

ÁGUAS RESIDUÁRIAS PARA IRRIGAÇÃO NO BRASIL: UMA ABORDAGEM QUÍMICA, FÍSICA E MICROBIOLÓGICA

FERNANDA LAMEDE FERREIRA DE JESUS¹; OTÁVIO NETO ALMEIDA SANTOS²; MARCUS VINICIUS TALAMINI JUNIOR³; TAMARA MARIA GOMES⁴; FABRÍCIO ROSSI⁵ E RODRIGO MÁXIMO SÁNCHEZ ROMÁN⁶

¹ Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal Rural da Amazônia, Rod. PA 140, CEP. 68680-000 Tomé-Açu, Pará, Brasil, fernanda.lamede@ufra.edu.br

² Departamento de Engenharia de Biosistemas, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Av. Pádua Dias, 235, CEP 13418-900, Piracicaba, São Paulo, Brasil, otaneto@alumni.usp.br

³ Department of Agriculture and Life Sciences, Lincoln University, 85084 Ellesmere Junction Road, Lincoln, POBOX 7647, Canterbury, New Zealand, marcus.talaminijunior@lincolnuni.ac.nz

⁴ Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, Universidade de São Paulo, R. Duque de Caxias, 225 - Jardim Elite, CEP. 13635-900, Pirassununga, São Paulo, Brasil, tamaragomes@usp.br

⁵ Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, Universidade de São Paulo, R. Duque de Caxias, 225 - Jardim Elite, CEP. 13635-900, Pirassununga, São Paulo, Brasil, fabricio.rossi@usp.br

⁶ Departamento de Engenharia Rural e Socioeconomia, Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Av. Universitária, nº 3780 - Altos do Paraíso, CEP. 18610-034, Botucatu, São Paulo, Brasil, msanchezr@gmail.com

1 RESUMO

Os principais atributos a serem avaliados na qualidade da água residuária para irrigação contemplam os parâmetros físicos, químicos e biológicos, que definem o potencial para uso. As águas residuárias podem conter contaminantes, os quais podem ocasionar efeitos adversos no solo, nas plantas e nas águas subterrâneas se estiverem presentes em concentrações elevadas. O objetivo deste trabalho foi discutir as principais características que influenciam na qualidade da água residuária destinada à irrigação por meio de levantamento de informações disponíveis na literatura específica. O uso de efluentes para fins de irrigação requer uma abordagem mais cautelosa e o estudo sobre o mesmo ainda é incipiente. Os resultados obtidos nas pesquisas revelam que diversas culturas podem ser irrigadas com águas residuárias, quando devidamente tratadas. Este fato, ratifica a importância de se adotar uma política de reuso ainda mais específica no que diz respeito à utilização de águas residuárias em diversas atividades agrícolas, principalmente pela irrigação. Todavia, ainda existem diversos problemas relacionados a essa prática, sendo necessários mais estudos que contribuam para desenvolvimento da agricultura, visando à conservação dos recursos naturais, produção das culturas e segurança a saúde.

Palavras chave: Recurso hídrico, efluente, agricultura, contaminação, reuso.

JESUS, F. L. F.; SANTOS, O. N. A.; TALAMINI JUNIOR, M. V; GOMES, T. M.;
ROSSI, F.; SÁNCHEZ-ROMÁN, R. M.
WASTEWATER FOR IRRIGATION IN BRAZIL: A CHEMICAL, PHYSICAL AND
MICROBIOLOGICAL APPROACH

2 ABSTRACT

The main attributes to be evaluated in irrigation water quality include physical, chemical and biological parameters that define the potential for use. Wastewater may contain contaminants, which may cause adverse effects on the soil, plants and groundwater if they are present at high concentrations. The objective of this work was to discuss the main characteristics that influence the quality of the wastewater destined to irrigation by means of information gathering available in the specific literature. The use of effluents for irrigation requires a more cautious approach and its study of is still incipient. The results obtained in the surveys reveal that several crops can be irrigated with wastewater when properly treated. This fact confirms the importance of adopting an even more specific reuse policy regarding the use of wastewater in various agricultural activities, mainly through irrigation. However, there are still several problems related to this practice, and further studies are needed that contribute to the development of agriculture, aiming at the conservation of natural resources, crop production and health security.

Keywords: Water resource, effluent, agriculture, contamination, reuse.

3 INTRODUÇÃO

O paradigma agrícola está entre alcançar simultaneamente a produtividade agrícola e a sustentabilidade ambiental (JEONG et al., 2016; FOLEY et al., 2011). A utilização de águas residuárias, como por exemplo, vinhaça, manipueira, esgoto tratado, água residuária da suinocultura, bovinocultura, carcinicultura, para o agricultor pode ser uma alternativa para alcançar ambos desafios, pois proporciona manutenção da produtividade, além de benefícios ambientais (JEONG et al., 2016; JEONG et al., 2014). Segundo Barroso e Wolft (2011) a implantação de sistemas de reuso de água com viabilidade técnica e econômica, resulta em expressivos benefícios ambientais, tais como aumento na oferta de água potável e disponível nos mananciais, bem como nos índices de tratamento dos efluentes líquidos, contribuindo para a minimização dos lançamentos nos corpos d'água.

O consumo de produtos agrícolas irrigados com águas residuárias é uma prática comum para mais de 10% da população mundial (WHO, 2006). No entanto, o reuso dessas águas no Brasil

ainda não possui um arcabouço legislativo que assegure a sua aplicação. Na Arábia Saudita, por exemplo, estabeleceu-se uma resistência à utilização desta prática, pela falta de conhecimento da eficiência das estações de tratamento de águas residuárias, ou seja, a percepção geral entre a população local é que estas águas ainda poderiam conter contaminantes microbianos, como agente patogênicos e indicadores fecais, mesmo após o processo de tratamento nas estações (AL-JASSIM et al., 2015).

De acordo com Hamilton et al. (2007), o uso de águas residuárias urbanas tratadas pode ter papel significativo no fornecimento das demandas por água e segurança hídrica principalmente com a diminuição da disponibilidade de água potável, com usos que vão desde aplicação agrícola (irrigação), urbanos, paisagístico, até industrial. Mas a utilização de águas residuárias na irrigação de culturas também pode ocasionar alterações de caráter químico (PRAZERES et al., 2014; MATOS; MARTINS; LO MONACO, 2014), físico (SINGH; DESHBHRATAR; RAMTEKE, 2012) e microbiológico no solo (SIMÕES; PEIXOTO; ALMEIDA, 2013; BECERRA-CASTRO et al., 2015),

nas águas subterrâneas (ANAMI et al., 2008) nas plantas (SOUZA NETO et al., 2010; SILVA et al., 2013; BEDBABIS et al., 2010) e, conseqüentemente, no operador do sistema, além de danificar os equipamentos utilizados para aplicação (CUNHA et al., 2006; BATISTA; SOUZA; FERREIRA, 2010; BATISTA; OLIVEIRA; SANTOS, 2013).

No caso do Brasil apesar de haver escassez de recursos hídricos em algumas regiões, ainda existe a concepção de que a irrigação com efluentes, como o esgoto tratado ou não, seja nocivo tanto ao meio ambiente como as culturas irrigadas com águas desta natureza, ao solo e a saúde humana (DUARTE et al., 2008). Associado a isso, a experiência recente do Brasil na temática reuso de água em relação a outros países do mundo, dificulta o estabelecimento de padrões devido às diferenças regionais.

Onde existem diretrizes para a qualidade da água de irrigação e onde a utilização de águas residuárias é permitida, a legislação exige que certas condições de qualidade sejam cumpridas (JIMENEZ et al., 2010). Entretanto, nem todos consideram em suas diretrizes os padrões microbiológicos, por exemplo. Ou seja, o monitoramento microbiológico é negligenciado apesar de sua importância para a estimativa dos riscos para a saúde pública (HAGEDORN; BLANCH; HARDWOD, 2011).

No Brasil, os parâmetros de qualidade de água são geridos pela Resolução nº 357 do Conselho Nacional do Meio-Ambiente – CONAMA, de 17 de março de 2005, (BRASIL, 2005), que coloca a classificação de águas e os teores máximos permitidos de substâncias químicas que apresentam riscos potenciais aos ambiente, além de valores relativos a parâmetros físico, químicos e biológicos.

A metodologia da Avaliação Quantitativa do Risco Microbiológico (AQRM) poderia ser incluída na legislação

brasileira, visto que tem sido utilizada ao redor do mundo por organizações e agências regulatórias como a USEPA (*United States Environmental Protection Agency*), a FAO (*Food and Agriculture Organization of United Nations*) e a OMS (Organização Mundial da Saúde) para estabelecer políticas que visem à melhoria da qualidade da água, a segurança do alimento e, por conseguinte a promoção da saúde humana e para avaliar a eficiência dos programas e ações de intervenção realizadas.

Assim, é imperativo uma atualização e aprimoramento da resolução brasileira baseada nos resultados de pesquisas, com utilização de águas residuárias na irrigação no mundo, diante de questões como: (i) dificuldades na busca por fontes alternativas de águas para irrigação; (ii) custo elevado de fertilizantes; (iii) baixa eficiência dos sistemas de tratamentos de efluentes, necessários para descarga em corpos receptores, bem como, reconhecimento do valor da atividade pelos órgãos gestores de recursos hídricos e (iv) baixa cobertura no tratamento de esgoto gerado pela população.

Diante do exposto, este trabalho tem como objetivo analisar os principais atributos que influenciam na qualidade da água residuária destinada à irrigação, por meio de revisão de trabalhos disponíveis na literatura específica nacional e internacional, a fim de contribuir para o aprimoramento da legislação brasileira relacionada ao aproveitamento de águas residuárias na irrigação.

4 QUALIDADE MICROBIOLÓGICA

Os indicadores que geralmente são utilizados para verificar a qualidade microbiológica da água incluem os coliformes totais e coliformes fecais (SHIBATA et al., 2004; WHO, 2006), os quais indicam possível contaminação da

água por diferentes patógenos (AZZAM; ISMAIL; MOSTAFA, 2016).

No que diz respeito à irrigação, existe a possibilidade de que a água apresente alto potencial patogênico para as culturas, a depender da carga microbiológica presente, visto que são conduzidas até o campo sem qualquer tratamento prévio (ILIC et al., 2011; OLAIMAT; HOLLEY, 2012). A Resolução CONAMA nº 357/2005, por exemplo, estabelece um limite de coliformes termotolerantes de 200 UFC/100 mL para água usada na irrigação de vegetais, sendo que acima deste padrão, pode gerar um conjunto de efeitos indesejáveis não só para as culturas, mas também como veículo transmissor de doenças à população pela ingestão dos alimentos produzidos e pelo contato direto, no momento da operação dos sistemas de irrigação, assim como pela dispersão de aerossóis (SILVA et al., 2011; AL-JASSIM et al., 2015).

Neste sentido, a qualidade microbiana da água usada na irrigação é de grande importância visto que a baixa qualidade da água, neste aspecto, pode favorecer a introdução de microrganismos patogênicos em produtos durante a pré e pós-colheita, principalmente hortaliças, plantas que emitem ramos rastejantes ou que os frutos se desenvolvam próximo ao solo (quando irrigadas por gotejamento). Sousa et al. (2006) encontraram que a concentração de contaminantes de coliformes termotolerantes e *E. coli* foi maior no solo que nos frutos após a colheita, sugerindo que não necessariamente toda carga microbiana presente na água utilizada na irrigação é transferida para o produto. Porém, é preciso levar em consideração como os microrganismos introduzidos irão afetar a comunidade microbiana do solo (BECERRA-CASTRO et al., 2015). Por exemplo, a aplicação de esgoto doméstico tratado em um Latossolo Amarelo Distrófico, na Bahia cultivado com

mamoneira, promoveu o estímulo da atividade microbiana (SIMÕES; PEIXOTO; ALMEIDA, 2013).

No caso da irrigação, quando a água está contaminada com agentes patogênicos, estes se propagam no solo e podem contaminar direta e indiretamente as culturas através do contato das gotas com a parte aérea na irrigação por aspersão ou penetrando nos tecidos vegetais, desde que a planta esteja danificada (SOUSA et al., 2006; BERNSTEIN; SELA; NEDER-LAVON, 2007; MONAGHAN; HUTCHISON, 2012).

4.1 Patógenos fecais

O aproveitamento de águas residuárias na agricultura está associado a riscos sanitários pela possibilidade da presença de patógenos (SOUSA et al., 2011). Os coliformes, por exemplo, são indicativos da potabilidade da água e do seu risco potencial de doenças infecciosas (SIVARAJA; NAGARAJAN, 2014). A ocorrência de coliformes em águas superficiais ou residuárias é utilizada como indicador de contaminação fecal e sugere a possível presença de *Salmonella*, espécies de *Shigella* (UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, 1986), *Giardia* (POMA et al., 2012; VERBYLA et al., 2016; ORLOFSKY et al., 2016), e ovos de helmintos (VERBYLA et al., 2016), e quando alcançam as partes comestíveis das culturas irrigadas, torna-se uma preocupação potencial (CIRELLI et al., 2012; PALESE et al., 2009).

A contaminação fecal apresenta alta variabilidade, podendo partir de valores não-detectáveis a 10^6 – 10^7 CFU 100 mL⁻¹ de água, sendo usualmente estimada pelo nível populacional de coliformes fecais (BUSGANG et al., 2015). Segundo a Organização Mundial da Saúde (OMS), estes valores não devem exceder 10^3 CFU 100 mL⁻¹ de água destinada à irrigação de

produtos frescos para garantir a segurança do alimento e para ovos viáveis de helmintos os valores devem ser menores que um por litro (WHO, 2006). Para irrigação com águas residuárias, a WHO (2006) ainda classifica como irrigação restrita e irrestrita aquela que exclui e inclui, respectivamente, culturas que são consumidas cruas.

Porém, mesmo com a pequena popularização da irrigação com águas residuárias no Brasil, alguns estudos têm avaliado a qualidade microbiológica de produtos agrícolas produzidos com este tipo de água. Rego et al. (2005) e Feitosa et al. (2009) avaliaram a qualidade microbiológica de amostras de polpa de melancia irrigada por gotejamento e por sulcos com água de reuso a partir de esgoto sanitário tratado e não constataram a presença de bactérias do grupo coliforme nem de *Salmonella sp.* Sousa et al. (2006), verificaram a contaminação de frutos de pimentão irrigado com água de poço artesiano, efluente de lagoa de polimento e efluente de reator UASB. Porém, os autores apenas consideram aceitáveis para o consumo frutos irrigados com efluente de lagoa de polimento segundo padrões da resolução ANVISA nº. 12 (BRASIL, 2001), que determina o máximo de 10^2 coliformes termotolerantes por grama para culturas consumidas cruas ou cozidas. Resultado semelhante foi obtido por Figueiredo et al. (2005) e Lima et al. (2005) em quiabo e alface, respectivamente, irrigados com efluente da lagoa de polimento, os quais apresentaram contaminação de acordo com os padrões da ANVISA, sendo adequado para o consumo.

Conforme disposto no item 5.6.3 NBR 13.969/97 da ABNT, não é permitido o uso de efluentes, mesmo desinfetado, na irrigação de hortaliças e frutas de ramas rastejantes, como melão e melancia. Porém, a maioria das pesquisas têm demonstrado que os frutos obtidos apresentam qualidade microbiológica dentro dos padrões

estabelecidos para consumo. Além do mais, no Brasil, a maioria dos estabelecimentos produtores de hortaliças estão localizados em áreas metropolitanas onde a qualidade da água superficial é considerada inadequada (URBANO et al., 2017).

Segundo Gemell e Schmidt (2012), grandes níveis populacionais de coliformes fecais na água da irrigação podem ser indicadores do aumento no risco de contrair doenças transmitidas pela água, mesmo se pequenas quantidades de um determinado produto for consumido. Além disso, níveis populacionais de agentes patogênicos e de organismos indicadores fecais na água de irrigação raramente são comparados com os respectivos níveis populacionais no solo irrigado e nas culturas irrigadas (VERBYLA et al., 2016). Isto é, picos de contaminação microbiana podem ser encontrados em produtos colhidos, cultivados em condições inadequadas, como o fruto em contato com o solo irrigado (CIRELLI et al., 2012).

No entanto, existem algumas ações que contribuem para a contaminação fecal da água. Alguns dos principais fatores que afetam a qualidade microbiológica da água são as descargas de esgotos, defecação a céu aberto e escoamento de pastagens e assentamentos informais (MAITY et al., 2004; GEMMEL; SCHMIDT, 2012), e a própria biomassa inoculada nos sistemas biológicos de tratamentos de efluente. No caso dos assentamentos, pode ser destacado pelo o aumento no número de ocupações clandestinas próximas aos rios, ao longo dos anos (VUUREN, 2009).

Segundo Forslund et al. (2010), a falta de sistema de esgoto em casas próximas a canais que conduzem água para irrigação de batatas na Sérvia contribuiu para a contaminação fecal da água no canal, demonstrando a importância de políticas de saneamento e fiscalizações mais rígidas. Os surtos de doenças transmitidas por alimentos é associado à irrigação com água contaminada com fezes, conforme citado

anteriormente, refletindo a diminuição da qualidade das fontes de irrigação de água (HEATON; JONES, 2008; IJABADENIYI; BUYS, 2012)

Rodrigues et al. (2014) investigaram o status da implementação de sistemas de manejo e boas práticas agrícolas e seu impacto na contaminação microbiana na produção de alface orgânica no sul do Brasil. Os resultados desta pesquisa revelaram a importância do uso de água na irrigação a partir de fontes seguras visto que foi observada contaminação com *E. coli* nas amostras de água analisadas tanto nas fontes de captação como nos aspersores dos sistemas de irrigação. Gemmel e Schmidt (2012), por exemplo, avaliaram a qualidade microbiana das fontes de água utilizadas pelas comunidades rurais na África do Sul e concluíram que a água usada na irrigação, captada do rio local era altamente contaminada com coliformes fecais e *E. coli*, não satisfazendo os critérios das diretrizes da OMS para irrigação segura. Assim, é evidente que a falta de sanitização adequada promove a contaminação fecal de fontes de água levando a graves consequências para o ambiente e para a saúde humana (GERMER et al., 2010; SCHAEFER, 2008), bem como problemas com a obstrução de emissores na irrigação, pela formação de biofilme resultante da interação entre mucilagens bacterianas e partículas orgânicas e inorgânicas (BATISTA; SOUZA; FERREIRA, 2010; BATISTA et al., 2013).

Nesse sentido, torna-se necessário o estabelecimento de prioridades para melhorar a gestão atual do tratamento das águas residuárias existentes nas zonas suburbanas (FUHRIMANN et al., 2016) e rurais, a utilização de lagoas de maturação, pode ser uma alternativa no processo de desinfecção, visando a redução de agentes patogênicos (VON SPERLING, 2007) e seu efluente pode ser utilizado em situações de reuso, sem fins de potabilidade (BEAUDEQUIN et al., 2015).

4.2 Avaliação Quantitativa do Risco Microbiológico (AQRM)

Normalmente nas avaliações de risco de contaminação fecal são usados organismos indicadores selecionados, principalmente devido à dificuldade de se identificar todos os potenciais patógenos presentes, tanto em fontes de água, como em amostras de produtos (MAIMON et al., 2010).

À exposição da saúde humana aos agentes patogênicos pode ser quantificado por estudos epidemiológicos e por uma técnica conhecida como Avaliação Quantitativa do Risco Microbiológico (AQRM). AQRM é uma metodologia utilizada para estimar o risco após exposição a microrganismos patogênicos presentes em alimento e/ou água (BEAUDEQUIN et al., 2015), tomando como base modelos matemáticos e dados experimentais (MAIMON; FRIEDLER; GROSS, 2014) desenvolvidos pela OMS para a utilização segura das águas residuárias na agricultura (WHO, 2006). Este processo envolve quatro passos, sendo eles: identificação do perigo, avaliação da exposição, avaliação de dose-resposta humanos e caracterização final do risco (HAAS et al., 1999). A AQRM é considerada altamente conservadora visto que apresenta normalmente os riscos da situação mais crítica, face da variabilidade e incerteza intrinsecamente elevadas dentro do modelo (HAAS et al., 1999), podendo assim ser usado como uma ferramenta segura e confiável para modelar riscos (BUSGANG et al., 2015).

A AQRM também pode ser realizada na ordem inversa, ou seja, começa a partir do alvo a saúde, para prever as densidades de patógenos toleráveis ou os requisitos de tratamento de patógenos (SCHOEN; ASHBOLT, 2011; SCHOEN; GARLAND, 2017). O USEPA utiliza um AQRM reverso que leva em consideração

estimativa de doença do estudo epidemiológico, junto com os resultados da caracterização sanitária para estimar a distribuição de diluição, entre o ponto de descarga e os pontos de exposição (UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, 2012).

Além do exposto acima, a AQRM pode representar uma ferramenta complementar de grande utilidade para estudos epidemiológicos ao tentar quantificar riscos ocupacionais e comunitários, mais precisamente em países em desenvolvimento, onde trabalhadores e crianças estão mais propensos ao contato com águas residuárias não tratadas (HAMILTON et al., 2007) aumentando o risco de contaminação.

Beaudequin et al. (2015), estudaram as lagoas de maturação de esgoto, criaram um modelo conceitual de fatores que afetam o risco para a saúde devido às exposições microbianas aquáticas, integrando elementos da estrutura quantitativa de avaliação do risco microbiano com efeitos ambientais sobre os níveis populacionais de patógenos, os objetivos da pesquisa foram inventariar os fatores conhecidos e desconhecidos que influenciam o risco à saúde neste cenário e tornar explícitas as suposições, formando assim a base de um

futuro modelo de risco preditivo para o aproveitamento de águas residuárias tratadas e usá-lo para fins de previsão e mitigação de riscos.

Em uma AQRM estocástica para irrigação por aspersão de culturas hortícolas com águas residuárias secundariamente tratadas não desinfetadas, Hamilton et al. (2007) relatam que o uso destas águas poderia ser um meio eficaz de mitigar o risco de infecção entérica de vírus para os consumidores, apoiando a ideia de implementação de um período de retenção no qual a água é substituída por águas residuárias.

Na literatura é possível encontrar estudos que utilizaram a AQRM como metodologia para determinar o risco de contaminação por meio de experiências com o aproveitamento de águas residuárias, principalmente na irrigação (Tabela 1). Os principais microrganismos representativos escolhidos nas análises de risco a saúde são geralmente os gastroenteríticos ou aqueles patógenos oportunistas periféricos. Para a maioria deles, a determinação é direta, porém para o *Rotavirus* por exemplo, sua quantificação é estimada com base numa relação feita com *Escherichia coli* (OTTOSON; STENSTRÖM, 2003; MAIMON et al., 2010).

Tabela 1. Aplicações da metodologia Avaliação Quantitativa do Risco Microbiológico em estudos com reuso de águas residuárias.

Aplicação	Microrganismo	Referência
Uso agrícola de água residuária	<i>Rotavirus</i>	Mara et al. (2007)
Uso de água residuária em irrigação de jardins	<i>Rotavirus</i>	Maimon et al. (2010)
Qualidade da água residuária	<i>Rotavirus, Pseudomonas aeruginosa and Staphylococcus aureus</i>	Maimon, Friedles e Gross (2014)
Irrigação com águas residuárias em hortícolas	Norovirus	Mok, Barker e Hamilton (2014)
Irrigação com afluentes, e efluentes clorados	<i>Pseudomonas aeruginosa and Aeromonas hydrophila</i>	Al-Jassim et al. (2015)
Irrigação de batata com águas residuárias tratadas	<i>Escherichia coli</i>	Forslund et al. (2010)

No Brasil, há uma escassez de trabalhos publicados em periódicos científicos que utilizem a AQRM no uso de águas residuárias na irrigação. Na literatura, é possível encontrar o trabalho de Bastos et al. (2008), que usou esta metodologia em um experimento no sudeste brasileiro com culturas hortícolas irrigadas com efluentes de lagoa de estabilização, utilizando cenários com base em dados de campo e nas estatísticas oficiais de consumo de vegetais no Brasil. Os valores encontrados pelos autores foram similares aos de Mara et al. (2007), trazendo novas evidências para a atualização das diretrizes da OMS. Bastos et al. (2008) concluíram que a irrigação com efluentes que cumprem as diretrizes da OMS para irrigação irrestrita deve resultar em produtos com qualidade microbiológica aceitável para consumo.

5 ATRIBUTOS FÍSICOS

A qualidade física da água de irrigação pode ser descrita pelo total de sólidos suspensos totais (SST) (ORON et al., 1999).

Os SST na água têm natureza diversa, tais como partículas de solo (areia, ou aglomerados de silte e argila), matéria orgânica suspensa, fragmentos de insetos, aracnídeos e vermes, além de resíduos plásticos ou outros materiais inertes de tamanho considerável que não decantem. É notável que cada corpo hídrico possui características próprias de qualidade física de água, que pode diferir intensamente de outros cursos em outras bacias, ou mesmo na própria bacia, devido à predominância do uso, além de fatores como época do ano.

Esses sólidos têm potencial danoso aos sistemas de irrigação. A quase totalidade dos estudos de qualidade física da água de irrigação é direcionada especificamente à irrigação por gotejamento, em razão dos problemas de obstrução por partículas sólidas suspensas,

pois em todos os outros sistemas, esses problemas são atenuados, devido ao tamanho de orifício de saída da água, bastante superior aos orifícios dos gotejadores e às dimensões de seus labirintos internos.

Foi proposta uma classificação, baseada na concentração de partículas por volume, do risco de obstrução em emissores causada por sólidos suspensos, uma concentração menor que 50 mg L⁻¹ é isenta de risco, uma concentração de 50 a 100 mg L⁻¹ é classificada como moderada e acima de 100 mg L⁻¹ a classe de risco é alta (BUCKS; NAKAMAYA; GILBERT, 1979). Esse índice, de proposição bastante antiga, ainda é o mais utilizado em trabalhos atuais (FRANCO; HERNANDEZ, 2009; PUIG-BARGUÉS; ELBANA; REMIREZ DE CARTAGENA, 2012).

5.1 Irrigação por gotejamento e o processo de obstrução de emissores

A irrigação por gotejamento é considerada uma alternativa para a aplicação de águas residuárias, pois os riscos ambientais e alimentares são menores, quando comparado a outros métodos (FEIGIN; RAVINA; SHALHEVET, 1991). Embora a irrigação por gotejamento seja um método com vantagens bastante interessantes sobre outros métodos, tais como a alta uniformidade de aplicação e a alta eficiência de aplicação, devido as poucas perdas de água e evitar a dispersão de aerossóis presentes nos efluentes, uma grande desvantagem é a fácil obstrução dos emissores do sistema, o que reduz consideravelmente a uniformidade de aplicação (BAHAR et al., 2010) e faz com que o volume disponibilizado às plantas seja menor (CAPRA; SCICOLONE, 1998).

Uma alta uniformidade de aplicação de água é imperativa para que o sistema seja eficiente, e para isso é necessário que o

agricultor verifique em campo, as condições de funcionamento previstas em projeto, todavia, esse é um aspecto que os produtores rurais têm dado pouca importância. Embora tenham acesso à tecnologia proporcionada destes sistemas de irrigação, a mesma não é usada corretamente, seja por falta de orientação ou conhecimento (SILVA; SILVA, 2005).

A obstrução de emissores é um problema complexo e desde 1971 numerosas tentativas são realizadas para encontrar uma solução, todavia até o momento, os resultados ainda são insatisfatórios (CHEN; LIU; NIU, 2013), apenas paliativos, como por exemplo, o cálculo e a determinação de partes do sistema de irrigação (BRALTS; WU; GITLIN, 1981) e do entendimento de como ocorrem e fatores que influenciam a obstrução, como as dimensões internas dos emissores (CHIGERWE; MANJENGWA; VAN DER ZAAG, 2004) e posição na linha lateral (RAVINA et al., 1997).

A obstrução dos emissores ainda é o principal entrave para o desenvolvimento de novas tecnologias e aplicação do gotejamento e fator de peso na determinação do êxito do sistema de irrigação (ZHU; CUI, 2005), além de um problema bastante significativo para usuários dos sistemas, pois sua solução e prevenção requer gasto de recursos, como tempo e recursos financeiros. A presença de filtros não garante que partículas em suspensão sejam totalmente eliminadas do sistema, pois a filtração pode ser insuficiente ou inadequada (LAMM, 2007), prejudicando o sistema. No caso de remoção de argila é necessário a utilização de hidrociclones ou decantação em tanque de tratamento químico (CRUZ, 2008; SOCCOL, 2003).

As partículas de areia (diâmetro > 500 µm) geralmente não participam de processos de obstrução, pois todos os modelos de filtro possuem uma boa eficiência em as reterem (PITTS;

FERGUSON; GLIMOUR, 1985). As argilas suspensas não causam problemas de obstrução a não ser que comecem a flocular (CHEN; LIU; NIU, 2013), em determinadas condições físico-químicas, após a passagem pelo sistema de filtração (THILL et al., 2001), elas se associam à partículas de silte, que são elementos cimentantes, aumentando o diâmetro total da partícula e assim causando a sua precipitação. A quantidade de argilas suspensas pode ser associada com a turbidez da água.

Em experimentos realizados com diferentes filtros (areia, disco, tela, combinado de disco e tela) visando à redução de turbidez e de sólidos totais suspensos, alguns autores demonstraram que o filtro de areia possui uma eficiência superior aos demais tipos de filtro (DURAN-ROS et al., 2009). Também foi demonstrado em outros experimentos que o filtro de areia possui eficiência satisfatória, como tratamento terciário de água de reuso, tornando a água apta à irrigação (HAMODA; AL-GHUSAIN; AL-MUTAIRI, 2004).

A entrada de partículas sólidas no sistema geralmente se dá durante a montagem do sistema, retirada de peças para eventual manutenção, sucção da água com partículas em suspensão ou através dos próprios gotejadores, ao se desligar o sistema, devido à pressão negativa instantânea ali criada (TAYLOR et al., 1995).

As partículas suspensas podem causar obstrução por si, mas frequentemente há a atuação conjunta de fatores químicos e biológicos, como subprodutos lodosos de metabolismo bacteriano, que aderem nas partículas, formando um aglomerado de diâmetro maior e aumentando assim a obstrução. Mesmo com a presença desses outros fatores, a obstrução por partículas sólidas suspensas aparece como a mais frequente (LI et al., 2012).

Algumas práticas por parte do usuário desse sistema podem ser feitas para amenizar o nível de obstrução de gotejadores, tais como a manutenção do escoamento turbulento, a fim de evitar a deposição de partículas, além da avaliação periódica do sistema (KARMELI, 1975) e realização de práticas como o *flushing*, que consiste em abrir o fim das linhas laterais do sistema e liberar a passagem do fluxo de água, tende a remover algumas partículas sólidas depositadas.

Alguns trabalhos relacionados às propriedades do *flushing* foram realizados, tais como o estudo de velocidade (PUIG-BARGUÉS; LAMM, 2013), duração e frequência dessa prática (PUIG-BARGUÉS et al., 2010) e sua influência nas características do sistema, demonstrando condições mais apropriadas do uso dessa técnica.

Em experimentos laboratoriais, efluentes tratados de esgoto foram comparados com águas não-residuárias e, e os resultados de obstrução foram maiores no caso de efluentes tratados (LIU; HUANG, 2009), notavelmente em razão da presença de agentes importantes no processo químico de obstrução (sais em combinação com pH inadequado).

Resultados de obstrução bastante altos, também, foram encontrados quando se utilizou esgoto doméstico tratado na irrigação de forrageiras (BATISTA; SOUZA; FERREIRA, 2010), assim como quando utilizado água residuária oriunda de suinocultura (BATISTA et al., 2013).

As características físico-químico-biológicas se alteram de acordo com o tratamento aplicado. Os tratamentos físico-químicos aos quais esta água deve ser submetida para atender um padrão mínimo de qualidade, todavia, são um custo adicional que onera ainda mais o sistema de irrigação.

5.2 Danos às tubulações

As partículas sólidas minerais presentes em suspensão durante o fluxo do fluido possuem capacidade de danificar os tubos. Esse dano, causado por fricção entre partículas/fluido e as paredes internas da tubulação e da motobomba, é mostrado na forma de desgaste das paredes, alterando o coeficiente de rugosidade do material e implicando diretamente em um aumento de perda de carga, o que vai exigir maior consumo elétrico do sistema de bombeamento a longo prazo.

O choque das partículas em suspensão, em ângulos de impacto agudos, normalmente abaixo dos 30°, ocasiona em cortes e lasca do material do tubo, já quando o ângulo é maior, acima dos 40°, ocorre no impacto da partícula com a superfície do tubo a trinca do material (SILVA et al., 2011).

6 CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS

A forma e grau de tratamento das águas residuárias utilizadas na irrigação são influenciadores da presença e concentração de contaminantes. De modo geral, os riscos associados ao impacto negativo causado do uso de águas residuárias na irrigação, mais comumente citados na literatura, são inerentes aos metais pesados, compostos orgânicos clorados, nutrientes, matéria orgânica e salinidade (WHO, 2006; QADIR et al., 2010; ELGALLAL; FLETCHER; EVANS, 2016).

6.1 Metais pesados e compostos orgânicos clorados

As águas residuárias utilizadas na irrigação de culturas podem conter contaminantes químicos potencialmente indesejáveis, como metais pesados e compostos orgânicos clorados (ELGALLAL; FLETCHER; EVANS,

2016; QADIR et al., 2010). Estes contaminantes podem ter efeitos adversos no solo, nas plantas e nas águas subterrâneas, se estiverem presentes em concentrações elevadas, entretanto a magnitude dos seus impactos negativos depende da sua concentração, solubilidade e toxicidade, bem como a frequência de aplicação das águas residuárias, das propriedades e condições intrínsecas ao solo, da vulnerabilidade do aquífero, das condições climáticas, do nível tecnológico e estado socioeconômico dos agricultores (WHO, 2006).

Os contaminantes orgânicos transportados pelas águas residuárias, tais como compostos fenólicos, surfactantes, hidrocarbonetos aromáticos policíclicos (HAP), bifenilas policloradas e produtos farmacêuticos podem também acumular-se nos solos devido à irrigação por longo prazo. Estes compostos podem aumentar a toxicidade do solo e representar um potencial risco ecológico ao ecossistema do solo (BECERRA-CASTRO et al., 2015; FATTA-KASSINOS et al., 2011; SONG et al., 2006).

Bedbabis et al. (2010) avaliaram os efeitos da irrigação com esgoto tratado no crescimento e concentração de elementos nas folhas de oliveira e verificaram que somente após dois anos de aplicação foram observadas injúrias causadas por sais e metais pesados (Zn e Mn) nas plantas. Ao analisarem os implicações da aplicação da água residuária doméstica e água de poço na alteração dos teores de metais pesados no solo cultivado com pimenta malagueta, Oliveira et al. (2014) observaram que os teores de cobre, zinco, ferro e manganês no solo em estudo não foram influenciados, pelas proporções de efluente doméstico tratado e da água de poço.

Ramalho e Sobrinho (2001) analisaram os teores totais de Cd, Co, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb de um gleissolo pouco húmico, de uma antiga lagoa de vinhaça e de dois Cambissolos (ambos cultivados

com cana-de-açúcar, sendo um deles fertirrigado com vinhaça e outro que recebeu aplicações de torta de filtro) e compararam com áreas controle. Segundo os autores, a vinhaça só aumentou significativamente os teores de Zn. Entretanto, a torta de filtro promoveu aumentos expressivos nos teores de Cd, Co, Cr, Cu, Ni e Pb no Cambissolo, de modo que os resultados evidenciaram que a maior percentagem desses elementos se encontrava na fração residual de baixa biodisponibilidade, após extração sequencial. Matos, Martins e Lo Monaco (2014) estabeleceram diferentes doses de aplicação de água residuária de curtume no capim Mombaça (*Panicum maximum* cv. Mombaça) tendo o cromo como elemento de referência, e concluíram que o cromo, na sua forma disponível, não foi detectado no solo, nem nas maiores doses de água residuária aplicadas.

A produtividade agrícola pode ser afetada negativamente pela absorção de metais pesados pelas plantas. No organismo humano, os metais pesados tem efeito e concentrações cumulativas e podem ocasionar doenças (BERTONCINI, 2008). Além da potencial fitotoxicidade e consequentes efeitos no crescimento e / ou contaminação das plantas, os metais também podem perturbar as comunidades microbianas autóctonas (por exemplo, redução da biomassa microbiana ou alteração da estrutura da comunidade) (BECERRA-CASTRO et al., 2015). Além disso, os metais acumulados podem interagir sinergicamente com outros contaminantes, como antibióticos, acentuando seus efeitos potenciais (KONG et al., 2006; PELTIER et al., 2010).

6.2 Nutrientes

Para a agricultura, o reuso de efluentes fornece água e determinados nutrientes para as plantas. Uma das vantagens da irrigação com efluentes

tratados é o fornecimento de nutrientes que podem ser suficientes para substituir, ou pelo menos reduzir o uso de fertilizantes minerais na agricultura (ADROVER et al., 2012; FATTA-KASSINOS et al., 2011). O potencial fertilizante das águas residuárias (supondo uma taxa de aplicação de $5000 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$) pode atingir valores anuais de até 250 kg ha^{-1} para N, 50 kg ha^{-1} para P e 150 kg ha^{-1} para K (PESCOD, 1992). Além disso, as águas residuárias também podem ser uma fonte de outros nutrientes tais como Mg, B, Fe, Cu e Zn (PRIOR et al., 2015).

Exemplos de como a irrigação com águas residuárias tem elevado o rendimento das culturas em regiões áridas podem ser encontrados em todo o mundo. Estudos realizados em Hubli-Dharwad, Índia, mostraram que a irrigação com águas residuárias tratadas e não tratadas possibilitou a produção de vegetais durante a estação seca; os rendimentos e os preços de venda aumentaram de 3 a 5 vezes comparados à estação do kharif (monção) (BRADFORD; BROOK; HUNSHAL, 2003). No Paquistão, no Gana e no Senegal, a confiabilidade e a flexibilidade do abastecimento de águas residuárias permitem que os agricultores cultivem culturas rentáveis em menos tempo, resultando em várias colheitas por ano (3 a 6) (VAN DER HOEK et al., 2002; GAYE; NIANG, 2002).

No Brasil, a irrigação com águas residuárias é alvo de inúmeras pesquisas no cultivo de diversas espécies, por possuírem valor nutricional. Oliveira et al. (2012) ao cultivarem melancia irrigada com água de reuso por meio da irrigação por sulcos, objetivaram a obtenção da eficiência de uso dos fatores de produção de água e potássio para o cultivo da melancia e concluíram que o nível de potássio (60 kg ha^{-1}) contribuiu para a máxima eficiência média de uso da água além de um acréscimo de $180,6 \text{ kg ha}^{-1}$ de melancia para cada kg ha^{-1} aplicado a mais de K_2O .

Ao avaliarem o algodoeiro irrigado com efluente doméstico tratado, Souza Neto et al. (2010) notaram que a irrigação com água residuária influenciou positivamente o índice de velocidade de emergência, o percentual de germinação, alguns parâmetros biométricos e massa seca de parte aérea, de modo o aumento da proporção de uso do efluente doméstico promoveu o maior acúmulo de nutrientes no solo aplicados via fertirrigação. Utilizando também esgoto tratado, Silva et al. (2013) estudaram a produção do algodoeiro irrigado com efluente e observaram maior crescimento de plantas, aumento nos teores de nitrogênio foliar e na produção do algodoeiro. Já Ribeiro et al. (2012) avaliaram o crescimento e a produtividade da mamoneira irrigada após a utilização de diferentes diluições de esgoto doméstico tratado não teve efeito na produtividade e nas variáveis de crescimento avaliadas.

Ribeiro et al. (2009) avaliaram a influência da aplicação de diferentes doses de potássio utilizando água residuária do café no crescimento vegetativo de cafeeiros, bem como o acréscimo de potássio e a condutividade elétrica na solução do solo. Os autores observaram que as concentrações de potássio na água residuária até 135 mg L^{-1} contribuiu para o crescimento vegetativo do cafeeiro, revelando-se de forma igual ou melhor, que a água de irrigação e adubação potássica convencional. Além disso, os autores notaram que o aumento na concentração de potássio do solo nos tratamentos não foi suficiente para aumentar a condutividade elétrica em quantidades que possam afetar o desenvolvimento vegetativo. Ao avaliarem os efeitos da irrigação com esgoto tratado no crescimento e concentração de elemento nas folhas de oliveira, Bedbabis et al. (2010) constataram que devido a aplicação do esgoto tratado a concentração de nitrogênio total, fósforo e potássio nas folhas aumentaram significativamente.

As alterações sobre as propriedades do solo também foram estudadas por diversos autores. No Brasil, Matos, Martins e Lo Monaco (2014) avaliaram as alterações químicas do solo cultivado com capim Mombaça (*Panicum maximum* cv. Mombaça) devido a aplicação de diferentes doses de água residuária de curtume. A partir da caracterização química da água residuária, os autores estabeleceram as doses de aplicação tendo o cromo como referência, observou-se a diminuição nas concentrações de P e K disponíveis no solo devido a aplicação da água residuária de curtume, o que esteve associado, provavelmente, à maior extração desses nutrientes pelas plantas, em decorrência das melhorias na fertilidade do solo. Na Espanha, os efeitos da irrigação com água residuária de laticínios pré tratada, sobre as propriedades do solo foram investigados por Prazeres et al. (2014), os quais observaram que a condutividade do solo aumentou linearmente com o nível de salinidade da água residuária aplicada. Além disso, os teores de fósforo, nitrogênio e matéria orgânica foram majorados no solo após a irrigação.

Apesar dos possíveis benefícios para a produtividade das culturas, a oferta excessiva de nutrientes no solo pode ter efeitos adversos. O nitrato, como exemplo, pode ser lixiviado para as águas subterrâneas, fator de grande preocupação quando se considera a aplicação de efluentes em solos sob condições tropicais, pois a matéria orgânica rapidamente é mineralizada causando eutrofização ou toxicidade em outros habitats (BERTONCINI, 2008; CANDELA et al., 2007; KNOBELOCH et al., 2000; WU, 1999). Vale ressaltar que o excesso de nutrientes também pode perturbar as comunidades microbianas autóctones do solo (BECERRA-CASTRO et al., 2015). Por exemplo, a acumulação de N inorgânico em solos pode afetar a atividade catabólica microbiana, em particular a

biodegradação de compostos de carbono recalcitrantes presentes no solo (DEFOREST et al., 2004; RAMÍREZ; CRAINE; FIERER, 2012).

6.3 Matéria orgânica

As águas residuárias são fonte de matéria orgânica, a qual é representada indiretamente pela demanda bioquímica de oxigênio - DBO, pela demanda química de oxigênio - DQO, pelos sólidos suspensos totais - SST (HOMEM et al., 2014), e carbono orgânico total -COT (SOUZA; DANIEL, 2005).

Em um sistema de irrigação com efluente, a matéria orgânica quando presente, é incorporada ao solo como um condicionador (HOMEM et al., 2014; SANTOS et al., 2006). Todavia, se o material orgânico é aplicado a uma taxa maior do que a capacidade do solo para assimilá-lo, logo, os poros podem ficar obstruídos. Resultados encontrados por Erthal et al. (2010) corroboram com esta informação, visto que ao analisarem os efeitos da aplicação de água residuária da bovinocultura nas alterações físicas e químicas do solo, não foi verificado o efeito de salinização do perfil do solo ainda que a porcentagem de argila dispersa em água tenha aumentado, sugerindo que a aplicação permanente do efluente pode apresentar riscos na redução da permeabilidade do solo. Bonini et al. (2014) estudaram modificações nos atributos químicos e físicos de um Latossolo Vermelho irrigado com água residuária e vinhaça e observaram, do ponto de vista físico, que a aplicação de vinhaça levou a uma drástica redução na condutividade hidráulica do solo, e portanto, os autores recomendaram que a utilização de águas residuárias e vinhaça na irrigação sejam realizadas de forma criteriosa.

Nesse sentido, a aplicação de uma carga orgânica elevada necessita de um maior período de repouso entre aplicações,

a fim de permitir a evapotranspiração da água aplicada e para os microrganismos do solo degradarem o material orgânico contido no efluente. Isto também minimizaria a saturação do solo, o escoamento resultante e a oxigenação na zona da raiz.

Os efeitos sobre a estabilidade do agregado do solo e a capacidade de retenção de água devido aos insumos de matéria orgânica proveniente da irrigação com águas residuárias foram descritos (LEVY et al., 2013; VOGELER, 2008). No entanto, estes efeitos podem depender da concentração e composição da matéria orgânica e da textura do solo (BECERRA-CASTRO et al., 2015). Enquanto que em solos arenosos a irrigação de esgoto levou a um aumento na estabilidade do agregado, e em solos argilosos resultou em uma diminuição (LEVY et al., 2013). As características dos agregados do solo são muito importantes, uma vez que 40-70% das bactérias do solo estão associadas à microagregados estáveis e partículas de argila, com tamanhos menores que 20 μm (BECERRA-CASTRO et al., 2015; RANJARD; RICHAUME, 2001). Portanto, a interferência na formação de agregados do solo devido à irrigação de esgotos deverá modificar os micro-habitats do solo e, portanto, influenciar as comunidades microbianas do solo (TORSVIK; OVREAS, 2002).

A complexidade das implicações da irrigação com águas residuárias limita o estabelecimento de possíveis relações de causa-efeito, e o fornecimento de matéria orgânica, é um exemplo. Embora a maioria dos estudos apresente um aumento na matéria orgânica devido à irrigação de águas residuárias, alguns não detectaram variações significativas, mas ainda relataram alterações nos parâmetros microbiológicos e bioquímicos (BECERRA-CASTRO et al., 2015). A influência do suprimento de matéria orgânica sobre a microbiota é sugerida, pelo

fato, que a irrigação de esgoto foi às vezes associada a um aumento na biomassa microbiana do solo e nas atividades enzimáticas do solo. Esses efeitos devem-se provavelmente à estimulação do crescimento e da atividade microbiana, impulsionados pela matéria orgânica e nutrientes fornecidos pelas águas residuárias (MORUGÁN-CORONADO et al., 2013).

6.4 Sais

Além do conteúdo total de sais presente na água, a qualidade da água para fins de irrigação também é avaliada pela composição individual dos íons presentes (BECERRA-CASTRO et al., 2015; UCKER et al., 2013). Alguns cátions e ânions, quando presentes em quantidades excessivas, podem trazer prejuízos ao solo e às culturas, dependendo do grau de tolerância desta última (AYERS; WESTCOT, 1991; RICHARDS, 1995; ZONN, 1986). Deste modo, a fertirrigação pode promover a salinização do solo (aumento das concentrações de sais) ou sodificação (aumento dos íons de sódio em relação aos cátions). Por sua vez, a salinização e a sodificação contribuem também para o aumento da condutividade elétrica e da infiltração da água, respectivamente. Estes são os efeitos negativos causadores mais comumente relatados pela irrigação rica em sais (ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, 2012; PESCOD, 1992; WHO, 2006)

A salinidade excessiva do solo também causa estresse hiperosmótico, estresse oxidativo e toxicidade iônica, constituindo um fator limitante para o crescimento, desenvolvimento e produtividade das plantas (LEVY; TAI, 2013; NGARA et al., 2012).

Efeitos adversos no tomateiro foram observados por Prazeres et al. (2014) ao irrigar culturas de tomate (cv. Roma e cv.

Rio Grande) com água residuária de laticínios com alto nível de salinidade, os autores constataram algumas desordens fisiológicas tais como podridão da flor-extremidade. Nesse mesmo sentido, notou-se que a condutividade do solo aumentou linearmente com o nível de salinidade da água residuária aplicada.

Além disso, demais aspectos importantes na avaliação da qualidade da água para a irrigação, foram pautados por Burt, O'Conner e Ruehr (1995), tais como a possível precipitação de resíduos, principalmente quando a irrigação é praticada em condutos pressurizados e há aplicação de fertilizantes via água de irrigação. Os autores alegam que a aplicação de sais e defensivos utilizando a água da irrigação como meio, pode proporcionar problemas, tais como precipitação e volatilização, a qual depende da qualidade da água. Ao fertirrigar uma cultura, a eficiência de adubação pode ser atenuada quando não são tomados devidos cuidados para a melhoria das condições de equilíbrio químico na água de irrigação. (BURT; O'CONNOR; RUEHR, 1995), como o desbalanço nutricional, provocado pelos sinergismos e antagonismos entre os elementos. Nos solos onde ocorre a aplicação de esgotos sanitários tratados, o material orgânico é degradado pelos microrganismos, podendo acarretar a diminuição do valor do pH do solo em decorrência da produção de dióxido de carbono e ácidos orgânicos (BOUWER; CHANEY, 1974). Entretanto, nestas condições, o pH do solo, também, pode aumentar em razão do acréscimo de cátions trocáveis e de ânions provenientes do

efluente (STEWART et al., 1990). O uso de águas residuárias com baixa salinidade, porém com alta relação de adsorção de sódio, e como já mencionado, pode causar a dispersão das partículas de argila e desta forma proporcionar a redução na permeabilidade do solo, acarretando a diminuição da aeração.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O uso de água residuária para fins de irrigação, embora apresentem vantagens dentro da temática dos recursos hídricos e a produção agrícola, requer uma abordagem mais cautelosa, visto que a pesquisa e a legislação ainda são incipientes, tanto no Brasil, quanto em outros locais do mundo. Os resultados obtidos nos estudos revelam que diversas culturas podem ser irrigadas com águas residuárias devidamente tratadas. Este fato, ratifica a importância de se adotar uma política de reuso ainda mais específica no que diz respeito à utilização de águas residuárias em diversas atividades agrícolas, principalmente pela irrigação. Todavia, ainda existem diversos problemas associados a essa prática, principalmente quanto à origem dos efluentes, eficiência dos tratamentos, forma de aplicação e manejo agrícola. A perspectiva de avanço nas pesquisas com águas residuárias poderá fornecer informações que venham a contribuir para o aprimoramento da legislação específica no Brasil, afim de favorecer a segurança ao agricultor, ao ambiente e ao alimento, além de confiança ao consumidor.

8 REFERÊNCIAS

ADROVER, M.; FARRUS, E.; MOYA, G.; VADELL, J. Chemical properties and biological activity in soils of Mallorca following twenty years of treated wastewater irrigation. **Journal of Environmental Management**, London, v. 95, n.1, p. 188-192, 2012.

- AL-JASSIM, N.; ANSARI, M. I.; HARB, M.; HONG, P. Y. Removal of bacterial contaminants and antibiotic resistance genes by conventional wastewater treatment processes in Saudi Arabia: Is the treated wastewater safe to reuse for agricultural irrigation? **Water Research**, New York, v. 73, n.1, p. 277-290, 2015.
- ANAMI, M. H.; SAMPAIO, S. C.; SUSZEK, M.; GOMES, S. D.; QUEIROZ, M. M. F. Deslocamento miscível de nitrato e fosfato proveniente de água residuária da suinocultura em colunas de solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 12, n. 1, p. 75-80, 2008.
- BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **Resolução nº 12, de 02 de Janeiro de 2001**. Aprova o regulamento técnico sobre padrões microbiológicos para alimentos, através da revogação da portaria SVS/MS 451, de 19 de Setembro de 1997. Brasília, DF: ANVISA, 2001. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/inspecao/produtos-vegetal/legislacao-1/biblioteca-de-normas-vinhos-e-bebidas/resolucao-rdc-no-12-de-2-de-janeiro-de-2001.pdf/view>. Acesso em: 05 out. 2017.
- AYERS, R. S.; WESTCOT, D. W. **A qualidade da água na agricultura**. Campina Grande: UFPB, 1991.
- AZZAM, A. M.; ISMAIL, N. M.; MOSTAFA, B. B. Impact of lining material on chemical and microbial irrigation water quality of Nubaria canal, Egypt. **Asian Pacific of Journal Tropical Disease**, Haikou, v. 6, n.1, p. 126-132, 2016.
- BAHAR, E.; DEMIREL, K.; DEVECILER, M.; ERKEN, O.; YAVUZ, M. Y. Emitter clogging and effects on drip irrigation system performances. **African Journal of Agricultural Research**, Nairobi, v. 5, n. 7, p. 532-538, 2010.
- BARROSO, L. B.; WOLFF, D. B. Reuso de esgoto sanitário na irrigação de culturas agrícolas. **Engenharia Ambiental Pesquisa e Tecnologia**, Espírito Santo do Pinhal, v. 8, n. 3, p. 225-236, 2011.
- BASTOS, R. K. X.; BEVILACQUA, P. D.; SILVA, C. A. B.; SILVA, C. V. Wastewater irrigation of salad crops: further evidence for the evaluation of the WHO guidelines. **Water Science and Technology**, Oxford, v. 57, n. 8, p. 1213-1219, 2008.
- BATISTA, R. O.; MARTINEZ, M. A.; PAIVA, H. N.; BATISTA, R. O.; CECON, P. R. Efeito da água residuária da suinocultura no desenvolvimento e qualidade de mudas de *Eucalyptus urophylla* produzidas em substrato de resíduos sólidos urbanos. **Ambi-Agua**, Taubaté, v. 8, n. 2, p. 180-191, 2013.
- BATISTA, R. O.; OLIVEIRA, R. A.; SANTOS, D. B. Obstrução e uniformidade de aplicação em sistemas de irrigação por gotejamento aplicando-se efluente da suinocultura. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 17, n. 7, p. 698-705, 2013.

- BATISTA, R. O.; SOUZA, J. A. R.; FERREIRA, D. C. Influência da aplicação de esgoto doméstico tratado no desempenho de um sistema de irrigação. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 57, n. 1, p. 18-22, 2010.
- BEAUDEQUIN, D.; HARDEN, F.; ROIKO, A.; STRATTON, H.; LEMCKERT, C.; MENGERSEN, K. Modelling microbial health risk of wastewater reuse: A systems perspective. **Environment International**, New York, v. 84, n.1, p. 131-141, 2015.
- BECERRA-CASTRO, C.; LOPES, A. R.; VAZ-MOREIRA, I.; SILVA, E. F.; MANAIA, C. M.; NUNES, O. C. Wastewater reuse in irrigation: A microbiological perspective on implications in soil fertility and human and environmental health. **Environment International**, New York, v. 75, n.1, p. 117-130, 2015.
- BEDBABIS, S.; FERRARA, G.; ROUINA, B. B.; BOUKHRIS, M. Effects of irrigation with treated wastewater on olive tree growth, yield and leaf mineral elements at short term. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 126, n.1, p. 345-350, 2010.
- BERNSTEIN, N.; SELA, S.; NEDER-LAVON, S. Effect of irrigation regimes on persistence of *Salmonella enterica serovar* Newport in small experimental pots designed for plant cultivation. **Irrigation Science**, New York, v. 26, n.1, p. 1-8, 2007.
- BERTONCINI, E. I. Tratamento de efluentes e reuso da água no meio agrícola. **Revista Tecnologia & Inovação Agropecuária**, São Paulo, v. 1, n.1, p. 152-169, 2008.
- BONINI, M. A.; SATO, L. M.; BASTOS, R. G.; SOUZA, C. F. Alterações nos atributos químico e físicos de um Latossolo Vermelho irrigado com água residuária e vinhaça. **Revista Biociências**, Taubaté, v. 20, n. 1, p. 78-85, 2014.
- BOUWER, H.; CHANEY, R. L. Land treatment of wastewater. **Advances in Agronomy**, San Diego, v. 26, n.1, p. 133-176, 1974.
- BRADFORD, A.; BROOK, R.; HUNSHAL, C. Wastewater irrigation: hubli-Dharwad, India: Implications for health and livelihoods. **Environment&Urbanization**, Muldersdrift, v.15, n.2, p. 157-169, 2003.
- BRALTS, V. F.; WU, I. P.; GITLIN, H. M. Emitter plugging and drip irrigation lateral line hydraulics. **Transactions of the ASAE**, Saint Joseph, v. 24, n. 5, p. 1274-1281, 1981.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução nº 357, de 17 de março de 2005**. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Brasília, DF: Ministério do Meio Ambiente, 2005. Disponível em: <http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=459>. Acesso em: 22 out. 2017.
- BUCKS, D. A.; NAKAYAMA, F. S.; GILBERT, R. G. Trickle irrigation water quality and preventive maintenance. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 2, n.1, p. 149-162, 1979.

BURT, C.; O'CONNOR, K.; RUEHR, T. **Fertigation**. San Luis Obispo: California Polytechnic State University, 1995.

BUSGANG, A.; FRIEDLER, E.; OVADIA, O.; GROSS, A. Epidemiological study for the assessment of health risks associated with graywater reuse for irrigation in arid regions. **Science of the Total Environment**, Amsterdam, v. 538, n.1, p. 230-239, 2015.

CANDELA, L.; FABREGAT, S.; JOSA, A.; SURIOL, J.; VIGUÉS, N.; MAS, J. Assessment of soil and groundwater impacts by treated urban wastewater reuse. A case study: application in a golf course (Girona, Spain). **Science of the Total Environment**, Amsterdam, v. 374, n.1, p. 26-35, 2007.

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

CHEN, X.; LIU, L.; NIU, N. Influence of fine particle size and concentration on the clogging of labyrinth emitters. **Irrigation Science**, Amsterdam, v. 31, n. 4, p. 545-555, 2013.

CHIGERWE, J.; MANJENGWA, N.; VAN DER ZAAG, P. Low head drip irrigation kits and treadle pumps for smallholder farmers in Zimbabwe: a technical evaluation based on laboratory tests. **Physics and Chemistry of the Earth**, Amsterdam, v. 29, n. 15-18, p. 1049-1059, 2004.

CIRELLI, G. L.; CONSOLI, S.; LICCIARDELLO, F.; AIELLO, R.; GIUFFRIDA, F.; LEONARDI, C. Treated municipal wastewater reuse in vegetable production. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 104, n.1, p. 163-170, 2012.

CRUZ, O. C. **Desempenho de um hidrociclone de geometria “rietema” como pré-filtro para sistemas de irrigação**. 2008. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2008.

CUNHA, F. F.; MATOS, A. T.; BATISTA, R. O.; LO MONACO, P. A. Uniformidade de distribuição em sistemas de irrigação por gotejamento utilizando água residuária da despolpa dos frutos do cafeeiro. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 28, n. 1, p. 143-147, 2006.

DEFOREST, J. L.; ZAK, D. R.; PREGITZER, K. S.; BURTON, A. J. Atmospheric nitrate deposition, microbial community composition, and enzyme activity in Northern Hardwood forests. **Soil Science Society of America of America Journal**, Madison, v. 8, n.1, p. 132-138, 2004.

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

DURAN-ROS, M.; PUIG-BARGUÉS, J.; ARBAT, G.; BARRAGÁN, J.; CARTAGENA, F. R. Effect of filter, emitter and location on clogging when using effluents. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 96, n. 1, p. 67-79, 2009.

ELGALLAL, M.; FLETCHER, L.; EVANS, B. Assessment of potential risks associated with chemicals in wastewater used for irrigation in arid and semiarid zones: A review. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 177, n.1, p. 419-431, 2016.

ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **EPA/600/R-12/618**: Guidelines for Water Reuse. Washington: EPA, 2012.

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

FATTA-KASSINOS, D.; KALAVROUZOTIS, I. K.; KOUKOULAKIS, P. H.; VASQUEZ, M. I. The risks associated with wastewater reuse and xenobiotics in the agroecological environment. **Science of the Total Environment**, Amsterdam, v. 409, n.1, p. 3555-3563, 2011.

FEIGIN, A.; RAVINA, I.; SHALHEVET, J. Irrigation with Treated Sewage Effluent: Management for Environmental Protection. 1. ed. Heidelberg: Springer-Verlag, 1991. 224p.

FEITOSA, T.; GARRUTI, D. S.; LIMA, J. R.; MOTA, S.; BEZERRA, F. M. L.; AQUINO, B. F.; SANTOS, A. B. Qualidade de frutos de melancia produzidos com reúso de água de esgoto doméstico tratado. **Revista Tecnologia**, Fortaleza, v. 30, n. 1, p. 53-60, 2009.

FIGUEIREDO, A. M. F.; CEBALLOS, B. S. O.; SOUSA, J. T.; ARAÚJO, H. W. C. Efeito da fertirrigação de esgotos domésticos tratados na qualidade sanitária e produtividade do quiabo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 9, n. suplemento, p. 322-327, 2005.

FOLEY, J. A.; RAMANKUTTY, N.; BRAUMAN, K. A.; CASSIDY, E. S.; GERBER, J. S.; JOHNSTON, M.; MUELLER, N. D.; O'CONNELL, C.; RAY, D. K.; WEST, P. C.; BALZER, C.; BENNETT, E. M.; CARPENTER, S. R.; HILL, J.; MONFREDA, C.; POLASKY, S.; ROCKSTROM, J.; SHEEHAN, J.; SIEBERT, S.; TILMAN, G. D.; FUHRMANN, S.; PHAM-DUC, P.; CISSÉ, G.; THUY, N.; THU, H. Solutions for a cultivated planet. **Nature**, Londres, v. 478, n. 1, p. 337-342, 2011.

FORSLUND, A.; ENSINK, J. H. J.; BATTILANI, A.; KLJUJEV, I.; GOLA, S.; RAICEVIC, V.; JOVANOVIC, Z.; STIKIC, R.; SANDEI, L.; FLETCHER, T.; DALSGAARD, A. Faecal contamination and hygiene aspect associated with the use of treated wastewater and canal water of irrigation of potatoes (*Solanum tuberosum*). **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 98, n. 1, p. 440-450, 2010.

FRANCO, R. A. M.; HERNANDEZ, F. B. T. Qualidade da água para irrigação na microbacia do Coqueiro, Estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 13, n. 6, p. 772-780, 2009.

FUHRMANN, S.; PHAM-DUC, P.; CISSÉ, G.; TRAM, N.T.; HA, H.T.; DUNG, D.T.; NGOC, P.; NGUYEN-VIET, H.; VUONG, T.A.; UTZINGER, J.; SCHINDLES, C.; WINKLER, M.S. Microbial contamination along the main open wastewater and storm water channel of Hanoi, Vietnam, and potential health risks for urban farmers. **Science of the Total Environment**, Amsterdam, v. 566-567, n. 1, p. 1014-1022, 2016.

GAYE, M.; NIANG, S. **Epuration des eaux usées et l'agriculture urbaine**: Etudes et Recherches. Dakar: ENDA-TM, 2002.

GEMMELL, M. E.; SCHMIDT, S. Microbiological assessment of river water used for the irrigation of fresh produce in a sub-urban community in Sobantu, South Africa. **Food Research International**, Barking, v. 47, n.1, p. 300-305, 2012.

GERMER, J.; BOH, M. Y.; SCHOEFLER, M.; AMOAH, P. Temperature and deactivation of microbial faecal indicators during small scale co-composting of faecal matter. **Waste Management**, Elmsford, v. 30, n. 2, p. 185-191, 2010.

HAGEDORN, C.; BLANCH, A. R.; HARWOOD, V. J. (ed.). **Microbial source tracking**: methods, applications, and case studies. New York: Springer; London: Dordrecht Heidelberg, 2011.

HAMILTON, A. J.; STAGNITTI, F.; XIONG, X.; KREIDL, S. L.; BENKE, K. K.; MAHER, P. Wastewater irrigation: The state of play. **Vadose Zone Journal**, Madison, v. 6, n. 4, p. 823-840, 2007.

HAMODA, M. F.; AL-GHUSAIN, I.; AL-MUTAIRI, N. I. Sand filtration of wastewater for tertiary treatment and water reuse. **Desalinization**, Amsterdam, v. 164, n. 3, p. 203-211, 2004.

HAAS, C. N.; ROSE, J. B.; GERBA, C. P. Quantitative microbial risk assessment; John Wiley & Sons: New York, 1999.

HEATON, J. C.; JONES, K. Microbial contamination of fruit and vegetables and the behaviour of enteropathogens in the phyllosphere: a review. **Journal of Applied Microbiology**, Oxford, v. 104, n. 3, p. 613-626, 2008.

HOMEM, B. G. C.; ALMEIDA NETO, O. B.; CONDÉ, M. S.; SILVA, M. D.; FERREIRA, I. M. Efeito do uso prolongado de água residuária da suinocultura sobre as propriedades químicas e físicas de um Latossolo Vermelho-Amarelo. **Científica**, Jaboticabal, v. 42, n. 3, p. 299-309, 2014.

IJABADENIYI, O. A.; BUYS, E. M. Irrigation water and microbiological safety of fresh produce; South Africa as a case study: a review. **African Journal of Agriculture Research**, Nairobi, v. 7, n. 35, p. 4848-4857, 2012.

- ILIC, S.; RAJIC, A.; BRITTON, C.; GRASSO, E.; WILKENS, W.; TOTTON, S. A scoping study characterizing prevalence, risk factor and intervention research, published between 1990 and 2010, for microbial hazards in leafy green vegetables. **Food Control**, Guildford, v. 23, n. 1, p. 7-19, 2011.
- JEONG, H.; KIM, H.; JANG, T.; PARK, S. Assessing the effects of indirect wastewater reuse on paddy irrigation in the Osan River watershed in Korea using the SWAT model. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 163, n.1, p. 393-402, 2016.
- JEONG, H.; JANG, T.; SEONG, C.; PARK, S. Assessing nitrogen fertilizer rates and split applications using the DSSAT model for rice irrigated with urban wastewater. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 141, n.1, p. 1-9, 2014.
- JIMENEZ, B.; DRECHSEL, P.; KONÉ, D.; BAHRI, A.; RACHID-SALLY, L.; QADIR, M. Wastewater, sludge and excreta use in developing countries: an overview. In: DRECHSEL, P. SCOTT, CA; RASCHID-SALLY, L; REDWOOD, M; BAHRI, A. (ed.). **Wastewater irrigation and health: assessing and mitigating risk in low-income countries**. London: Earthscan; Ottawa: International Development Research Centre; Colombo: International Water Management Institute, 2010. p. 3-27.
- DRECHSEL, P.; SCOTT, C.A.; RASCHID-SALLY, L.; REDWOOD, M.; BAHRI, A. **Wastewater irrigation and health: assessing and mitigating risk in low-income countries**. London: Earthscan; Ottawa: International Development Research Centre; Colombo: International Water Management Institute, 2010. p. 3-27.
- KARMELI, D.; KELLER, J. **Trickle irrigation design**. 1st ed. Glendora: Rain Bird Sprinkler Manufacturing Corporation, 1975.
- KNOBELOCH, L.; SALNA, B.; HOGAN, A.; POSTLE, J.; ANDERSON, H. Blue babies and nitrate contaminated well water. **Environmental Health Perspectives**, Research Triangle Park, v. 108, n. 7, p. 675-678, 2000.
- KONG, W. D.; ZHU, Y. G.; FU, B. J.; MARSCHNER, P.; HE, J. Z. The veterinary antibiotic oxytetracycline and Cu influence functional diversity of the soil microbial community. **Environmental Pollution**, Barking, v. 143, n. 1, p. 129-137, 2006.
- LAMM, F. R.; CAMP, C. Subsurface drip irrigation. In: LAMM, F. R.; AYARS, J. E.; NAKAYAMA, F. S. (ed.). **Microirrigation for crop production**. Amsterdam: Elsevier, 2007. v. 13, chap. 13, p. 473-551.
- LEVY, D.; TAI, G. C. C. Differential response of potatoes (*Solanum tuberosum* L.) to salinity in an arid environment and field performance of the seed tubers grown with fresh water in the following season. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 16, n. 1, p. 122-127, 2013.
- LEVY, G. J.; LORDIAN, A.; GOLDSTEIN, D.; BORISOVER, M. Soil structural indices' dependence on irrigation water quality and their association with chromophoric components

in dissolved organic matter. **European Journal of Soil Science**, Oxford, v. 65, n. 2, p. 197-205, 2013.

LI, Y. K.; LIU, Y. Z.; LI, G. B.; XU, T. W.; LIU, H. S.; REN, S. M.; YAN, D. Z.; YANG, P. L. Surface topographic characteristics of suspended particulates in reclaimed wastewater and effects on clogging in labyrinth drip irrigation emitters. **Irrigation Science**, New York, v. 30, n. 1, p. 43-56, 2012.

LIMA, S.; HENRIQUE, I. N.; CEBALLOS, B. S. O.; SOUZA, J. T.; ARAÚJO, H. W. C. Qualidade sanitária e produção de alface irrigada com esgoto doméstico tratado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 9, n.1, p. 21-25, 2005.

LIU, H.; HUANG, G. Laboratory experiment on drip emitter clogging with fresh water and treated sewage effluent. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 96, n. 5, p. 745-756, 2009.

MAIMON, A.; FRIEDLER, E.; GROSS, A. Parameters affecting greywater quality and its safety for reuse. **Science of the Total Environment**, Amsterdam, v. 487, n. 1, p. 20-25, 2014.

MAIMON, A.; TAL, A.; FRIEDLER, E.; GROSS, A. Safe on-site reuse of greywater for irrigation — A critical review of current guidelines. **Environmental Science and Technology**, Washington, v. 44, n. 9, p. 3213-3220, 2010.

MAITY, P. B.; SAHA, T.; GHOSH, P. B.; ANDOPADHYAY, T. S. Studies on pollution status of Jalangi river around Krishnanagar city in West Bengal. **Science and Culture**, Calcutta, v. 70, n.1, p. 191-194, 2004.

MARA, D.; SLEIGH, P.; BLUMENTHAL, U.; CARR, R. Health risks in wastewater irrigation: comparing estimates from quantitative microbial risk analyses and epidemiological studies. **Journal of Water and Health**, London, v. 5, n.1, p. 39-50, 2007.

MATOS, A. T.; MARTINS, P. O.; LO MONACO, P. A. V. Alterações químicas no solo após fertirrigação do capim Mombaça com água residuária de curtume. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v. 22, n. 2, p. 128-137, 2014.

MOK, H. F.; BARKER, S. F.; HAMILTON, A. J. A probabilistic quantitative microbial risk assessment model of norovirus disease burden from wastewater irrigation of vegetables in Shepparton, Australia. **Water Research**, New York, v. 54, n.1, p. 347-362, 2014.

MONAGHAN, J. M.; HUTCHISON, M. L. Distribution and decline of human pathogenic bacteria in soil after application in irrigation water and the potential for soil-splash-mediated dispersal onto fresh produce. **Journal of Applied Microbiology**, Oxford, v. 112, n.1, p. 1007-1019, 2012.

MORUGÁN-CORONADO, A.; ARCENEGUI, V.; GARCÍA-ORENES, F.; MATAIX-SOLERA, J.; MATAIX-BENEYTO, J. Application of soil quality indices to assess the status of agricultural soils irrigated with treated wastewaters. **Solid Earth Sciences**, Guangzhou, v. 4, n.1p. 119-127, 2013.

- NGARA, R.; NDIMBA, R.; BORCH-JENSEN, J.; JENSEN, O. N.; NDIMBA, B. Identification and profiling of salinity stress-responsive proteins in Sorghum bicolor seedlings. **Journal of Proteomics**, Valencia, v. 75, n.1, p. 4139-4150, 2012.
- OLAIMAT, A. N.; HOLLEY, R. A. Factors influencing the microbial safety of fresh produce: a review. **Journal of Food Protection**, Ames, v. 32, n. 1, p. 1-19, 2012.
- OLIVEIRA, A. F. M.; FERNANDES, F. G. B. C.; BATISTA, R. O.; SOUZA, L.; GURGEL, M. T. Teores de metais pesados em cambissolo irrigado com água residuária doméstica e água de poço. **Revista Ambiente e Água**, Taubaté, v. 9, n. 2, p. 302-312, 2014.
- OLIVEIRA, P. G. F.; MOREIR, O. C.; BRANCO, L. M. C.; COSTA, R. N. T.; DIAS, C. N. Eficiência de uso dos fatores de produção água e potássio na cultura da melancia irrigada com água de reuso. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 16, n. 2, p. 153-158, 2012.
- ORLOFSKY, E.; BERNSTEIN, N.; SACKS, M.; VONSHAK, A.; BENAMI, M.; KUNDU, A.; MAKI, M.; SMITH, W.; WUERTZ, S.; SHAPIRO, K.; GILLOR, O. Comparable levels of microbial contamination in soil and on tomato crops after drip irrigation with treated wastewater or potable water. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, Amsterdam, v. 215, n.1, p. 140-150, 2016.
- ORON, G.; CAMPOS, C.; GILLERMAN, L.; SALGOT, M. Wastewater treatment, renovation and reuse for agricultural irrigation in small communities. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 38, n.1, p. 223-243, 1999.
- OTTOSON, J.; STENSTRÖM, T. A. Faecal contamination of greywater and associated microbial risks. **Water Research**, New York, v. 37, n.1, p. 645-655, 2003.
- PALESE, A. M.; PASQUALE, V.; CELANO, G.; FIGLIUOLO, G.; MASI, S.; XILOYANNIS, C. Irrigation of olive groves in Southern Italy with treated municipal wastewater: Effects on microbiological quality of soil and fruits. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, Amsterdam, v. 129, n.1, p. 43-51, 2009.
- PELTIER, E.; VINCENT, J.; FINN, C.; GRAHAM, D.W. Zinc-induced antibiotic resistance in activated sludge bioreactors. **Water Research**, New York, v. 44, n.1, p. 3829-3836, 2010.
- PESCOD, M. B. **Wastewater treatment and use in agriculture**. Rome: FAO, 1992. (Irrigation and Drainage Paper, 47).
- PITTS, D. J.; FERGUSON, J. A.; GILMOUR, J. T. **Plugging Characteristics of Drip-Irrigation Emitters Using Backwash from a Water-Treatment Plant**. Fayetteville: University of Arkansas, 1985. (Bulletin, 880).
- POMA, H. R.; GUTIÉRREZ CACCIABUE, D.; GARCÉ, B.; GONZO, E. E.; RAJAL, V. B. Towards a rational strategy for monitoring of microbiological quality of ambient waters. **Science of the Total Environment**, Amsterdam, v. 433, n.1, p. 98-109, 2012.

PRAZERES A. R.; CARVALHO, F.; RIVAS, J.; PATANITA, M.; DÔRES, J. Reuse of pretreated cheese whey wastewater for industrial tomato production (*Lycopersicon esculentum* Mill.). **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 140, n.1, p. 87-95, 2014.

PRIOR, M.; SAMPAIO, S. C.; NÓBREGA, L. H. P.; DIETER, J.; COSTA, M. S. S. Estudo da associação de água residuária de suinocultura e adubação mineral na cultura do milho no solo. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 35, n. 4, p. 744-755 2015.

PUIG-BARGUÉS, J.; ARBAT, G.; ELBANA, M.; DURAN-ROS, M.; BARRAGÁN, J.; RAMÍREZ DE CARTAGENA, F.; LAMM, F. R. Effect of flushing frequency on emitter clogging in microirrigation with effluents. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 97, n. 6, p. 883-891, 2010.

PUIG-BARGUÉS, J.; ELBANA, M.; RAMIREZ DE CARTAGENA, F. Effectiveness of sand media filters for removing turbidity and recovering dissolved oxygen from a reclaimed effluent used for micro-irrigation. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 111, n.1, p. 27-33, 2012.

PUIG-BARGUÉS, J.; LAMM, F. R. Effect of flushing velocity and flushing duration on sediment transport in microirrigation driplines. **Transactions of the ASABE**, St. Joseph, v. 56, n. 5, p. 1821-1828, 2013.

QADIR, M.; WICHELS, D.; RASCHID-SALLY, L.; MCCORNICK, P. G.; DRECHSEL, P.; BAHRI, A.; MINHAS, P. S. The challenges of wastewater irrigation in developing countries. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 97, n. 4, p. 561-568, 2010.

RAMALHO, J. F. G. P.; SOBRINHO, N. M. B. A. Metais pesados em solos cultivados com cana-de-açúcar pelo uso de resíduos agroindustriais. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 8, n. 1, p. 120-129, 2001.

RAMÍREZ, K. S.; CRAINE, J. M.; FIERER, N. Consistent effects of nitrogen amendments on soil microbial communities and processes across biomes. **Global Change Biology**, Oxford, v. 18, n. 6, p. 1918-1927, 2012.

RANJARD, L.; RICHAUME, A. Quantitative and qualitative microscale distribution of bacteria in soil. **Research in Microbiology**, Paris, v. 152, n. 1, p. 707-716, 2001.

RAVINA, I.; PAZ, E.; SOFER, Z.; MARCU, A.; SCHISCHA, A.; SAGI, G.; YECHIALY, Z.; LEV, Y. Control of clogging in drip irrigation with stored treated municipal sewage effluent. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 33, n. 2-3, p. 127-137, 1997.

REGO, J. L.; OLIVEIRA, E. L. L.; CHAVES, A. F.; ARAUJO, A. P. B.; BEZERRA, F. M. L.; SANTOS, A. B.; MOTA, S. Uso do esgoto doméstico tratado na irrigação da cultura da melancia. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 9, n. suplemento, p. 155-159, 2005.

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

RIBEIRO, M. S.; LIMA, L. A.; FARIA, F. H. S.; REZENDE, F. C.; FARIA, L. A. Efeitos de águas residuárias de café no crescimento vegetativo de cafeeiros em seu primeiro ano. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 29, n. 4, p. 569-577, 2009.

RICHARDS, R. A. Improving crop production on salt affected soils: by breeding or management? **Experimental Agriculture**, Cambridge, v. 31, n. 4, p. 395-408, 1995.

RODRIGUES, R. Q.; LOIKO, M. R.; PAULA, M. D. C.; HESSEL, C. T.; JACXSENS, L.; UYTENDAELE, M.; BENDER, R. J.; TONDO, E. C. Microbiological contamination linked to implementation of good agricultural practices in the production of organic lettuce in Southern Brazil. **Food Control**, Guildford, v. 42, n.1, p. 152-164, 2014.

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

SCHAEFER, M. Water technologies and the environment: Ramping up by scaling down. **Technology in Society**, New York, v. 30, n.1, p. 415-422, 2008.

SCHOEN, M. E.; ASHBOLT, N. J. An in-premise model for Legionella exposure during showering events. **Water Research**, New York, v. 45, n.1, p. 5826-5836, 2011.

SCHOEN, M. E.; GARLAND, J. Review of pathogen treatment reductions for onsite non-potable reuse of alternative source waters. **Microbial Risk Analysis**, Vermont, v.1. n.1, p. 1-7, 2017.

SHIBATA, T.; SOLO-GABRIELE, H. M.; FLEMING L. E.; ELMIR. S. Monitoring marine recreational water quality using multiple microbial indicators in an urban tropical environment. **Water Research**, New York, v. 38, n.1, p. 3119-3131, 2004.

SILVA, C. A.; SILVA, C. J. Avaliação de uniformidade em sistemas de irrigação localizada. **Revista Científica Eletrônica de Agronomia**, Garça, ano 9, v. 8, n.1, p.1-17, 2005.

SILVA, L. V. B. D.; LIMA, V. L. A.; SILVA, V. N. B.; SOFATTI, V.; PEREIRA, T. L. P. Torta de mamona residual e irrigação com efluente sobre crescimento e produção de algodoeiro herbáceo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 17, n. 12, p. 1264-1270, 2013.

SILVA, N. I.; FONTES, L. O.; TAVELLA, L. B.; OLIVEIRA, J. B.; OLIVEIRA, A. C. Qualidade da água na irrigação. **Agropecuária Científica no Semiárido**, Campina Grande, v. 7, n. 3, p. 1-15, 2011.

- SIMÕES, K. S.; PEIXOTO, M. D. F. S. P.; ALMEIDA, A. T. Água residuária de esgoto doméstico tratado na atividade microbiana do solo e crescimento da mamoneira. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 17, n. 5, p. 518-523, 2013.
- SINGH, P. K.; DESHBHRATAR, P. B.; RAMTEKE, D. S. Effects of sewage wastewater irrigation on soil properties, crop yield and environment. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 103, n.1, p. 100-104, 2012.
- SIVARAJA, R.; NAGARAJAN, K. Levels of indicator microorganisms (total and fecal coliforms) in surface waters of rivers Cauvery and Bhavani for circuitously predicting the pollution load and pathogenic risks. **International Journal of Pharm Tech Research**, Mumbai, v. 6, n.1, p. 455-461, 2014.
- SOCOL, O. J. **Construção e avaliação de hidrociclone para pré-filtragem da água de irrigação**. 2003. Tese (Doutorado em Irrigação e Drenagem) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2003.
- SONG, Y. F.; WILKE, B. M.; SONG, X. Y.; GONG, P.; ZHOU, Q. X.; YANG, G. F. Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs), polychlorinated biphenyls (PCBs) and heavy metals (HMs) as well as their genotoxicity in soil after long-term wastewater irrigation. **Chemosphere**, Oxford, v. 65, n.1, p. 1859-1868, 2006.
- SOUSA, J. T.; CEBALLOS, B. S. O.; HENRIQUE, I. N.; DANTAS, J. P.; LIMA, S. M. S. Reúso de água residuária na produção de pimentão (*Capsicum annuum* L.). **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 10, n. 1, p. 89-96, 2006.
- SOUZA NETO, O. N.; ANDRADE FILHO, J.; DIAS, N. S.; REBOUÇAS, J. R. L.; OLIVEIRA, F. R. A.; DINIZ, A. A. Fertirrigação do algodoeiro utilizando efluente doméstico tratado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 16, n. 2, p. 200-208, 2010.
- SOUZA, J. A. A.; BATISTA, R. O.; RAMOS, M. M.; SOARES, A. A. Contaminação microbiológica do perfil do solo com esgoto sanitário. **Acta Scientiarum Technology**, Maringá, v. 33, n. 1, p. 5-8, 2011.
- SOUZA, J. B.; DANIEL, L. A. Comparação entre Hipoclorito de Sódio e Ácido Peracético na Inativação de E. Coli, Colifagos E C. Perfringens em Água com Elevada Concentração de Matéria Orgânica. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v. 10, n.1, p. 111-117, 2005.
- STEWART, H. T. L.; HOPMANS, P.; FLINN, D. W. Nutrient accumulation in tress and soil following irrigation with municipal effluent in Australia. **Environmental Pollution**, Barking, v. 63, n.1, p. 155-177, 1990.

TAYLOR, H. D.; BASTOS, R. K. X.; PEARSON, H. W.; MARA, D. D. Drip irrigation with waste stabilization pond effluents: solving the problem of emitter fouling. **Water Science Technology**, London, v. 31, n. 12, p. 417-424, 1995.

THILL, A.; MOUSTIER, S.; AZIZ, J.; WIESNER, M. R.; BOTTERO, J. Y. Floccs restructuring during aggregation: experimental evidence and numerical simulation. **Journal of Colloid and Interface Science**, Amsterdam, v. 243, n. 1, p. 171-182, 2001.

TORSVIK, V.; OVREAS, L. Microbial diversity and function in soil: from genes to ecosystems. **Current Opinion in Microbiology**, Oxford, v. 5, n.1, p. 240-245, 2002.

UCKER, F. E.; LIMA, P. B. S. O.; CAMARGO, M. F.; PENA, D. S.; CARDOSO, C. S.; PÊGO, A. W. E. Elementos interferentes na qualidade da água para irrigação. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, Santa Maria, v. 10, n. 10, p. 2102-2111, 2013.

URBANO, V. R.; MENDONÇA, T. G.; BASTOS, R. G.; SOUZA, C. F. Effects of treated wastewater irrigation on soil properties and lettuce yield. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 181, n.1, p. 108-115, 2017.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **Office of Water 820-F-12-058**: Recreational Water Quality Criteria. Washington: EPA, 2012.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **Office of Water EPA/440/5-84/002**: Ambient water quality criteria for bacteria. Washington: EPA, 1986.

VAN DER HOEK, W.; UL-HASSAN, M.; ENSINK, J. H. J.; FEENSTRA, S.; RASCHID-SALLY, L.; MUNIR, S.; ASLAM, R.; ALI, N.; HUSSAIN, R.; MATSUNO, Y. **Urban Wastewater: A Valuable Resource for Agriculture**. Colombo: International Water Management Institute, 2002.

VERBYLA, M. E.; IRIARTE, M. M.; GUZMÁN, A. M.; CORONADO, O.; ALMANZA, M.; MIHELICIC, J. R. Pathogens and fecal indicators in waste stabilization pond systems with direct reuse for irrigation: Fate and transport in water, soil and crops. **Science of The Total Environment**, Amsterdam, v. 551-552, n.1, p. 429-437, 2016.

VOGELER, I. Effect of long-term wastewater application on physical soil properties. **Water, Air and Soil Pollution**, New York, v. 196, n. 1, p. 385-392, 2008.

VON SPERLING, M. **Waste Stabilisation Ponds**. London: IWA Publishing, 2007.

VUUREN, L. New water framework counts every drop. **The Water Wheel**, v. 8, n.1, p. 28-30, 2009.

WHO-WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Guidelines for the safe use of wastewater, excreta and greywater**. Geneva: WHO, 2006.

WU, R. S. S. Eutrophication, water borne pathogens and xenobiotic compounds: environmental risks and challenges. **Marine Pollution Bulletin**, Oxford, v. 39, n.1, p. 11-22, 1999.

ZHU, L. R.; CUI, C. L. The clogging and its disposal methods for subsurface drip irrigation. **Journal of Soil and Water Conservation**, Ankeny, v. 12, n. 2, p. 111-112, 2005.

ZONN, S. V. Saline (halomorph) soils. *In*: ZONN, S. V. **Tropical and subtropical soil science**. Moscow: Mir Publishers, 1986. p. 365-379.