aumento da produção de alimentos (MEDEIROS et al., 2005). No entanto, torna-se necessário o conhecimento do potencial que essas águas possuem para o fornecimento de nutrientes, bem como a dinâmica de disponibilidade desses elementos às plantas, para que dessa forma seja possível estabelecer estratégias que melhorem o aproveitamento desse resíduo na agricultura.

Nos sistemas agrícolas a sustentabilidade está intimamente ligada ao manejo dos ecossistemas de modo a manter e ampliar sua produtividade, a qualidade do ambiente, a diversidade biológica e a vida das pessoas, dessa forma o monitoramento do uso da água melhoram a compreensão do efeito da introdução de novas técnicas sobre seu consumo e poluição, indicando para a sociedade os caminhos de produção com menor impacto social e ambiental.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Localização do experimento

O experimento foi instalado no ano de 2016, em Engenheiro Coelho - SP (Figura 1) com Latitude de 22°29'18''S e Longitude de 47°12'54''W e altitude média de 655 m. De acordo com a classificação de Köppen, o clima da região é o subtropical úmido do tipo Cwa, com temperaturas no mês mais quente superiores a 22°C e no mês mais frio inferiores a 18°C e temperatura média anual de VV°C. O índice pluviométrico anual da região é de 1.328 mm. Os dados climáticos estão apresentados na Figura 2. O solo predominante é classificado como ARGISSOLO VERMELHO - AMARELO Eutrófico típico.

Figura 1 – Localização geográfica da área de estudo - Engenheiro Coelho – SP



A área delimitada para o estudo está localizada na Fazenda Lagoa Bonita, pertencente à Universidade Adventista de São Paulo – UNASP, num cultivo de laranjeiras próximo a uma estação de tratamento de esgoto.

Na Figura 2 apresenta-se a área onde está instalado o reservatório de abastecimento de efluente, além do cabeçal de controle do sistema de irrigação

Figura 2 – Área experimental Fazenda Lagoa Bonita – Engenheiro Coelho – SP



Foram determinados atributos físicos do solo (Tabela 1), para caracterização da área, com auxílio de um trado tipo holandês e as coletas de amostras deformadas por meio de amostrador de Ulhand com anéis de metal e amostras indeformadas, nas camadas de 0,0-0,2; 0,2-0,4m, sentido vertical. Foram realizadas análises de granulometria.

Tabela 1 - Caracterização física do solo da área experimental

Camadas (m)	Areia (g kg ⁻¹)	Argila (g kg ⁻¹)	Silte (g kg ⁻¹)	Umidade (%)	Textura
0,0 – 0,2	607	326	67	-----	Média
0,2 – 0,4	606	312	82	-----	Média

Antes da implantação do experimento foram retiradas amostras de solo para análise química, nas profundidades de 0,0-0,20 e 0,20-0,40m, nas mesmas trincheiras utilizadas para as análises físicas, conforme métodos descritos por Silva et al. (2009).

Na Tabela 2 os resultados médios da análise química do solo antes d implantação do experimento (0,0 – 0,20; 0,0 – 0,40 m).

Tabela 2- Caracterização química do solo da área experimental

Parâmetro	0,0 - 0,20	0,20-0,40
pH	5	4
Fósforo (P) mg dm ⁻³	77	18
Enxofre (S) mg dm ⁻³	---	---
Potássio (K) mmol _c dm ⁻³	1,8	15
Cálcio (Ca) mmol _c dm ⁻³	19	8
Magnésio (Mg) mmol _c dm ⁻³	6	4
Alumínio (Al) mmol _c dm ⁻³	0,00	---
H + Al ⁽¹⁾ cmol _c dm ³	39	42
CTC ⁽²⁾ mmol _c dm ³	66	56
RAS ⁽³⁾ mmol _c d ⁻³	0,047	---
MO ⁽⁴⁾ g.dm ³	27	15
V ⁽⁵⁾ %	41	25
B mg dm ⁻³	0,46	0,35
Cu mg dm ⁻³	22	9
Fe mg dm ⁻³	64	52
Mn mg dm ⁻³	3,25	3,65
Zn mg dm ⁻³	7,5	2,5

⁽¹⁾Acidez potencial; ⁽²⁾Capacidade de troca de cátions; ⁽³⁾Razão de absorção de sódio; ⁽⁴⁾Matéria orgânica; ⁽⁵⁾Saturação de bases

Nota-se que para os parâmetros apresentados acima os valores médios foram maiores na camada de 0,20 m, antes da aplicação de esgoto doméstico tratado e ou água reservatório.

3.2 Cultura

A variedade é a laranjeira Pêra Coroa, o porta enxerto é o limoeiro 'Cravo' (*Citrus limonia* Osbeck) e o pomar apresenta aproximadamente 20 anos de instalação na área (Figura 3). A adubação da cultura era realizada com NPK (10/10/10) com nitrato e 0,1% de boro, sendo aplicado 1Kg/planta de acordo com orientações so profissional responsável pelo pomar.

Quanto aos tratos culturais, na pode de limpeza eram retirados os ramos secos ou atacados por pragas e doenças e também os ramos ladrões, considerados improdutivos. Tal operação era feita utilizando-se tesouras e serras de poda,

objetivando-se eliminar focos de pragas e doenças, permitindo melhor arejamento da planta. Os frutos colhidos são usados na produção de suco para o refeitório da universidade que atende em média mil e quinhentos acadêmicos por dia, entre café da manhã, almoço e jantar.

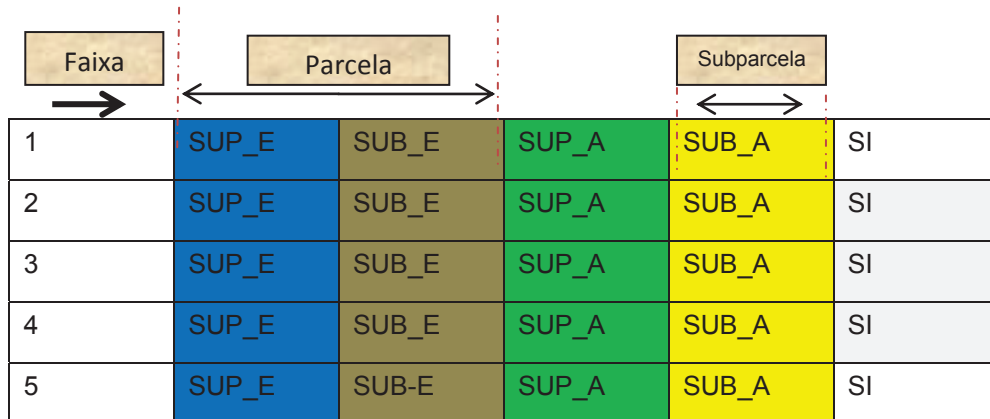
Figura 3 - Cultivo das laranjeiras - Fazenda Lagoa Bonita/UNASP



3.3 Delineamento Experimental e Tratamentos

O delineamento experimental utilizado foi em faixas de cultivo no esquema de parcelas subdivididas. O experimento é constituído por cinco (5) tratamentos com cinco (5) repetições, totalizando vinte e cinco (25) unidades experimentais (Figura 4). Nas parcelas estão sendo avaliadas as duas qualidades de água (esgoto doméstico tratado – EDT, e água de reservatório – AR) e nas subparcelas as duas profundidades da fita gotejadora (sistema gotejamento em superfície e sistema de gotejamento em subsuperfície – 0,10m); e a testemunha sem irrigação (Figura 5).

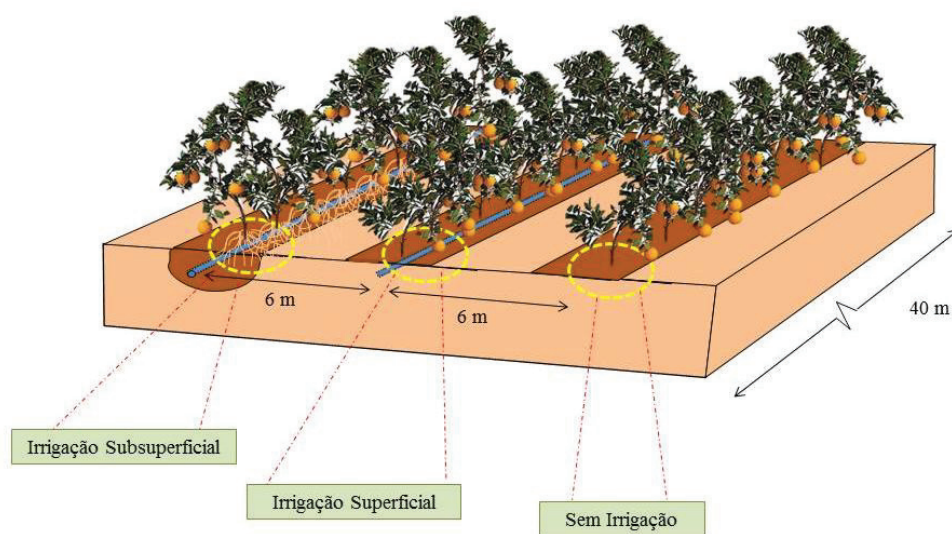
Figura 4 - Esquema do delineamento experimental em área de cultivo de laranja, Fazenda Lagoa Bonita - Engenheiro Coelho-SP



SUP_E – Irrigação Superficial com Esgoto doméstico tratado; SUB_E – Irrigação Subsuperficial com Esgoto doméstico tratado; SUP_A - Irrigação Superficial com água de reservatório; SUB_A - Irrigação Subsuperficial com água reservatório; SI –Sem Irrigação.

Cada unidade experimental apresenta aproximadamente 40 m de comprimento, com 13 plantas, sendo o espaçamento entre as mesmas de 3 m e entre linhas de 6m com 5 repetições, conferindo uma área total de 240 m² no espaçamento combinado. Ressalta-se que nas extremidades do experimento foi instalada uma linha como bordadura.

FIGURA 5 - Detalhe das profundidades da fita gotejadora (sistema gotejamento em superfície e sistema de gotejamento em subsuperfície – 0,10 m) e a testemunha sem irrigação em área de cultivo de laranja em campo experimental do UNASP



3.4 Captação de esgoto (Estação de Tratamento de Esgoto - ETE) e Água

No experimento foram utilizadas duas qualidades de água, sendo uma proveniente de um reservatório superficial (ARS) próximo da área experimental, e a outra, esgoto doméstico tratado (EDT), proveniente da Estação de Tratamento de Esgoto da UNASP, compreendendo os dejetos domésticos e sanitários dos diversos espaços que compunham a universidade.

A Estação de Tratamento de Esgoto é constituída por lagoas de estabilização do tipo Australiano, com uma lagoa receptiva anaeróbica e, duas lagoas facultativas, sendo uma primária e outra secundária e ainda outra lagoa com plantas aquáticas flutuantes da espécie *Eichornia*, conhecidas como aguapé (Figura 6).

Figura 6 – Lagoa com aguapés usados no tratamento de esgoto doméstico -UNASP, Engenheiro Coelho - SP



Amostras de água do reservatório e EDT foram coletadas para realização de análises físicas, químicas e microbiológicas, para acompanhamento da qualidade das águas. A coleta foi feita após o filtro de areia e foram acondicionadas de acordo com a recomendação padronizada – Standard Methods for Examination of Water and Wastewater (APHA, 1999) e encaminhadas para análises e determinação do Aspecto, Odor, Cor, Turbidez, Resíduo Seco, pH, Cálcio (Ca), Magnésio (Mg), Ferro (Fe), Potássio (K), Enxofre (S), Sódio (Na), Boro (B), Cobre (Cu), Zinco (Zn), Cloreto,

Sulfato, Fluoreto, Fósforo Total, Nitrogênio Total, Nitrogênio Inorgânico, Nitrato, Nitrito, Demanda Química de Oxigênio (DQO), Sulfeto, Óleos e graxas, Sólidos Totais (ST), Sólidos Totais Dissolvidos (STD), Matéria Orgânica (MO), Coliformes Fecais e Coliformes Totais.

Amostras de água de reservatório e EDT foram coletadas em agosto de 2016 para caracterização, as demais foram coletadas no mês de novembro de 2016, fevereiro de 2017, maio de 2017 e agosto de 2017, contemplando assim o ciclo da cultura.

3.5 Manejo da Irrigação

A aplicação de água de reservatório e do EDT foram realizadas por um sistema de irrigação localizada do tipo gotejamento superficial e subsuperficial a 0,10 m de profundidade do solo. Os gotejadores utilizados foram da marca Netafim, modelo Super Typhoon, espaçados a cada 0,7 m, com vazão de $0,70 \text{ Lh}^{-1}$ e espessura de parede de 0,38 mm.

Para evitar possíveis entupimentos das linhas gotejadoras, antes de iniciar o funcionamento do sistema de irrigação, foi feita a lavagem das fitas gotejadoras, deixando os registros nos finais de cada linha sempre abertos. Após limpeza, o sistema era fechado e iniciava-se a irrigação; este procedimento era realizado pelo menos uma vez no mês. A retrolavagem dos filtros de areia foi feita após o término da sua instalação e também após cada evento de irrigação, com o fim de evitar possíveis entupimentos dos gotejadores.

As irrigações foram realizadas três vezes por semana com base nos tratamentos e de forma acumulada. O volume total aplicado em cada parcela foi de 425 L de qualidade de água (água de reservatório, EDT, de acordo com o tratamento proposto). Os dados da evapotranspiração foram estimados de acordo com o método de *Hargreaves-Samani* a partir de dados de temperatura de uma estação meteorológica instalada próxima a área experimental. Os dados climáticos foram coletados de uma estação meteorológica instalada no UNASP, próximo à área de cultivo com citros.

3.6 Análise Tecnológica e Produtividade da Cultura

Foi determinada a produção de cada parcela, utilizando-se os dados de produção de frutos em quilogramas para cada tratamento ao final do experimento.

Para determinação da análise física e química os frutos foram colhidos e analisados, sendo que cada amostra foi composta de 10 frutos colhidos ao acaso, de cada parcela, contendo três plantas, com três repetições, totalizando 50 frutos por tratamento. As variáveis analisadas foram:

a) Massa do fruto (MF): a obtenção da massa do fruto foi realizada em balança, expressa em gramas. Posteriormente, foram realizadas as medidas externas e internas dos mesmos, seguidas da extração do suco.

b) Massa do suco (MS): o suco extraído foi acumulado em recipiente adequado para a homogeneização, e posteriormente obtida a massa, devidamente calibrada, e expressa em gramas.

c) Rendimento de suco ou porcentagem de suco (RS): determinado após a medição da massa do suco (MS) e calculado por meio da relação massa do suco/massa do fruto (expresso em porcentagem).

d) Sólidos solúveis totais (SST): uma alíquota de 2 a 3 mL de suco foi retirada para a determinação do teor de SST, baseada na leitura do °Brix em refratômetro, ajustada à temperatura de 25 °C, conforme método descrito por Ting e Roussef (1986).

e) Acidez titulável (AT): a determinação da acidez foi realizada empregando-se o método da titulação de 25 mL de suco com uma solução de NaOH a 0,1N (hidróxido de sódio) até atingir pH= 8.10, sendo expressa em porcentagem de ácido cítrico, segundo Instituto Nacional de Tecnologia Industrial (1987).

f) "Ratio": calculado pela divisão da quantidade de SST, expressa em ° Brix, pela acidez titulável, expressa em %, o que resulta numa relação adimensional.

g) Índice tecnológico (IT): calculado pela fórmula, $IT = (RS \times SST \times 40,8) \times 10.000^{-1}$, sendo o rendimento do suco (RS), a quantidade de sólidos solúveis totais (SST) no suco, em uma caixa de colheita de frutos de 40,8 kg, expressos em kg de sólidos solúveis totais por caixa (kg SST caixa^{-1}) (DI GIORGI et al., 1990).

h) Ácido ascórbico: o teor de ácido ascórbico foi determinado pelo método titulométrico do 2,6-diclorofenol-indofenol, realizado em triplicata, a partir de 10 mL de suco, onde foram adicionados 50 mL de ácido oxálico ($0,5 \text{ g } 100 \text{ mL}^{-1}$), utilizando-se como padrão uma solução de ácido ascórbico a 1%, sendo expresso mg de ácido ascórbico em 100 mL de suco (JACOBS, 1958).

3.7 Avaliações dos atributos químicos do solo

As coletas para a análise química do solo foram realizadas em agosto de 2016, novembro de 2016, fevereiro de 2017, maio de 2017 e agosto de 2017, contemplando o início e o término do ciclo da cultura. As amostras foram coletadas nas profundidades de 0,0-0,20; 0,20-0,40 e 0,40-0,60 m no perfil do solo, com auxílio de trado. Os parâmetros determinados foram: o potencial hidrogeniônico, hidrogênio mais alumínio (H + Al), alumínio (Al), cálcio (Ca), magnésio (Mg), potássio (K), enxofre (S), fósforo (P), matéria orgânica (MO), S, Cu, Zn, Fe, Mn, B e ainda NH_4^+ e NO_3^- , da solução do solo conforme Embrapa (1999).

3.8 Análise estatística dos dados

Os dados coletados no experimento foram submetidos à análise de variância (ANAVA) e quando houve interação entre qualquer combinação dos fatores Irrigação × Qualidade de água × Profundidade do solo × Período de coletas foram realizados os desdobramentos correspondentes. Para comparar os tratamentos foi utilizado o teste de Tukey considerando $\alpha=5\%$. Todas as análises de estatística experimental foram realizadas seguindo as recomendações de Ferreira (2000).

O modelo estatístico para as variáveis: pH, P, K, Ca, Mg, Al, H+Al, MO, NH_4^+ e NO_3^- é dado por:

$$Y=R + I + L + C + P + I*L + I*C + I*P + L*C + L*P + C*P + I*L*C + I*L*P + L*C*P + I*L*C*P \text{ (parte fixa do modelo)} + R*I + R*L + R*C + R*P + \varepsilon \text{ (parte aleatória do modelo)}.$$

Em que: Y= Variável resposta avaliada; I= irrigação (Sem irrigação, Subsuperficial e Superficial); L= Qualidade de água (Água, Esgoto Doméstico Tratado e Sem Irrigação); C= Período de Coleta (1col, 2col, 3col, 4col, 4col e 5col); P= Profundidade do solo (0,0/0,20 m, 0,20/0,40 m e 0,40/0,60 m); R=Repetição (1, 2 e 3).

O modelo estatístico para as variáveis: S, Cu, Zn, Fe, Mn e B que tiveram uma coleta é dado por:

$$Y=R + I + L + P + I*L + I*P + L*P + I*L*P + \text{(parte fixa do modelo)} + R*I + R*L + R*P + \varepsilon \text{ (parte aleatória do modelo)}.$$

Em que: Y= Variável repostada avaliada; I= irrigação (Sem irrigação, Subsuperficial e Superficial); L= Qualidade de água (Água, Esgoto Doméstico Tratado e Sem Irrigação); P= Profundidade do solo (0,0/0,20 m, 0,20/0,40 m e 0,40/0,60 m); R= Repetição (1, 2 e 3).

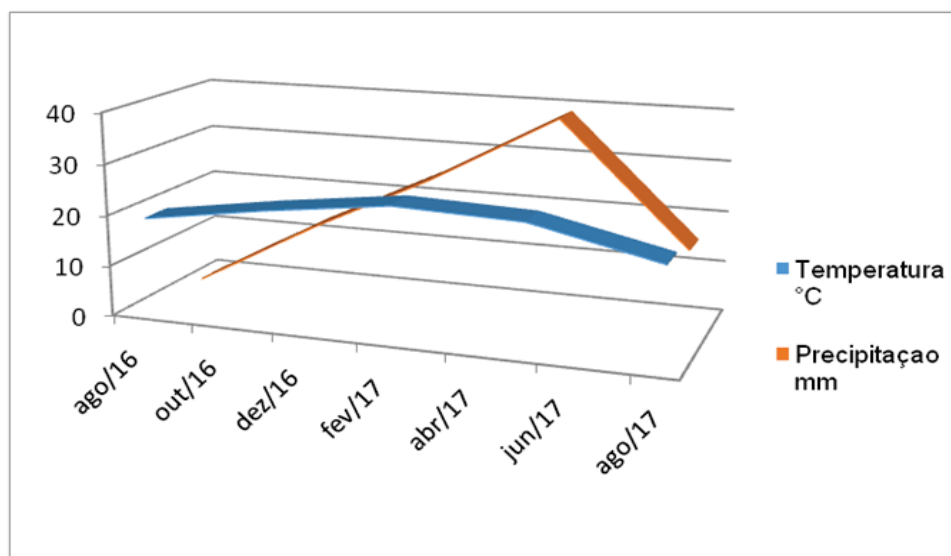
Para as análises estatísticas e desdobramento das interações foi utilizada a macro pdmix800(Saxton, 1998) no software SAS (SAS INSTITUTE INC, 2014).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Irrigação e Clima

A partir da coleta diária dos dados de temperatura e precipitação, a Figura 7 apresenta os valores médios para tais fatores, respeitando os períodos de coleta de solo e qualidade de água.

Figura 7 – Dados Climáticos durante o período de realização do experimento



Fonte: Estação Meteorológica UNASP – Engenheiro Coelho/SP

Em relação ao volume total aplicado de EDT e água de reservatório foi de aproximadamente 425 L em cada parcela dos tratamentos propostos. Ressalta-se que tal demanda de qualidade de água não foi interrompida mesmo nos meses onde as médias pluviométricas foram maiores.

4.2 Caracterização da Água de Reservatório e EDT utilizados na Irrigação

Os resultados da caracterização da água de reservatório utilizada na irrigação obtidos nas coletas realizadas entre agosto de 2016 e agosto de 2017 encontram-se na Tabela 3. Para método de comparação foram utilizados valores de referências encontrados na Resolução 357/05 do Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA).

Tabela 3 – Resultados da análise de caracterização da água de reservatório

Constituintes	Ago/16	Nov/16	Fev/17	Mai/17	Ago/17	Valores de Referência (Resolução CONAMA 357/05)
Aspecto	Límpido	Límpido	Límpido	Límpido	Límpido	Límpido
Odor	NO*	NO	NO	NO	NO	NO
Turbidez (NTU)**	0	0,13	0	0	0,1	5
C E (dSm ⁻¹)	1,0	1,17	1,01	1,146	1,01	0,5
pH	7	7	6,9	7,04	7,01	6,0 a 9,0
Ca (mg L ⁻¹)	3,5	3,1	2,8	3,1	5,38	20 a100
Mg (mg L ⁻¹)	0,3	0,4	0,4	0,71	0,92	0,3
Fe (mg L ⁻¹)	0,02	0,01	0,01	0,01	0,06	0,3
S (mg L ⁻¹)	0,3	1,4	0,9	1,3	0,1	0,002
B (mg L ⁻¹)	0	0,001	0,02	0,001	0,043	0,5
Cu (mg L ⁻¹)	0	0,1	0	0	0,01	0,009
Zn (mg L ⁻¹)	0	0	0	0	0,04	0,18
Cloreto (mg L ⁻¹)	0	0,137	0,142	0,145	0,02	250
Sulfato (mg L ⁻¹)	0	0	0	0	0	250
Fluoreto (mg L ⁻¹)	0	0	0	0	0	1,4
Fosf. total (mg L ⁻¹)	0,1	0,6	0	0,01	0,2	0,020
N total (mg L ⁻¹)	0,4	7,4	5,1	7,1	0,21	3,7
Nitrato (mg L ⁻¹)	0	2,5	0	0	0	10,0
Nitrito (mg L ⁻¹)	0	2,05	0	0	0	1,0
DQO (mg L ⁻¹)	0,018	0,022	0	0,0187	0,018	>5
Óleos e graxas	0	0	0	0	0	Ausentes
Colif. Fecais***	0	0	0	0	0	1000
Colif. Termotolerantes	0	0	0	0	0	5000

*NO (Não Objetável)

**NTU (Unidades Nefelométricas de Turbidez)

***Organismos por 100 mililitros

De acordo com Holanda e Amorim (1997), o ajustamento da água para irrigação torna-se um tanto subjetiva em decorrência de suas inúmeras características, sendo necessário avaliar certos parâmetros que produzirão efeitos diversos na relação água, solo e planta. Dependendo de suas características, a água pode ser considerada adequada para certo tipo de solo ou cultura e ou inadequada para outros.

A água de reservatório utilizada no experimento apresentou características plausíveis aos valores de referência propostos pela Resolução N° 357 de 17 de março de 2005 do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA, que dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de

efluentes, exceto as concentrações de enxofre, nitrogênio total e fósforo total apresentaram pequena variação. Tal fato pode ter ocorrido em consequência da lixiviação desses elementos na área onde se encontra o reservatório, pois se trata de uma área onde o cultivo e uso de adubos é constante.

Os resultados para caracterização do esgoto doméstico tratado proveniente da Estação de Tratamento de Esgoto da UNASP em Engenheiro Coelho – SP, estão apresentados na Tabela 4, assim como os valores de referência encontrados nos trabalhos realizados por Feigin et al (1991), Pescod (1992), Von Sperling (1996) e Fatta et al (2004). Quando comparados os valores, observa-se que o EDT utilizado no experimento não possui concentrações que se igualem aos valores de referência. Situação parecida foi identificada por Silva (2009) quando trabalhou com irrigação de efluente de esgoto tratado (EET) na cultura da laranja em Argissolo Vermelho Amarelo distrófico, onde os parâmetros analisados não possuíam concentrações que se equipararam aos valores de referência, porém os parâmetros de pH, Ca, K e DQO se encontraram dentro da amplitude dos valores de referência citados pelo autor.

Quanto à qualidade microbiológica, os critérios de utilização do esgoto doméstico tratado na irrigação se relacionam com os riscos de contaminação de quem está diretamente envolvido neste processo como é o caso dos trabalhadores rurais, bem como as consequências do seu acúmulo no solo. Como resultado deste trabalho verificou-se a presença de Coliformes Fecais e Termotolerantes nas amostras realizadas, porém em quantidade menor do que o recomendado pela Resolução do CONAMA N° 357/05.

Tabela 4 – Resultados da análise de caracterização do EDT (média de cinco coletas amostradas trimestralmente entre agosto de 2016 e agosto de 2017)

Constituintes	Ago/16	Nov/16	Fev/17	Mai/17	Ago/17	Valores de Referência
C E (dSm ⁻¹)	784,5	430,2	740	654	759,1	1,0 a 3,1
pH	7,02	6,8	7	7,1	7,5	6,5 a 8,4
Ca	31	38	24	29,5	17,2	20 a 120
Mg	4,63	6	4,58	7,2	3,26	10 a 50
Fe	3,3	5,7	2,5	2,9	0,24	5
Na	17,2	10,1	25,3	18,4	17,75	50 a 250
B	0,7	0,3	0,35	0,8	1,25	0,75
Cu	0,21	0,4	0,23	0,1	0,01	0,009
Fluoreto	0,134	0,124	0,21	0,13	0,28	250

Fosf. total	14,36	8,5	12,1	4,56	10,2	0,025
Nitrato	0,085	2,8	1,44	4,5	2,6	10,0
Nitrito	0,506	2,8	0,66	1,3	0,25	1,0
DQO	0,3	2,8	1,05	2,4	0,36	>5
Óleos e graxas	0,766	1,2	0,25	1,1	0,8	Ausentes
STD	244	300	284	123	87	500
Colif.						1000
Fecais***	43	87	55	57	42	
Colif. Term.	7,3	10,1	4,8	6	7	5000

*NO (Não Objetável)

**NTU (Unidades Nefelométricas de Turbidez)

***NMP/mL de água

Ainda no que diz respeito à questão microbiológica, no Brasil não existe legislações específicas sobre a utilização do esgoto, estabelecendo restrições ao uso de esgoto na irrigação, porém nos últimos anos alguns autores vêm propondo recomendações para utilização deste de forma segura na agricultura. Em nível mundial os países em desenvolvimento tendem a adotar o padrão de qualidade proposto pela Organização Mundial da Saúde (OMS) que estabelece diretrizes para o uso de águas residuárias na agricultura, enfatizando a restrição de cultivos ao invés do estabelecimento de padrões explícitos de qualidade microbiológica, porém observa-se que a violação destas recomendações tem sido apontada como uma fragilidade deste tipo de abordagem (BASTOS et al., 2008).

4.3 Parâmetros Químicos do Solo

4.3.1 pH

As médias foram maiores para pH nas três profundidades avaliadas 0,0/0,20 m, 0,20/0,40 m e 0,40/0,60 m, com a combinação dos tratamentos Irrigação subsuperficial e aplicação de água (Tabela 5). Sendo que na profundidade 0,20 m, na irrigação subsuperficial com água encontra-se a maior média. Nos demais não se observou diferença significativa.

Silva (2009) trabalhando com efluente de esgoto tratado aplicado também em laranjeiras obteve os maiores valores para o pH na primeira coleta de solo, a partir de então o pH foi sofrendo pequena alcalinização. Fonseca (2005) também

observou pequena alcalinização no solo de seu experimento quando trabalhou com esgoto doméstico tratado.

Por outro lado, pequenos aumentos do pH no solo irrigado com efluente de esgoto tratado podem ocorrer por estarem associados a alta taxa de desnitrificação onde produziriam íons hidroxila (SCHIPPER, 1996).

Tabela 5 -Teste de média considerando os fatores avaliados: Irrigação × Qualidade de água com desdobramento da profundidade do solo para a variável pH

Irrigação	Qualidade de água	Profundidade do solo	Média	Erro padrão da média	Tukey
Subsuperficial	Água	0,20	5,27	0,10	a
Superficial	Água	0,20	5,01	0,10	ab
Superficial	EDT	0,20	4,78	0,10	b
Sem irrigação	Sem Irrigação	0,20	4,75	0,10	b
Subsuperficial	EDT	0,20	4,60	0,10	b

Irrigação	Qualidade de água	Profundidade do solo	Média	Erro padrão da média	Tukey
Subsuperficial	Água	0,40	4,76	0,10	a
Superficial	Água	0,40	4,62	0,10	ab
Sem irrigação	Sem Irrigação	0,40	4,43	0,10	ab
Subsuperficial	EDT	0,40	4,34	0,10	b
Superficial	EDT	0,40	4,31	0,10	ab

Irrigação	Qualidade de água	Profundidade do solo	Média	Erro padrão da média	Tukey
Superficial	Água	0,60	4,52	0,10	a
Subsuperficial	Água	0,60	4,38	0,10	a
Sem irrigação	Sem Irrigação	0,60	4,31	0,10	a
Superficial	EDT	0,60	4,22	0,10	a
Subsuperficial	EDT	0,60	4,17	0,10	a

Trabalhando com água residuária de suíno aplicada ao solo, Assmann et al. (2006) verificaram que o pH do solo foi alterado em tempo mínimo de aplicação em função da quantidade de efluente aplicado.

4.3.2 Fósforo

Com relação à variável P (mg dm^{-3}) não houveram diferenças estatísticas para os quatro fatores avaliados: Irrigação, Qualidade de água, períodos de coleta e profundidade do solo (Tabela 6).

Tabela 6 - Teste de média considerando os fatores Irrigação, Qualidade de água, períodos de coleta e profundidade do solo para a variável P (mg dm^{-3}).

Irrigação	N Obs	Média	Erro padrão da média
Sem irrigação	45	16,96	2,90
Subsuperficial	90	16,60	1,83
Superficial	90	21,14	2,33
Qualidade de água	N Obs	Média	Erro padrão da média
EDT	90	25,21	2,58
Sem Irrigação	45	16,96	2,90
Água	90	12,52	1,16
Coleta	N Obs	Média	Erro padrão da média
1	45	21,21	2,62
2	45	11,50	1,33
3	45	20,26	3,68
4	45	20,82	3,96
5	45	18,64	2,27
Profundidade	N Obs	Média	Erro padrão da média
20	74	33,78	2,80
40	76	13,91	1,06
60	75	8,04	1,49

Os maiores valores de Fósforo aparecem nos tratamentos que receberam esgoto doméstico tratado via irrigação superficial na profundidade de 0,20 m. Tal fato pode ter ocorrido em razão da baixa mobilidade deste elemento no perfil do solo. Fonseca (2001) constatou que a aplicação de efluente no solo promoveu uma diminuição nas concentrações de magnésio, porém não se observou interferência alguma no teor de fósforo, tanto para o efluente como a água potável.

Duarte et al. (2008) trabalhando com hortaliças, verificaram que os valores para o fósforo presente no solo não divergiu entre os tratamentos utilizados em seu trabalho. No trabalho realizado por Sandri e Rosa (2017) os valores encontrados para o fósforo no solo que recebeu efluente e também na água de reservatório mostrou diferenças nas concentrações, ficando em torno de $12,30 \text{ mg L}^{-1}$ para o efluente. Valores estes abaixo do encontrado no presente trabalho, cuja concentração de fósforo no solo que recebeu esgoto foi de $25,21 \text{ mg L}^{-1}$

4.3.3 Potássio

Para a variável K (cmolc dm^{-3}) não houveram diferenças estatísticas para os quatro fatores avaliados: Irrigação, qualidade de água, períodos de coleta e profundidade do solo (Tabela 7).

Leal (2007) não encontrou diferenças significativas entre os tratamentos irrigados, porém observou que os valores para os tratamentos não irrigados foram maiores do que os irrigados podendo ter havido uma contribuição de Na por meio do efluente, favorecendo assim o deslocamento do K durante o complexo de troca.

Para Silva (2009) não houve diferença significativa entre os tratamentos irrigados com esgoto tratado, porém, foi observado aumento significativo nos valores de K trocável entre a primeira e a última amostragem, indicando que, provavelmente que isso deve a adubação de cobertura realizada com KCl. Pereira et al. (2008) verificaram que os teores de K no solo não foram influenciados pelas lâminas de irrigação ou profundidades do solo amostradas na primeira época de avaliação. Entretanto, houve influência destas variáveis no teor de K, sendo este influenciado nas duas últimas épocas.

Tabela 7 - Teste de média considerando os fatores Irrigação, Qualidade de água, período de coleta e profundidade do solo para a variável K (cmolc dm^{-3}).

Irrigação	N Obs	Média	Erro padrão da média
Sem irrigação	45	0,13	0,01
Subsuperficial	90	0,32	0,17
Superficial	90	0,15	0,01
Qualidade de água	N Obs	Média	Erro padrão da média
EDT	90	0,17	0,01
Sem Irrigação	45	0,13	0,01
Água	90	0,29	0,17
Período de Coleta	N Obs	Média	Erro padrão da média
1	45	0,18	0,02
2	45	0,48	0,33
3	45	0,11	0,01
4	45	0,14	0,01
5	45	0,14	0,01
Profundidade do solo	N Obs	Média	Erro padrão da média

20	74	0,41	0,20
40	76	0,13	0,01
60	75	0,10	0,01

4.3.4 Cálcio

Na Tabela 8, o tratamento com irrigação Subsuperficial e aplicação de água na profundidade do solo de 0,20 m foi o que apresentou o maior teor de cálcio ($3,51 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$), considerando a mesma profundidade de 0,20 m e tratamento irrigação Subsuperficial com aplicação do EDT, apresentou a menor média, sendo esta igual a $2,24 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$.

Ainda analisando a profundidade de 0,20 m percebe-se que os demais tratamentos (combinação dos tipos de irrigação x qualidade de água) apresentaram médias intermediárias para os valores de Ca ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$).

As profundidades de 0,20 e 0,40 m não apresentaram diferenças estatísticas entre os tratamentos.

Tabela 8 - Teste de média considerando a interação Irrigação × Qualidade de água com desdobramento da profundidade do solo para a variável Ca ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$).

Irrigação	Qualidade de água	Profundidade do solo	Média	Erro padrão da média	Tukey
Subsuperficial	Água	0,20	3,51	0,24	a
Superficial	EDT	0,20	3,07	0,24	ab
Sem irrigação	Sem Irrigação	0,20	2,70	0,24	ab
Superficial	Água	0,20	2,70	0,24	ab
Subsuperficial	EDT	0,20	2,24	0,24	b

Irrigação	Qualidade de água	Profundidade do solo	Média	Erro padrão da média	Tukey
Sem irrigação	Sem Irrigação	0,40	1,73	0,23	a
Subsuperficial	Água	0,40	1,67	0,24	a
Superficial	EDT	0,40	1,39	0,24	a
Subsuperficial	EDT	0,40	1,39	0,24	a
Superficial	Água	0,40	1,26	0,24	a

Irrigação	Qualidade de água	Profundidade do solo	Média	Erro padrão da média	Tukey
-----------	-------------------	----------------------	-------	----------------------	-------

Sem irrigação	Sem Irrigação	0,60	1,18	0,24	a
Superficial	Água	0,60	1,11	0,24	a
Superficial	EDT	0,60	1,00	0,24	a
Subsuperficial	Água	0,60	1,00	0,24	a
Subsuperficial	EDT	0,60	0,87	0,24	a

Gloagum et al. (2007) verificaram o inverso do que aconteceu neste trabalho, ou seja, a diminuição nos teores de Ca nas camadas superficiais e aumento deste nas camadas mais profundas. Leal (2006) também observou a mesma situação, sugerindo que tal concentração de Ca em maior proporção nas camadas mais profundas se deve ao processo de lixiviação.

Nos trabalhos realizados por Cabral et al. (2014) quando estes avaliaram o comportamento de alguns parâmetros no solo sob a aplicação de dosagens diferenciadas de água residuária de suíno na cultura de capim elefante, em épocas distintas, estes observaram que as maiores elevações nos teores de cálcio ocorreram logo na primeira aplicação e, nas camadas mais profundas, com diminuição dos valores para a segunda.

4.3.5 Magnésio

Para a variável resposta Mg os tratamentos irrigação subsuperficial/superficial com aplicação de água foram os que apresentaram as maiores médias, Mg = 0,96 e 0,78 cmolc dm^{-3} respectivamente. O tratamento irrigação subsuperficial e com aplicação do efluente, apresentou a menor média de Mg (0,51 cmolc dm^{-3}), em que esta diferiu estatisticamente dos tratamentos com maiores médias. No que se refere as profundidades de 0,40 e 0,60 m não houveram diferenças estatísticas entre os tratamentos avaliados para Mg (Tabela 9).

Tabela 9 -Teste de média considerando a interação Irrigação × Qualidade de água com desdobramento da profundidade do solo para a variável Mg (cmolc dm^{-3}).

Irrigação	Qualidade de água	Profundidade do solo	Média	Erro padrão da média	Tukey
Subsuperficial	Água	0,20	0,96	0,06	a
Superficial	Água	0,20	0,78	0,06	a

Sem irrigação	Sem Irrigação	0,20	0,77	0,06	ab
Superficial	EDT	0,20	0,71	0,06	ab
Subsuperficial	EfDT	0,20	0,51	0,06	b
Irrigação	Qualidade de água	Profundidade do solo	Média	Erro padrão da média	Tukey
Subsuperficial	Água	0,40	0,55	0,06	a
Sem irrigação	Sem Irrigação	0,40	0,53	0,06	a
Superficial	Água	0,40	0,41	0,06	a
Subsuperficial	EDT	0,40	0,33	0,06	a
Superficial	EDT	0,40	0,32	0,06	a
Irrigação	Qualidade de água	Profundidade do solo	Média	Erro padrão da média	Tukey
Sem irrigação	Sem Irrigação	0,60	0,42	0,06	a
Superficial	Água	0,60	0,38	0,06	a
Subsuperficial	Água	0,60	0,35	0,06	a
Superficial	EDT	0,60	0,22	0,06	a
Subsuperficial	EDT	0,60	0,22	0,06	a

No presente trabalho foi observada uma relação diretamente proporcional entre a diminuição dos valores de pH e o decréscimo de magnésio no solo, corroborando com o que afirmou Tome Jr (1997) que a diminuição dos teores de Mg está associada ao nível de acidez do solo.

Para a variável Mg com relação a interação Irrigação × Líquido aplicado nas duas primeiras coletas não houveram diferenças estatísticas entre os tratamentos. Nas coletas 3 e 4 a irrigação subsuperficial e aplicação de água apresentaram as maiores médias de Mg. Nas coletas 4 e 5 o tratamento com a menor média foi com irrigação subsuperficial com aplicação do efluente (Tabela 10).

Tabela 10 - Teste de média considerando a interação Irrigação × Qualidade de água com desdobramento do período de coletas para a variável Mg (cmolc dm⁻³)

Irrigação	Qualidade de água	Período de Coleta	Média	Erro padrão da média	Tukey
Subsuperficial	Água	1	0,66	0,07	a
Superficial	EDT	1	0,60	0,07	a
Superficial	Água	1	0,48	0,07	a
Sem irrigação	Sem Irrigação	1	0,48	0,07	a

Irrigação	Qualidade de água	Período de Coleta	Média	Erro padrão da média	Tukey
Subsuperficial	EDT	1	0,39	0,07	a

Irrigação	Qualidade de água	Período de Coleta	Média	Erro padrão da média	Tukey
Subsuperficial	Água	2	0,78	0,07	a
Sem irrigação	Sem Irrigação	2	0,68	0,07	a
Superficial	Água	2	0,66	0,07	a
Superficial	EDT	2	0,64	0,07	a
Subsuperficial	EDT	2	0,49	0,07	a

Irrigação	Qualidade de água	Período de Coleta	Média	Erro padrão da média	Tukey
Subsuperficial	Água	3	0,51	0,07	a
Sem irrigação	Sem Irrigação	3	0,44	0,07	ab
Superficial	Água	3	0,43	0,07	ab
Subsuperficial	EDT	3	0,30	0,07	ab
Superficial	EDT	3	0,15	0,07	b

Irrigação	Qualidade de água	Período de Coleta	Média	Erro padrão da média	Tukey
Subsuperficial	Água	4	0,58	0,07	a
Sem irrigação	Sem Irrigação	4	0,53	0,08	ab
Superficial	Água	4	0,50	0,07	ab
Superficial	EDT	4	0,30	0,07	ab
Subsuperficial	EDT	4	0,26	0,07	b

Irrigação	Qualidade de água	Período de Coleta	Média	Erro padrão da média	Tukey
Sem irrigação	Sem Irrigação	5	0,75	0,07	a
Subsuperficial	Água	5	0,58	0,07	ab
Superficial	Água	5	0,55	0,07	ab
Superficial	EDT	5	0,40	0,07	ab
Subsuperficial	EDT	5	0,33	0,07	b

4.3.6 Alumínio

Para a variável Al (cmolc dm⁻³) não houveram diferenças estatísticas para os quatro fatores avaliados: Irrigação, Qualidade de água, Período de coleta e profundidade do solo (Tabela 11).

Tabela 11 -Teste de média considerando os fatores Irrigação, Qualidade de água, Período de coleta e profundidade do solo para a variável Al (cmolc dm⁻³)

Irrigação	N Obs	Média	Erro padrão da média
Sem irrigação	45	0,32	0,04
Subsuperficial	90	0,28	0,04
Superficial	90	0,69	0,44
Qualidade de água	N Obs	Média	Erro padrão da média
EDT	90	0,38	0,04
Sem Irrigação	45	0,32	0,04
Água	90	0,59	0,44
Período de Coleta	N Obs	Média	Erro padrão da média
1	45	0,27	0,04
2	45	0,31	0,07
3	45	1,27	0,88
4	45	0,27	0,04
5	45	0,14	0,03
Profundidade do solo	N Obs	Média	Erro padrão da média
20	74	0,09	0,02
40	76	0,30	0,03
60	75	0,97	0,53

Em seu trabalho com água residuária, Costa (2017) verificou que o teor de alumínio no solo não variou em função das doses aplicadas, porém observou que houve aumento do mesmo em função das profundidades e o tempo de aplicação, sendo maior ao final do experimento. No presente trabalho os maiores valores ocorreram nas parcelas que receberam água via irrigação superficial nas camadas correspondentes a 0,60 m.

4.3.7 H+Al (Acidez Potencial)

Para a variável H+Al (cmolc dm⁻³) não houveram diferenças estatísticas para os quatro fatores avaliados: Irrigação, Qualidade de água, Período de coleta e profundidade do solo (Tabela 12).

Tabela 12 - Teste de média considerando os fatores Irrigação, Qualidade de água, Período de coleta e profundidade do solo para a variável H+Al (cmolc dm⁻³)

Irrigação	N Obs	Média	Erro padrão da média
Sem irrigação	45	4,91	0,16
Subsuperficial	90	4,65	0,10
Superficial	90	4,82	0,11
Qualidade de água	N Obs	Média	Erro padrão da média
EDT	90	5,14	0,11
Sem Irrigação	45	4,91	0,16
Água	90	4,33	0,09
Período de Coleta	N Obs	Média	Erro padrão da média
1	45	5,12	0,14
2	45	5,28	0,09
3	45	4,52	0,12
4	45	5,19	0,18
5	45	3,73	0,09
Profundidade do solo	N Obs	Média	Erro padrão da média
20	74	4,41	0,12
40	76	4,90	0,11
60	75	4,98	0,11

4.3.8 Matéria Orgânica (MO)

Para a variável MO (gdm⁻³) não houve diferenças estatísticas para os quatro fatores avaliados: Irrigação, Qualidade de água, Período de coleta e profundidade do solo (Tabela 13). Entretanto na primeira coleta observou-se que os maiores valores ocorreram para as parcelas que receberam água via irrigação superficial, na segunda e na quinta coletas, as parcelas que não receberam nenhum tipo de irrigação foram as que tiveram maior valor médio e, na terceira e quarta coleta constatou-se que o tratamento que recebeu EDT via irrigação superficial, tiveram os maiores valores médios.

Não se evidencia de forma clara a influência do tipo de líquido aplicado quanto ao teor de MO do solo, porém, há indícios que a forma como o líquido usado para aplicação sobre o solo, no caso via irrigação superficial tenha favorecido esta interferência, possivelmente pela variação da umidade do solo pelo fato de que houveram períodos de grande precipitação durante a execução do experimento.

Tabela 13 - Teste de média considerando a interação Irrigação × Qualidade de água com desdobramento para o período de coletas para a variável MO (g dm^{-3}).

Irrigação	Qualidade de água	Período de Coleta	Média	Erro padrão da média
Superficial	Água	1	18,81	1,32
Subsuperficial	EDT	1	17,61	1,32
Superficial	EDT	1	17,16	1,32
Subsuperficial	Água	1	16,42	1,32
Sem irrigação	Sem Irrigação	1	14,33	1,32

Irrigação	Qualidade de água	Período de Coleta	Média	Erro padrão da média
Sem irrigação	Sem Irrigação	2	23,63	1,32
Subsuperficial	Água	2	22,39	1,32
Superficial	EDT	2	22,39	1,32
Superficial	Água	2	21,79	1,32
Subsuperficial	EDT	2	21,79	1,32

Irrigação	Qualidade de água	Período de Coleta	Média	Erro padrão da média
Superficial	EDT	3	16,42	1,32
Superficial	Água	3	15,97	1,32
Subsuperficial	EDT	3	15,97	1,32
Sem irrigação	Sem Irrigação	3	15,97	1,32
Subsuperficial	Água	3	15,97	1,32

Irrigação	Qualidade de água	Período de Coleta	Média	Erro padrão da média
Superficial	EDT	4	24,18	1,32
Subsuperficial	Água	4	21,05	1,32
Sem irrigação	Sem Irrigação	4	20,07	1,35
Subsuperficial	EDT	4	20,00	1,32
Superficial	Água	4	19,26	1,32

Irrigação	Qualidade de água	Período de Coleta	Média	Erro padrão da média
Sem irrigação	Sem Irrigação	5	24,33	1,32
Superficial	EDT	5	23,14	1,32
Subsuperficial	Água	5	21,79	1,32
Superficial	Água	5	19,26	1,32
Subsuperficial	EDT	5	19,11	1,32

Sandri e Rosa (2017) trabalhando com os atributos químicos do solo irrigado com efluente de esgoto tratado, fertirrigação convencional e água de poço, afirmaram que os teores de matéria orgânica no solo elevaram ao final do experimento em todos os tratamentos e camadas de solo em que, nos tratamentos utilizando o gotejamento, as maiores elevações ocorreram na camada de solo de 0,20 a 0,40 m, enquanto que usando a microaspersão este comportamento ocorreu na camada de solo de 0,0 a 0,20m, com maior elevação de 127,7%.

Nascimento et al. (2009) constataram a importância da irrigação com água residuária, a qual provocou um aumento na matéria orgânica do solo quando comparada à água de abastecimento, contrapondo o que ocorreu neste trabalho, porém há que considerar que houve aporte de matéria orgânica no solo. De acordo com Lopes (1989), uma quantidade adequada de matéria orgânica traz inúmeros benefícios ao solo, melhorando suas condições físicas, aumentando a retenção de água, diminuindo as perdas por erosão e fornecendo nutrientes necessários as plantas.

4.3.9 Amônio (NH_4^+)

Para a variável NH_4^+ (mg Kg^{-1}) não houve diferenças estatísticas para os quatro fatores avaliados: Irrigação, Qualidade de água, Período de coleta e profundidade do solo (Tabela 14).

Tabela 14 -Teste de média considerando os fatores Irrigação, Qualidade de água, Período de coleta e profundidade do solo para a variável NH_4^+ (mg Kg^{-1})

Irrigação	N Obs	Média	Erro padrão da média
Sem irrigação	45	6,46	0,42
Subsuperficial	90	7,18	0,33
Superficial	90	6,73	0,35
Qualidade de água	N Obs	Média	Erro padrão da média
EDT	90	7,38	0,34
Sem Irrigação	45	6,46	0,42
Água	90	6,53	0,34
Período de Coleta	N Obs	Média	Erro padrão da média
2	45	5,66	0,35
3	45	5,29	0,33
4	45	9,68	0,30

5	45	6,79	0,36
Profundidade do solo	N Obs	Média	Erro padrão da média
20	74	7,27	0,40
40	76	6,55	0,35
60	75	6,76	0,34

Ressalta-se que os maiores teores de NH_4^+ ocorreram para as parcelas que receberam EDT via irrigação subsuperficial, evidenciando tal aumento nas últimas coletas, percebendo-se maior concentração, os menores valores ocorreram nas parcelas que não receberam nenhum tipo de irrigação. Segundo Ceretta et al. (2003) a alta mobilidade destas formas nítricas devido a baixa energia na sua adsorção as partículas do solo, pode resultar em perdas destes nutrientes

4.3.10 Nitrato (NO_3^-)

Com relação a variável NO_3^- sem irrigação na fonte de variação “irrigação” apresentou a maior média (25,64), em contrapartida, a irrigação superficial apresentou a menor média (20,36), a irrigação subsuperficial apresentou média intermediária (21,76). Sobre a fonte de variação qualidade da água, o uso de água apresentou a menor média (19,26) ao passo que sem irrigação apresentou a maior média (25,64). As fontes de variação período de coleta e profundidade do solo não apresentaram diferenças entre as médias dos tratamentos (Tabela 15).

Tabela 15 - Teste de média considerando os fatores Irrigação, Qualidade de água, Período de coleta e profundidade do solo para a variável NO_3^- (mg Kg^{-1}).

Irrigação	N Obs	Média	Erro padrão da média	Tukey
Sem irrigação	45	25,64	3,94	A
Subsuperficial	90	21,76	1,16	Ab
Superficial	90	20,36	1,33	b
Qualidade de água	N Obs	Média	Erro padrão da média	Tukey
Sem Irrigação	45	25,64	3,94	a
EDT	90	22,87	1,26	ab
Água	90	19,26	1,20	b
Período de Coleta	N Obs	Média	Erro padrão da média	Tukey
2	45	15,70	1,15	a
3	45	16,18	1,21	a

4	45	22,56	0,99	a
5	45	33,48	3,13	a
Profundidade do solo	N Obs	Média	Erro padrão da média	Tukey
20	74	27,57	2,03	a
40	76	20,61	2,07	a
60	75	17,87	0,96	a

Barbosa (2014) aplicando esgoto doméstico tratado com e sem complementação nutricional, via irrigação subsuperficial observou a redução da lixiviação do nitrato em relação ao cultivo não irrigado com adubação de cobertura na cana de açúcar.

4.3.11 Enxofre

Para a variável S não houve diferenças estatísticas para os quatro fatores avaliados: Irrigação, Qualidade de água, Período de coleta e profundidade do solo (Tabela 16).

Tabela 16 - Teste de média considerando os fatores Irrigação, Qualidade de água, Período de coleta e profundidade do solo para a variável S.

Irrigação	N Obs	Média	Erro padrão da média
Sem irrigação	45	29,24	3,82
Subsuperficial	90	22,01	1,38
Superficial	90	22,89	1,49
Qualidade de água	N Obs	Média	Erro padrão da média
EDT	90	22,78	1,58
Sem Irrigação	45	29,24	3,82
Água	90	22,12	1,29
Profundidade do solo	N Obs	Média	Erro padrão da média
20	74	18,85	0,77
40	76	25,89	1,64
60	75	26,67	2,59

Observa-se que os valores médios foram maiores para as parcelas que não receberam nenhum tipo de irrigação. Sandri et al (2017) em seu trabalho com irrigação via gotejamento com bananeira, relataram que o teor de enxofre no solo elevou-se significativamente entre o início e final do ciclo da bananeira cultura em todos os tratamentos, entretanto, nos tratamentos irrigados por gotejamento essa elevação ocorreu em maior proporção em comparação ao uso da microaspersão.

Fonseca (2005) relatou alterações insignificantes na disponibilidade de enxofre na irrigação com esgoto doméstico tratado. Ferraz (2009) relata que houve um aumento acentuado na concentração de enxofre no solo quanto este foi adubado com lodo de esgoto, para Moreira (2013) a mineralização da matéria orgânica está diretamente relacionado com a concentração de enxofre presente no solo.

4.3.12 Cobre

Para a variável cobre, não houve diferenças estatísticas para os quatro fatores avaliados: Irrigação, Qualidade de água, Período de coleta e profundidade do solo (Tabela 17). Entretanto é possível observar que o teor de Cu foi maior nas parcelas que receberam EDT via irrigação superficial na camada de 0,20 m.

Tabela 17 -Teste de média considerando os fatores Irrigação, Qualidade de água, Período de coleta e profundidade do solo para a variável Cu.

Irrigação	N Obs	Média	Erro padrão da média
Sem irrigação	45	10,11	2,56
Subsuperficial	90	13,65	3,59
Superficial	90	14,12	3,80
Qualidade de água	N Obs	Média	Erro padrão da média
EDT	90	16,47	3,58
Sem Irrigação	45	10,11	2,56
Água	90	11,29	3,71
Profundidade do solo	N Obs	Média	Erro padrão da média
20	74	18,02	4,21
40	76	7,73	1,06
60	75	13,63	4,47

De acordo com Duarte et al (2008) a concentração de Cu no solo não divergiu da aplicação via irrigação de esgoto doméstico tratado quando foram utilizados dois sistemas de tratamento do esgoto, um anaeróbio e outro realizado por um sistema de lodos ativados e com água potável.

Por sua vez, Giroto et al. (2007) verificaram alterações químicas no solo que recebeu aplicações sucessivas de água residuária de suinocultura, principalmente o acúmulo de Cu nas camadas mais superficiais.

4.3.13 Zinco

Para a variável Zn não houve diferenças estatísticas para os quatro fatores avaliados: Irrigação, Qualidade de água, Período de coleta e profundidade do solo (Tabela 18). Constata-se que os valores médios para todos os tratamentos estiveram muito próximos para todos os fatores avaliados, porém com pequena relevância para aquelas que receberam irrigação via gotejamento superficial com EDT na camada de 0,20 m do solo.

Tabela 18 - Teste de média considerando os fatores Irrigação, Qualidade de água, Período de coleta e profundidade do solo para a variável Zn.

Irrigação	N Obs	Média	Erro padrão da média
Sem irrigação	45	4,58	0,76
Subsuperficial	90	4,44	0,30
Superficial	90	4,81	0,56
Qualidade de água	N Obs	Média	Erro padrão da média
EDT	90	5,19	0,56
Sem Irrigação	45	4,58	0,76
Água	90	4,06	0,24
Profundidade do solo	N Obs	Média	Erro padrão da média
20	74	5,65	0,60
40	76	3,83	0,20
60	75	4,37	0,51

O aumento do teor e também o acúmulo de zinco no solo foi observado por Nascimento et al. (2004) quando da adição de lodo de esgoto ao solo. Em seu trabalho Moreira (2013) detectou que os teores de zinco foram inexpressivos, porém mesmo tendo pouca contribuição foi possível observar que os teores do elemento em questão foram maiores nos tratamentos que receberam água residuária.

4.3.14 Ferro

Para a variável Fe não houve diferenças estatísticas para os quatro fatores avaliados: Irrigação, Qualidade de água, Período de coleta e profundidade do solo (Tabela 19).

Tabela 22 - Teste de média considerando os fatores Irrigação, Qualidade de água, Período de coleta e profundidade do solo para a variável Fe.

Irrigação	N Obs	Média	Erro padrão da média
Sem irrigação	45	34,22	7,91
Subsuperficial	90	39,82	5,28
Superficial	90	46,53	3,01
Qualidade de água	N Obs	Média	Erro padrão da média
EDT	90	46,19	5,05
Sem Irrigação	45	34,22	7,91
Água	90	40,16	3,42
Profundidade do solo	N Obs	Média	Erro padrão da média
20	74	41,65	5,01
40	76	42,14	5,26
60	75	40,36	5,20

Em trabalho realizado por Trani e Carrijo (2004) estes verificaram que as concentrações máximas para o ferro com água de irrigação devem estar entre 0,2 e 1,5 mg L⁻¹ considerando que valores maiores ocorrerão precipitações de cloreto de ferro nas águas que apresentam alto teor de cloro.

4.3.15 Manganês

Para Mn na fonte de variação qualidade de água a aplicação de efluente apresentou a maior média (10,78) ao passo que a aplicação de água apresentou a menor média (5,13) e sem irrigação apresentou média intermediária (5,35). As fontes de variação irrigação e profundidade do solo não apresentam diferenças estatísticas (Tabela 20).

Tabela 20 - Teste de média considerando os fatores Irrigação, Qualidade de água, Período de coleta e profundidade do solo para a variável Mn.

Irrigação	N Obs	Média	Erro padrão da média	Tukey
Sem irrigação	45	5,35	2,49	a
Subsuperficial	90	8,04	1,06	a
Superficial	90	7,87	1,76	a
Qualidade de água	N Obs	Média	Erro padrão da média	Tukey

EDT	90	10,78	1,71	a
Sem Irrigação	45	5,35	2,49	ab
Água	90	5,13	0,61	b
Profundidade do solo	N Obs	Média	Erro padrão da média	Tukey
20	74	9,98	1,88	a
40	76	6,34	1,42	a
60	75	5,98	1,50	a

Duarte et al. (2008) e Fonseca et al. (2007) observaram valores entre 1,5 a 5,0 mg dm⁻³ tanto no solo irrigado com efluente tratado quanto com água potável.

4.3.16 Boro

Para a variável B a fonte de variação irrigação, o nível sem irrigação apresentou a maior média (0,33) ao passo que a menor média foi para o nível subsuperficial (0,27). As fontes de variação qualidade de água e profundidade não apresentaram diferenças estatísticas entre os tratamentos (Tabela 21).

Tabela 21 - Teste de média considerando os fatores Irrigação, Qualidade de água, Período de coleta e profundidade do solo para a variável B.

Irrigação	N Obs	Média	Erro padrão da média	Tukey
Sem irrigação	45	0,33	0,01	A
Superficial	90	0,32	0,01	Ab
Subsuperficial	90	0,27	0,01	B
Qualidade de água	N Obs	Média	Erro padrão da média	
EDT	90	0,30	0,01	A
Sem Irrigação	45	0,33	0,01	A
Água	90	0,28	0,01	a
Profundidade do solo	N Obs	Média	Erro padrão da média	
20	74	0,28	0,01	a
40	76	0,29	0,02	a
60	75	0,33	0,01	a

Segundo Malavolta et al. (1997) a disponibilidade de B no solo é significativamente afetada pelo pH do solo, sendo que este elemento fica mais disponível quando o pH varia de 5,0 a 5,5.

4.4 Análise Tecnológica e Produtividade da Cultura

Com relação aos resultados sobre a produção da laranjeira (Kg) ao final do experimento (Tabela 22), observa-se que o tratamento Sem Irrigação (SI) obteve maior produção de frutos em relação aos demais tratamentos. É importante ressaltar que durante o período de execução do experimento a planta não sofreu estresse hídrico o que possivelmente impediu maior frutificação e conseqüentemente menor produção nos tratamentos que receberam qualidade de água. Outro fato a ser considerado é a idade do pomar que perpassa 20 anos.

Tabela 22 – Produção de laranja em função do manejo de irrigação e uso do efluente

TRATAMENTOS	PRODUÇÃO DE FRUTOS (Kg)
SUP_E	216
SUB_E	261
SUP_A	254
SUB_A	266
SI	294

*SUP_E – Irrigação por gotejamento superficial com esgoto doméstico tratado SUB_E – Irrigação por gotejamento subsuperficial com esgoto doméstico tratado; SUP_A – Irrigação por gotejamento superficial com água de reservatório; SUB_A – Irrigação por gotejamento subsuperficial com água de reservatório; SI – Sem Irrigação.

Os valores para Massa do Fruto (MF), Massa do Suco (MS) e Rendimento do Suco (%) (Tabela 23), nota-se que os maiores valores para massa do fruto e massa do suco ocorreram no tratamento que recebeu água de forma subsuperficial. Já para o rendimento do suco o tratamento que recebeu esgoto doméstico tratado via subsuperficial obteve maior porcentagem.

Tabela 23 - Características físicas dos frutos

Tratamento	Massa do fruto MF (g)	Massa do sucoMS (g)	Rendimento do Suco RS (%)
SUP_E	161,4	80,3	50
SUB_E	164,3	90,8	55
SUP_A	176	87,6	50
SUB_A	177,2	91,6	50
SI	130,8	56,3	42

*SUP_E – Irrigação por gotejamento superficial com esgoto doméstico tratado SUB_E – Irrigação por gotejamento subsuperficial com esgoto doméstico tratado; SUP_A – Irrigação por gotejamento superficial com água de reservatório; SUB_A – Irrigação por gotejamento subsuperficial com água de reservatório; SI – Sem Irrigação

A Tabela 24 apresenta as características químicas dos frutos colhidos ao final do experimento, de acordo com o tratamento recebido. Observa-se que os maiores teores de SST (°Brix), Ácido Ascórbico e *Ratio* ocorreram nas parcelas que receberam água de reservatório via irrigação superficial, as parcelas que receberam água de reservatório via irrigação subsuperficial tiveram a Acidez Titulável e Índice Tecnológico em maior quantidade.

Tabela 24 –Determinação química da amostragem dos frutos colhidos

Tratamento	SST (°Brix)	Acidez Titulável (Ac. Cítrico)	Acido ascórbico (Vit. C mg100g)	“Ratio” (%)	Índice Tecnológico (IT)
SUP_E	9,87	0,83	42,27	11,89	2,01
SUB_E	9,75	1,03	40,51	9,47	2,18
SUP_A	10,85	0,77	47,55	14,09	2,21
SUB_A	11,72	1,07	45,79	10,95	2,39
SI	10,60	0,82	47,55	12,92	1,81

Fidalski et al (2006) afirmaram que o desenvolvimento das plantas e o desenvolvimento dos frutos cítricos de qualidade, estão diretamente relacionados ao manejo com do solo com matéria orgânica. Neste trabalho observou-se que os maiores valores no que diz respeito a produtividade, características químicas e físicas dos frutos, ocorreram nas parcelas que não receberam esgoto doméstico tratado, porém há de se ressaltar que utilizou-se de apenas um ciclo da cultura, ou seja, um ano, tempo insuficiente para detalhar de forma mais precisa a relação da produtividade com o acúmulo de matéria orgânica pelo EDT.

Barbosa (2014) trabalhando com produção de cana de açúcar irrigada com esgoto doméstico tratado via gotejamento subsuperficial concluiu que a utilização deste promoveu incrementos na estimativa de produção de colmos em relação ao cultivo não irrigado e que a adoção deste tipo de irrigação independente da qualidade da água elevou o rendimento de açúcar teórico recuperável da cana.

5 CONCLUSÕES

O tratamento via irrigação subsuperficial com aplicação de água foi o que apresentou as maiores médias para a maioria das variáveis avaliadas como o pH, cálcio na profundidade de 0,20 m, magnésio nas profundidades 0,20 e 0,40 m também nas coletas de 1 a 4 e matéria orgânica na primeira coleta.

O tratamento irrigação subsuperficial com aplicação de efluente apresentou as menores médias para as variáveis como o pH, Ca, Mg nas profundidades de 0,20 e 0,60 m e ainda magnésio nas coletas 1,2, 4 e 5 e, matéria orgânica nas coletas 2 e 5. O tratamento sem irrigação (SI) apresentou as maiores médias para as variáveis: NO_3^- , S, Zn e B e o tratamento subsuperficial apresentou as maiores médias para as variáveis: NH_4^+ e Mn. Há que se considerar que durante o ciclo da cultura houve um grande volume de precipitação que pode ter interferido diretamente na movimentação dos nutrientes no solo e conseqüentemente afetado a produtividade da planta.

A aplicação do efluente quando comparado a água apresentou as maiores médias para as variáveis: NH_4^+ , Cu, Zn, Fe e Mn.

O presente trabalho apresentou resultados promissores em relação à irrigação da cultura da laranja com EDT via irrigação superficial e subsuperficial, porém sugere-se, trabalhos futuros, estudos em longo prazo que detalhem de forma mais minuciosa o balanço de nutrientes realmente aplicados no solo.

REFERENCIAS

AGUIAR, M I. **Qualidade física do solo em sistemas agroflorestais**. 2008. 91 p. Dissertação (Mestrado em solos e nutrição de plantas) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2008.

AGENCIA NACIONAL DAS ÁGUAS (ANA) **Relatório de conjuntura de recursos hídricos no Brasil, 2009: Demandas de uso consuntivo**. 2011. Disponível em: <<http://conjuntura.ana.gov.br/conjuntura/>>. Acesso em: 10 mar. 2016.

ANDRADE, I. P. et al. Impacto do reúso de efluentes de esgoto no lixiviado de solos cultivados com milho. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 9, p.212-216, 2005.

APHA, **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater** (1975), American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environmental Generation. 14th ed. Washington, 1999.

ARCHELA, E. et al. Considerações sobre a geração de efluentes líquidos em centros urbanos. **Geografia**, Londrina, v. 12, n. 1. p. 517-525. 2003.

ASSMANN, A.P. et al. Efeito de doses crescentes de esterco líquido de suínos na intensidade de antracnose e produtividade de soja. **Synergismus scyentifica UTFPR**, Pato Branco, v.1, n.1-4, p.1-778, 2006.

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

BARROS, A.C. et al. Distribuição de água no solo aplicado por gotejamento enterrado e superficial: Manejo de solo água e planta. **Revista Brasileira de Engenharia agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 13, n. 6, Nov/dez, 2009.

BASTOS, R. K. X. **Utilização agrícola de esgotos sanitários**. ABES. São Paulo. 1999.

BASTOS, R.K.X. **Utilização de esgotos tratados em fertirrigação, hidroponia e piscicultura**. PROSAB. Viçosa, Minas Gerais, 2003.

BASTOS, R. K. X. et al. Subsídios à Regulamentação do reúso da Água no Brasil - Utilização de Esgotos Sanitários Tratados para Fins Agrícolas, Urbanos e Piscicultura. **Revista DAE**, v. 1, p. 50-62, 2008.

BAUMGARTNER, D. et al. Reúso de águas residuárias da piscicultura e da suinocultura na irrigação da cultura do alface. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 27, n. 1, p. 152-163, 2007.

BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Dinâmica e função da matéria orgânica. In: SANTOS, G. de A.; SILVA, L. S. da; CANELLAS, L. P.; CAMARGO, F. de O. **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. 2ª ed. Porto Alegre: Metrópole, cap. 2, p. 7-18. 2008.

BERTONCINI, E. I. Tratamento de efluentes e reúso da água no meio agrícola. **Revista Tecnologia & Inovação Agropecuária**. v.1, n.1 152-168, 2008.

BRASIL - Ministério da Agricultura e do Abastecimento. Instrução normativa nº 01, de 7 de janeiro de 2000. **Regulamento técnico geral para fixação dos padrões de identidade e qualidade para suco de fruta**. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 2000.

BRASIL – Ministério do Meio Ambiente. Resolução do CONAMA – **Regulamentação do Uso Agrícola do Lodo de Esgoto**. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/CONAMA>> Acesso em 15 out. 2016

CABRAL, J. R. et al. 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. 692-697, 2010.

CAMARGO, M.B. P. et al. Modelo agro meteorológico de estimativa de produtividade para o cultivar de laranja Valência. **Bragantia**, vol. 58, n.1, p. 171-178, 1999.

CAPRA, A.; SCICOLONE, B. Emitter and filter tests for wastewater reuse by drip irrigation. **Agricultural Water Management**, v.68, p. 135-149, 2004.

CAVINATTO, A.S; PAGANINI, W.S. Os microrganismos nas atividades de disposição de esgotos no solo: estudo de caso. **Revista Engenharia Sanitária Ambiental**, vol.12, n.1, p. 42-51, 2007.

CLARO, E. M. T. et al. Avaliação (em escala laboratorial) da aplicação do processo eletrolítico em efluente de lagoa de estabilização de esgoto urbano. **QuímicaNova**, v.33, n.3, p. 557- 561, 2010.

COELHO, E. F. et al. Irrigação em citros nas condições do nordeste do Brasil. **Laranja**, Cordeirópolis, v.27, n.2, p. 297-320, 2006.

COELHO, E.F.; MAGALHÃES, A.F.J.; COELHO FILHO, M.A. **Irrigação e fertirrigação em citros**. EMBRAPA, Cruz das Almas, cap. 14, p. 413 - 439, 2004.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (BRASIL). **Resoluções do CONAMA: Resoluções vigentes publicadas entre setembro de 1984 e janeiro de 2012**/ Ministério do Meio Ambiente. Brasília: MMA, 2012. 1126 p.

COSTA, Higon Pereira. **Uso de água residuária de suinocultura em pastagens: atributos químicos e translocação de nutrientes no solo**. Trabalho de conclusão de curso – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia – MG. 2017.

COSTANZI, R.N. **Tratamento de Efluentes Domésticos por Sistemas Integrados de Lodos Ativadas a Membranas de Ultrafiltração visando o Reúso de Água**. 200 p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil). Politécnica da Universidade de São Paulo, São Carlos. 2008.

DA FONSECA, A. F. **Disponibilidade de Nitrogênio, alterações nas características químicas do solo e do milho pela aplicação de esgoto tratado**. 126 p. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba. 2001.

DASBERG, S.; BRESLER, E. **Drip irrigation manual**. Bet Dagan: International Irrigation Information Center, n. 9, 1985, p.95

DEON, M. D. **Reciclagem de águas e nutrientes pela irrigação da cana-de-açúcar com efluente de tratamento de esgoto**. 89p. 2010. Tese (Doutorado em Ciências) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba. 2010

DI GIORGI, F. Exaustão do modelo de remuneração na citricultura. **Laranja**, Cordeirópolis, v. 12, n. 1, p. 95-115, 1991.

DONADIO, L. C.; FIGUEIREDO, J. O.; PIO, R. M. **Variedades cítricas brasileiras**. Jaboticabal: FUNEP, 1995, p.228.

DONEEN, L.D.; WESTCOT, D.W. Irrigation practice and water management. Roma: FAO, **Irrigation and Drainage**, 1988, p.71.

EI-HAMOURI, B.; HANDOUF, A.; MEKRANE, M.; TOUZANI, M. Use of wastewater for crop production under arid and saline conditions: yield and hygienic quality of the crop and soil contaminations. **Water Science and Technology**, Oxford, v.33, n.10-11, p.327-34, 1996.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de Análises Químicas de Solos, Plantas e Fertilizantes**. SILVA, F. C. da coord. Campinas: Embrapa Informática Agropecuária; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1999. 370p.

FAO, FAO's **Information System on Water and Agriculture 2015**. Disponível em: http://www.fao.org/nr/water/aquastat/globalmaps/World-Map.WithA.Twith_eng.htm. Acesso em: 05 mar. 2016.

FATTA, D.et al. Urban wastewater treatment and reclamation for agricultural irrigation: the situation in Morocco and Palestine. **The Environmentalist**, Chicago, v24, n4, p. 227-236, 2004.

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

FERREIRA, P. V. **Estatística experimental aplicada à agronomia**. 3. ed. Maceió, AL: Edufal, 2000. 442 p.

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. 41, n. 16, p.1974 -1985, 2010.

FIRME, L. P. **Efeito da irrigação com efluente de esgoto tratado no sistema solo-planta em Latossolo cultivado com cana-de-açúcar**. 110 p. 2007. Tese (Doutorado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba. 2007.

FOLEGATTI, M. V. **Fertirrigação: Citrus, Flores e Hortaliças**. Guaíba. 1999. 460 p.

FONSECA, A. F. et al. Agricultural use of treated sewage effluents: agronomic and environmental implications and perspectives for Brazil. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 64, n.2, p. 194-209, 2007.

FUENTES, R. E. et al. Characteristics, and carbon and nitrogen dynamics in soil irrigated with wastewater for different lengths of time, **BioresourceTechnology**, v. 85, p. 179-197, 2002.

GOMES, T. M. et al. Aporte de nutrientes e estado nutricional da cana-de-açúcar irrigada com efluente de estação de tratamento de esgoto com e sem desinfecção. **Revista DAE**, São Paulo, v. 180, p. 17 – 23. 2009.

HASSE, G. **A laranja no Brasil 1500-1987: a história da agroindústria cítrica brasileira, dos quintais coloniais às fábricas exportadoras de suco do século XX**. São Paulo. 296p. 1987

HEIDARPOUR, M. et al. The effects of treated wastewater on soil chemical properties using subsurface and surface irrigation methods. **Agricultural water management**, Amsterdam, v. 90, p. 87-94, 2007.

HESPAHOL, I. Potencial de reúso de água no Brasil: Agricultura, Indústrias, municípios, recarga de aquíferos. **Bahia análises e dados**, Salvador, v. 13, n. especial, p. 411-437, 2003.

HOLANDA, J. S. de; AMORIM, J. R. A. de. Qualidade da água para irrigação. In: GHEYI, H. R., QUEIROZ, J. E.; MEDEIROS, J. F. de. (Ed.). **Manejo e controle de salinidade em agricultura irrigada**. Campina Grande: SBEA/UFPB, cap. 5, p. 1-27, 1997.

JACOBS, M.B. **The chemical analysis of foods and food products**. New York: Van Nostrand. 1958, 979p.

KALAVROUZOTIS, K. I. et al. Effects of treated municipal wastewater on the essential nutrients interactions in the plant of Brassica oleracea var. Itálica. **Desalination**, Amsterdam, v. 242, p. 297-312, 2009.

KHAMKURE, S. et al. Number of residual thermotolerant coliforms on plants and in soil when using reclaimed domestic wastewater for irrigation. **Water Science and Technology**, v. 67, n.2, p. 380-386, 2013.

KOLLER, O.L.; SOPRANO, E.; COSTA, A.C.Z.E. Avaliação de porta enxertos para laranjeira “Hamlin” em Santa Catarina. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 47, p. 325-336, 2000.

KOURAA, A. et al. Resuse of waster water trated by a combined stabilization pond system in Benslimane. **Unban Water**, Londres, v. 4, p. 373-378, 2002.

LADO, M. BEN-HUR, M. Treated domestic sewahe irrigation effects on soil hydraulic properties inarid and semiarid zones: **A review. Soil & tillage research**, Amsterdam, v. 106, p. 152-163, 2009.

LAU, L. S. Water from sewage efluent by irrigation: A perspestive for Hawaii.**JAWARA - Journal of the American water ressources association**. v. 3,n. 15. p. 740-752, 1979.

LEAL, R. M. P. **Efeito da irrigação com efluente de esgoto tratado em propriedades químicas de um Latossolo cultivado com Cana-de-açúcar**. 110 p., 2007. **Dissertação (Mestrado em Agronomia)** - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba. 2007

LEAL, R. M. P. et al. Soil exchangeable cations, sugarcane production and nutrient uptake after wastewater irrigation. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 66, n.2, p. 242-249, 2009.

LEITE, G.S.; AFONSO, R. J.C.F.; AQUINO, S.F. Caracterização de contaminantes presentes em sistemas de tratamento de esgotos, por cromatografia líquida acoplada à espectrometria de massas tandem em alta resolução. **Química Nova**, v.33, n.3, p.734-738, 2010.

LEMOS, E.; FERREIRA, D.C. **Fruticultura Irrigada**. Caderno didático. Universidade Federal de Lavras – UFLA Pós Graduação em Recursos Hídricos em Sistemas Agrícolas, Lavras/MG. 2010. 24 p.

LOPES, A. S. **Manual de fertilidade do solo**. São Paulo: Anda/Potafos, 1989. 155p.

LUBELLO, C. et al. Municipal treated wastewater reuse for plant nurseries irrigation. **Water research**, v. 38, p. 2939-2947, 2004.

MACHADO, T.V. **Avaliação sensorial e físico-química do suco de laranja proveniente das etapas do processamento do suco concentrado e**

congelado. 117 p. 2010. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Alimentos) - Faculdade de Ciências Farmacêuticas, Universidade Estadual Paulista, 2010.

MANCUSO, P. S.; SANTOS, H. F. **Reúso de água**. Barueri: Manole, 2003. 155p.

MANDAL, K. U. et al. Changes in soil hydraulic conductivity, runoff, and soil loss due to irrigation with different types of saline-sodic water. **Geoderma**, v. 36, p. 509-516, 2008.

MARA, D.; CAIRNCROSS, S. **Guidelines for the safe use of wastewater and excreta in agriculture and aquaculture: Measures for public health protection**. Geneva: World Health Organization, 187 p. 1989.

MARQUES, K. M. C. Uso de esgotos tratados em irrigação: aspectos agrônômicos e ambientais. In: BASTOS, R. K. X. **Utilização de esgotos tratados em fertirrigação, hidroponia e psicultura**. Rio de Janeiro: ABES, cap. 3, p. 61-116. 2003.

MARQUES, P. A. A.; FRIZZONE, J. A.; TEIXEIRA, M. B. O estado da arte da SDI. **Colloquium Agrarian**, v.2, p.17-31, 2006.

MARIN, F.R. et al. **Balanco de energia e consumo hídrico em pomar de lima-ácida 'Tahiti'**. Revista Brasileira de Meteorologia, v.17, n.2, p.219-228, 2002.

MARTINS, C. R.; VALENCIO, N.F.L.da S.; LEME, A. A valoração dos recursos hídricos e impasse socioambiental na agricultura paulista: alguns desafios para a gestão de políticas públicas. In: **IV CONGRESSO NACIONAL DE RECURSOS HÍDRICOS. ANAIS**. Foz do Iguaçu- PR, 2001.

MARTINS, S.C.S.; MARTINS, C.M. Potencial de reuso da água residuária de uma estação de tratamento de esgoto: evolução e caracterização da população bacteriana. **Enciclopédia Biosfera**, v.10, n.18, 2014

MARTINS, C.L; CASTILHOS JUNIOR, A.B.; COSTA, R.H.R. Desempenho de sistema de tratamento de lixiviado de aterro sanitário com recirculação do efluente. **Engenharia Sanitária e Ambiental**. v.15, n.4, p. 401-410, 2010.

MATTOS, K. M. C. **Viabilidade da Irrigação com água contaminada por esgoto doméstico na produção hortícola**. 168 p. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu, 2003.

MAY, D.; HANSON, B. The effect of drip line placement on yield and quality of drip-irrigated processing tomatoes. **Irrigation and Drainage System**, v.21, p.109-118, 2007.

MEDEIROS, S. S. et al. Utilização de águas residuárias de origem doméstica na agricultura: estudo das alterações químicas do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola**, Campina Grande, v. 9, n. 4, p. 603-612, 2005.

MELO, L. C. A.; SILVA, C. A.; DIAS, C. A. Caracterização da matriz orgânica de resíduos de origens diversas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, n.1, p.101-110, 2008.

MENDES, A.A.T. Irrigação: **Tecnologia e Produtividade Irrigaplan** - Leme – SP. Disponível em: <http://www.agr.feis.unesp.br/alfredo.htm>. Acesso em: 12maio2016

METCALF; EDDY. Wastewater Engineering: Treatment and reuse. **4th ed. Revisão de George Tchobanoglous, Franklin Burton e David Stensel**. New York: McGraw-Hill. 2003. p.1401

MOREIRA, L. L. Q. Alterações químicas no sistema solo-planta após adubação com lodo de esgoto compostado e irrigação com água residuária em laranjeira 'Valência'. **Dissertação (Mestrado)** – Botucatu, 2013 68 p.

MORGAN, K. T. et al. Effects of reclaimed municipal waste water on horticultural characteristics, fruit quality, and soil and leaf mineral concentration of citrus. **HortScience**, v. 43, p. 459-464, 2008.

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 biossólido. **Revista Verde**, Mossoró – RN, v.4, n.1, p. 08 – 15. 2009.

NEVES, M.F. O retrato da citricultura brasileira. Elaboração: **Mark Estrat Centro de Pesquisa e Projetos em Marketing e Estratégia**. 2010.

Organização Mundial da Saúde - OMS. **Directrices sanitárias sobre el uso de aguas residuales en agricultura y acuicultura**. Genebra. 1989. 90p.

ORON, G. et al. Effluent reuse by trickle irrigation. **Water Science and Technology**, Oxford, v.24, n.9, p.103-8, 1991.

PAGANINI, W. da S. **Reúso de Água na Agricultura**. In: MANCUSO, PEDRO CAETANO S.; SANTOS, HILTON FELÍCIO dos. Reúso de Água. Barueri: Manole, p. 339-401, 2003.

PARKES, M.; YAO, W. W.; MA, X. Y.; LI, J. Simulation of point source wetting pattern of subsurface drip irrigation. **Irrigation Science**, v.29, p.331-339, 2010.

PAULA, A. M. **Atributos microbiológicos do solo em área de pastagem irrigada com lâminas excedentes de efluente de esgoto tratado**. 2008. 120p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2008.

PALESE, A. et al. Irrigation of olive groves in Southern Italy with treated municipalwastewater: Effects on microbiological quality of soil and fruits. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 129, p. 43-51, 2009.

PEREIRA, A.B.; VILLA NOVA, N.A.; ALFARO, A.T. Necessidades hídricas de citros e macieiras a partir da área foliar e da energia solar. **Revista Brasileira de Fruticultura**. vol.31, n.3, 2009.

PEREIRA, B. F. F. **Alterações químicas no sistema solo planta irrigado com efluente de esgoto tratado no cultivo dos citros**. 2009. 164 p. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba.2009.

PESCOD, M. B. Wastewater treatment and use in agriculture. Rome: **FAO**, 1992, 125p.

QUINTANA, N.R.G.; CARMO, M.S.; MELO, W.J. Lodo de esgoto como fertilizante: produtividade agrícola e rentabilidade econômica. **Nucleus**, v.8, n.1, abr. 2011.

RAIJ, B. van. **Fertilidade do solo e adubação**.Piracicaba: Potafos. 1991, 343 p.

RAMIREZ-FUENTES, E. et al.Characteristics and carbon and nitrogen dynamics in soil irrigated with wastewater for different lengths of time. **Bioresour Technol**. Pequim, 85:79-187. 2002.

REINALDO, G. P. B. et al. Desempenho de sistema decanto-digestor com filtro biológico seguido por alagado construído e reator solar no tratamento de esgoto doméstico. **Ambi-Água**, Taubaté, v. 7, n. 2, p. 62-74, 2012.

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

RODRIGUES, O.; VIEGAS, F.; POMPEU JUNIOR, J.; AMARO, A. A. **Citricultura brasileira**. 2.ed. Campinas: Fundação Cargill, p.519-54. 1991.

RODRIGUES, L. N. et al. Crescimento e produção de bagas da mamoneira irrigada com água residuária doméstica. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.13, p.825-835, 2009.

SADOVSKI, A. Y.; FATTAL, B.; GOLDBERG, D. Microbial Contamination of Vegetables Irrigated with Sewage Effluent by the Drip Method. **Journal of Food Protection**, v. 41, n. 5, p. 336-340, 1978.

SAMANI, Z.A; WALKER, W.R.; WILLARDSON, L.S. Infiltration under surge flow irrigation. **Transactionsofthe ASAE**, v. 28, n. 5,p. 1539-1542, 1985.

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

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

SANTOS, A. P. R. **Efeito da irrigação com efluente de esgoto tratado, rico em sódio, em propriedades químicas e físicas de um Argissolo Vermelho Distrófico cultivado com capim tifton 85**. 2004. 95 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba. 2004.

SANTOS, D. **Distribuição do sistema radicular e produtividade de cana-de-açúcar (*Saccharum*ssp) fertirrigada por gotejamento subsuperficial**. 2010. 85 p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual Paulista “Julio de Mesquita Filho”, Botucatu. 2010.

SÃO PAULO. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo - Cetesb. NORMA TÉCNICA P4-002: **Efluentes e lodos fluidos de indústrias cítricas - Critérios e procedimentos para aplicação no solo agrícola**. Maio de 2010. Disponível em: Acesso em: 28 set. 2016

SAS INSTITUTE INC. SAS® **Analytics U aims to close analytics skills gap**. Cary, NC, 2014. Disponível em: <http://www.sas.com/en_us/news/press-releases/2014/march/analytics-u-sqf14.html>. Acesso em: 28 set. 2016.

SCOLARI, D.D. G. **Produção agrícola mundial: o potencial do Brasil**. Disponível em: <http://www.abifina.org.br/arquivos/abf_publicacoes/producao_agricola_mundial.pdf>. Acesso em: 25 jan 2015.

SCORA, R. W. On the history and origin of Citrus. Bull. **Torrey Bot. Soc.**, v. 102, n.6, p. 369, 1975.

SEGARRA, E.; DARWISH, M. R.; ETHRIDGE, D. E. Returns to municipalities from integrating crop production with wastewater disposal. **Resources, conservation and recycling**, Amsterdam, v. 17, n. 2, p. 97-107, 1996.

SIGOLO, J.B; PINHEIRO, C.H.R. Lodo de esgoto da ETE Barueri - SP: proveniência do enxofre elementar e correlações com metais pesados associados. Geologia USP, **Série Científica**. v.10, n.1, p. 39-51, 2010.

SIMÕES, K. S. et al. Água residuária de esgoto doméstico tratado na atividade microbiana do solo e crescimento da mamoneira. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.17, n.5, p.518-523, 2013.

SINGH, D. K.; RAJPUT, T. B. S.; SIKARWAR, H. S.; SAHOO, R. N.; AHMED, T. Simulation of soil wetting pattern with subsurface drip irrigation from line source. **Agriculture Water Management**, v.83, p.130-134, 2006.

SILVA, N.F. et al. **Desenvolvimento do pinhão-manso (*Jatropha Curcas* L.) em função da irrigação por gotejamento subsuperficial**. Revista Caatinga, Mossoró, v. 27, n. 4, p. 85 – 94, 2014

SOUSA, A.C.M. **Uso da irrigação subsuperficial com efluente de esgoto doméstico em área cultivada com cana-de-açúcar**. 2012. 107p. Dissertação Mestrado em Engenharia Agrícola – Unicamp, SP. 2012.

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

SOUZA, R. M. et al. Utilização de água residuária e de adubação orgânica no cultivo do girassol. **Revista caatinga, Mossoró**, v. 23, n. 3, p. 125- 133. 2010.

SOUZA, W.J. et al. Irrigação localizada subsuperficial: gotejador convencional e novo protótipo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental**. vol.16, n.8. 2012.

STANDARD METHODS FOR THE EXAMINATION OF WATER AND WASTEWATER. 21th ed, **American Public Health Association/ American Water Association/ Water Environment Federation**, Washington DC, USA; 2005.

STENZEL, N. M. C. et al. Vegetative growth, yield and quality fruits of the “Folha Murhca” orange on six rootstocks in North Parana, Brazil. **Revista Ciência Rural**, Santa Maria, vol. 35 no. 6, 2005.

STRECK, C. A. et al. Relações do parâmetro para algumas propriedades físicas de solos do sul do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. especial, p. 2603-2612, 2008.

STUCHI, E.S. **Utilização de práticas culturais na citricultura frente ao Huanglongbing**. Dados eletrônicos. - Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura, 2010.

SWINGLE, W.T; REECE, R.C. The botany of Citrus and its wild relatives. In: REUTHER, W.; SWINGLE, W.T; REECE, R.C. (Ed.). **The citrus industry**. Berkeley: University of California. p. 190-430. 1967

TABATABAEI, S. H.; NAJAFI, P. Effect of using subsurface drip irrigation and et-hs model to increase wue in irrigation of some crops. **Irrigation and Drainage**, v.56, p.477-486, 2007.

TASSO JÚNIOR, L. C.; MARQUES, M. O.; FRANCO, A.; NOGUEIRA, G. A.; NOBILE, F. O.; CAMILOTTI, F.; SILVA, A. R. Produtividade e qualidade de cana-de-açúcar cultivada em solo tratado com lodo de esgoto, vinhaça e adubos minerais. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 27, n. 1, p.276-283, 2007.

TUNDISI, J. G. **Água no Século XXI: Enfrentando a Escassez**. São Carlos: RiMa, IIE, 2009, 271p.

TROOIJEN, T. P. et al. Subsurface drip irrigation using livestock wastewater: dripline flow rates. **Applied Engineering in Agriculture**, v. 16, n. 5, p. 505-508, 2000.

UMESHA, K. R. et al. **Prevalence of human pathogenic enteric viroses in bivalve molluscan shellfish and cultured shrimp in south west coast of India.** International Journal of Food Microbiology, v.122, p.279-286, 2008.

WESTCOT, D. W. **Reuse and disposal of higher salinity subsurface drainage water.** Agricultural Water Management. v.14, p. 483 – 511, 1988.