



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM MANEJO DE SOLO E ÁGUA
DOUTORADO EM MANEJO DE SOLO E ÁGUA

ALEX PINHEIRO FEITOSA

**AVALIAÇÃO DE SISTEMA DE TRATAMENTO DA ÁGUA CINZA E REÚSO
DA ÁGUA NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO**

MOSSORÓ - RN
2016

ALEX PINHEIRO FEITOSA

**AVALIAÇÃO DE SISTEMA DE TRATAMENTO DA ÁGUA CINZA E REÚSO
DA ÁGUA NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO**

Tese apresentada ao Doutorado em Manejo de Solo e água do Programa de Pós-Graduação em Manejo de Solo e água da Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito para obtenção do título de Doutor em Manejo de Solo e água.

Linha de Pesquisa: Impactos Ambientais pelo Uso do Solo e da Água
Orientador: Prof. D. Sc. Rafael Oliveira Batista

MOSSORÓ - RN
2016

©Todos os direitos estão reservados à Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996, e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tornar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata, exceto as pesquisas que estejam vinculadas ao processo de patenteamento. Esta investigação será base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) seja devidamente citado e mencionado os seus créditos bibliográficos.

F311a Feitosa, Alex Pinheiro.

AVALIAÇÃO DE SISTEMA DE TRATAMENTO DA ÁGUA CINZA
E REÚSO DA ÁGUA NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO /

Alex Pinheiro Feitosa. - 2016.

94 f.: il.

Orientador: Rafael Oliveira Batista.

Tese (Doutorado) - Universidade Federal Rural do
Semi-árido, Programa de Pós-graduação em Manejo
de Solo e Água, 2016.

1. Reúso. 2. Água residuária. 3. Radiação
ultravioleta. 4. Escassez hídrica. I. Batista,
Rafael Oliveira, orient. II. Título.

AVALIAÇÃO DE SISTEMA DE TRATAMENTO DA ÁGUA CINZA E REÚSO DA ÁGUA NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO

Tese apresentada ao Doutorado em Manejo de Solo e água do Programa de Pós-Graduação em Manejo de Solo e água da Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito para obtenção do título de Doutor em Manejo de Solo e água.

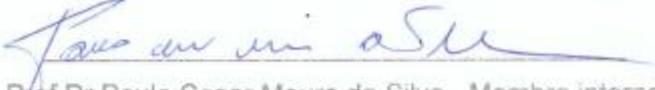
Linha de Pesquisa: Impactos Ambientais pelo Uso do Solo e da Água

Defendida em: 22/11/2016

BANCA EXAMINADORA


Prof. Dr Rafael Oliveira Batista - Presidente da banca examinadora


Prof Dr Jerônimo Apareado Filho - Membro externo à UFRSA


Prof Dr Paulo Cesar Moura da Silva - Membro interno


Prof Dr Luis César de Aquino Lemos Filho - Membro interno


Prof. Dr Joel Medeiros Bezerra - Membro externo ao PPGMSA


Prof. Dr Wesley de Oliveira Santos - Membro externo ao PPGMSA

A minha mãe

Maria das Graças Pinheiro Feitosa

A minha avó

Terezinha Pinheiro da Silva (*in memoriam*)

Aos meus irmãos

Aos meus sobrinhos

Aos meus amigos e amigas

Dedico, com muito amor e carinho.

*“ Insanidade é continuar fazendo sempre a
mesma coisa e esperar resultados diferentes. ”*

Albert Einstein

AGRADECIMENTOS

A Deus por estar sempre ao meu lado me dando forças e perseverança para nunca desistir, mesmo nos momentos mais difíceis.

A Parceria com o Centro Feminista 8 de março que viabilizou a construção de um protótipo de estação de tratamento e aproveitamento agrícola de água cinza para a agricultura familiar, denominado de “Sistema Água Viva”, vencendo o prêmio nacional de Tecnologias Sociais, organizado pela Fundação Banco do Brasil, em novembro de 2015.

Ao professor Rafael Oliveira Batista, pela confiança e todo apoio que me foi dado, tal como sua orientação para a realização deste trabalho, e além grande dedicação ao trabalho que exerce junto a Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA).

A professora Solange Aparecida Goularte Dombroski, pela disponibilidade do laboratório de saneamento ambiental (LASAN) para realização das análises da pesquisa.

Ao arquiteto da UFERSA Ian Crisostomo Bezerra Dutra, pela ajuda na elaboração dos layouts da estação de tratamento.

Ao professor e amigo Joel Medeiros Bezerra, pela ajuda no tratamento dos dados utilizando estatística multivariada.

Aos professores Luís César de Aquino Lemos Filho, Paulo César de Moura, José Espínola Sobrinho pela compreensão, paciência, amizade e disponibilidade de me ajudar no decorrer de todo este trabalho.

A Universidade Federal Rural do Semi-Árido e ao Programa de Pós-Graduação em Manejo de Solo e Água (PPGMSA) pela oportunidade em realizar este curso de doutorado.

Aos conselheiros da banca examinadora pelas sugestões e contribuições na melhoria desse trabalho.

A minha família, pelos esforços necessários e por acreditarem no meu trabalho.

Aos meus colegas e amigos de Pós-graduação do PPGMSA Daniela da Costa Leite, Fernanda Lima Cavalcante e Ketson Bruno.

A todos os professores do PPGMSA da UFERSA.

A todas as pessoas que de forma direta ou indireta contribuíram para a realização deste trabalho.

RESUMO

A inadequação dos sistemas de esgotamento sanitário no Brasil tem comprometido a saúde das populações rurais e urbanas e a qualidade do ambiente. Diante desse cenário, e juntamente com a escassez da água de boa qualidade, tem-se estimulado o aproveitamento agrícola das águas residuárias na produção de hortaliças, bem como de outros cultivos agrícolas. Este trabalho objetivou a avaliação de uma estação de tratamento para água cinza empregando radiação ultravioleta (UV) na desinfecção do efluente e o desempenho hidráulico de gotejadores com água cinza. Sendo construída uma estação para tratamento de água cinza localizada no Projeto de Assentamento (P.A.) Monte Alegre I no município de Upanema-RN, microrregião médio Oeste potiguar e um reator com lâmpadas ultravioletas foi instalado no Parque Zoobotânico (PZO) da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA) Campus Mossoró-RN. A estação de tratamento foi composta por uma caixa de passagem, tanque séptico, um filtro orgânico e um reservatório de armazenamento, já o reator ultravioleta artificial foi construído em alvenaria de tijolos nas dimensões de 1,08 m de largura por 1,18 m de comprimento e 0,40 m de profundidade, onde e foram instaladas duas lâmpadas germicidas UV de 30 W e 254 nm cada. Os tratamentos utilizados na análise do efeito da radiação UV consistiram de três lâminas (0,10 m, 0,20 m e 0,30 m) e cinco tempos de exposição de (0, 1, 2, 3 e 4 h). Para fins de avaliação do sistema de tratamento adotou-se por meio de coleta e análise físico-químicas e microbiológicas dos efluentes coletados em distintos pontos do sistema e o efeito da radiação UV por meio do decaimento do nível populacional de microrganismos. Os dados foram avaliados mediante uso da estatística paramétrica (univariada) e não paramétrica (multivariada), de acordo com a complexidade do grupo de dados. Durante o período experimental foi analisado o desempenho do sistema de irrigação por meio dos indicadores vazão média (Q), coeficiente de variação de vazão (CVQ), coeficiente de uniformidade de distribuição (CUD) e coeficiente de uniformidade estatística (Us). A estação de tratamento foi eficiente na remoção da maioria das características analisadas, visto que estavam dentro dos padrões da legislação vigente. Na avaliação do sistema de irrigação foi notado a formação de biofilme no gotejador e presença de microrganismos. O efeito da radiação foi satisfatório, entretanto evidenciou-se a necessidade do cálculo da dose de radiação, com vistas a melhorar a eficiência do tratamento. O conjunto caixa de passagem, tanque séptico, filtro orgânico e reator com radiação ultravioleta permite obter um nível de tratamento da água cinza que possibilite a irrigação de hortaliças, via sistema de irrigação por gotejamento, no entanto medidas de controle da obstrução dos gotejadores são necessárias para garantir o máximo desempenho do equipamento.

Palavras-chave: Reúso. Água residuária. Radiação ultravioleta. Escassez hídrica.

GENERAL ABSTRACT

The inadequacy of sewage systems in Brazil has compromised the health of rural and urban populations and the environmental quality. Considering this scenario and together with the scarcity of good quality water, it has been stimulated the agricultural use of wastewater for production of vegetables as well as other agricultural crops. This work aimed at the evaluation of a treatment plant for gray water using ultraviolet (UV) radiation in the disinfection of effluents and the hydraulic performance of drippers using gray water. A plant for the treatment of gray water was constructed in the Monte Alegre I Settlement Project, municipality of Upanema, midwestern region of the state of Rio Grande do Norte, and a reactor was equipped with ultraviolet lamps and installed in the Zoobotanical Park (PZO) of the Federal Rural University of the SemiArid Region (UFERSA), in Mossoró, state of Rio Grande do Norte. The treatment plant consisted of a passage box, a septic tank, an organic filter and a storage reservoir, and the artificial ultraviolet reactor was built in brick masonry in the dimensions of 1.08 m width, 1.18 m length and 0.40 m depth, containing two germicidal lamps (30 W, 254 nm). The treatments used to analyze the effect of UV radiation consisted of three slides (0.10 m, 0.20 m and 0.30 m) and five exposure times of (0, 1, 2, 3 and 4 h). For evaluation of the treatment system, we collected samples of the effluents at different sites of the system and analyzed them for physical, chemical and microbiological characteristics; the effect of UV radiation was investigated through the decay of the microorganisms. Data were evaluated using parametric (univariate) and non-parametric (multivariate) statistics, according to the complexity of the data set. During the experimental period, the performance of the irrigation system was analyzed by means of the mean flow (Q), flow variation coefficient (CVQ), distribution uniformity coefficient (CUD) and statistical uniformity coefficient (Us). The treatment plant was efficient in removing most of the characteristics analyzed, since they were within the standards set forth by the current legislation. The evaluation of the irrigation system evidenced the development of a biofilm in the dripper as well as the presence of microorganisms. The radiation effect was satisfactory however the radiation dose has to be calculated to improve the efficiency of the treatment. The set a passage box, septic tank, organic filter and ultraviolet radiation reactor provide a degree of gray water treatment that allows the irrigation of vegetables through a drip irrigation system, but drip clogging control measures are required to ensure maximum performance.

Key words: Reuse. Wastewater. Ultraviolet radiation. Water shortage.

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO 1 - DESENVOLVIMENTO E MONITORAMENTO DE UMA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO E APROVEITAMENTO AGRÍCOLA DE ÁGUA CINZA EM ASSENTAMENTO RURAL DO SEMIÁRIDO

Figura 1. Ilustração da caixa de passagem	45
Figura 2. Ilustração do tanque séptico.....	46
Figura 3. Ilustração do filtro orgânico.....	47
Figura 4. Ilustração do reservatório.....	47
Figura 5. Componentes da estação de tratamento.....	48
Figura 6. Componentes principais das características físico químicas e microbiológicas analisadas.....	54
Figura 7. Dendrograma obtido da análise de agrupamento pelo método de Ward.....	55

CAPÍTULO 2- EFEITO DA RADIAÇÃO ULTRAVIOLETA ARTIFICIAL NA REDUÇÃO DO NÍVEL POPULACIONAL DE COLIFORMES TOTAIS E *E. COLI* DA ÁGUA CINZA TRATADA

Figura 1. Reator utilizado na desinfecção por radiação.....	63
Figura 2. Decaimento da quantidade de coliformes totais (CT) e <i>E. Coli</i> (EC), em função do tempo de exposição à radiação ultravioleta (UV).....	66

CAPÍTULO 3- ANÁLISE DO DESEMPENHO DE SISTEMA DE IRRIGAÇÃO POR GOTEJAMENTO OPERANDO CINZA TRATADA

Figura 1. Ilustração do canteiro, destacando o que foi utilizado para a avaliação do desempenho hidráulico	75
Figura 2. Esquema da metodologia de determinação da uniformidade em gotejamento por Deniculi et al. (1980), adaptado de Silva e Silva (2005).....	76
Figura 3. Microscópio eletrônico de varredura (M.E.V.).....	78
Figura 4. Avaliação dos parâmetros de uniformidade da irrigação: (A) Vazão; (B) CVQ; (C) CUD; (D) Us.....	81

Figura 5. Formação do biofilme no gotejador.....	84
Figura 6. Análise por microscopia óptica no biofilme formado no interior do gotejador operando com água cinza tratada, destacando a presença de <i>giardia</i> (A), de <i>trypanossoma</i> (B) e de bactéria <i>peritriquia</i> (C).....	86
Figura 7. Micrografia da bioincrustação na membrana do gotejador que operou com água cinza tratada obtido por microscopia de varredura eletrônica (MEV).....	87

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Características físicas das águas cinzas para o Brasil.....	21
Tabela 2. Características químicas das águas cinzas para o Brasil – compostos Nitrogenados.....	22
Tabela 3. Características químicas das águas cinzas para o Brasil – compostos Fosforados.....	23
Tabela 4. Características químicas das águas cinzas para o Brasil – compostos Orgânicos.....	23
Tabela 5. Critérios de reuso de águas cinza na Austrália.....	26
Tabela 6. Nível de tratamento de água cinza e qualidade para reutilização em Israel.....	27
Tabela 7. Qualidade de águas cinza e suas opções de usos.....	28

CAPÍTULO 1 - DESENVOLVIMENTO E MONITORAMENTO DE UMA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO E APROVEITAMENTO AGRÍCOLA DE ÁGUA CINZA EM ASSENTAMENTO RURAL DO SEMIÁRIDO

Tabela 1. Valores de volume e vazão do esgoto doméstico primário obtido no período de 12 a 18 de agosto de 2015.....	50
Tabela 2. Valor médio e desvio padrão das características físico-químicas e microbiológicas da água cinza tratada coletada ao longo do período experimental.....	51

CAPÍTULO 2- EFEITO DA RADIAÇÃO ULTRAVIOLETA ARTIFICIAL NA REDUÇÃO DO NÍVEL POPULACIONAL DE COLIFORMES TOTAIS E *E. COLI* DA ÁGUA CINZA TRATADA

Tabela 1. Valores médios e desvio-padrão das características físico-químicas da água cinza tratada e sua correspondente lâmina.....65

Tabela 2. Equações de regressão e coeficiente de determinação para as lâminas de 0,10, 0,20 e 0,30 m.....68

CAPÍTULO 3- DESEMPENHO DE SISTEMA DE IRRIGAÇÃO POR GOTEJAMENTO COM ÁGUA CINZA TRATADA

Tabela 1. Gotejador utilizado nos ensaios experimentais, destacando o fabricante (F), o dispositivo de autocompensação (DA), a vazão nominal (Q), o coeficiente de vazão (k), expoente da vazão que caracteriza o regime de escoamento (x), a área de filtragem (A), o comprimento do labirinto (L), o coeficiente de variação de fabricação (CVf), a faixa de pressão recomendada (P) e o espaçamento entre emissores (EE).....75

Tabela 2. Valor médio e desvio padrão das características físico-químicas e microbiológicas da água cinza tratada coletada ao longo do período experimental.....79

Tabela 3. Equações de regressão e coeficiente de determinação dos parâmetros de uniformidade da irrigação.....83

Tabela 4. Correlação de Pearson de 12 variáveis estudadas na unidade de irrigação por gotejamento que operaram com água cinza tratada durante 17 h.....84

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas
CONAMA – Conselho Nacional de Meio Ambiente
CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental
CPVSA - Centro de Pesquisa Vocacionado do Semiárido
CUC - Coeficiente de Uniformidade de Christiansen
CUD - Coeficiente de Uniformidade de Distribuição
CVQ - Coeficiente de variação de vazão
DCAT - Departamento de Ciências Ambientais e Tecnológicas
LASAP - Laboratório de Análise de Solo, Água e Planta
LME - Laboratório de Microscopia Eletrônica
MEV - Microscópio eletrônico de varredura
UFERSA – Universidade Federal Rural do Semi-árido
Us - Coeficiente de uniformidade estatístico

SUMÁRIO

1.INTRODUÇÃO GERAL	17
2.REVISÃO DE LITERATURA	19
2.1.Escassez hídrica	19
2.2.Importância da água cinza	20
2.3.Caracterização da água cinza	20
2.4.Impactos ambientais das águas cinza	25
2.5.Legislação aplicada às águas cinza	25
2.6.Técnicas de tratamento das águas cinza	31
2.6.1. Uso de tanques sépticos no tratamento de águas residuárias	31
2.6.2. Utilização de filtros orgânicos no tratamento de águas residuárias.....	32
2.6.3. Uso da radiação ultravioleta artificial na desinfecção de águas residuárias	32
2.7.Reúso de água na agricultura	34
2.8.Desempenho de sistemas de irrigação localizada com efluentes	35
REFERÊNCIAS.....	36
CAPÍTULO 1 - MONITORAMENTO DE UMA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO E APROVEITAMENTO AGRÍCOLA DE ÁGUA CINZA EM ASSENTAMENTO RURAL DO SEMIÁRIDO	41
1. INTRODUÇÃO	43
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	44
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	51
4. CONCLUSÕES.....	57
REFERÊNCIAS.....	58
CAPÍTULO 2- EFEITO DA RADIAÇÃO ULTRAVIOLETA ARTIFICIAL NA REDUÇÃO DO NÍVEL POPULACIONAL DE COLIFORMES TOTAIS E E.COLI DA ÁGUA CINZA TRATADA.....	61
1. INTRODUÇÃO	63
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	65
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	68
4. CONCLUSÕES.....	72
REFERÊNCIAS.....	73
CAPÍTULO 3- ANÁLISE DO DESEMPENHO DE SISTEMA DE IRRIGAÇÃO POR GOTEJAMENTO OPERADO COM ÁGUA CINZA TRATADA.....	75

1. INTRODUÇÃO	77
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	79
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	83
4. CONCLUSÕES.....	92
REFERÊNCIAS.....	93

1. INTRODUÇÃO GERAL

O crescimento populacional e o desenvolvimento industrial combinados com o uso irracional da água tem aumentado consideravelmente a demanda por água doce e a produção de águas residuárias no mundo. Esses efluentes, tanto de origem industrial quanto doméstica, quando lançados no ambiente sem o devido tratamento, degradam ainda mais os mananciais onde essa água doce é captada.

Além disso, no caso de regiões semiáridas esse problema é agravado devido às irregularidades de distribuição da precipitação pluviométrica, no tempo e no espaço, proporcionando períodos de estiagem aguda. É também nas zonas semiáridas que ocorrem fluxos elevados de evapotranspiração, acentuando os déficits hídricos nos períodos de estiagem prolongadas.

As restritas reservas mundiais de água doce, juntamente com as limitações de lançamento de efluentes no meio ambiente, culminam para a necessidade do uso racional dos recursos hídricos de modo a reduzir a degradação ocasionada pelas águas residuárias sem tratamento. Medeiros et al. (2010) nesse contexto racionalista, afirma que a irrigação é a maior consumidora de água, necessitando de fontes abundantes e com qualidade.

De acordo com Ferreira et al. (2014), a produção agrícola em regiões áridas e semiáridas é limitada, devido à escassez de água, surgindo novas alternativas, sendo pesquisadas e validadas para garantir a sustentabilidade da produção. Assim, o uso de água residuária de esgoto doméstico, utilizada em irrigação para produção de culturas prioritárias, torna-se um alternativo potencial, incrementando a produção agrícola. Ainda, segundo Cirelli et al. (2009) o uso de águas residuais, com ou sem tratamento, está aumentando em regiões áridas e semiáridas, pois é um recurso valioso e abundante.

Segundo Hespanhol (2008), as águas cinza adequadamente tratadas, apresentam certo potencial de reúso para fins não-potáveis. Têm pequena variação de vazão durante todo o ano, podem ser facilmente coletadas e, em razão de sua menor concentração de carga orgânica e de organismos termotolerantes, exigem um nível de tratamento inferior ao necessário para tratamento de água residuárias tratada.

O aproveitamento de águas residuárias na agricultura constitui-se em um elemento estratégico na gestão integrada dos recursos hídricos, uma vez que eleva o volume de oferta e supre com eficiência as demandas do setor, já que além do potencial hídrico, também oferece o aporte nutricional (Alves et al., 2009 & Rebouças et al., 2010)

O reúso de água na agricultura pode ser observado em diversos países, em que a sua utilização proporciona um ganho econômico e ambiental, através da redução da água de qualidade superior e insumos agrícolas como fertilizantes.

Apesar dos benefícios gerados, o reúso de água deve ser realizado de maneira a garantir o estabelecimento dos padrões de qualidade da água de acordo com a legislação vigente, principalmente, no que diz respeito ao seu aspecto microbiológico, para cada tipo de cultura, visto que é um dos principais entraves na aceitação por parte da população de produtos que foram produzidos utilizando água de reúso.

Os sistemas de irrigação por gotejamento tem sido o mais utilizado para aplicação de água de reúso, que segundo Batista et al. (2013) devido a elevada eficiência de aplicação do efluente e do baixo risco de contaminação do produto agrícola e de operadores no campo. Porém dentre os maiores problemas causados pelo uso de águas de baixa qualidade nesses sistemas está a alta suscetibilidade de seus emissores ao entupimento (Lima et al., 2016).

Existe no mercado diversos tipos de agentes desinfetantes disponíveis, sendo que o cloro é o de uso mais comum. Entretanto, Souza et al. (2000) fazem a seguinte ressalva quanto a utilização do mesmo, devido à possibilidade de o cloro reagir com a matéria orgânica e gerar subprodutos potencialmente prejudiciais à saúde humana. Entre esses subprodutos se encontra os Trihalometanos ou (THMs), em que o mesmo possui efeito carcinogênico, ou seja, tem um grande efeito maléfico sobre a saúde humana.

Dessa forma há a necessidade de se usar outros agentes desinfetantes, que possuam pelo menos a mesma eficiência que a do cloro e que não gerem, ou pelo menos reduzam, a degradação do ambiente.

Na utilização de radiação ultravioleta artificial a formação de subprodutos é mínima, pois sua atuação é de maneira física, além disso, é um agente desinfetante barato, com poucas limitações quanto à sua ação e seguro, pois nenhum produto químico tóxico é transportado, armazenado ou manuseado (Gonçalves, 2003).

Nesse sentido a utilização da radiação ultravioleta vem se tornando como uma alternativa na desinfecção de águas residuárias domésticas com vistas a sua reutilização na agricultura, evitando a formação de biofilme nos gotejadores, melhorando a uniformidade de aplicação do sistema de irrigação. Além disso, o menor nível de microrganismos reduz o risco de contaminação de produtos agrícolas oriundos das áreas irrigadas com água de reúso.

Diante do exposto, objetivou-se com este trabalho a instalação e análise do desempenho de uma estação de tratamento e aproveitamento agrícola de água cinza, avaliar o nível de obstrução proporcionada por esse tipo de efluente em gotejadores autocompensantes e propor uma recomendação para o uso de radiação ultravioleta artificial na melhoria da inativação de microrganismos patogênicos da água cinza para fins de irrigação de hortaliças.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. ESCASSEZ HÍDRICA

Estimativas apontam que nas próximas décadas, cerca de dois terços da população mundial enfrentarão problemas relativos à escassez de água, tais como: degradação ambiental, rebaixamento do lençol freático e os conflitos pelo uso da água (Souza & Duarte, 2014).

Tundisi et al. (2008) destacam que, no amplo contexto social, econômico e ambiental do século XXI, os problemas e processos são as principais causas da “crise da água”:

- Intensa urbanização, aumentando a demanda por água, ampliando a descarga de resíduos líquidos contaminados.
- Estresse e escassez de água em muitas regiões do planeta em razão das alterações na disponibilidade e do abastecimento de água.
- Infraestrutura pobre e em estado crítico, em muitas áreas urbanas com até 30% de perdas na rede após o tratamento das águas.
- Problemas de estresse e escassez em razão de mudanças globais com eventos hidrológicos extremos aumentando a vulnerabilidade da população humana e comprometendo a segurança alimentar (precipitação pluviométricas intensas e período intensos períodos de estiagem).
- Problemas na articulação pela ausência de ações consistentes na governabilidade dos recursos hídricos e na sustentabilidade ambiental.

O fenômeno da escassez hídrica não está associado apenas às regiões áridas e semiáridas, mesmo as que possuem recursos hídricos abundantes, entretanto insuficientes para atender as demandas excessivamente elevadas também experimentam conflitos de

uso e sofrem restrições de consumo, que atingem o desenvolvimento econômico e a qualidade de vida.

2.2. IMPORTÂNCIA DA ÁGUA CINZA

É importante destacar com base nos relatos de May & Hespanhol (2008), que a água disposta na natureza é essencial à vida do planeta Terra; porém, o volume desta encontra-se cada vez mais escasso, em detrimento do crescimento da demanda e do crescimento populacional, ambos, de forma acentuada e desordenada.

No entanto, para controlar este volume de água é necessário inserir nas atividades diárias outro tipo de água para o uso, segundo May e Hespanhol (2008) “sistemas de uso de águas cinza são utilizados em países que incentivam a conservação de água potável, devido à sua escassez, como a Alemanha, Estados Unidos e o Japão”.

No trabalho realizado por Li et al. (2009), constataram que o volume típico de água cinza gerado, diariamente, por uma pessoa oscilou de 90 a 120 L, dependendo do estilo de vida, estruturas populacionais (idade e sexo), costumes e hábitos, instalações de água e da disponibilidade hídrica. No entanto, em comunidades de baixa renda e com escassez hídrica ou que se utilizem a captação da água pluvial, o volume de água cinza é reduzida para uma faixa de geração de 20 a 30 L por pessoa por dia.

Segundo Bernardi (2003), fazer uso de água residuária propicia diversas vantagens, entre elas destacam-se: incentivar o uso sustentável dos recursos hídricos, estimular o uso racional de águas de boa qualidade, possibilitar a economia de dispêndios com fertilizantes e matéria orgânica, provocar aumento da produtividade agrícola e gerar aumento da produção de alimentos, desse modo, consegue-se minimizar o uso de água potável, aumentando a sua disponibilidade para os seres humanos.

No entanto, faz-se necessário identificar a carga de compostos presentes nas águas cinza antes de seu lançamento a que for destinado, pois de acordo com tais concentrações, tais compostos podem atuar como fertilizantes e nutrientes, tal como poluentes em larga escala de tempo.

2.3. CARACTERIZAÇÃO DA ÁGUA CINZA

As águas cinza são definidas como águas residuárias urbanas, incluindo as águas de banheiras, chuveiros, lavatórios, máquinas de lavar, lava-louças e pias de cozinha (FEITOSA et al., 2011). Segundo Chanakya e Khuntia (2014), a água cinza é um componente das águas residuárias domésticas sem a presença de fezes humanas, representando cerca de 67% do volume total das águas residuárias domésticas geradas.

Segundo Philippi et al. (2005), em uma pesquisa realizada em Ratone, bairro de Florianópolis, Santa Catarina foram caracterizadas as águas cinzas provenientes do lavatório, do chuveiro e do tanque de lavar roupas. Esta pesquisa foi desenvolvida utilizando uma residência unifamiliar com cinco habitantes, os quais geravam uma vazão média de cerca de 40 L h⁻¹ de efluente.

Bazzarella (2005) caracterizou as águas cinza provenientes dos lavatórios, chuveiros, pia de cozinha, tanque e da máquina de lavar roupas de um sistema experimental instalado na Universidade Federal do Espírito Santo em Vitória, para este experimento a vazão média observada foi de 5,13 L h⁻¹.

Em outro estudo realizado em uma área experimental localizada na Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), Feitosa et al. (2011) caracterizaram as águas cinza provenientes da pia da cozinha, banheiro e do tanque de lavar roupa de uma residência, a vazão média constatada neste experimento foi de 2,33 L h⁻¹.

Vale ressaltar também que, os dois primeiros experimentos foram realizados em áreas urbanas, enquanto que, o último foi conduzido em área com características rurais. Dessa forma, as diferenças entre os valores obtidos para a mesma característica, pode ser associado ao ambiente do experimento.

Nas Tabelas 1, 2, 3 e 4, são apresentadas algumas características físico-químicas de água cinza realizadas nos experimentos descritos anteriormente.

Tabela 1. Características físicas de água cinza para o Brasil

Referência	Fonte de água cinza	Cidade	Local de coleta	Características físicas			
				Cor (uC)	Turbidez (uT)	ST (mgL ⁻¹)	SST (mgL ⁻¹)
Bazzarella (2005)	Chuveiro	Vitória Espírito Santo	Estudo experimental – reservatório(s)	-	109	437	103
	Tanque			-	299	1862	221
	Pia da cozinha			-	250	2160	336
	Composta			-	166	1536	134
Philippi et al. (2005)	Composta	Florianópolis	Estudo experimental – reservatório(s)	379	-	-	323
Feitosa et al. (2011)	Composta	Mossoró	Caixa de Mistura	-	819,6	1311,5	-

Fonte: Bazzarella (2005); Philippi et al. (2005); Feitosa et al. (2011).

Tabela 2. Características químicas da água cinza para o Brasil – compostos nitrogenados

Referência	Fonte de água cinza	Cidade	Local de coleta	Características (mgL ⁻¹)		
				NTK	NH ₃ -N	NO ₃ -N
Bazzarella (2005)	Chuveiro	Vitória Espírito Santo	Estudo experimental – reservatório(s)	3,4	0,8	0,46
	Tanque			10,3	3,8	0,71
	Pia da cozinha			13,7	2,5	0,65
	Composta			6,6	1,9	0,46
Feitosa et al. (2011)	Composta	Mossoró	Caixa de Mistura	-	57,05	7,74

Fonte: Bazzarella (2005); Feitosa et al. (2011).

Tabela 3. Características químicas da água cinza para o Brasil – compostos fosforados

Referência	Fonte de água cinza	Cidade	Local de coleta	Características (mgL ⁻¹)	
				Fósforo total	
Bazzarella (2005)	Chuveiro	Vitória Espírito Santo	Estudo experimental – reservatório(s)	0,2	
	Tanque			17,7	
	Pia da cozinha			9,1	
	Composta			9,0	
Feitosa et al. (2011)	Composta	Mossoró	Caixa de Mistura	19.8	

Fonte: Bazzarella (2005); Feitosa et al. (2011).

Tabela 4. Características químicas da água cinza para o Brasil – Compostos Orgânicos

Referência	Fonte de água cinza	Cidade	Local de coleta	Características (mgL ⁻¹)	
				DBO _{5,20}	DQO
Bazzarella (2005)	Chuveiro	Vitória Espírito Santo	Estudo experimental – reservatório(s)	165	582
	Tanque			570	1672
	Pia da cozinha			633	1712
	Misturada			571	857
Philippi et al. (2005)	Composta	Florianópolis	Estudo experimental – reservatório(s)	387	451
Feitosa et al. (2011)	Composta	Mossoró	Caixa de Mistura	380,6	706,4

Fonte: Bazzarella (2005); Philippi et al. (2005); Feitosa et al. (2011). DBO_{5,20}- Demanda Bioquímica de Oxigênio; DQO- Demanda Química de Oxigênio.

2.4. IMPACTOS AMBIENTAIS DAS ÁGUAS CINZA

Estudos realizados no Brasil e no exterior evidenciaram que a água cinza possui elevados valores de turbidez, matéria orgânica, sulfatos, bem como moderada contaminação por material fecal (Ottoson & Stenström, 2003; Feitosa et al., 2011), o que causa consideráveis impactos negativos ao ambiente. Além disso, Jordão & Pessoa (2011) comprovaram, também, a presença de compostos orgânicos biodegradáveis na composição deste tipo de efluente.

Mesmo não possuindo contribuições dos vasos sanitários, o conteúdo de matéria orgânica e inorgânica presente na água cinza é bastante significativo em relação às demais águas residuárias domésticas. As águas cinza possuem em sua composição resíduos de alimentos, óleos e gorduras, resíduos corporais, materiais de limpeza de utensílios domésticos e roupas e materiais de higienização pessoal (Feitosa et al., 2011). Já a matéria inorgânica provém, principalmente, dos produtos químicos e detergentes utilizados para limpeza. Em alguns casos específicos, as concentrações de Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) e da Demanda Química de Oxigênio (DQO) podem até superar as concentrações características das águas residuárias domésticas concentradas (Jordão & Pessoa, 2011).

No que diz respeito às características microbiológicas, embora as águas cinza não possuam contribuições dos vasos sanitários, de onde provém a maior parte dos microrganismos patogênicos, algumas atividades como limpeza das mãos, após o uso do toalete, lavagem de roupas ou o próprio banho são algumas das possíveis fontes desses agentes microbiológicos nas águas cinza (Ottoson & Stenström, 2003).

A elevada concentração de cloretos, alcalinidade e sólidos suspensos nas águas cinza podem causar malefícios ao meio ambiente, tais como: danificação da estrutura do solo e degradação dos corpos d'água (Leuck, 2008).

2.5. LEGISLAÇÃO APLICADA ÀS ÁGUAS CINZA

A legislação de um tema tem como objetivo a elaboração de códigos que regulam e norteiam a população sobre o mesmo. Diante disso, os países com a necessidade de legislar sobre reúso de água cinza, promover à proteção das pessoas que tem contato com a mesma na atividade agrícola, e ainda na proteção de corpos hídricos receptores, procuram estabelecer critérios e diretrizes pertinentes ao tema.

Assim, as normas oferecem um direcionamento para que o reúso das águas cinza ocorra de acordo com o nível de tratamento proporcionado. Dessa forma restringindo o mesmo de maneira indiscriminada e sem nenhum critério.

Um relatório geral referindo-se à reutilização de águas residuais foi elaborado pela United States Environmental Protection Agency EPA (EPA, 2012). O mesmo é utilizado como base em alguns territórios dos Estados Unidos devido à escassez de água da região, como Arizona e Califórnia (Yu et al., 2013).

De acordo com Oron et. al. (2014), os órgãos reguladores da água no Arizona recomendam evitar qualquer contato entre as pessoas e a água cinza, portanto no uso na irrigação, deve ser realizado através de sistemas de irrigação por gotejamento e Subsuperficial.

Outras limitações para a utilização de águas cinza abordadas de acordo com a lei do Arizona e da Califórnia são as seguintes (OASIS, 2002):

- (i) o contato humano com a água cinza e solo irrigado pela mesma tem que ser evitado;
- (ii) a aplicação superficial de água cinza não deve ser utilizada para a irrigação de culturas para o consumo humano;
- (iii) utilização de águas cinza devem ser incentivadas, como forma de minimizar a situação da água superficial (aspectos socioeconômicos);
- (iv) a opção pelo lançamento direto de água cinza na rede coletora de esgoto doméstico deve sempre existir;

Na Austrália a reutilização de águas cinza parte da premissa que o esgoto doméstico domiciliar tem potencial para ser reutilizado *in loco* para irrigação de jardins ornamentais e gramado, descarga do vaso sanitário e a lavagem, dependendo do tipo de água cinza e seu nível de tratamento (Oron et. al., 2014).

Diante disso o Department of Disability, Housing and Community Services (DHCS) da Austrália, tem como prioridade a proteção da população e promover a saúde pública. Por isso, o órgão emitiu várias diretrizes, como descrito na Tabela 5.

Tabela 5. Critérios de reuso de águas cinza na Austrália

Tratamento	Aplicação de água cinza
Água cinza sem tratamento e gradeamento (excluindo a água cinza da cozinha).	- Irrigação subsolo; e, -Irrigação subsuperficial.
Água cinza tratada e desinfetada (a um nível de DBO ₅ de 20 mgL ⁻¹ , SS de 30 mgL ⁻¹ e 30 UFC de coliformes termotolerantes 100 mL ⁻¹) e sistema de tratamento de água cinza.	-Irrigação subsolo; -Irrigação subsuperficial; e, - Irrigação por superfície.
Água cinza tratada e desinfetada (a um nível de DBO ₅ de 20 mgL ⁻¹ , SS de 30 mg L ⁻¹ e 10 UFC de coliformes termotolerantes 100 mL ⁻¹) e sistema de tratamento de água cinza.	-Irrigação subsolo; -Irrigação subsuperficial; - Irrigação por superfície; e, - Utilização no vaso sanitário;

Fonte: Oron et al. (2014). DBO- Demanda bioquímica de oxigênio. SS- Sólidos suspensos. UFC- Unidades formadoras de colônia.

A necessidade da elaboração de critérios para reutilização de água cinza foi devido ao fato de que muitos proprietários de casas tomaram a liberdade e começaram a instalar seus sistemas privados, sem quaisquer regulamentos e diretrizes (Leshem et al., 2013).

A lógica por trás do tratamento das águas cinza bem como a sua reutilização em residências baseia-se nos seguintes fundamentos (Oron et. al., 2014; Yu et al., 2013):

- o tratamento mínimo é necessária uma vez que a qualidade da água cinza é superior a das águas negra;
- o armazenamento máximo é até 24 h, embora a retenção recomenda seja de 12 h;
- não é permitido o contato da água cinza e as pessoas; e,
- o sistema deve ser simples e requerer manutenção mínima.

Dessa forma as orientações acima levaram definir Tabelas 6 e 7, que são muito mais rigorosas do que os critérios de reutilização de outros países.

Tabela 6. Nível de tratamento de água cinza e qualidade para reutilização em Israel

Qualidade A				
Tratamento necessário para obter qualidade A		Sedimentação e filtração		
Qualidade B				
Tratamento necessário para obter qualidade B		Valor máximo para DBO ₅ de 20 mgL ⁻¹ e SST de 30 mgL ⁻¹		
Qualidade C				
Características	Unidade	Valor Médio	Valor limite para parar o uso de água cinza	
Coliformes fecais	UFC 100 mL ⁻¹	Média anual de 100	Maior que 400	
Turbidez	UNT	Média anual de 10	Maior que 20	
Cloração	Quantidade de cloro ^(a) : mg L ⁻¹ x min	Média anual de 20	Menor de 12	
Desinfecção com radiação UV	Passagem acima de 55% de UV	80 mJ/cm ² por dia (*)	Menor de 50 mJ/cm ² por dia	
	Passagem acima de 65% de UV	60 mJ/cm ² por dia	Menor de 40 mJ/cm ² por dia	
	Passagem acima de 90% de UV	40 mJ/cm ² por dia	Menor de 25 mJ/cm ² por dia	
Qualidade D				
Características	Unidade	Valor Médio	Valor limite para parar o uso de AC	
Coliformes fecais	UFC/100 ml	Média anual de 10	Maior que 40	
Turbidez	UNT	Média anual de 5	Maior que 10	
Cloração	Quantidade de cloro ^(a) : mgL ⁻¹ x min	Média anual de 30	Menor de 18	
Desinfecção com radiação UV	Passagem acima de 55% de UV	100 mJ/cm ² por dia	Menor de 60 mJ/cm ² por dia	
	Passagem acima de 65% de UV	80 mJ/cm ² por dia	Menor de 50 mJ/cm ² por dia	
	Passagem acima de 90% de UV	50 mJ/cm ² por dia	Menor de 35 mJ/cm ² por dia	

Notas: (a) Quantidade de cloro: conteúdo do cloro vezes o tempo de contato com a água.

DBO: Demanda bioquímica de oxigênio. SST: Sólidos suspensos totais. UV: ultravioleta. UFC: Unidade formadoras de colônia. UNT: Unidades nefelométricas de turbidez.

Fonte: Oron et. al., (2014).

Tabela 7: Qualidade de águas cinza e suas opções de usos

Quantidade de AC	Qualidade da AC	A finalidade de uso das águas cinza	Restrição à reutilização e diretrizes	Controle
Até 1 m ³ por dia	A	Irrigação por gotejamento plantas ornamentais e árvores frutíferas	Irrigação por gotejamento apenas no quintal doméstico. Sem irrigação de fruteiras	-
	B	Irrigação por gotejamento de plantas ornamentais e árvores frutíferas	A irrigação por gotejamento no quintal. Sem irrigação de fruteiras	-
	C	Uso no vaso sanitário	Sistema automático para impedir a ligação cruzada	-
Acima de 1 m ³ por dia	C	Irrigação de áreas ornamentais, grama e lagos ornamentais	Sem acesso ao público	Monitoramento contínuo: turbidez e desinfecção.
		Uso no vaso sanitário	Sistema automático para impedir a ligação cruzada	F. coliformes cada metade de um ano
	D	Irrigação de áreas ornamentais, grama e lagos ornamentais	Permitido o acesso ao público. Não é permitido o acesso aos lagos.	-

Fonte: Oron et al., (2014).

Mesmo ainda não tendo critérios estabelecidos, nem legislações específicas para o reúso, pode-se dizer que, no Brasil, já existem ações que podem servir como base para a formulação de um aparato legal sobre o tema (Almeida, 2011).

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) lançou no ano de 1997 a Norma 13.969, que dispõe sobre providências e cuidados, bem como fornece instruções a respeito do esgoto de origem doméstica. A Norma determina que esse tipo de esgoto deve ser reutilizado para fins em que não haja exigência de água potável, desde que seja sanitariamente segura. Os usos possíveis seriam: irrigação de jardins, lavagem de pisos e veículos, descarga de vasos sanitários, manutenção paisagísticas dos lagos e canais com água (ABNT, 1997).

O grau de tratamento, definido pela norma para uso múltiplo de é em regra geral, pelo uso mais restritivo quanto à qualidade de esgoto tratado. No entanto, conforme o volume estimado para cada um dos usos, podem-se prever graus progressivos de tratamento (por exemplo, se o volume destinado para uso com menor exigência for expressivo, não haveria necessidade de se submeter todo o volume de esgoto a ser reutilizado ao máximo grau de tratamento, mas apenas uma parte, reduzindo-se o custo de implantação e operação), desde que houvesse sistemas distintos de reservação e de distribuição (ABNT, 1997).

Assim, em termos gerais as classificações adotadas pela norma são as seguintes:

- Classe 1: Lavagem de carros e outros usos que requerem o contato direto do usuário com a água, com possível aspiração de aerossóis pelo operador, incluindo chafarizes, contemplando as seguintes características: turbidez inferior a 5 UNT*, coliforme fecal inferior a 200 NMP 100 mL⁻¹; sólidos dissolvidos totais inferior a 200 mg L⁻¹; pH entre 6,0 e 8,0; cloro residual entre 0,5 mg L⁻¹ e 1,5 mg L⁻¹.

Nesse nível, serão geralmente necessários tratamento aeróbio (filtro aeróbio submerso ou LAB) seguido por filtração convencional (areia e carvão ativado) e, finalmente cloração.

Pode-se fazer a substituição da filtração por membrana filtrante;

- Classe 2: Lavagens de pisos, calçadas e irrigação dos jardins, manutenção dos lagos e canais para fins paisagísticos, exceto chafarizes: turbidez inferior a 5 UNT, coliforme fecal inferior a 500 NMP 100 mL⁻¹, cloro residual superior a 0,5 mg L⁻¹.

Nesse nível é satisfatório um tratamento biológico aeróbio (filtro aeróbio submerso) seguido de filtração de areia e desinfecção.

Pode-se, também, substituir a filtração por membranas filtrantes;

- Classe 3: reuso nas descargas dos vasos sanitários: turbidez inferior 10 UNT, coliformes fecais inferiores a 500 NMP 100 mL⁻¹. Normalmente as águas de enxágue das máquinas de lavar roupas satisfazem a este padrão, sendo necessário apenas uma cloração. Para casos gerais, um tratamento aeróbio seguido de filtração e desinfecção satisfaz a este padrão; e,

- Classe 4: reuso nos pomares, cereais, forragens, pastagens para gados e outros cultivos através de escoamento superficial ou por sistema de irrigação pontual. Coliforme fecal inferior a 5.000 NMP 100 mL⁻¹ e oxigênio dissolvido acima de 2,0 mgL⁻¹. As aplicações devem ser interrompidas pelo menos 10 dias antes da colheita.

Observa-se que o reuso das águas cinzas demandadas de sistemas de tratamento, os quais envolvem diversos tipos de técnicas de acordo a finalidade e seus respectivos padrões sanitários.

2.6. TÉCNICAS DE TRATAMENTO DAS ÁGUAS CINZA

De acordo com Nuvolari e Costa (2010), o tratamento de águas residuárias domésticas, objetiva a remoção dos poluentes, para isso, é preciso tomar como base os parâmetros normatizados que variam de acordo com o volume a ser tratado, finalidade, nível de processamento, qualidades originais e pretendidas e local de lançamento ou de utilização.

2.6.1. USO DE TANQUES SÉPTICOS NO TRATAMENTO DE ÁGUAS RESIDUÁRIAS

No Brasil, os tanques sépticos começaram a ser difundidos amplamente a partir da década de 30 (Andrade Neto, 1997). São encontrados em grande quantidade e a maioria atende habitações unifamiliares, mas são empregados também para tratar vazões médias e grandes, principalmente, quando construídos em módulos. Isto deve-se principalmente pela ausência, total ou parcial, dos serviços públicos de coleta e tratamento de esgotos nas áreas urbanas e rurais (Meneses et al., 2002).

A sua construção e operação tem sido orientada pelas normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT (NBR 7.229/93). No entanto, as suas condições operacionais são usualmente deficientes, devido à falta de análise dos projetos, do acompanhamento da execução e da operação dos mesmos.

De acordo com Colares et al. (2013) dentre as técnicas para tratamento de esgotos, o sistema de tanques sépticos (TS) é o mais usado em todos os países devido à sua simplicidade de construção e operação, atrelado ao baixo custo de implementação. Segundo Chernicharo (2007), a utilização de TS é recomendada nas seguintes situações: para áreas desprovidas de rede pública coletora de esgoto; como alternativa de tratamento de esgotos em áreas providas de rede coletora local; para retenção prévia de sólidos sedimentáveis; quando a utilização da rede coletora com diâmetro e/ou declividade reduzida para o transporte de efluentes livres de sólidos sedimentáveis. Apesar de todas as vantagens, a eficiência do tanque séptico para remoção de matéria orgânica é moderada, necessitando de um pós-tratamento para alcançar um grau de remoção da matéria orgânica aceitável (Altvater et al., 2009).

2.6.2. UTILIZAÇÃO DE FILTROS ORGÂNICOS NO TRATAMENTO DE ÁGUAS RESIDUÁRIAS

Para aproveitamento agrícola ou para minimizar os custos do tratamento convencional de águas residuárias ricas em material orgânico em suspensão, tem sido recomendada a utilização de filtros orgânicos (Matos et al., 2006), já que, no primeiro caso, possibilita que a aplicação seja feita de forma localizada (microaspersão e gotejamento), de baixo risco sanitário e ambiental, e no segundo possibilita significativa redução nos custos do tratamento secundário e a retenção e aproveitamento de grande parte dos nutrientes contidos nas águas residuárias (Matos et al., 2010).

Os mesmos autores relatam que, a utilização de material com granulometria menor proporcionarão um efluente mais depurado, entretanto, ocorra uma maior perda de carga nas camadas superiores, o que leva a períodos menores de operação, por outro lado, o uso de material com granulometria maior vão permitir maior penetração de partículas ao longo do perfil do meio filtrante, maior volume de vazios (porosidade) para remoção e armazenamento de partículas suspensas, maiores períodos de operação do filtro e mais fácil limpeza por reversão do fluxo, entretanto devem proporcionar menor eficiência na remoção de SST.

Lo Monaco (2001), avaliando a influência da granulometria do material na eficiência de remoção de poluentes e na taxa de filtração obtida, recomendou o uso de granulometrias entre 2 e 3 mm, por serem as que proporcionaram mais eficiente filtração sem aumentar em demasia a perda de carga no sistema.

Em trabalho realizado para avaliação do desempenho de filtro orgânico constituído por fibra de coco, Lo Monaco et al. (2009) atingiram remoções de sólidos totais, sólidos voláteis totais e sólidos suspensos totais de 40, 60 e 70 % respectivamente.

2.6.3. USO DA RADIAÇÃO ULTRAVIOLETA ARTIFICIAL NA DESINFECÇÃO DE ÁGUAS RESIDUÁRIAS

Embora os sistemas de tratamento de águas residuárias convencionais tenham a capacidade de melhorar a qualidade do efluente bruto, entretanto não são suficientes para remover todos os contaminantes (Von Sperling & Mascarenhas, 2005). Nesse contexto está inserida a desinfecção que desempenha um papel-chave na reutilização de águas residuárias para eliminar doenças infecciosas (Naddeo et al, 2009).

Segundo Batista et al.(2013), a cloração dos esgotos domésticos possibilita a formação de substâncias carcinogênicas (trihalometanos), resultado da reação do cloro residual livre com

substâncias orgânicas. Neste sentido, a utilização da radiação ultravioleta artificial de 254 nm surge como alternativa eficiente na inativação de microrganismos patogênicos e sem risco de surgimento de substâncias carcinogênicas que comprometam a saúde dos seres humanos e a qualidade ambiental (Guo et al., 2009).

Dessa forma a utilização da radiação ultravioleta vem se tornando uma alternativa viável no processo de desinfecção (Liberti et al., 2002; Naddeo et al., 2009; Souza et al., 2011; Batista et al., 2012; Batista et al., 2013).

De acordo com Zhao et al. (2011), a radiação ultravioleta artificial oscilando de 206 a 254 nm é amplamente utilizada no tratamento de águas residuárias atuando na degradação de compostos organometálicos; micro poluentes farmacêuticos, inibidores de corrosão e biocidas (De La Cruz et al., 2012); e microrganismos patogênicos (Hallmich & Gehr, 2010).

Apresentando como principais vantagens: simplicidade operacional, requisito mínimo de área para implementação, custo relativamente baixo (em relação a cloração), pouca exigência de operação e manutenção, eficácia de inativação para grande variedade de microrganismos (USEPA, 1999).

Algumas das principais aplicações da desinfecção ultravioleta na atualidade são elencadas a seguir (Bilotta, 2006):

- Desinfecção de água para abastecimento: municipal, hospitais, escolas, quartéis, centros comunitários, hotéis e residências.
- Desinfecção de efluentes: domésticos de condomínios, residências e indústrias.
- Comercial: aquicultura, laboratórios, aquários, restaurantes e padarias.
- Industrial: farmacêutica, bebidas, eletrônica, alimentar, têxtil, cosméticos, gráfica, etc.
- Proteção para outras tecnologias de tratamento de água: membranas (osmose reversa e ultrafiltrarão), resinas de desionização, filtros de carvão ativado.
- Aplicações da radiação ultravioleta no ar: exaustão de tanques, ar comprimido estéril e condutas de ar condicionado.

Somando-se as aplicações citadas anteriormente Batista et al., (2013) ressalta que os problemas ambientais proporcionados pela inadequação dos sistemas de esgotamento sanitário tem estimulado o desenvolvimento de tecnologias que proporcionem o tratamento e aproveitamento agrícola dos esgotos domésticos. Principalmente em regiões semiáridas devido aos problemas de escassez de água.

Nesse sentido a utilização da radiação ultravioleta vem se tornando como uma alternativa na desinfecção de águas residuárias domésticas com vistas a sua reutilização na agricultura, evitando a formação de biofilme nos gotejadores, melhorando a uniformidade de aplicação do

sistema de irrigação. Além disso, o menor nível de microrganismos reduz o risco de contaminação de produtos agrícolas oriundos das áreas irrigadas com água de reúso.

2.7. REÚSO DE ÁGUA NA AGRICULTURA

De acordo com Sousa et al. (2006), a utilização da água residuária é uma das diversas opções de técnicas de convivência com a seca, principalmente no Nordeste do Brasil, onde existe escassez de água e o período chuvoso com duração de aproximadamente três meses. Mancuso (2003), ainda afirmou que nas regiões secas do Nordeste a água atua como fator limitante, dificultando o desenvolvimento urbano, industrial e agrícola.

Feitosa et al. (2011) avaliaram o desempenho de um sistema de tratamento de água cinza no semiárido brasileiro. Sendo o sistema composto por um tanque de equalização, filtro anaeróbio, sistema alagado construído e reator solar. Em que foi constatado ser eficiente na remoção de algumas características como, por exemplo: Demanda bioquímica de oxigênio, Demanda química de oxigênio, turbidez, coliformes termotolerantes.

De acordo com Santos et al. (2012) ao desenvolverem e avaliarem um sistema de tratamento composto por: um reservatório; um dispositivo de bombeamento; um sistema de filtração e um sistema de desinfecção por radiação ultravioleta. Apesar do mesmo conseguir bons resultados, não obteve remoção aceitável em efluentes com elevados teores de Sólidos suspensos e Demanda bioquímica de oxigênio os quais causam odor indesejável restringindo, assim, o seu reuso.

Segundo Pinto et al. (2009), apesar de orientações práticas serem publicadas para o reuso de água cinza para irrigação doméstica e serem disponibilizadas por agências governamentais envolvidas na gestão da água e da regulamentação, ainda há uma série de questões relacionadas com os riscos à saúde humana de plantas, solo e poluição do meio ambiente e devido à reutilização.

Dessa forma os autores relataram, também, que este fato provoca restrição da população para o reuso da água cinza na irrigação doméstica. Nesse sentido e com o objetivo de tornar o reuso de água cinza uma das principais práticas de reutilização, é necessário pesquisar essas questões e preocupações, bem como buscar por respostas para perguntas específicas e desenvolver normatizações com dados locais para assegurar a sustentabilidade de reúso de águas cinza (Pinto et al., 2009).

Diante disso, observa-se claramente a necessidade de pesquisas para a consolidação do reuso como uma alternativa viável na agricultura com o mínimo risco para a população.

2.8. DESEMPENHO DE SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO LOCALIZADA COM EFLUENTES

Em estudo desenvolvido por Silva et al. (2012) destacaram que o uso de efluentes na agricultura ainda é pouco conhecido, sabe-se apenas que provoca algumas alterações no solo e no sistema de irrigação por gotejamento. Segundo Medeiros et al. (2008) “estudos efetuados em diversos países demonstraram que a produtividade agrícola aumenta significativamente em áreas fertirrigadas com águas residuárias de origem doméstica, desde que sejam adequadamente manejadas”.

Em virtude dos pequenos diâmetros de orifício, o entupimento de gotejadores configura-se como um dos principais problemas relacionados ao método (Pizarro, 1990; Pitts et al., 1996). Nas condições do semiárido, uma combinação de fatores favorece o desenvolvimento de algas e bactérias nas águas utilizadas em irrigação localizada, como: predominância de temperatura na faixa ótima para o desenvolvimento microbiano; uso frequente da prática de fertirrigação; uso frequente de águas de reservatórios e canais; lançamento de esgotos em rios que são utilizados como fonte hídrica entre outros. A obstrução de gotejadores afeta a uniformidade de aplicação de água e, conseqüentemente, reduz a eficiência da aplicação de produtos químicos, via água de irrigação (Batista et al. 2010).

A própria água residuária possui fatores físicos, químicos e biológicos que potencializam o entupimento dos gotejadores. Por exemplo, por meio de análises microbiológicas e identificação visual com auxílio de microscópio Batista et al. (2010), verificaram que o material de obstrução resultou da interação entre bactérias e algas presentes na água residuária, que formaram aglomerados na forma de cocos e de pequenos bastonetes.

De acordo com Batista et al. (2013), a obstrução proporcionada pelas águas residuárias em sistemas de irrigação por gotejamento influenciam na uniformidade de aplicação (CUC) e na uniformidade de distribuição (CUD), isso porque a vazão é reduzida pela obstrução dos gotejadores. O tempo de irrigação também influencia no entupimento dos gotejadores, tendo em vista que quanto maior for o tempo na irrigação, mais propício será a redução da vazão e do CUD, devido a água residuária ter provocado entupimento.

A operação de sistema de irrigação localizada com efluente, também provoca um aumento no valor do coeficiente de variação de vazão (CVQ) (Silva et al., 2013 & Cunha, 2015). Os autores constataram aumento no valor do CVQ após a operação do sistema de irrigação localizada, sendo que, o primeiro operou com água residuárias da castanha de caju por 160 h e no segundo experimento com água cinza tratada por 32 h.

3. REFERÊNCIAS

- Almeida, R. G. de. Aspectos legais para a água de reúso. *Vértices*, Campos dos Goytacazes/RJ, v. 13, n. 2, p. 31-43, maio/ago. 2011.
- Alves, W. W. A. et al. Área foliar do algodoeiro irrigado com água residuária adubado com nitrogênio e fósforo. *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável*, Pombal, v. 4, n. 1, p. 41-46, 2009.
- Altwater, P. K.; Santos, D. C.; Mannich, M. Sistema biológico alternativo para pós-tratamento de esgoto. *Revista DAE*, n. 181, p. 23-32, 2009.
- Andrade Neto, C. O. (1997) *Sistemas simplificados para tratamento de esgotos sanitários: experiência brasileira*. Rio de Janeiro: ABES, 301p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 13.969. Tanques sépticos - Unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos - Projeto, construção e operação. Rio de Janeiro: ABNT, 1997, 60p.
- 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.
- Batista, R. O.; Gomes, S. L. M.; Silva, J. B. A. DA; Costa, M. S.; Costa, A. K. DA. Uso da radiação ultravioleta no tratamento de esgoto doméstico para fertirrigação agrícola por gotejamento. *Global Science/ And Technology*, v. 5, n. 03, p.23-35, set. 2012.
- Batista, R. O.; Santos, E. B. DA S.; Silva, J. B. A. DA; Costa, M. S.; Santos, D. B. dos. Efeito da radiação ultravioleta artificial na desinfecção de microrganismos em lâminas de esgoto doméstico. *Enciclopédia Biosfera*, v. 9, n. 16, p.122-133, out. 2013.
- Batista, R.O.; Fia, R.; Silva, D. de F. Qualidade das águas residuárias para irrigação. *Boletim Técnico*, Lavras: UFV, n. 99, p. 31, 2014.
- Bazzarella, B. B. Caracterização e aproveitamento de água cinza para uso não potável em edificações. 2005. 165 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal do Espírito Santo, Espírito Santo, 2005.
- Bernardi, C. C. Reúso de água para irrigação. 2003. 63 f. Monografia (Especialização em Gestão Sustentável da Agricultura Irrigada) – ISEA-FGV/ECOBUSINESS SCHOOL, Brasília, 2003.
- Bilotta, P.; Daniel, L. A. Ozônio e radiação uv na inativação de indicadores patogênicos em esgoto sanitário: análise comparativa. *Minerva*, v. 3, n. 5, p.199-207, jul. 2006.
- Chanakya, H. N.; Khuntia, H. K. Treatment of gray water using anaerobic biofilms created on synthetic and natural fibers. *Process Safety and Environmental Protection*, Oxford, v 92, n. 2, p. 186 - 192, 2014.

- Chernicharo, C. A. DE L. Princípios do tratamento biológico de águas residuárias: reatores anaeróbios. 2. ed. Belo Horizonte: DESA-UFMG, 2007. Vol. 5, 379p.
- Cirelli, A. F.; Arumí J. L.; Rivera D.; Boochs P. W.; Environmental effects of irrigation in arid and semiarid. Regions Chilean J. Agric. Res., vol. 69 (Suplemento 1), Dezembro 2009.
- Colares, C. J. V.; Sandri, D. Eficiência do tratamento de esgoto com tanques sépticos seguidos de leitos cultivados com diferentes meios de suporte. Revista Ambiente & Água - An Interdisciplinary Journal of Applied Science: v. 8, n.1, 2013.
- Costa, R. H. P. G. Poluição da água. In: TELLES, D. D'A.; COSTA, R. H. P. G. Reuso da água: conceitos, teorias e práticas. 2. ed. São Paulo: Blucher, 2010b. 408p.
- De La Cruz, N.; Giménez, J.; Esplugas, S.; Grandjean, D.; Alencastro, L. F.; Pulgarín, C. Degradation of 32 emergent contaminants by UV and neutral photo-fenton in domestic wastewater effluent previously treated by activated sludge. **Water Research**, v. 46, p. 1947-1957, 2012.
- EPA, 2012. Guidelines for Water Reuse. EPA/600/R2/618, p-59.
- Feitosa, A. P.; Lopes, H. S. S.; Batista, R. O.; Costa, M. S. ; Moura, F. N. Avaliação do desempenho de sistema para tratamento e aproveitamento de água cinza em áreas rurais do semiárido brasileiro. Engenharia Ambiental, Espírito Santo do Pinhal, v. 8, n. 3, p. 196-206, 2011.
- Ferreira, A. C.; Silva, V. F.; Lima, V. L. A. de; Baracuh, J. G. V.: Tratamento de água de lavanderia para produção agrícola no semiárido. I Workshop Internacional Sobre Água no Semiárido Brasileiro. Campina Grande, 2014.
- Gonçalves, R. F. (Coord.). Desinfecção de efluentes sanitários. Rio de Janeiro: Rima, ABES, 2003.
- Guo, M.; Hu, H.; Liu, W. Preliminary investigation on safety of post-UV disinfection of wastewater: bio-stability in laboratory-scale simulated reuse water pipelines. Desalination, v. 239, p. 22-28, 2009.
- Hallmich, C.; Gehr, R. Effect of preand post-UV disinfection conditions on photoreactivation of fecal coliforms in wastewater effluents. Water Research, v. 44, p. 2885-2893, 2010.
- Hespanhol, I. Um novo paradigma para a gestão de recursos hídricos. Estud. av., São Paulo, v. 22, n. 63, p. 131-158, 2008. Disponível em <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-40142008000200009&lng=en&nrm=iso>. Acessado em 19 maio de 2016. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-40142008000200009>.
- Jordão, E. P.; Pessoa, C.A. Tratamento de esgotos domésticos. 6. ed. Rio de Janeiro: ABES, 2011. 1050p.

- Leshem, E., Adel, M., Agmon, V., Friedler, E., Halperin, R., Weinberg, D., ZIV-AV, T., Shisha, A., Weinberg, D., Oron, G., October 2013. SI-6147 - Greywater Systems. Issued by the Standards Institute of Israel. p-30.
- Leuck, M. F. Avaliação econômica do impacto de medidas individualizadas de conservação de água em Porto Alegre. 2008. 195 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2008.
- Li, F.; Wichmann, K.; Otterpohl, R. Review of the technological approaches for grey water treatment and reuses. *Science of the Total Environment*, Amsterdam, v. 407, n. 11, p.3439-3449, 2009.
- Lima, M. G. M.; Ferreira, D. de J. L.; Gomes, A. H. S.; Vasconcelos, G. N.; Lima, V. L. A.: Sistema de irrigação localizada por gotejamento após tempo de exposição com água residuárias. Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia (CONTECC). Foz do Iguaçu-PR, 2016.
- Liberti, L.; Notarnicola, M.; Petruzzelli, D. Advanced treatment for municipal wastewater reuse in agriculture. UV disinfection: parasite removal and by-product formation. *Desalination*, Amsterdam, v. 1, n. 152, p.315-324, abr. 2002.
- Lo Monaco, P.A. Influência da granulometria do material orgânico filtrante na eficiência de tratamento de águas residuárias. 2001. 115 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Ambientais) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa - MG, 2001.
- Lo Monaco, P.A.; Matos, A.T.; Sarmiento, A. P.; Júnior A. V. L.; Lima, J. T. Desempenho de filtros constituídos por fibras de coco no tratamento de águas residuárias de suinocultura. *Engenharia na Agricultura*, Viçosa - MG, v.17 n.6, 473-480p. nov. / dez. 2009.
- Mancuso, P. C. S., Santos, H. F. (ed). Reúso de água. São Paulo: Manole, 2003.
- May, S.; Hespanhol, I. Tratamento de águas cinzas claras para reúso não potável em edificações. *REGA*, v. 5, n. 2, p.15-24, 2008.
- Matos, A.T.; Magalhães, M.A.; Fukunaga, D.C. Remoção de sólidos em suspensão na água residuária da despolpa de frutos do cafeeiro em filtros constituídos por pergaminho de grãos de café submetido a compressões. *Engenharia Agrícola*, Jaboticabal, v.26, n.2, p.610-616, 2006.
- Matos, A.T.; Magalhães, M.A.; Sarmiento, A. P. Perda de carga em filtros orgânicos utilizados no tratamento de água residuária de suinocultura. *Engenharia Agrícola*, Jaboticabal, v.30, n.3, p.527-537, maio/jun. 2010.
- Medeiros, S. de S; Soares, A. A; Ferreira, P. A; Neves, J. C. L; Souza, J. A. de. Utilização de água residuária de origem doméstica na agricultura: estudo do estado nutricional do

- cafeeiro. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v.12, n.2, p. 109-115, set. 2008.
- Medeiros, S.S.; Gheyi, H. R.; Soares, F. A. L. Cultivo de flores com o uso de água residuária e suplementação mineral. *Engenharia Agrícola*, Jaboticabal, v. 30, n. 6, Dec. 2010.
- Meneses, C. G. R.; Ingunza, M. del P. D.; Câmara, A. C. J. Avaliação dos tanques sépticos como sistemas de tratamento de águas residuárias em áreas tropicais. XXVII Congresso interamericano de ingeniería sanitaria y ambiental. Cancún, México, 2002.
- Naddeo, V.; Landi, M.; Belgiorno, V. Wastewater disinfection by combination of ultrasound and ultraviolet irradiation. *Journal Of Hazardous Materials*, Londres, v. 1, n. 168, p.925-929, mar. 2009.
- Nuvolari, A.; Costa, R. H. P. G. Tratameto de efluentes. In: Telles, D. D'A.; Costa, R. H. P. G. *Reuso da água: conceitos, teorias e práticas*. 2. ed. São Paulo: Blucher, 2010. 408p.
- OASIS, 2002. Arizona Greywater Law. Issued by the Government of Arizona, Phoenix p-45.
- Oron, G. et al. Greywater use in Israel and worldwide: Standards and prospects. *Water Research*, [s.l.], v. 58, n. 3, p.92-101, jul. 2014. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.watres.2014.03.032>.
- Ottoson, J.; Stenstrom, T.A. Faecal contamination of greywater and associated microbial risks. *Water research*, v. 37, p.645-655. 2003.
- Pinto, U.; Maheshwari, B.; Grewal, H. Effects of greywater irrigation on plant growth, water use and soil properties. *Resources, Conservation And Recycling*, v. 1, n. 54, p.429-435, 15 set. 2009.
- Pitts D.; Peterson K.; Gilbert G.; Fastenau R. (1996) Field assessment of irrigation system performance. *Transactions of the ASAE*, 12:307-313.
- Pizarro C. F. *Riegos localizados de alta frecuencia*. Madrid, Mundi-Prensa. 1990 471p.
- Philippi, L. S.; Sezerino, P. H.; Peters, M. R.; Lapolli, F. R. Reúso de águas cinza (greywater) e água de chuva em uma unidade residencial. In: 23º Congresso de Engenharia Sanitária e Ambiental. ABES – Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental. Florianópolis, 2005.
- Rebouças, J. R. L. et al. Crescimento do feijão caupi irrigado com água residuária de esgoto doméstico tratado. *Revista Caatinga*, Mossoró, v. 23, n. 1, p. 97-102, 2010.
- Santos, C. et al. Development of an experimental system for greywater reuse. *Desalination*, [s.l.], v. 285, n. 1, p.301-305, jan. 2012. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.desal.2011.10.017>.
- Silva, L. P. da; Silva, M. M. da; Correa, M. M; Souza, F. C. D; Silva, E. F. de F. Desempenho

- de gotejadores autocompensantes com diferentes efluentes de esgoto doméstico. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v. 16, n. 5, p. 480-486, 2012.
- Silva, K. B.; Silva Júnior, M. J.; Batista, R. O.; Santos, D. B.; Barbosa Filho, S. Desempenho de gotejadores operando com efluente da castanha de caju sob distintas pressões de serviço. *Revista Ceres*, Viçosa, v. 60, n.3, p. 339-346, 2013.
- Sousa, J. T. de.; Henrique, I. N.; Leite, V. D.; Lopes, W. S. Tratamento de águas residuárias: uma proposta para a sustentabilidade ambiental. *Revista de Biologia e Ciências da Terra*, Cruz das Almas, n. 1, p.90-97, 2006.
- Souza, G.M.B. DE; Rodrigues, L. A.; Chernicharo, C. A.L. Desinfection of domestic effluents by gamma radiation: Effects on the inactivation of *Ascaris lumbricoides* eggs. *Water Research*, v. 2, n. 45, p.5523-5528, ago. 2011.
- Souza, J. B. de; Sartori, L.; Daniel, L.A.; Influência da cor e turbidez na desinfecção de águas de abastecimento utilizando-se cloro e radiação ultravioleta. XXVII Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental. São Paulo, 2000.
- Tucci, C. E. M. Águas urbanas. *Estudos Avançados*, v.22, n.63, p.1-16, 2008.
- Tundisi, J. G.; Scheuenstuhl, M. (Ed.) Bridging water research and management: new perspectives for the Americas. IIE, IIBRH, Ianas, Brazilian Academy of Sciences, IAP, 2008.
- USEPA (1999). Alternative disinfectants and oxidants. Guidance Manual, EPA 815-R-99-014. cap.8, p.8.1- 8.25, abr.
- Von Sperling, M., Mascarenhas, L.C.A.M., 2005. Performance of very shallow ponds treating effluents from an UASB reactor. *Water Science and Technology*, v.51, p. 83-90, 2005.
- Yu, Z.L.T.; Rahardianto, A.; Deshazo, J.R.; Stenstrom, M.K.; Cohen, Y.. Critical review: regulatory incentives and impediments for onsite greywater reuse in the United States. *Water Environment Research*, v. 85 n. 7, p. 650 e 661, 2013.
- Zhao, Y. J.; He, J. C.; Chen, Q.; He, J.; Hou, H. Q.; Zheng, Z. Evaluation of 206nm UV radiation for degrading organometallics in wastewater. *Chemical Engineering Journal*, v. 167, p. 22–27, 2011.

CAPÍTULO 1 - MONITORAMENTO DE UMA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO E APROVEITAMENTO AGRÍCOLA DE ÁGUA CINZA EM ASSENTAMENTO RURAL DO SEMIÁRIDO

RESUMO

Devido ao aumento da demanda por água, causado por vários fatores, mas pressionado, principalmente, pelo crescimento populacional e produção agrícola, torna-se cada vez mais necessário o reúso de água como forma de diminuir a utilização de água de boa qualidade na produção agrícola. O presente trabalho teve como objetivo avaliar o desempenho de uma estação de tratamento, por meio dos parâmetros utilizados para a realização do reúso de forma segura. O trabalho foi realizado, no período de 28 de outubro de 2014 a 27 de janeiro de 2015, no Projeto de Assentamento Monte Alegre I, localizado no município de Upanema-RN, microrregião médio Oeste potiguar. A estação de tratamento foi composta por uma caixa de passagem, um tanque séptico, um filtro orgânico e um reservatório coberto. Realizou-se a coleta de amostras compostas da água cinza tratada na caixa de passagem e no reservatório; estas amostras foram encaminhadas para laboratórios específicos com a finalidade de se realizar análises físico-químicas e microbiológica, posteriormente determinou-se a estatística descritiva dos resultados para a obtenção das médias de cada atributo da água cinza, para avaliação com os testes de média e de tukey, complementado com as técnicas de componentes principais e agrupamento hierárquico, para fins de caracterização dos efluentes. Com o tratamento proporcionado nas distintas etapas do sistema, foi observado que a maioria das características estudadas estão dentro dos padrões estabelecidos para reúso agrícola da água cinza; a técnica aplicada da análise de componentes principais, proporcionou a caracterização do sistema, a análise de agrupamento identificou similaridade maior entre as características do efluente em relação às do afluente.

Palavras-chave: Tanque séptico. Filtro orgânico. Água residuárias. Estatística multivariada.

ABSTRACT

The increasing demand for water, caused by several factors, but mainly by population growth and agricultural production has become increasingly necessary to reuse water as a way to reduce the use of good quality water in agricultural production. The present study aimed to evaluate the performance of a treatment plant, through the parameters used to safely reuse water. The study was conducted from October 28th, 2014 to January 27th, 2015, in the Monte Alegre I Settlement Project, located in the municipality of Upanema, midwestern region of the state of Rio Grande do Norte. The treatment plant consisted of a passage box, a septic tank, an organic filter and a covered reservoir. Samples of treated gray water were collected in the passage box and in the reservoir; these samples were sent to specific laboratories for physical-chemical and microbiological analyses, and the results were subjected to descriptive statistics to obtain the mean values of each attribute of gray water, for evaluation with the tests of means and Tukey's test, complemented with the principal component analysis and hierarchical clustering, for characterization of effluents. With the treatment in the different steps of the system, most of the characteristics studied were within the established standards for agricultural reuse of gray water; the principal component analysis provided the characterization of the system, the cluster analysis identified a greater similarity between the characteristics of the effluent in relation to those of the influent gray water.

Key words: Septic tank. Organic filter, Wastewater. Multivariate statistics.

1. INTRODUÇÃO

O aumento da demanda por água, devido, sobretudo ao crescimento populacional e às atividades produtivas decorrentes, somado à degradação ambiental dos corpos hídricos, tem criado um cenário de escassez hídrica em diversas regiões do planeta Terra.

Este cenário de escassez vem influenciando mudanças de hábitos da população, em especial na atividade de agricultura irrigada, que vem buscando a redução no consumo de água e a otimização dos sistemas de irrigação (Silva et al., 2012).

A destinação inadequada dos efluentes provocada pela falta de um sistema de esgotamento sanitário, ocasiona uma vulnerabilidade socioambiental, sobretudo em áreas ocupadas pela população de baixa renda, como por exemplo as áreas rurais, onde a contaminação dos recursos hídricos, afeta a salubridade da população. Dentre as doenças que estão associadas com um sistema ineficiente destacam-se as diarreias, hepatite, cólera, parasitoses intestinais e febre tifoide.

No semiárido potiguar, das 147 sedes municipais apenas 37 tem o serviço de coleta e tratamento de esgoto (Medeiros et al., 2014). Na mesma publicação observa-se que a quantidade de esgoto gerado é de $37.022 \text{ m}^3 \text{ ano}^{-1}$, sendo que deste valor apenas $10.733 \text{ m}^3 \text{ ano}^{-1}$ é coletado e $9.551 \text{ m}^3 \text{ ano}^{-1}$ tratado, demonstrando dessa forma que a maior parte dos esgotos voltam para o ambiente sem nenhum tipo de tratamento.

As águas cinzas são as águas que não possuem contribuição de efluentes de vasos sanitários, mas sim aquela proveniente do uso de lavatórios, chuveiros, banheiras, pias de cozinha, máquina de lavar roupa e tanque (Ottoson & Stenström, 2003).

O emprego da água de reúso na agricultura pode ser uma estratégia bastante eficaz para preservar os recursos hídricos e diminuir sua utilização indiscriminada, haja vista que essa atividade econômica é a que mais emprega água em seu processo produtivo, com cerca de 70% de todo o consumo realizado no mundo (Júnior et al., 2016).

Além de proporcionar uma maior economia dos recursos hídricos, a reutilização de água na agricultura pode, também, servir para atender localidades em que a existência desses recursos é escassa ou em que a estiagem prejudica as lavouras em determinadas épocas do ano, sendo essa uma das principais características da região semiárida (Lanna, 2008). Outra vantagem é o fato de que alguns dos elementos residuais que permanecem nas águas após o tratamento podem ser benéficos para as lavouras, a exemplo do nitrogênio, do potássio e do fósforo.

De acordo com Bazzarela et al. (2006), as principais características a serem analisadas para a definição do tipo de tratamento de água cinza, para o aproveitamento, são a grande variação de vazão em períodos curtos de tempo e a elevada biodegradabilidade .

No tratamento das águas cinza, diversas técnicas são recomendadas, porém o uso conjunto de tanque séptico e filtro orgânico destaca-se pela boa eficiência na remoção de poluentes e pelo baixo custo de instalação e operação para assentamentos rurais (BRASIL, 2006).

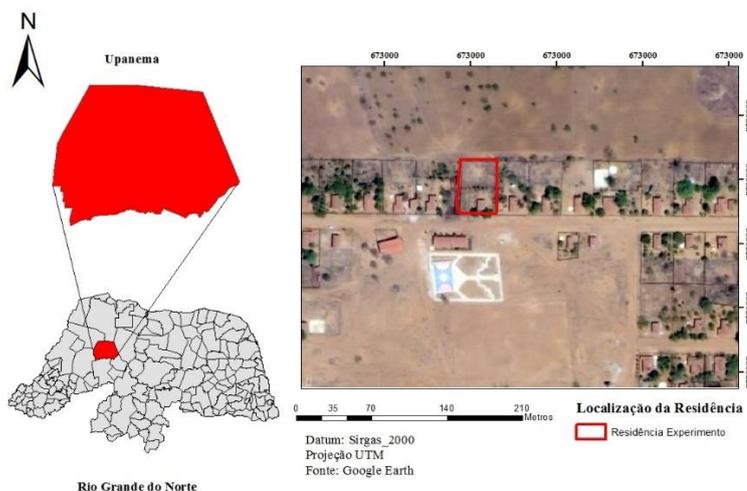
Magalhães et al. (2006), ao utilizarem filtros orgânicos no tratamento da água residuária da suinocultura, obtiveram remoções de sólidos totais (ST) de até 56% quando se utilizou meio filtrante constituído por bagaço de cana-de-açúcar; no caso de filtro constituído de serragem de madeira, mostrou-se mais eficiente na remoção de sólidos suspensos (SS), alcançando eficiência de remoção de 90%.

Diante do exposto, o objetivo desse trabalho foi o monitoramento de uma estação de tratamento para água cinza, composta por tanque séptico e filtro orgânico, e a avaliação da mesma por meio dos parâmetros físicos, químicos e microbiológicos, com vistas ao enquadramento a legislação vigente para fins de irrigação.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O presente trabalho foi realizado, no período de 28 de outubro de 2014 a 27 de janeiro de 2015, em uma residência escolhida dentre as três que receberam o sistema de tratamento de água cinza, vale salientar, que a escolha foi determinada pela residência, em que a estação foi melhor operada pelo morador, o domicílio escolhido possui 5 pessoas. O mesmo está inserido no Projeto de Assentamento Monte Alegre I, sob as coordenadas de 5° 30'13 S e 37°27'O, localizado no município de Upanema-RN, microrregião médio Oeste potiguar (Figura 1). O clima predominante na região é quente e seco – tipo BSw^h, segundo a classificação climática de Köppen (Alvares et al., 2014).

Figura 1: Localização da residência experimental



Fonte: Autoria própria, (2016).

Para o tratamento e o aproveitamento agrícola da água cinza foi proposto um sistema constituído dos seguintes módulos:

- a) **Caixa de passagem:** construída em alvenaria de tijolos, dotado de revestimento interno impermeabilizante, nas dimensões internas 0,50 m de largura, 0,50 m de comprimento e 0,50 m de profundidade Figura 1.

Figura 2. Ilustração da caixa de passagem.



Fonte: Autoria própria, (2016).

- b) **Tanque séptico:** no dimensionamento foram considerados os valores de produção per capita de água cinza de $54 \text{ L hab}^{-1} \text{ d}^{-1}$, número de pessoas por residência de sete habitantes, tempo de retenção hidráulica de 1 dia, produção per capita de lodo de $1 \text{ L hab}^{-1} \text{ d}^{-1}$, temperatura

local acima de 20°C, taxa de acúmulo de lodo digerido de 57 dias e intervalo de limpeza do lodo de um ano. Com estas informações, o tanque séptico foi dimensionado seguindo as recomendações da NBR 7229 (ABNT, 1993):

$$V = \frac{1000 + N \cdot (C \cdot T + K \cdot L_f)}{1000} \therefore V = \frac{1000 + 5 \cdot (54 \cdot 1 + 57 \cdot 1)}{1000} \therefore V = 2,0 \text{ m}^3$$

em que:

V = volume útil do tanque séptico, m³;

N = número de pessoas ou unidades de contribuição

C = contribuição de despejos, em Lpessoa⁻¹ d⁻¹ ou em Lund⁻¹ d⁻¹;

T = período de detenção, em dias;

K = taxa de acumulação de lodo digerido em dias, equivalente ao tempo de acumulação de lodo fresco;

L_f = contribuição de lodo fresco, em Lpessoa⁻¹ d⁻¹ ou em Lund⁻¹ d⁻¹;

O tanque séptico foi construído em alvenaria de tijolos com reboco impermeabilizado nas dimensões de: 0,80 m de largura por 1,30 m de profundidade por 1,95 m de comprimento (Figura 2). A divisória entre as câmaras do tanque séptico foi implantada a 2/3 do seu comprimento interno, ou seja, a 1,3 m do ponto de entrada do esgoto doméstico. Para a passagem do efluente de uma câmara para outra foram inseridas na divisória, três aberturas na metade da profundidade do tanque (0,60 m), cada uma com dimensões médias de 0,10 m de largura por 0,30 m de altura.

Figura 3. Ilustração do tanque séptico.



Fonte: A autoria própria (2016).

c) **Filtro orgânico:** construído em alvenaria de tijolos com revestimento interno impermeabilizado, apresentando dimensões internas de 1,45 m de diâmetro e 0,70 m de profundidade. No fundo do filtro foi colocada uma camada de brita n.1 de 0,20 m para drenagem do efluente, sobre esta foi colocada uma camada de 0,10 m de carvão vegetal para minimizar os odores desagradáveis e uma camada de fibra de coco mais palha de carnaúba (material orgânico), as quais receberam uma compressão de $0,167 \text{ kgf cm}^{-2}$ ($16,35 \text{ kN m}^{-2}$), pressão exercida pelo pisoteio manual por um homem, de 50 kgf de peso, até ser atingida a altura de 0,30 m (Matos et al., 2006). Na parte superior do filtro instalou-se um dispositivo confeccionado em tubos de PVC de 100 e 40 mm para distribuição uniforme do efluente (Figura 3).

Figura 4. Ilustração do filtro orgânico.



Fonte: Autoria própria, (2016).

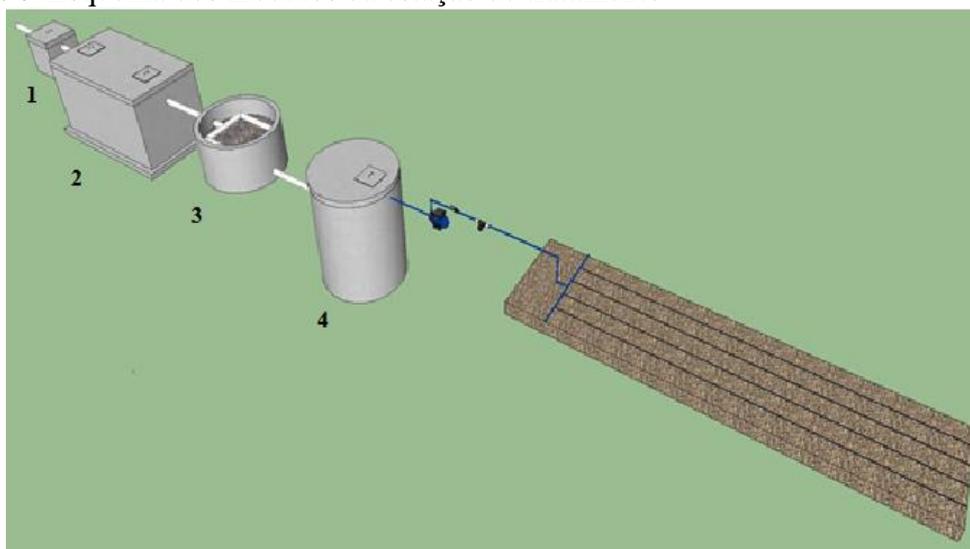
- d) **Reservatório de armazenamento:** confeccionado em alvenaria de tijolos com revestimento interno impermeabilizado, nas dimensões internas de 1,47 m de diâmetro e 1,63 m de profundidade, conforme (Figura 5).

Figura 5. Ilustração do reservatório.



Fonte: Autoria própria, (2016).

Figura 6. Esquema dos módulos da estação de tratamento



Nota: 1- Caixa de passagem; 2- Tanque séptico; 3- Filtro orgânico; 4- Reservatório de armazenamento.
Fonte: Autoria própria, (2016).

Empregando-se o método gravimétrico determinou-se o volume e a vazão da água cinza gerada na estação no período de 12 a 18 de agosto 2015.

As coletas foram realizadas no período da manhã, uma vez a cada mês, totalizando quatro coletas ao longo do período experimental, as amostras foram classificadas como compostas, pois eram originadas de fontes diferentes (chuveiro, pia do banheiro, pia da cozinha, lavagem de roupa) os pontos de coleta foram: caixa de passagem e reservatório. No processo de coleta as amostras foram preservadas em caixas isotérmicas com gelo à temperatura de 4 °C. Em seguida, estas amostras foram encaminhadas para laboratórios específicos com a finalidade de se realizar análises físico-químicas e microbiológica, seguindo os critérios do Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (Rice et al., 2012).

No Laboratório de Análise de Solo, Água e Planta (LASAP) do Departamento de Ciências Ambientais e Tecnológicas (DCAT) da UFERSA foram medidos os valores de potencial hidrogeniônico (pH), com peagâmetro de bancada; e da condutividade elétrica (CE), com condutivímetro de bancada. As concentrações de sólidos totais (ST) e sólidos suspensos (SS) foram determinadas pelo método gravimétrico, enquanto as concentrações dos sólidos dissolvidos (SD) foram obtidas pela diferença de ST e SS. Determinaram-se, também, as concentrações de cálcio (Ca²⁺) e magnésio (Mg²⁺) por método titulométrico; a concentração de sódio (Na⁺) por fotômetro de chama; e as concentrações de ferro (Fe) e manganês (Mn), zinco (Zn), cobre (Cu), chumbo (Pb), cádmio (Cd), arsênio (As) e crômio (Cr), por espectrofotometria de absorção atômica. A razão de adsorção de sódio (RAS) foi calculada empregando-se a equação 1.

$$RAS = \frac{Na^+}{\left(\frac{Ca^{2+} + Mg^{2+}}{2}\right)^{0,5}} \quad (1)$$

em que:

RAS = Razão de adsorção de sódio, (mmol_c L⁻¹)^{0,5};

Na⁺ = concentração de sódio, mmol_c L⁻¹;

Ca⁺² = concentração de cálcio, mmol_c L⁻¹; e

Mg⁺² = concentração de magnésio, mmol_c L⁻¹.

No Laboratório de Saneamento Ambiental (LASAN) do DACAT/UFERSA foram quantificados os níveis populacionais dos coliformes totais e de *E. Coli*. Nestas análises utilizou-se o sistema Colilert (sistema patenteado por IDEXX Laboratories) que é utilizado para detecções simultâneas, identificações específicas e confirmativas de coliformes totais e *E. coli*, metodologia, também, preconizada no Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (Rice et al., 2012).

O Colilert utiliza nutrientes (açúcares ligados a radicais orgânicos cromogênicos) que fazem com que os microrganismos de interesse presentes na amostra produzam uma mudança de cor (ou fluorescência) no sistema inoculado.

As amostras foram misturadas ao meio de cultura (Colilert) e após homogeneização, foram transferidas para uma cartela com poços isolados (Quanti-tray) e selada em seladora específica. Em seguida, as cartelas foram incubadas a 35°C por 24h. Os resultados foram quantificados por tabela estatística do Número Mais Provável - NMP do sistema Quanti-Tray 2000. No sistema Colilert Quanti-Tray 2000, a presença de coliformes totais é indicada por uma reação, modifica a coloração do reagente para amarelo. Poços com coloração amarela indicam presença de coliformes totais. Em caso de haver a presença de *E. coli*, esta pode ser confirmada expondo-se as amostras positivas para coliformes totais à luz ultravioleta (365 nm), que reagirá emitindo fluorescência azul.

Para enumeração de ovos de helmintos foi utilizada a Técnica de Bailenger modificada (Ayres & Mara, 1996), que deu origem à metodologia atualmente recomendada pela Organização Mundial de Saúde para a enumeração de ovos de helmintos em águas residuárias brutas e tratadas. Este método foi escolhido em função de sua simplicidade e baixo custo e por propiciar a recuperação de uma ampla faixa de ovos de helmintos de gêneros diferentes, particularmente ovos de nematodas (*Ascaris* sp., *Trichuris* sp. e *Ancilostomídeos*) que são os indicadores parasitológicos especificados no guia da Organização Mundial de Saúde para reuso na agricultura.

As amostras de esgotos a serem processadas passam pelas etapas de sedimentação, centrifugação e flutuação. Após sucessivas centrifugações da amostra, com descarte do sobrenadante, o sedimento é tratado com solução tampão aceto-acética (pH 4,5) e éter (ou acetato de etila), para a separação do material gorduroso. Posteriormente, com a adição de uma solução de sulfato de zinco de alta densidade (ZnSO₄ densidade 1,18), os ovos flutuam. Os ovos que possuem densidade relativa menor que este valor são separados do sedimento e, portanto, flutuam. A contagem é realizada utilizando-se uma câmara de McMaster, com observação no microscópio em objetivas de 10x e 40x.

Realizou-se a estatística descritiva dos resultados para a obtenção das médias de cada atributo da água cinza, para fins de avaliação do teste F e de média, complementando com a técnica de componentes principais de acordo com Souza (2001) para a avaliação das características da água cinza, sendo realizado previamente análise de correlação linear para averiguar interdependência entre tais variáveis. Como critério adotou-se o menor número de componentes principais, contanto que esses componentes envolvessem um mínimo de 80 % da variação total (Cruz et al., 2004).

A análise de agrupamento pelo método Ward, conforme Hair et al. (2005), foi realizada a partir dos escores das componentes principais retidas para interpretação, mediante normalização dos dados em virtude das distintas ordens de grandezas entre os mesmos, de acordo com o critério apresentado acima aplicando-se, como medida de dissimilaridade, a distância Euclidiana média. Foi utilizado o software estatístico computacional e gráfico, de linguagem aberta e gratuita, R versão 3.3.1.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 1 estão apresentados os valores de volume e vazão da água cinza obtido no período de 12 a 18 de agosto de 2015. Observa-se na Tabela 1 que a vazão média semanal da água cinza tratada primário foi de 55 L h⁻¹, correspondente a um volume de 546 L. Este valor foi maior que o obtido por Feitosa et al. (2011), devido ao número de pessoas na residência durante o período experimental ser superior, proporcionando um consumo de água mais elevado.

Tabela 1: Valores de volume e vazão da água cinza tratada obtida no período de 12 a 18 de agosto de 2015

Data	Volume (L)	Vazão (L h⁻¹)
12/08/2015	407	41
13/08/2015	424	42
14/08/2015	492	49
15/08/2015	526	53
16/08/2015	543	54
17/08/2015	815	81
18/08/2015	611	61
Média	546	55

Fonte: Autoria própria (2016).

Apresenta-se, na Tabela 2 o valor médio do Afluente e Efluente das características físico-químicas e microbiológicas da água cinza tratada e o teste F, no período de outubro de 2014 a janeiro de 2015.

Tabela 2. Valor médio do Afluente e do Efluente das características físico-químicas e microbiológicas da água cinza tratada coletada ao longo do período experimental

Característica	Afluente	Efluente	Remoção (%)	F
DBO (mgL ⁻¹)	784,7 ^a	101,5b	87,1	7,60 ^{**}
DQO(mgL ⁻¹)	1509,2 ^a	465,7b	69,1	12,2 ^{**}
pH	5,85b	7,34a	-25,5	8,61 ^{**}
CE (dSm ⁻¹)	1,44b	1,52a	-5,50	0,33 ^{n.s.}
SS(mgL ⁻¹)	170,00a	25,00b	85,3	64,69 ^{**}
SD(mgL ⁻¹)	1458,00a	1321,00a	9,4	0,14 ^{n.s.}
Na(mgL ⁻¹)	11,05 ^a	10,9a	1,4	0,002 ^{n.s.}
Mg (mmol _c L ⁻¹)	8,78 ^a	5,93a	32,5	0,29 ^{n.s.}
Ca (mmol _c L ⁻¹)	8,88 ^a	6,25a	29,6	0,52 ^{n.s.}
RAS (mmol _c L ⁻¹)	5,11 ^a	5,11	0	0
As (mgL ⁻¹)	0	0	0	0
Cr (mgL ⁻¹)	0	0	0	0
Fe (mgL ⁻¹)	1,64 ^a	0,53a	67,7	10,32 ^{**}
Mn (mgL ⁻¹)	0,50 ^a	0,09a	82,0	3,75 ^{n.s.}
Zn (mgL ⁻¹)	0,07 ^a	0,04a	42,9	5,33 ^{n.s.}
Cu (mgL ⁻¹)	0,05 ^a	0,02a	60,0	3,26 ^{n.s.}
Pb (mgL ⁻¹)	0,003 ^a	0,001a	66,7	0,72 ^{n.s.}
Ni (mgL ⁻¹)	0,08 ^a	0,076a	5,0	0,65 ^{n.s.}
Cd (mgL ⁻¹)	0,035 ^a	0,02a	42,9	8,36 ^{n.s.}
OH (ovoL ⁻¹)	0	0	0	0
EC (NMP por 100 mL ⁻¹)	8,29 x 10 ⁶ a	6,07 x 10 ⁴ b	99,0	93.28 ^{**}
CT (NMP por 100 mL ⁻¹)	4,16 x 10 ⁷ a	5,24 x 10 ⁵ b	98,0	40,39 ^{**}

Nota: DBO - demanda bioquímica de oxigênio; DQO - demanda química de oxigênio; pH - potencial hidrogeniônico; CE – condutividade elétrica; SS – sólidos suspensos; SD – sólidos dissolvidos; Na – sódio; Mg – magnésio; Ca – cálcio; RAS; razão de adsorção de sódio; As – arsênio; Cr – crômio; Fe – ferro total; Mn – manganês; Zn – zinco; Cu – cobre; Pb – chumbo; Ni – níquel; Cd – cádmio; OH – ovos de helmintos; E.C. - *escherichia coli*; C.T. – coliformes totais.

** e ^{ns} F significativo a 1% de probabilidade e não-significativo a 5% de probabilidade, respectivamente. Médias seguidas de pelo menos uma mesma letra nas linhas não difere entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

Fonte: Autoria própria (2016)

Pela Tabela 2 constatou-se que o valor médio da DBO no efluente está acima do estabelecido de 60 mg L⁻¹ para lançamento em corpos hídricos (CEARÁ, 2002), o mesmo observou-se para o valor da DQO, em que o limite é de 200 mg L⁻¹. Resultados inferiores também foram obtidos por Nirenberg & Reis (2010), que obtiveram valores de 72 mgL⁻¹ e 186,6 mgL⁻¹ para DBO e DQO respectivamente. Entretanto, Bertoncini (2008) observou que em experiências controladas de reuso agrícola, houve uma redução de 99% nos valores de DQO e DBO na água coletada no solo, indicando que os solos são bons depuradores de carga orgânica.

O valor médio do potencial hidrogeniônico (pH) da água cinza tratada encontrou-se dentro da faixa de 5 a 9 proposta pela Resolução CONAMA nº 430/2011 (BRASIL, 2011), que define os padrões de lançamento de esgoto sanitário tratado em corpos hídricos. Este resultado foi superior ao valor médio de pH de 6,94 obtido por Feitosa et al. (2011) com água cinza tratada, devido provavelmente aos maiores teores de sais contidos neste efluente.

Com relação a condutividade elétrica da água cinza tratada, o valor médio foi inferior ao limite de $3,0 \text{ dS m}^{-1}$ proposto para uso agrícola de água residuária (CEARÁ, 2002). Este resultado foi inferior ao valor médio de $1,7 \text{ dS m}^{-1}$ obtido por Feitosa et al. (2011) em água cinza tratada. O valor também, encontra-se, dentro da faixa estabelecida pela Instrução Técnica Nº 31, onde os valores variam entre $0,75 - 2,9 \text{ dS m}^{-1}$ (CETESB, 2006).

De acordo com a Portaria no 154 do Estado do Ceará (CEARÁ, 2002), a concentração média dos sólidos suspensos da água cinza tratada foi inferior ao limite de 50 mg L^{-1} estabelecido para lançamento de efluentes tratados em corpo hídrico receptor. Para os sólidos dissolvidos totais, o valor médio de 1321 mg L^{-1} , está fora da faixa recomendada por Trani (2001), que estabelece valores entre $32 - 325 \text{ mg L}^{-1}$ como intervalo recomendado para irrigação de hortaliças, uma possível explicação para esse fato pode estar associada ao desprendimento de parte do material utilizado no filtro orgânico.

Observa-se que o valor médio do sódio está dentro do estabelecido por Trani (2001), que propõe como valor máximo uma concentração de 70 mg L^{-1} para irrigação de hortaliças. Utilizando o mesmo autor para a comparação do valor médio encontrado para o Magnésio, foi constatado que o mesmo encontra-se dentro do limite estabelecido que corresponde a $12,5 \text{ mmol}_c \text{ L}^{-1}$.

O valor médio do cálcio, na água cinza tratada, foi maior que $0,80 \text{ mmol}_c \text{ L}^{-1}$ obtido por Vale et al. (2013) em experimento com água residuária doméstica tratada. A concentração média do magnésio na água cinza tratada foi superior ao valor de $0,70 \text{ mmol}_c \text{ L}^{-1}$ obtido por Vale et al. (2013) com água residuária doméstica tratada.

A razão de adsorção de sódio (RAS) foi menor que o valor de $7,23 (\text{mmol}_c \text{ L}^{-1})^{0,5}$ apresentado por Batista et al. (2013) em estudo com esgoto doméstico terciário. Analisando de forma conjunta as características CE, RAS, Ca^{2+} e Mg^{2+} , verifica-se que o esgoto doméstico primário representa risco ligeiro a moderado para a infiltração de efluente no solo, devido a dispersão das argilas que causa selamento do espaço poroso.

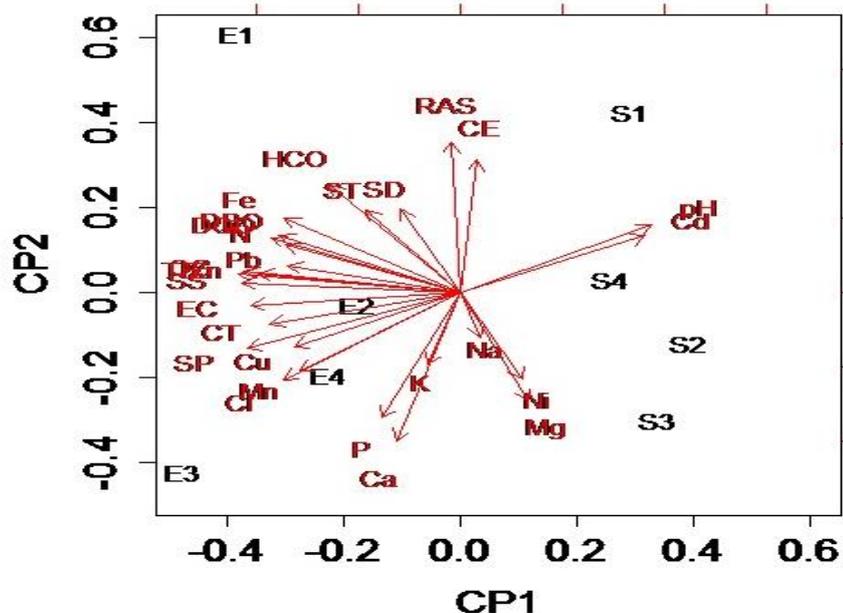
Com relação aos valores de concentração média do grupo dos metais pesados formado por arsênio, crômio, ferro, manganês, zinco, cobre, chumbo, níquel e cádmio observou-se que estão todos dentro dos seus limites que correspondem a 0 mgL^{-1} , 0 mgL^{-1} , 15 mg L^{-1} , $1,0 \text{ mg L}^{-1}$, $5,0 \text{ mg L}^{-1}$, $1,0 \text{ mg L}^{-1}$, $0,5 \text{ mg L}^{-1}$, $2,0 \text{ mg L}^{-1}$ e $0,2 \text{ mg L}^{-1}$ respectivamente, de acordo com o estabelecido para o lançamento de águas residuárias em corpo hídrico receptor (BRASIL, 2011a). Além disso, a concentração média dos mesmos não representam riscos de toxicidade para cultivos agrícolas em solos ácidos pois estão dentro dos limites estabelecidos por (Almeida, 2010).

Não foi detectado, em nenhuma das amostragens a presença de ovos de helmintos, este fato está relacionado com as características do efluente.

Na água cinza tratada o nível médio populacional de *E. Coli* e coliformes totais foi de $6,07 \times 10^4$ e $5,24 \times 10^5$ NMP por 100 mL^{-1} . De acordo com os limites estabelecidos pela NBR 13969 (ABNT 1997), o efluente tratado não atende as exigências para reúso em ambiente domiciliar (classes 1, 2, 3 e 4), cujo os níveis populacionais mínimos de *E. Coli* e coliformes totais oscilam de 200 a 5000 NMP 100 mL^{-1} . Este resultado indica que a água cinza tratada, tem que ser exposta a um processo de desinfecção, com vistas ao atendimento dos padrões para reúso agrícola.

A Figura 2 apresenta, o gráfico das componentes principais (CP) das características analisadas nesse estudo, vale salientar que originalmente foram realizadas 22 análises, entretanto de posse dos resultados foi observado que as características carbonato, arsênio, cromo e ovos de helmintos não apresentaram valores significativos na explicação da variância total, podendo ser desconsideradas no estudo do tratamento de água cinza. Neste tipo de análise é interessante diminuir o espaço amostral uma vez que, reduzindo o número de variáveis analisadas, reduz-se, também, o número de análises laboratoriais, economizando tempo e recursos, sendo que esses recursos poderiam ser alocados em outras fases do monitoramento da estação de tratamento de água (Zeng & Rasmussen, 2005).

Figura 7. Byplot com as componentes principais das características físico químicas e microbiológicas analisadas.



Nota: E1 – Entrada 1; E2 – Entrada 2; E3 - Entrada 3; E4 – Entrada 4

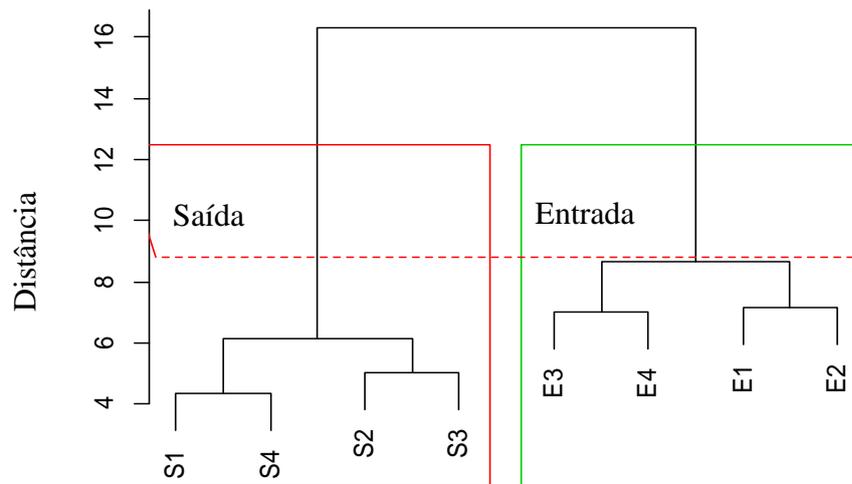
S1 – Saída 1; S2 – Saída 2; S3 - Saída 3; S4 – Saída 4

Fonte: Autoria própria (2016). E- Afluente. S- Efluente.

Constatou-se na Figura 2, que os vetores das características analisadas apontam em grande parte para as características do afluente (E), demonstrando que o sistema possui eficiência de remoção para a maioria das características analisadas, entretanto, alguns apontam para as características do efluente (S), esse fato pode ser explicado devido à uma característica natural do sistema de acúmulo de alguns íons, ao longo das etapas do tratamento, concentrando-se no reservatório.

Na análise por agrupamento hierárquico, foi observado a formação de dois grupos: o primeiro formado pelas características do afluente (E) e o segundo formado pelas características do efluente (S), como apresentado na Figura 3. Verifica-se que o grupo das características do efluente possuem uma maior similaridade no conjunto dos seus dados pois, se agrupam em uma distância Euclidiana menor, quando comparado com as características do afluente. Uma possível explicação para essa diferença, pode estar relacionada com a maior interferência humana no afluente do sistema, devido as sazonalidades existentes quanto a sua origem, tais como: dia de lavagem de roupas, tipos de alimentos, tipos de materiais de limpeza, quantidade de pessoas na residência, dia útil ou não, entre outros. Enquanto a saída homogeneizada indica eficiência no sistema pela sua estabilidade temporal.

Figura 8. Dendrograma obtido da análise de agrupamento pelo método de Ward.



Nota: E1 – Entrada 1; E2 – Entrada 2; E3 - Entrada 3; E4 – Entrada 4
S1 – Saída 1; S2 – Saída 2; S3 - Saída 3; S4 – Saída 4

Fonte: Autoria própria (2016).

4. CONCLUSÕES

Com o tratamento proporcionado nas distintas etapas do sistema, foi observado que a maioria das características analisadas estão dentro dos limites dos padrões estabelecidos para reúso agrícola, com exceção de sólidos dissolvidos totais, *Eschericia Coli* e coliformes totais.

A técnica estatística multivariada por meio da aplicação da análise de componentes principais, proporcionou a caracterização do sistema evidenciando de maneira distinta os tratamentos a qualidade do afluente e efluente, bem como indicou a redução no número de características analisadas, nas condições avaliadas, uma vez que pode-se reduzir de 22 para 18 o número de variáveis analisadas.

A análise de agrupamento identificou similaridade maior entre as características do efluente do que as do afluente.

O efluente necessita passar por uma etapa complementar de desinfecção, com vistas ao atendimento dos padrões microbiológicos exigidos pela legislação.

REFERÊNCIAS

- Almeida, O. Á. de. Qualidade da água de irrigação. Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura, 2010.
- Alvarez, C. A.; Stape, J. L.; Sentelhas, P. C.; Gonçalves, J. L. de M.; Sparovek, G. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, Vol. 22, Nº. 6, 711–728, 2014.
- Ayres, R & Mara, D. (1996). Analysis of wastewater for use in agriculture. A laboratory manual of parasitological and bacteriological techniques. WHO, Geneva.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 7229. Projeto, construção e operação de sistemas de tanques sépticos. Rio de Janeiro: ABNT, 1993, 15p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 13.969. Tanques sépticos - Unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos - Projeto, construção e operação. Rio de Janeiro: ABNT, 1997, 60p.
- Bazzarella, B. B.; Gonçalves, R. F. Tratamento de água cinza em processos (anaeróbio + aeróbio) de alta taxa visando o reúso predial. XXX Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental, novembro, 2006, Punta del Este – Uruguay.
- Bertoncini, E. I. Tratamento de efluentes e reúso da água no meio agrícola. *Revista Tecnologia & Inovação Agropecuária*, São Paulo, v. 2, n. 20, p.152-169, jun. 2008.
- BRASIL. Fundação Nacional de Saúde. Manual de saneamento. 3. ed. rev. - Brasília: Fundação Nacional de Saúde, 2006. 408 p
- BRASIL. Resolução nº 430, de 13 de maio de 2011. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução no 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA. *Diário Oficial*, Brasília, 2011b.
- CETESB. Companhia de Tecnologia de Saneamento o Ambiental. Instrução Técnica N 31. Aplicação de água de reúso proveniente de estação de tratamento de esgoto doméstico na agricultura. São Paulo, 2006.
- Cruz, C. D.; Regazzi, A. J.; Carneiro, P. C. S. Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético. 3.ed. Viçosa: UFV, 2004. 480p.
- CEARÁ. Portaria nº154, de 22 de Julho de 2002. Dispõe sobre padrões e condições para lançamento de efluentes líquidos gerados por fontes poluidoras. *Diário Oficial do Estado do Ceará*, Fortaleza, 2002. Disponível em:

<http://www.semace.ce.gov.br/biblioteca/legislacao/conteudo_legislacao.asp?cd=95>.

Acesso em: 28 dez. 2015.

- Costa, D.V.G. de O. Eficácia do Tratamento Biológico em Gotejadores Operando com Água Residuária Doméstica Tratada. 2014. 111 f. Dissertação (Mestrado em Manejo de Solo e Água) – Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró, 2014.
- Feitosa, A. P.; Lopes, H. S. S.; Batista, R. O.; Costa, M. S.; Moura, F. N. Avaliação do desempenho de sistema para tratamento e aproveitamento de água cinza em áreas rurais do semiárido brasileiro. *Engenharia Ambiental, Espírito Santo do Pinhal*, v. 8, n. 3, p. 196-206, 2011.
- Hair, J. J. F.; Anderson, R. E.; Tatham, R. L.; Black, W. C. *Análise multivariada de dados*. 5.ed. Porto Alegre: Bookman, 2005. 593p.
- Rice, E. W.; Baird, R. B.; Clesceri, A. D. *Standard methods for the examination of water and wastewater*. 22. ed. Washington: APHA, AWWA, WPCR, 2012. 1496p.
- Júnior, E. M. C.; Boas, K. R. V.; Quintino, L. F.; Piazza, C. A. D.; Andrade, A. A.; Santos, J. P. Recursos hídricos: a responsabilidade do setor agrícola na preservação de água no brasil. XIV ENEEAmb, II Fórum Latino e I SBEA – Centro-Oeste. Brasília, 2016.
- Lanna, A. E.. A economia dos recursos hídricos: os desafios da alocação eficiente de um recurso (cada vez mais) escasso. *Estud. av.*, São Paulo , v. 22, n. 63, p. 113-130, 2008 .
- Magalhães, M.A; Matos, A.T.; Denículi, W.; Tinoco, I. F. F. Operação de filtros orgânicos utilizados no tratamento de águas residuárias de suinocultura. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.10, n.2, p.472–478, 2006.
- Medeiros, S. S.; Salcedo, I. H.; Santos, D. B. dos; Batista, R. O.; Júnior, J. A. S.; Lima, R. da C. C; Marin, A. M. P. *Esgotamento Sanitário: panorama para o semiárido brasileiro*. Campina Grande: INSA, 2014.
- Ottoson, J.; Stenstrom, T.A. Faecal contamination of greywater and associated microbial risks. *Water research*, v. 37, p.645-655. 2003.
- Silva, L. P. da; Silva, M. M. da; Correa, M. M; Souza, F. C. D; Silva, E. F. de F. Desempenho de gotejadores autocompensantes com diferentes efluentes de esgoto doméstico. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v. 16, n. 5, p. 480-486, 2012.
- Souza, G. S. *Introdução aos modelos de regressão linear e não-linear*. 2.ed. Brasília: Embrapa-SPI, 2001. 489p.

- Trani, P.E. Hortaliças folhosas e condimentos. In: Pereira, M. E.; Cruz, M.C.P.; Raij, B. van.; Abreu, C.A. Micronutrientes e elementos tóxicos na agricultura. Jaboticabal: CNPQ / FAPESP / POTAFOS, p. 293 – 510, 2001.
- Vale, H. S. M.; Arruda, L. E. V, de; Costa, D. de O.; Costa. F. G. B.; Batista. R. O. Potencial de entupimento de um sistema de irrigação por gotejamento operando com esgoto doméstico tratado. *Water Resources and Irrigation Management*, v. 2, n. 1, p. 63-70, jan-abr. 2013.
- Zeng, X.; Rasmussen, T. C. Multivariate statistical characterization of water quality in Lake Lanier, Georgia, USA. *Journal Environmental Quality*, v.34, p.1980-1991, 2005.

CAPÍTULO 2- EFEITO DA RADIAÇÃO ULTRAVIOLETA ARTIFICIAL NA REDUÇÃO DO NÍVEL POPULACIONAL DE COLIFORMES TOTAIS E *E.COLI* DA ÁGUA CINZA TRATADA

RESUMO

O processo de desinfecção é considerado como o principal mecanismo para inativação de microrganismos patogênicos proporcionando a prevenção da disseminação de doenças de veiculação hídrica. A utilização da radiação ultravioleta artificial como agente desinfetante na água cinza, está associado ao fato da não formação subprodutos, bem como eficiência na inativação de microrganismos patogênicos. Este trabalho objetivou avaliar a potencialidade do uso da radiação ultravioleta artificial como agente desinfetante de água cinza proveniente de um filtro orgânico contendo concentrações de sólidos suspensos totais que variaram de 13,6 a 21 mgL⁻¹. As amostras de água cinza tratada foram provenientes de uma estação de tratamento localizada no Projeto de Assentamento Monte Alegre I, no município de Upanema-RN, microrregião médio oeste potiguar. Os ensaios de desinfecção foram realizados em um reator ultravioleta construído no Parque Zoobotânico (PZO) da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA) em Mossoró-RN. Este dispositivo foi construído em alvenaria de tijolos nas dimensões de 1,08 m de largura por 1,18 m de comprimento e 0,40 m de profundidade e foram instaladas duas lâmpadas germicidas de 30 W e 254 nm cada. As amostras coletadas foram encaminhadas para laboratório, para posterior determinação analítica. Os tratamentos utilizados na análise do efeito da radiação ultravioleta artificial consistiram de três lâminas de água cinza tratada (0,10 m, 0,20 m e 0,30 m) e cinco tempos de exposição de (0, 1, 2, 3 e 4 h), posteriormente foi realizada uma regressão linear, para a determinação das equações de decaimento da quantidade de microrganismos de cada lâmina estudada. Os melhores resultados foram observados para a lâmina de 0,10 m com o tempo de exposição de 4 horas, visto que atendeu aos padrões exigidos para irrigação de hortaliças.

Palavras-chave: Desinfecção artificial. Lâmpadas UV. Reúso. Semiárido.

ABSTRACT

Disinfection is considered as the main mechanism for inactivation of pathogenic microorganisms preventing the dissemination of waterborne diseases. The use of artificial ultraviolet radiation as a disinfectant agent in gray water is associated with the non-formation of byproducts and the efficiency in the inactivation of pathogenic microorganisms. This study evaluated the potential of the use of artificial ultraviolet radiation as a disinfectant agent for gray water from an organic filter containing concentrations of total suspended solids, ranging from 13.6 to 21 mgL⁻¹. Samples of treated gray water were taken at a treatment plant located in the Monte Alegre I Settlement Project, in the municipality of Upanema, midwestern region of the state of Rio Grande do Norte. Disinfection tests were performed in an ultraviolet reactor built in the Zoobotanical Park (PZO) of the Federal Rural University of the SemiArid Region (UFERSA), in Mossoró, state of Rio Grande do Norte. This reactor was built in brick masonry in the dimensions of 1.08 m width, 1.18 m length and 0.40 m depth, containing two germicidal lamps (30 W, 254 nm). The collected samples were sent to the laboratory for further analytical determination. The treatments used for analysis of the effect of the artificial ultraviolet radiation consisted of three slides of treated gray water (0.10 m, 0.20 m and 0.30 m) and five exposure times of (0, 1, 2, 3 and 4 h). Data were subjected to linear regression to determine the decay equations of the number of microorganisms from each slide studied. The best results were found for the 0.10 m slide at the exposure time of 4 hours, since it met the standards required for irrigation of vegetables.

Key words: Artificial disinfection. UV lamps. Reuse. Semiarid.

1. INTRODUÇÃO

O lançamento realizado de forma inadequada de águas residuárias domésticas sem tratamento ou apenas parcialmente tratados nos corpos hídricos, proporciona poluição ambiental e riscos diversos à saúde humana, principalmente no que se refere à possibilidade de transmissão de doenças. Os problemas de saúde podem ganhar maiores proporções nas áreas rurais, uma vez que os serviços públicos de abastecimento de água com qualidade assegurada, a destinação adequada dos resíduos sólidos e a coleta e transporte dos esgotos para estações de tratamento são praticamente inexistentes (BRASIL, 2009).

Esse quadro proporciona que a população das áreas rurais, esteja mais susceptível a sofrer com os efeitos da falta de tratamento adequado das águas residuárias domésticas. Estes locais, por não possuírem em sua grande maioria uma infraestrutura de esgotamento sanitário eficiente, despejam seus esgotos diretamente nos rios, lagos, mares ou mesmo no solo localizado nas proximidades de suas moradias (Batista et al., 2013).

Assim, mesmo com custos iniciais consideráveis de implantação, reutilizar o efluente é uma forma de reciclar a água, trabalhando de maneira sustentável, contribuindo para a redução dos impactos ambientais que as atividades industriais geram (Felizatto, 2011).

De acordo com Oliveira (2003), o interesse na desinfecção dos esgotos é cada vez maior, tendo em vista a crescente deterioração das fontes de abastecimento de água para consumo humano. O principal objetivo da desinfecção de esgotos é destruir os patógenos entéricos, que podem estar presentes no efluente tratado, para tornar a água receptora segura para o uso posterior.

Segundo Souza et al. (2012), o cloro é o desinfetante mais utilizado no Brasil e no mundo, tanto para desinfecção de água de abastecimento quanto de águas residuárias domésticas, sendo sua ampla utilização relacionada aos aspectos técnicos como a facilidade de implementação, tecnologia mundialmente difundida, eficiência de inativação, principalmente bacteriana, assim como quanto ao aspecto econômico, por ser um desinfetante de baixo custo.

Entretanto, além da toxicidade provocada pelo lançamento de efluentes clorados às comunidades aquáticas dos corpos hídricos, a partir da década de 1970 o uso do cloro começou a ser questionado pela descoberta da formação dos trihalometanos (THMs) e outros subprodutos potencialmente cancerígenos à saúde humana e indesejáveis ao ambiente (Souza et al., 2012). Neste sentido, a utilização da radiação ultravioleta artificial de 254 nm surge como alternativa eficiente na inativação de microrganismos patogênicos e sem risco de surgimento de

substâncias carcinogênicas que comprometam a saúde dos seres humanos e a qualidade ambiental (Guo et al., 2009).

A radiação ultravioleta artificial, emitida por lâmpadas especiais, é um mecanismo físico no qual a inativação microbiana ocorre pela absorção da luz que promove uma reação fotoquímica capaz de alterar componentes moleculares essenciais para as funções celulares, causando danos nos ácidos nucléicos (DNA e RNA) dos microrganismos inativando-os. A efetividade dos sistemas de desinfecção com radiação ultravioleta artificial depende de fatores como: intensidade de radiação, tempo de exposição dos microrganismos, configuração do reator, além das características do líquido a ser desinfetado (USEPA, 1999).

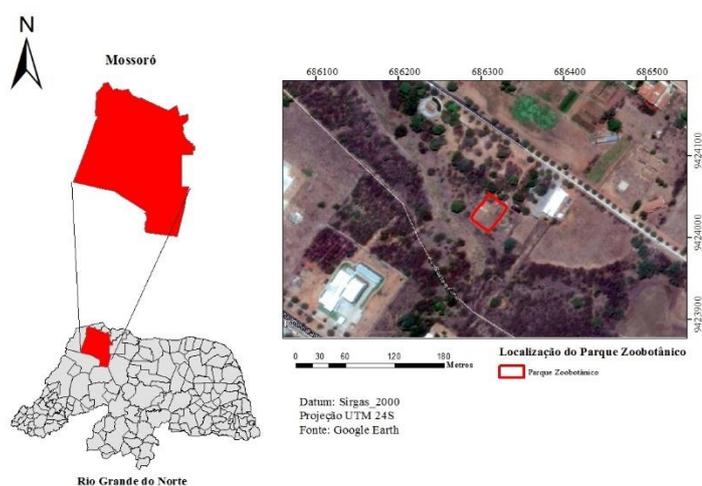
Em relação à qualidade da água ou efluente a ser desinfetado, Daniel (2001) comenta que as partículas em suspensão podem servir de proteção aos microrganismos contra a radiação incidente, prejudicando ou mesmo impedindo a penetração da radiação ultravioleta artificial no meio líquido, assim, a qualidade do efluente em termos de turbidez, concentração de sólidos e matéria orgânica em suspensão ou coloidal, interferem na eficiência do processo.

Neste estudo experimental investigou-se o efeito do uso da radiação ultravioleta artificial para a desinfecção de água cinza tratada, com vistas para reúso na agricultura, proveniente de uma Estação de Tratamento de Água Cinza (ETAC), empregando como indicadores para avaliar a efetividade do processo os microrganismos *Escherichia coli* e coliformes totais (CT), visando o reúso agrícola.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O presente trabalho foi realizado no Parque Zoobotânico da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA) (Figura 1), onde foi construído um reator em alvenaria de tijolos nas dimensões de 1,08 m de largura por 1,18 m de comprimento e 0,40 m de profundidade, recebendo impermeabilização interna, conforme as recomendações de Sanches-Roman et al. (2007).

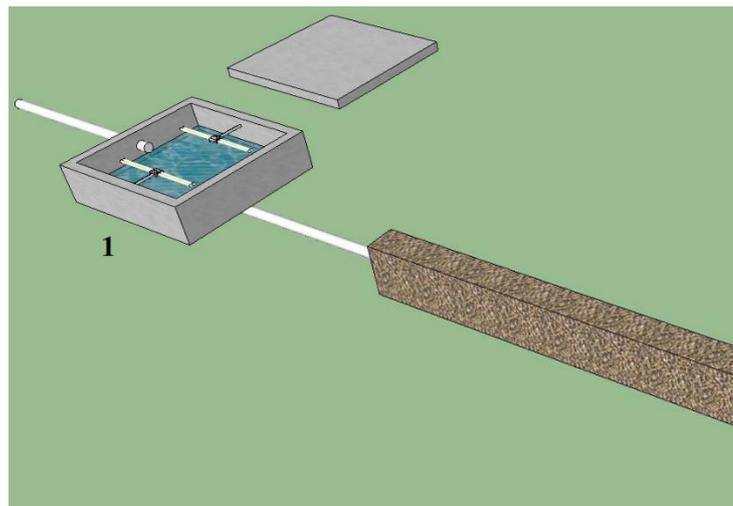
Figura 1: Localização do parque zoobotânico.



Fonte: Autoria própria (2016).

No seu interior existe uma régua graduada de 0,40 m, que auxiliou a manter a altura da lâmina de água cinza tratada variando de 0,10 m a 0,30 m para exposição à radiação ultravioleta artificial (Figura 2). A água cinza tratada foi proveniente de uma estação de tratamento, localizada no Projeto de Assentamento Monte Alegre I, no município de Upanema-RN, microrregião médio Oeste potiguar, foi transportada até o reator onde encontravam-se instaladas as lâmpadas de radiação ultravioleta artificial. O clima predominante na região é quente e seco – tipo BSw^h, segundo a classificação climática de Köppen (Alvarez et al., 2014).

Figura 2: Esquema do reator utilizado na desinfecção por radiação ultravioleta



Nota: 1- Reator, destacando as lâmpadas ultravioletas
Fonte: Autoria própria (2016).

Para a aplicação da radiação ultravioleta artificial, duas lâmpadas de radiação ultravioleta (UVC) de 30 W, cada, foram instaladas em um aparato de madeira para proporcionar a desinfecção do efluente (Figura 3).

Figura 3: Instalação das lâmpadas ultravioleta artificial



Fonte: Pesquisador, (2016).

As lâmpadas instaladas no reator possuíam vida útil prevista para 8.000 h, sendo as mesmas do modelo G30WT8 da HALOTECH; essas trabalham com vapor de mercúrio de baixa pressão, emitindo comprimentos de onda curtas com pico de radiação de 254 nm (UVC) para ação germicida.

O monitoramento do sistema foi realizado no período de outubro a dezembro de 2015. Para tal, o reator foi preparado com distintas lâminas de água cinza tratada, com a seguinte disposição de acordo com a Tabela 1:

Tabela 1: Configuração dos ensaios de monitoramento

	Tempo de exposição (h)	Horário de coleta (h)
Ensaio 1- Lâmina de 0,10 m	0	8:00
	1	9:00
	2	10:00
	3	11:00
	4	12:00
Ensaio 2- Lâmina de 0,20 m	0	8:00
	1	9:00
	2	10:00
	3	11:00
	4	12:00
Ensaio 3- Lâmina de 0,30 m	0	8:00
	1	9:00
	2	10:00
	3	11:00
	4	12:00

Fonte: Pesquisador, (2016).

No preparo do reator foi realizada a renovação da água cinza tratada cada lâmina ensaiada. Todas as amostras coletadas foram encaminhadas para o Laboratório de Saneamento (UFERSA), visando à identificação e quantificação de coliformes totais, e *E. Coli*, e para a determinação da turbidez, condutividade elétrica, pH, oxigênio dissolvido e sólidos suspensos totais.

Nas análises de coliformes totais e *E. Coli*, utilizou-se o sistema Colilert (sistema patenteado por IDEXX Laboratories) que é utilizado para detecções simultâneas, identificações específicas e confirmativas de coliformes totais e *E. coli*, metodologia, também, preconizada no Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (Rice et al., 2012).

O Colilert utiliza nutrientes (açúcares ligados a radicais orgânicos cromogênicos) que fazem com que os microrganismos de interesse presentes na amostra produzam uma mudança de cor (ou fluorescência) no sistema inoculado.

As amostras foram misturadas ao meio de cultura (Colilert) e após homogeneização, foram transferidas para uma cartela com poços isolados (Quanti-tray) e selada em seladora específica. Em seguida, as cartelas foram incubadas a 35°C por 24h. Os resultados foram quantificados por tabela estatística do Número Mais Provável - NMP do sistema Quanti-Tray 2000. No sistema Colilert Quanti-Tray 2000, a presença de coliformes totais é indicada por uma reação, modifica

a coloração do reagente para amarelo. Poços com coloração amarela indicam presença de coliformes totais. Em caso de haver a presença de *E. coli*, esta pode ser confirmada expondo-se as amostras positivas para coliformes totais à luz ultravioleta (365 nm), que reagirá emitindo fluorescência azul.

A determinação de sólidos suspensos totais (SST) foi realizada método gravimétrico utilizando papel filtro e membrana Millipore de 0,45 µm conforme descrito no Standard Methods, o qual prevê secagem a 103-105 °C da amostra até peso constante: foi utilizado 2h para a secagem de papel filtro e membrana Millipore de 0,45 µm em estufa, com amostras de 100 mL de água cinza tratada. Após serem secas, foram armazenadas em dessecador por 15 minutos para esfriarem, para depois serem pesadas.

Deve-se ressaltar que as amostras coletadas foram acondicionadas em caixa isotérmica com gelo, à temperatura de 4°C, para preservação.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 2 estão apresentados os valores médios e desvio-padrão das características físico-químicas da água cinza tratada antes da exposição à radiação ultravioleta germicida.

Tabela 2: Valores médios e desvio-padrão das características físico-químicas da água cinza tratada e sua correspondente lâmina.

Característica	Média e DP (10 cm)	Média e DP (20 cm)	Média e DP (30 cm)
Temp. (°C)	28,92 ± 0,48	29,84 ± 0,78	31,26 ± 0,22
pH	7,758 ± 0,04	7,794 ± 0,01	7,898 ± 0,03
OD (mg L ⁻¹)	2,87 ± 1,24	3,228 ± 0,95	1,13 ± 0,77
CE (dS m ⁻¹)	1,34 ± 0,009	1,24 ± 0,008	1,17 ± 0,007
TB (UNT)	35,16 ± 2,34	30,8 ± 8,49	39,02 ± 4,30
S.S.T. (mg L ⁻¹)	13,6 ± 5,13	13 ± 8,63	21 ± 8,19

Nota: Temp. = Temperatura da água cinza tratada; O.D. = Oxigênio dissolvido; C.E. = Condutividade elétrica; TB = Turbidez; S.S.T. = sólidos suspensos totais.

A temperatura média da água cinza tratada (Temp) encontra-se dentro da faixa de 20 a 30 °C, estabelecida por Cabello (1990) como ótima para o desenvolvimento de bactérias, dessa forma, esta característica não é fator limitante para a multiplicação dos microrganismos patogênicos. Verificou-se, ainda, que os valores de temperatura são inferiores ao limite de 40 °C estabelecido pela Resolução nº 430 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (BRASIL, 2011) que dispõe sobre a classificação dos corpos hídricos receptores e diretrizes ambientais

para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes.

Segundo a Resolução CONAMA n° 430/2011 (BRASIL, 2011), o valor médio de pH encontra-se dentro da faixa de 5 a 9 estabelecida para lançamento de esgoto doméstico tratado, já o valor do oxigênio dissolvido está abaixo do limite estabelecido pela mesma resolução de 5 mgL⁻¹, esse resultado pode ser explicado devido a quantidade de matéria orgânica presente na água cinza tratada, fazendo com que haja consumo de oxigênio dissolvido pelos microrganismos existentes.

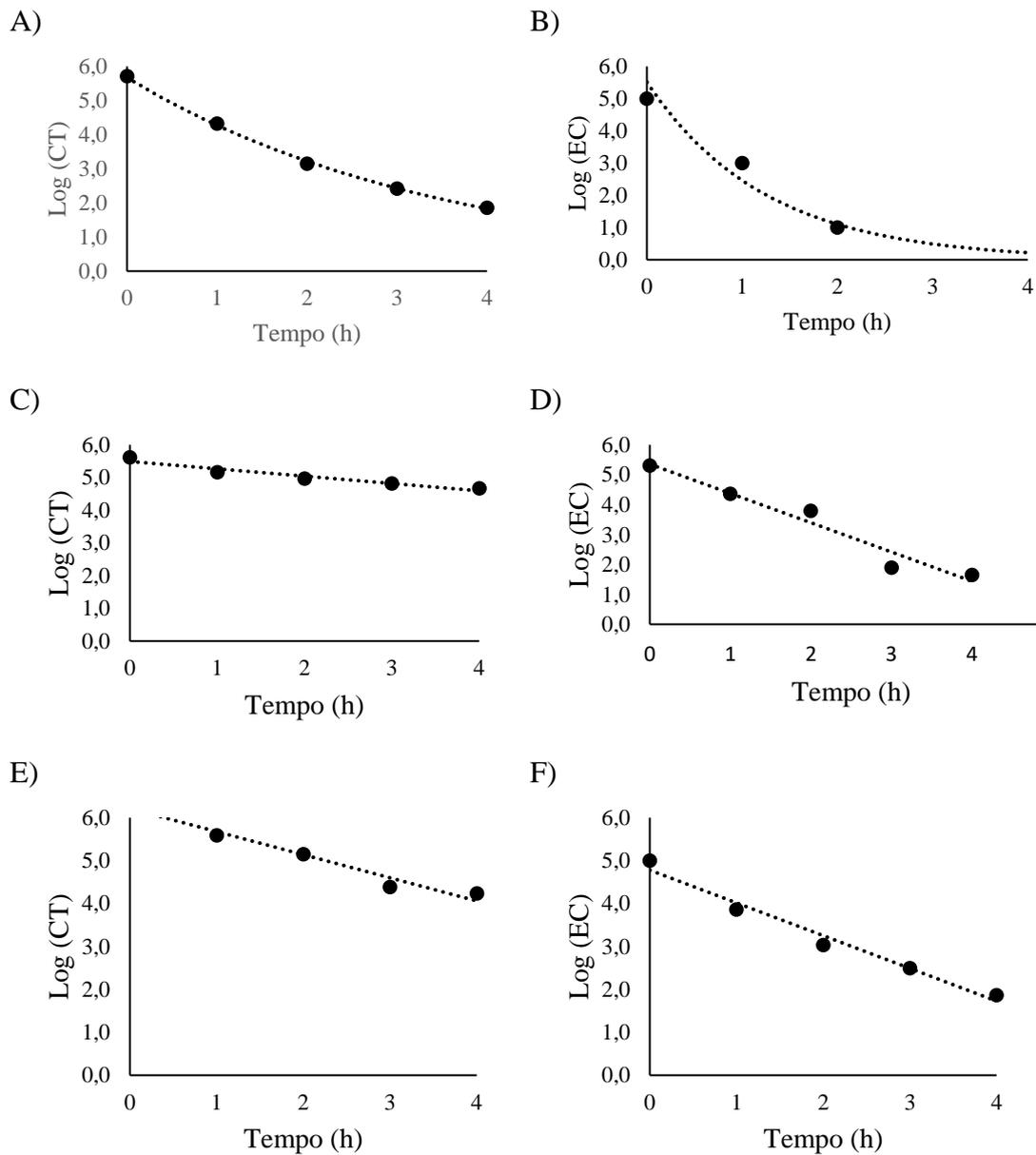
A condutividade elétrica (CE) média da água cinza tratada encontra-se dentro da faixa de 0,5 a 1,5 dS m⁻¹ recomendada de por Trani (2001), para irrigação de hortaliças. Os valores obtidos estão abaixo do apresentado por Batista et al. (2013) com esgoto doméstico tratado por tanque séptico e filtro inorgânico.

O valor médio da turbidez (TB) do esgoto doméstico primário foi maior que 14,6 UNT medido em esgoto doméstico de sistema de lodo ativado por Hallmich & Gehr (2010). Entretanto, este valor médio é menor que 57,07 UNT obtido por Moura et al. (2011) em estudo com esgoto doméstico primário.

Observa-se que o valor médio dos sólidos suspensos totais foi menor que 55 mgL⁻¹ obtido por Souza et al. (2012), medido em esgoto doméstico de sistema composto por reator anaeróbio seguido de lagoa de polimento.

Na Figura 4 constam a relação entre a redução dos níveis de coliformes totais (CT) e *E. Coli* (EC) respectivamente, em função do tempo de aplicação da radiação ultravioleta artificial, para as lâminas de 0,10, 0,20 e 0,30 m.

Figura 4: Decaimento do nível populacional de coliformes totais (CT) e *E. Coli* (EC), em função do tempo de exposição à radiação ultravioleta para as lâminas de água cinza de 0,10 m (A, B), 0,20 m (C,D) e 0,30 m (E,F).



Fonte: Autoria própria (2016).

O mecanismo de desinfecção por radiação ultravioleta artificial ocorre devido à absorção da radiação pelas proteínas e pelos ácidos nucléicos RNA e DNA. A absorção de altas doses de radiação ultravioleta artificial pelas proteínas presentes nas membranas celulares leva ao rompimento das mesmas e, conseqüentemente, a morte da célula (Daniel, 2001).

Verificou-se pela Figura 2 que houve efeito exponencial na redução do nível de coliformes totais (CT) e *E. Coli* (EC), para a lâmina de 0,10 m, enquanto que para a de 0,20 e 0,30 m o efeito constatado foi linear, resultados semelhantes foram encontrados por (Batista et al., 2013; Naddeo et al., 2009). Entretanto, os resultados foram inferiores aos obtidos pelos mesmos autores, que conseguiram uma redução em tempos menores.

Após a aplicação da radiação ultravioleta, o valor obtido de redução do nível de coliformes totais para lâmina de 10 cm de 72 NMP por 100 mL⁻¹ no tempo de 4 h encontra-se abaixo do limite de 200 NMP por 100 mL⁻¹ proposto pela Resolução CONAMA nº 357/2005 (BRASIL, 2005), dessa forma a água cinza tratada pode ser empregada para a irrigação de hortaliças consumidas cruas. Entretanto, todos os demais resultados ficaram acima dos limites preconizados pela referida Resolução.

Ainda, da mesma figura, pode-se observar que para a lâmina de 0,10 m (Figura 2A e 2B), foi onde ocorreu o efeito mais significativo para a redução do nível de coliformes totais e *E. Coli* após a aplicação da radiação ultravioleta artificial, visto que nas outras lâminas analisadas não observou-se a mesma redução, isso pode ter ocorrido por conta de dois fatores; primeiramente como salienta Daniel (2001), a dose de radiação ultravioleta artificial é uma variável que interfere no resultado, diante disso a dose aplicada pode ter sido inferior a necessária, segundo ponto a ser analisado diz respeito a radiação não ter atingido efetivamente os microrganismos, onde os mesmo utilizaram de partículas para se proteger da radiação emitida.

A Tabela 3 apresenta as equações de regressão bem como o coeficiente de determinação (R²) da redução do nível de coliformes totais e *E. Coli*, nas lâminas de 0,10, 0,20, 0,30 m respectivamente.

Tabela 3: Equações de regressão e coeficiente de determinação para as lâminas de 0,10, 0,20 e 0,30 m.

Lâmina (m)	Coliformes Totais		<i>Escherichia Coli</i>	
	Equação	R ²	Equação	R ²
0,10	CT=5,67e ^{-0,28*T}	0,99	EC=5,51e ^{0,8*T}	0,96
0,20	CT= -0,22*T+5,4	0,92	EC=-0,98*T+5,3	0,95
0,30	CT=-0,53*T+6,2	0,96	EC= -0,76*T+4,7	0,97

Nota: 1 - CT - Coliformes Totais (NMP/100 mL), EC - Escherichia Coli (NMP/100 mL) e T – Tempo (hora)

Fonte: Autoria própria (2016).

Verifica-se pela Tabela 2 que as equações de regressão ajustadas para coliformes totais e *E. Coli* apresentaram coeficientes de determinação semelhantes aos encontrados por Batista et al. (2013). Os referidos autores obtiveram equações lineares relacionando a eficiência de desinfecção de coliformes fecais com o tempo de exposição à radiação ultravioleta artificial com R² variando de 0,99 e 0,96.

4. CONCLUSÕES

Houve redução da população de coliformes totais e *E. Coli*, após a aplicação de radiação ultravioleta artificial para as três lâminas testadas.

Com a lâmina de 0,10 m e o tempo de exposição à radiação ultravioleta de 4 h foi alcançado um nível de desinfecção de *E. Coli* recomendado para irrigação de hortaliças com água cinza tratada.

Observa-se a necessidade do cálculo da dose de radiação ultravioleta artificial, com vistas a otimização do processo, bem como evitar a recuperação de microrganismos inativados.

REFERÊNCIAS

- Alvarez, C. A.; Stape, J. L.; Sentelhas, P. C.; Gonçalves, J. L. de M.; Sparovek, G. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, Vol. 22, Nº. 6, 711–728, 2014.
- APHA, AWWA, WEF.. “Standard methods for the examination of water and wastewater”. 19th. edn. American Public Health Association. Washington, DC, 1995.
- Batista, R. O. et al. Efeito da radiação ultravioleta artificial na desinfecção de microrganismos em lâminas de esgoto doméstico. *Enciclopédia Biosfera, Goiânia*, v. 9, n. 16, p.122-134, nov. 2013.
- BRASIL. Ministério das Cidades. *Transversal/saneamento básico integrado às comunidades rurais e populações tradicionais: guia do profissional em treinamento*. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. Brasília: Ministério das Cidades, 2009. 88 p.
- BRASIL. Resolução nº 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes. Brasília, 2005. Disponível em: <<http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=2747>> . Acesso em: 20 jun. 2016.
- BRASIL. Resolução nº 430, de 13 de maio de 2011. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução no 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA. *Diário Oficial*, Brasília, 2011b. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=646>>. Acesso em: 20 jun. 2016.
- Cabello, F. R. P. *Riegos localizados de alta frecuencia (RLAF) goteo, microaspersión, exudación*. 2. ed. Madrid: Mundi-Prensa, 1990. 471 p.
- Daniel, L. A. (Coord.). *Processos de desinfecção e desinfetantes alternativos na produção de água potável*. Rio de Janeiro: RiMa, 2001.
- Felizatto, M. R. II-081 – ETE CAGIF: Projeto Integrado de Tratamento Avançado e Reúso Direto de Águas Residuárias. In: 21º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. ABES – Trabalhos Técnicos, p. 1-17, 2006. Disponível: <http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/aresidua/brasil/ii-081.pdf>.
- Guo, M.; Hu, H.; Liu, W. Preliminary investigation on safety of post-UV disinfection of wastewater: bio-stability in laboratory-scale simulated reuse water pipelines. *Desalination*, v. 239, p. 22-28, 2009.

- Hallmich, C.; Gehr, R. Effect of pre- and post-UV disinfection conditions on photoreactivation of fecal coliforms in wastewater effluents. *Water Research*, v 44, p.2885-2893, 2010.
- Naddeo, V.; Landia, M.; Belgiorno, V.; Napoli, R.M.A. Wastewater disinfection by combination of ultrasound and ultraviolet irradiation. *Journal of Hazardous Materials*, v. 168, p. 925–929. 2009.
- Moura, F. N. Batista, R. O.; Silva, J. B. A.; Feitosa, A. P.; Costa, M. S. Desempenho de sistema para tratamento e aproveitamento de esgoto doméstico em áreas rurais do semiárido brasileiro. *Engenharia Ambiental*, v. 8, p. 264-276, 2011.
- Oliveira, E. C. M. de. Desinfecção de efluentes sanitários tratados através da Radiação Ultravioleta. 2003. 97 f. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003.
- Rice, E. W.; Baird, R. B.; Clesceri, A. D. Standard methods for the examination of water and wastewater. 22. ed. Washington: APHA, AWWA, WPCR, 2012. 1496p.
- Sánchez-Román, R. M.; Soares, A. A. ; Matos, A. T. de ; Sedyama, G. C. ; De Souza, Og ; Mounter, Ann H. .Domestic Wastewater Disinfection Using Solar Radiation for Agricultural Reuse. *Transactions of the ASAE, USA*, v. 50, n.1, p. 65-71, 2007.
- Souza, J. B. de et al. Avaliação do emprego da radiação ultravioleta na desinfecção de esgoto sanitário. *Semina: Ciências Exatas e Tecnológicas, Londrina*, v. 33, n. 2, p.117-126, jul. 2012.
- Trani, P.E. Hortaliças folhosas e condimentos. In: Pereira, M. E.; Cruz, M.C.P.; Raij, B. van.; Abreu, C.A. Micronutrientes e elementos tóxicos na agricultura. Jaboticabal: CNPQ / FAPESP / POTAFOS, p. 293 – 510, 2001.
- UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. USEPA. Guidance manual: alternative disinfectants and oxidants. Washington: USEPA, 1999. Report n. 815-R-99-014.

CAPÍTULO 3- ANÁLISE DO DESEMPENHO DE SISTEMA DE IRRIGAÇÃO POR GOTEJAMENTO OPERADO COM ÁGUA CINZA TRATADA

RESUMO

A utilização de água residuária de origem doméstica tratada na produção agrícola, tem aumentado nos projetos de pesquisas, sobretudo, devido suas qualidades nutricionais disponíveis às plantas. Entretanto, estudar os efeitos que essa fonte hídrica pode provocar no sistema de irrigação localizada é primordial para a sustentabilidade da produção. O presente trabalho tem como objetivo analisar o desempenho hidráulico de gotejadores autocompensantes, modelo Netafim, operando com água cinza tratada para fins de irrigação, bem como identificar os agentes microbiológicos ocasionadores de obstrução em gotejadores. Este trabalho foi desenvolvido no período de 28 de outubro de 2014 a 27 de janeiro de 2015, no Projeto de Assentamento Monte Alegre I, localizado no município de Upanema-RN, microrregião médio oeste potiguar. No período experimental realizou-se a análise do desempenho hidráulico do sistema de irrigação por gotejamento por meio dos indicadores vazão média (Q), coeficiente de variação de vazão (CVQ), coeficiente de uniformidade de distribuição (CUD) e coeficiente de uniformidade estatística (Us). Ao longo do período experimental quantificaram os valores das características principais causadoras de entupimento em gotejadores: sólidos suspensos (SS), sólidos dissolvidos (SD), potencial hidrogeniônico (pH), ferro total (Fe), manganês (Mn), cálcio (Ca), magnésio (Mg), população bacteriana (PB). Para verificar a correlação entre as variáveis Q, CVQ, CUD, Us, SS, pH, SD, Fe, Mn, Ca, Mg e PB empregou-se o teste de correlação de Pearson a 5% de probabilidade. Decorrida as 17 h de operação das unidades de irrigação, foi realizada a abertura dos gotejadores para a retirada de fragmentos de biofilme, com o intuito de analisar alguns agentes microbiológicos de entupimento por microscopia óptica. A água cinza tratada apresentou risco de obstrução para os gotejadores que oscilou de baixo a moderado. A aplicação da água cinza tratada, proporcionou uma ligeira redução nos valores dos indicadores Q, CUD e Us, enquanto que para o CVQ houve aumento em função da obstrução dos gotejadores. A aplicação da microscopia óptica, resultou na identificação de agentes microbiológicos presentes na água cinza tratada, em que o mesmo contribui no entupimento dos gotejadores, indicando a necessidade de uma etapa de desinfecção em seu processo de tratamento.

Palavras-chave: Eficiência, água residuária, microscopia óptica.

ABSTRACT

The use of treated domestic wastewater in agricultural production has increased in research projects, especially because of nutritional qualities available to plants. However, studying the effects that this water source may cause on localized irrigation system is essential for the sustainability of production. The present study analyzed the hydraulic performance of self-compensating drippers, Netafim, operating with gray water treated for irrigation purposes, and identified the microbiological agents that clog the drippers. The study was performed from October 28th, 2014 to January 27th, 2015, in the Monte Alegre I Settlement Project, in the municipality of Upanema, midwestern region of the state of Rio Grande do Norte. In the experimental period, the hydraulic performance of the drip irrigation system was analyzed by means of the mean flow (Q), flow variation coefficient (CVQ), distribution uniformity coefficient (CUD) and statistical uniformity coefficient (Us). Over the experimental period, we also quantified the main causes of dripper clogging: suspended solids (SS), dissolved solids (SD), pH, total iron (Fe), manganese (Mn), calcium (Ca), bacterial population (PB). To check for significant correlation between the variables Q, CVQ, CUD, Us, SS, pH, SD, Fe, Mn, Ca, Mg and PB, the Pearson correlation test was applied at 5% probability. After 17 h operation of the irrigation units, drippers were opened for the removal of biofilm fragments, for analysis of some microbiological agents causing clogging by means of optical microscopy. Treated gray water presented a low to moderate risk of obstruction for drippers. The application of treated gray water caused a slight reduction in the values of the indicators Q, CUD and Us, and an increase in CVQ, as a function of drip clogging. The use of optical microscopy resulted in the identification of microbiological agents present in treated gray water, which contribute to the clogging of the drippers, indicating the need for a disinfection step in the treatment process.

Key words: Efficiency. Wastewater. Optical microscopy.

1. INTRODUÇÃO

Com o cenário histórico de longos períodos de estiagem, o semiárido nordestino torna-se uma região que tem seu desenvolvimento socioeconômico limitado, sobretudo, pela escassez hídrica. Juntando-se a esse fator, a utilização de grande parte de água na produção agrícola, potencializando, ainda, mais os efeitos da pouca disponibilidade de água.

Dessa forma, faz-se necessário a busca pela implementação da sustentabilidade no sistema produtivo. Uma das alternativas pode ser a utilização de águas residuárias domésticas tratadas como fonte hídrica na irrigação (Pletsch et al., 2009). Essa possibilidade permite o aumento da oferta de água para o consumo humano, evitando o lançamento desse material nos mananciais de abastecimento podendo substituir parcialmente os fertilizantes comerciais (Freitas et al., 2012).

Segundo Freitas et al. (2015), o uso de águas residuárias domésticas tratadas na irrigação deve ser cautelosa, evitando o contato do mesmo com o irrigante, obrigando necessariamente a utilização do sistema de irrigação por gotejamento; já que neste sistema a água é aplicada de forma pontual e não aspergida. Entretanto, o maior desafio para o uso do sistema de gotejamento com águas de qualidade inferior é manter a excelente uniformidade de distribuição do sistema (Silva et al., 2012).

Um problema que decorre da utilização incessante da água residuária doméstica tratada, é a perda do desempenho hidráulico dos gotejadores. Estudos realizados por diversos pesquisadores, têm verificado uma redução na uniformidade do sistema devido às obstruções de origem biológica nos emissores (Puig-Bargués et al., 2005; Pletsch et al., 2009 & Batista et al. 2011). Essas obstruções ocorrem por causa da ação de colônias de bactérias e algas que formam uma mucilagem, também conhecida como biofilme, tendo implicações no entupimento parcial e/ou total dos emissores, reduzindo a vazão (Batista et al. 2010; Souza Ferreira, 2010; Batista et al. 2011).

Freitas et al. (2015) constataram mudança da classificação de uniformidade de Christiansen de excelente para bom, após 60 h de operação do sistema; depois de 180 h essa classificação mudou para razoável; indicando assim a necessidade da primeira limpeza em virtude da formação de biofilme. A água residuária doméstica tratada foi oriunda de um sistema de lagoas de estabilização, composto por uma lagoa anaeróbia, uma facultativa e duas de maturação, onde os agentes biológicos de obstrução tais como algas e bactérias, foram os maiores responsáveis pela obstrução dos gotejadores.

Batista et al. (2010), ao avaliarem a influência da aplicação de esgoto tratado nos sistemas de irrigação por gotejamento, observaram que a filtragem com membrana de 550 mesh e

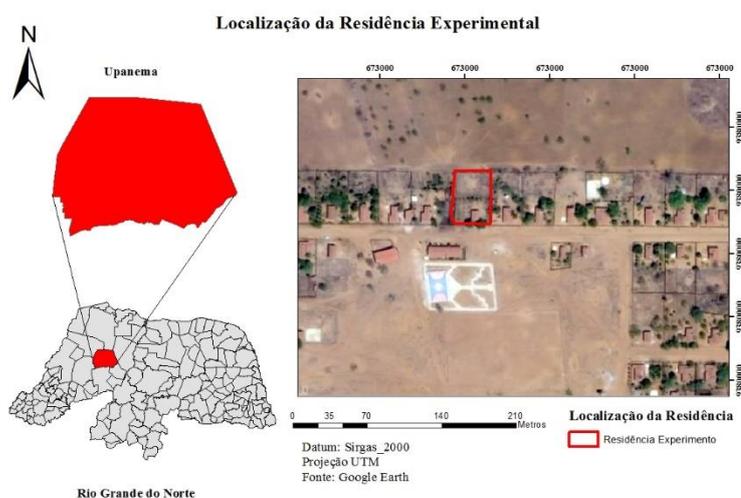
abertura dos finais de linha a cada duas semanas não previne a obstrução de gotejadores. Segundo Teixeira et al. (2008), a manutenção preventiva é a melhor solução para reduzir os problemas de obstrução.

A avaliação do desempenho do sistema de irrigação por gotejamento torna-se necessário, pois a inadequada distribuição de água acarretará a escassez de água onde os gotejadores estiverem obstruídos, resultando em uma redução na produtividade das culturas.

Diante do exposto, o presente trabalho tem como objetivo analisar o desempenho hidráulico de gotejadores autocompensantes, modelo Netafim, operando com água cinza tratada para fins de irrigação, bem como identificar os agentes microbiológicos ocasionadores de obstrução em gotejadores e analisar as características de efluente que mais contribuíram para a obstrução dos gotejadores.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O presente trabalho foi realizado, no período de 28 de outubro de 2014 a 27 de janeiro de 2015, em uma residência escolhida dentre as três que receberam o sistema de tratamento de água cinza, no Projeto de Assentamento Monte Alegre I, sob coordenadas de 5° 30'13 S e 37°27'O, localizado no município de Upanema-RN, microrregião médio Oeste potiguar. O clima predominante na região é quente e seco – tipo BSw^h, segundo a classificação climática de Köppen (Alvares et al., 2014).



O sistema de irrigação por gotejamento analisado foi composto por: uma motobomba de 0,5 cv, um filtro de tela com aberturas de 130 μm , uma linha principal em PVC de 32 mm e quatro linhas laterais de polietileno de 16 mm, dotadas de gotejadores autocompensantes com vazão nominal de 4,0 L h⁻¹. As linhas laterais estão dispostas em canteiro com dimensões de 1,5 m de largura por 6,5 m de comprimento (Figura 2).

Figura 2. Ilustração do canteiro, destacando o que foi utilizado para a avaliação do desempenho hidráulico.



Fonte: Autoria própria (2016).

Na Tabela 1 estão apresentadas as características do gotejador utilizado para aplicação da água cinza tratada.

Tabela 1. Gotejador utilizado nos ensaios experimentais, destacando o fabricante (F), o dispositivo de autocompensação (DA), a vazão nominal (Q), o coeficiente de vazão (k), expoente da vazão que caracteriza o regime de escoamento (x), a área de filtragem (A), o comprimento do labirinto (L), o coeficiente de variação de fabricação (CVf), a faixa de pressão recomendada (P) e o espaçamento entre emissores (EE).

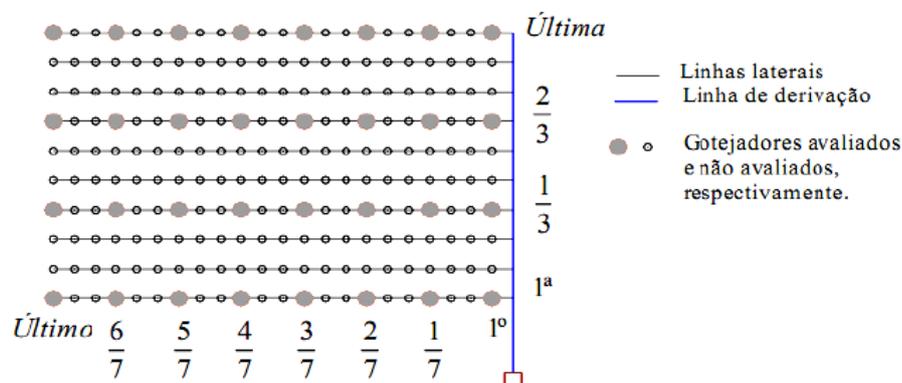
F	DA*	Q ⁽¹⁾ (Lh ⁻¹)	k*	x*	A* (mm ²)	L* (mm)	CVf* (%)	P* (KPa)	EE** (m)
Netafim PCJ CNJ	Sim	2,00	2,00	0,00	2,0	35	± 7	50 - 400	0,70

Nota: 1 - * informações obtidas nos catálogos dos fabricantes. CNJ - sistema anti-drenante; e ** informações medidas com auxílio de um paquímetro digital com precisão de 0,01 mm. ⁽¹⁾ Vazão nominal dos gotejadores na pressão de serviço de 100kpa.

Realizou-se a análise do desempenho hidráulico do sistema de irrigação por gotejamento por meio da determinação da vazão média (Q), coeficiente de variação de vazão (CVQ), coeficiente de uniformidade de distribuição (CUD) e coeficiente de uniformidade estatística (Us). Neste período o sistema de irrigação operou todos os dias da semana, tendo período de irrigação de 10 minutos por dia, em função da quantidade de água cinza gerada diariamente, com um total de 87 dias de operação.

Para isso, utilizou-se a metodologia proposta por Merriam & Keller (1978) modificada por Denículi et al. (1980), que sugeriram a medição de vazão em 32 gotejadores de quatro linhas laterais do sistema de irrigação, sendo oito medições de vazão por linha lateral (no início da linha lateral, a 1/7, 2/7, 3/7, 4/7, 5/7 e a 6/7 do comprimento da linha lateral, e um no final da linha lateral), durante um período de três minutos para a coleta de um determinado volume a ser quantificado em proveta de 50 mL com precisão de 2 mL (Figura 2).

Figura 2: Esquema da metodologia de determinação da uniformidade em gotejamento por Denículi et al. (1980), adaptado de Silva & Silva (2005).



Fonte: Silva & Silva (2005).

Ao longo do período experimental foram realizadas três avaliações do desempenho hidráulico com o sistema operando na pressão de serviço de 100 kPa, conforme recomendação da NBR ISO 9261 (ABNT, 2006). O cálculo da vazão média (Q) dos gotejadores foi obtido empregando-se a equação 4, onde divide-se o valor do volume coletado pelo tempo de coleta de três minutos.

$$Q = \frac{\text{Vol}}{1000 \cdot T} \cdot 60 \quad (1)$$

em que:

Q = vazão média do gotejador, L h⁻¹;
 Vol = volume de efluente coletado, mL; e
 T = tempo de coleta do efluente, min.

Com os valores da vazão dos gotejadores determinou-se o coeficiente de uniformidade de distribuição (CUD), o coeficiente de variação de vazão (CVQ) e o coeficiente de uniformidade estatística (Us), apresentado nas equações 5, 6 e 7, respectivamente.

$$\text{CUD} = 100 \cdot \frac{q_{25\%}}{\bar{Q}} \quad (2)$$

em que:

CUD = coeficiente de uniformidade de distribuição, %;
 q_{25%} = valor médio dos 25% menores valores de vazões dos gotejadores, L h⁻¹; e
 \bar{Q} = vazão média dos gotejadores, L h⁻¹.

$$\text{CVQ} = 100 \cdot \frac{\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Q_i - \bar{Q})^2}{n_e - 1}}}{\bar{Q}} \quad (3)$$

em que:

CVQ = coeficiente de variação da vazão, %;
 q_i = vazão de cada gotejador, L h⁻¹;
 \bar{Q} = vazão média dos gotejadores, L h⁻¹; e
 n_e = número de gotejadores avaliados.

$$U_s = 100 \cdot (1 - \text{CVQ}) \quad (4)$$

em que:

U_s = coeficiente de uniformidade estatístico de aplicação de efluente, %; e

CVQ = coeficiente de variação da vazão, %.

Para verificar a correlação entre as variáveis vazão, CVQ, CUD, Us, SS, pH, SD, Fe, Mn, Ca, Mg e PB empregou-se o teste de correlação de Pearson a 5% de probabilidade, como descrito na equação 5.

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n \left[x_i - \left(\frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n x_i \right) \right] \left[y_i - \left(\frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n y_i \right) \right]}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \cdot \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} \quad (5)$$

em que:

x_1, x_2, \dots, x_n e y_1, y_2, \dots, y_n = valores medidos das variáveis Q, CVQ, CUD e Us, e as características físico-químicas e microbiológicas da água cinza tratada; e

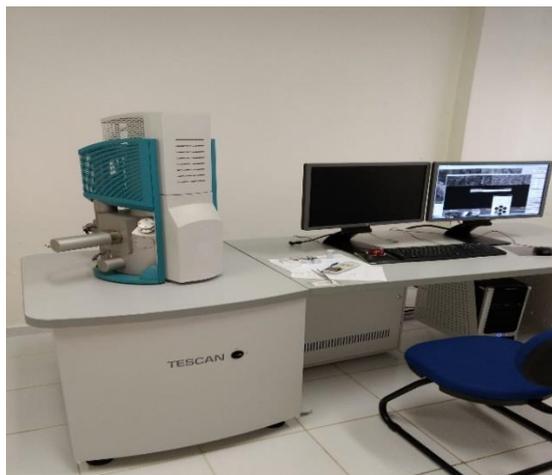
\bar{x} e \bar{y} = médias aritméticas das variáveis Q, CVQ, CUD e Us as características físico-químicas e microbiológicas da água cinza tratada.

Para a interpretação da correlação de Pearson utilizou-se os seguintes critérios: perfeita positiva ($r=1$), forte positiva ($0,8 \leq r < 1$), moderada positiva ($0,5 \leq r < 0,8$), fraca positiva ($0,1 \leq r < 0,5$), ínfima positiva ($0 < r < 0,1$), nula ($= 0$), ínfima negativa ($-0,1 < r < 0$), fraca negativa ($-0,5 < r \leq -0,1$), moderada negativa ($-0,8 < r \leq -0,5$), forte negativa ($-1 < r \leq -0,8$), perfeita negativa ($r= -1$), segundo critérios de Figueiredo Filho e Silva Júnior (2009).

Foi realizada a abertura dos gotejadores para a retirada de fragmentos do biofilme, com o intuito de analisar alguns agentes biológicos ocasionadores de entupimento por microscopia.

Estas amostras foram encaminhadas para o Laboratório de Microscopia Eletrônica (LME) do Centro de Pesquisa Vocacionado do Semiárido (CPVSA) da Universidade Federal Rural do Semi-árido (UFERSA), onde foram realizadas análises por microscopia de raios X no microscópio eletrônico de varredura (M.E.V.) marca TESCAN modelo Vega3LMV (Figura 3).

Figura 3: Microscópio eletrônico de varredura (M.E.V.)



Fonte: Autoria própria (2016).

Primeiramente as amostras são colocadas em stubs, para a realização do processo de metalização por meio do banho de ouro, pois as amostras não são condutivas sendo necessário essa preparação. Os gotejadores contendo biofilme foram armazenados em frascos esterilizados de 60 mL e encaminhados ao Laboratório de Histologia e Embriologia da UFERSA, onde se realizou a identificação e caracterização dos principais agentes biológicos ocasionadores de entupimento. As amostras do biofilme foram distribuídas em lâminas de microscopia óptica, sendo analisadas ao microscópio óptico com o auxílio da objetiva de 100x (Marques et al., 2016).

Os dados de qualidade da água cinza tratada foram submetidos a análise descritiva por meio da determinação da média e desvio-padrão. Enquanto que os dados do desempenho hidráulico do sistema de irrigação foram submetidos à análise de regressão, empregando-se o teste “F” a 10 % de probabilidade.

Nas análises estatísticas dos dados utilizou-se o programa computacional Sistema para Análises Estatísticas Versão 9.1 (SAEG, 2007).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 2 apresenta o valor médio e o desvio padrão das características físico-químicas e microbiológicas da água cinza tratada, no período de outubro de 2014 a janeiro de 2015. Verifica-se que as características dos sólidos suspensos, sólidos dissolvidos, cálcio, magnésio e coliformes totais apresentaram maiores valores do desvio padrão, devido provavelmente a variação temporal da composição da água cinza da residência.

Tabela 2. Valor médio e desvio padrão das características físico-químicas e microbiológicas da água cinza tratada coletada ao longo do período experimental.

Característica	Média	Desvio-padrão
pH	7,34	0,59
Condutividade elétrica (dS m ⁻¹)	1,52	0,16
Sólidos suspensos (mg L ⁻¹)	25,00	10,00
Sólidos dissolvidos (mg L ⁻¹)	1321,00	515,20
Cálcio (mmol _c L ⁻¹)	6,25	4,59
Magnésio (mmol _c L ⁻¹)	8,78	9,50
Ferro total (mg L ⁻¹)	0,53	0,63
Manganês total (mg L ⁻¹)	0,09	0,05
Coliformes totais (NMP 100mL ⁻¹)	5,24 x 10 ^{5*}	1,61*

Fonte: Autoria própria (2016). *Média e desvio-padrão geométrico

O pH encontra-se dentro do intervalo de 7,00 a 7,50 proposto por Nakayama et al. (2006), que classifica o risco de obstrução dos gotejadores como moderado. Segundo Almeida (2010), o valor médio do pH da água cinza tratada encontra-se dentro da faixa de 6,5 a 8,4, considerada adequada para fins de irrigação. Mesquita et. al. (2016), constataram valor semelhante para o pH, em trabalho realizado com percolado de aterro sanitário.

A condutividade elétrica média da água cinza tratada apresentou risco moderado de obstrução de gotejadores, pois se encontra dentro da faixa de 0,8 a 3,1 dS m⁻¹ estabelecida por Capra & Scicolone (1998).

O teor médio dos sólidos suspensos foi inferior ao valor limite de 50 mg L⁻¹ estabelecido por Nakayama et al. (2006), classificando o risco de obstrução de gotejadores como menor; contrariando o resultado obtido por Costa (2014) que encontraram risco moderado de entupimento para os sólidos suspensos de água residuária doméstica tratada.

A concentração média de sólidos dissolvidos encontra-se dentro da faixa de 500 a 2000 mg L⁻¹ estabelecida por Nakayama et al. (2006), indicando risco moderado de obstrução para gotejadores. Este resultado difere do valor médio de sólidos dissolvidos de 350 mg L⁻¹ obtido por Vale et al. (2013) em estudo com água residuária doméstica tratada.

De acordo com Capra & Scicolone (1998), o valor médio do cálcio é inferior a 12,5 mmol_c L⁻¹ que classifica o risco de obstrução de gotejadores como baixo.

Além disso, o valor médio do magnésio foi superior ao limite de 7,3 mmol_c L⁻¹ que classifica o risco de obstrução de gotejadores como severo (Capra & Scicolone, 1998). O valor encontrado corrobora com o resultado do trabalho de Mesquita et al.,(2016), pois os autores observaram valores semelhantes para essa característica.

O valor médio do ferro total presente na água cinza tratada encontra-se dentro da faixa de 0,2 a 1,5 mg L⁻¹ estabelecida por Nakayama et al. (2006) que classifica o risco de obstrução de gotejadores como moderado.

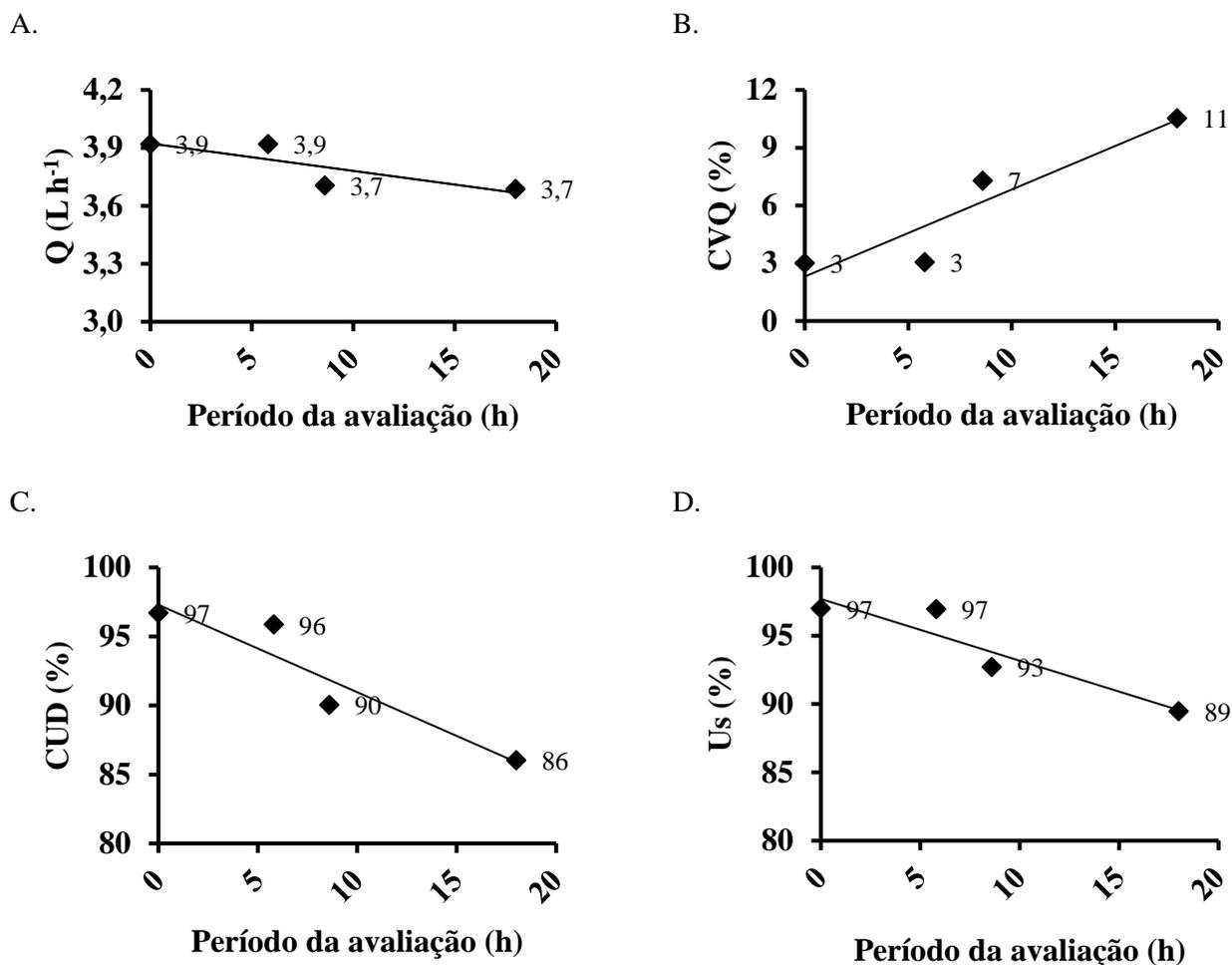
O valor médio do ferro total foi inferior a 5,0 mg L⁻¹ não contribuindo para a acidez e a indisponibilidade do fósforo e do molibdênio no solo (Ayers & Westcot, 1999).

O manganês representa menor risco de obstrução de gotejadores, pois o seu valor médio na água cinza tratada foi inferior ao limite de 0,1 mg L⁻¹ (Nakayama et al., 2006).

Na água cinza tratada o nível médio populacional de coliformes totais foi inferior ao limite de 1x10⁴ bactérias por 100 mL que classifica o risco de obstrução de gotejadores como baixo (Nakayama et al., 2006).

Na Figura 4 estão apresentados os valores médios da vazão dos gotejadores do sistema de irrigação por gotejamento que operou de 28 de outubro de 2014 a 27 de janeiro de 2015. Ao longo do período experimental, o sistema de irrigação por gotejamento operou com a água cinza tratada durante 87 dias, sendo que diariamente o tempo de irrigação foi de 10 minutos. Este tempo de irrigação foi relacionado com o tempo de esvaziamento do reservatório.

Figura 4. Avaliação dos parâmetros de uniformidade da irrigação: (A) Vazão; (B) CVQ; (C) CUD; (D) Us.



Fonte: Autoria própria (2016).

Verificou-se na Figura 4A, que houve uma pequena redução na vazão média dos gotejadores de aproximadamente 5% após os 87 dias de aplicação da água cinza tratada, quando se estabelece comparação entre a primeira e última avaliação de desempenho. Esta redução na vazão é atribuída ao entupimento parcial dos gotejadores, ao longo das linhas laterais, com agentes físicos, químicos e microbiológicos.

Este resultado foi superior a redução de vazão de 4% encontrada por Batista et al. (2010) em estudo com sistemas de irrigação por gotejamento que operou com água residuária doméstica terciária, durante 120 horas. Por outro lado, este resultado foi inferior a redução de vazão de 34% constatada por Vale et al. (2013) em sistema de irrigação por gotejamento que operou com água residuária doméstica primária, durante 48 dias.

Observando-se a Figura 4B, constatou-se que o entupimento parcial dos gotejadores, proporcionou aumento no valor do CVQ de 367%; contrariando o resultado obtido por Vale et

al. (2013) que encontraram aumento de 1506% do CVQ após 48 dias de aplicação da água residuária doméstica primária pelo sistema de irrigação por gotejamento.

Na avaliação inicial (28 de outubro de 2014) e final (27 de janeiro de 2015), evidenciou-se que os valores do CVQ do sistema de irrigação, permaneceram constantes nas duas primeiras avaliações, entretanto foi observado um aumento nas seguintes, onde o valor obtido na última avaliação foi superior a 10%, sendo classificado como razoável pela norma ASAE EP 405 (ASAE, 2008).

Estes resultados diferem, também, dos obtidos por Silva et al. (2013) que encontraram valor médio de CVQ de 44% em um sistema de irrigação por gotejamento, operando com água residuária do processamento da castanha de caju e pressão de serviço de 70 kPa, após 160 h de operação.

Evidenciou-se, na Figura 4C, que o CUD passou de 97% para 86%, após 87 dias de aplicação da água cinza tratada, indicando redução no valor do CUD de 11%. Este resultado foi semelhante à redução de CUD encontrada por Batista et al. (2010) em sistema de irrigação por gotejamento, que operou com água residuária doméstica terciária, durante 120 horas.

Por outro lado, no trabalho desenvolvido por Vale et al. (2013), com sistema de irrigação por gotejamento, operando com água residuária doméstica tratada, durante 48 dias; houve redução no valor de CUD de 99%, em função do elevado nível de entupimento dos gotejadores.

Nas três avaliações (28 de outubro, 25 de novembro e 09 de dezembro de 2014), todos os valores de CUD do sistema de irrigação por gotejamento foram superiores ou iguais a 90%, sendo classificados como excelentes por Merriam & Keller (1978), no entanto, na última avaliação (27 de janeiro) o valor observado foi de 86%, sendo classificados como bom por Merriam & Keller (1978).

Verificou-se na Figura 4D, que houve uma redução no valor de Us de 8% em função do entupimento parcial dos gotejadores. Este resultado difere do obtido por Batista et al. (2011) que encontraram reduções nos valores de Us de 24% a 59% em sistemas de irrigação por gotejamento que operaram com água residuária doméstica preliminar, secundária e terciária, durante 500 horas.

O modelo linear foi o que melhor se ajustou na representação da relação entre os dados de Q e T, como apresentado na Tabela 3. Este resultado difere do obtido por Costa (2014), em que o modelo quadrático foi o que melhor representou a relação entre Q e T. Resultado semelhante ocorreu com a relação entre os dados de CVQ e T, bem como entre os dados de CUD e T, e por fim entre os dados de Us e T, apresentados na Tabela 3.

Tabela 3. Equações de regressão e coeficiente de determinação dos parâmetros de uniformidade da irrigação.

Indicador	Equação	R²
Q	$Q=3,925 - 0,014^0T$	0,69
CVQ	$CVQ=2,250+ 0,468^*T$	0,87
CUD	$CUD=97,380-0,657^*T$	0,89
Us	$Us=97,750-0,468^*T$	0,87

Fonte: Aatoria própria (2016).

Nas duas primeiras avaliações (28/10 e 25/11 de 2014) os valores de Us foram superiores ao limite de 95%, estabelecido pela norma ASAE EP 405 (ASAE, 2008), sendo classificados como excelentes. No entanto, a terceira e quarta avaliação (09/12 de 2014 e 27/01 de 2015) apresentaram valores de Us inferior a 95%, recebendo, assim, a classificação boa, segundo a norma ASAE EP 405 (ASAE, 2008).

Em geral, após 87 dias de aplicação da água cinza tratada notou-se um ligeiro entupimento parcial nos gotejadores do sistema de irrigação, onde os indicadores de desempenho hidráulico, ainda, não foram comprometidos. Neste sentido, é recomendado a aplicação de tratamentos de desobstrução dos emissores tais como aplicação de ácidos, derivados clorados orgânicos ou gasosos, bactérias consumidoras de biofilme, a cada 40 horas de operação do sistema.

Verificou-se, na Tabela 4, que ao fixar a variável Q houve correlação significativa tipo forte positiva para CUD, Us e pH, enquanto, forte negativa para CVQ, de acordo com os critérios estabelecidos por Figueiredo Filho e Silva Júnior (2009). Este resultado difere dos encontrados por Costa (2014), que não observaram correlação da mesma intensidade entre as variáveis supracitadas.

Tabela 4. Correlação de Pearson de 12 variáveis estudadas na unidade de irrigação por gotejamento que operaram com água cinza tratada durante 17 h.

Variáveis	Q	CQV	CUD	Us	SS	pH	SD	Fe	Mn	Ca	Mg	PB
Q	1											
CQV	-0,95*	1										
CUD	0,96*	-0,99 ^{n.s.}	1									
Us	0,95*	-1,00 ^{n.s.}	0,99 ^{n.s.}	1								
SS	-0,52 ^{n.s.}	0,24 ^{n.s.}	-0,27 ^{n.s.}	-0,24 ^{n.s.}	1							
pH	0,86 ^{n.s.}	-0,93*	0,94*	0,93*	-0,15 ^{n.s.}	1						
SD	-0,26 ^{n.s.}	0,38 ^{n.s.}	-0,31 ^{n.s.}	-0,38 ^{n.s.}	-0,24 ^{n.s.}	-0,08 ^{n.s.}	1					
Fe	0,44 ^{n.s.}	-0,39 ^{n.s.}	0,45 ^{n.s.}	0,39 ^{n.s.}	-0,32 ^{n.s.}	0,67 ^{n.s.}	0,69 ^{n.s.}	1				
Mn	-0,08 ^{n.s.}	0,18 ^{n.s.}	-0,11 ^{n.s.}	-0,18 ^{n.s.}	-0,26 ^{n.s.}	0,14 ^{n.s.}	0,98*	0,82 ^{n.s.}	1			
Ca	-0,71 ^{n.s.}	0,49 ^{n.s.}	-0,54 ^{n.s.}	-0,49 ^{n.s.}	0,91*	-0,51 ^{n.s.}	-0,36 ^{n.s.}	-0,66 ^{n.s.}	-0,45 ^{n.s.}	1		
Mg	-0,62 ^{n.s.}	0,36 ^{n.s.}	-0,41 ^{n.s.}	-0,36 ^{n.s.}	0,96*	-0,35 ^{n.s.}	-0,38 ^{n.s.}	-0,56 ^{n.s.}	-0,43 ^{n.s.}	0,98**	1	
PB	0,35 ^{n.s.}	-0,52 ^{n.s.}	0,46 ^{n.s.}	0,52 ^{n.s.}	0,32 ^{n.s.}	0,27 ^{n.s.}	-0,97*	-0,53 ^{n.s.}	-0,90*	0,34 ^{n.s.}	0,39 ^{n.s.}	1

Nota: Q - vazão; CVQ - coeficiente de variação de vazão; CUD - Coeficiente de uniformidade de distribuição; Us - coeficiente de uniformidade estatística; SS - sólidos suspensos da ACT; pH - potencial hidrogeniônico da ACT; SD - sólidos dissolvidos da ACT; Fe - ferro total da ACT; Mn - manganês total da ACT; Ca²⁺ - cálcio da ACT; Mg²⁺ - magnésio da ACT; PB - População Bacteriana da ACT.

**, * , 0 e ^{ns} Significativo a 1%, significativo a 5%, significativo a 10% e não significativo a 10% de probabilidade, respectivamente, pelo teste t.

Fonte: Autoria própria (2016).

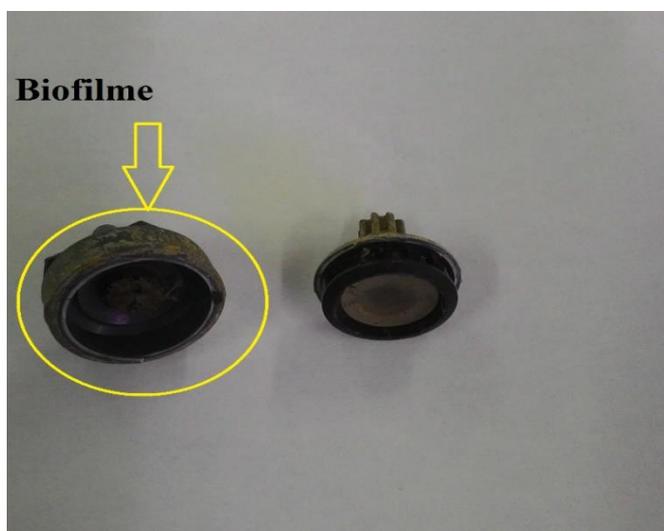
Ainda da Tabela 4, ao fixar a variável CVQ houve correlação significativa forte negativa para CUD e pH. No entanto, no trabalho desenvolvido por Costa (2014), que trabalhou com sistema de irrigação por gotejamento, operando com água residuária doméstica tratada, durante 50 dias; a correlação para as variáveis foram diferentes.

Para a variável CUD houve correlação significativa tipo forte positiva para Us e pH. Este resultado corrobora ao encontrado por Costa (2014), para a correlação das variáveis CUD e Us.

Ao fixar a variável Us, constatou-se que houve correlação significativa tipo forte positiva para pH.

Após transcorrido o tempo de operação de 17 h da unidade de irrigação, realizou-se a abertura do gotejador para análise visual da bioincrustação (Figura 5).

Figura 5. Formação do biofilme no gotejador



Fonte: Autoria própria (2016).

Dessa forma pode-se afirmar, pela análise visual, que houve a formação de biofilme de coloração esverdeada na abertura do labirinto, provocando alteração no desempenho hidráulico do sistema de irrigação que operou com água cinza tratada.

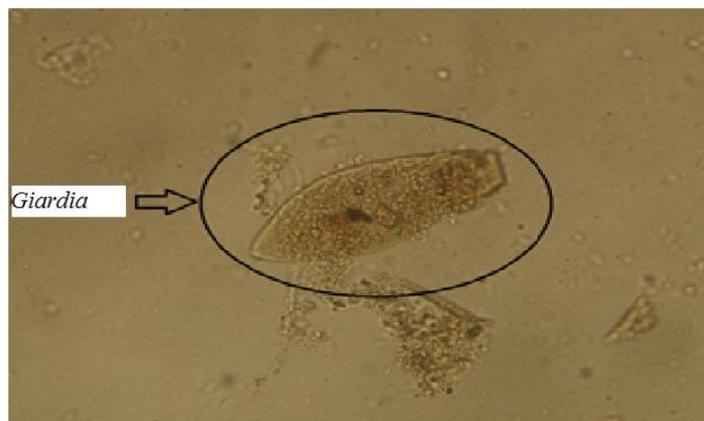
Resultados similares foram descritos por Cunha et al. (2006) em unidades de irrigação que operaram com água residuária da despolpa dos frutos do cafeeiro; por Liu & Huang (2009) em unidade de irrigação aplicando água residuária doméstica de lodo ativado e por Silva et al. (2013) em unidades de irrigação por gotejamento aplicando água residuária gerada no processamento da castanha de caju.

A análise por microscopia óptica (Figura 6) na matriz da bioincrustação formada no interior do gotejador, permitiu a constatação da presença dos seguintes agentes biológicos: a) *Giardia* (Figura 6A), b) *Trypanossoma* (Figura 6B) e bactéria *Peritriquia* (Figura 6C).

Esses resultados diferem dos obtidos por Resende et al. (2000) que constataram a bactéria *Bacillus* nos gotejadores entupidos; por Batista et al. (2006) que evidenciaram nos gotejadores obstruídos, após 560 h de operação água residuária doméstica terciária, as bactérias dos gêneros *Clostridium*, *Bacillus*, *Pseudomonas* e *Enterobacter* e as algas dos grupos Cyanophyta (gênero *Chlorococcus*), Euglenophyta (gêneros *Euglena* e *Phacus*) e Chlorophyta (gêneros *Selenastrum*, *Scenedesmus* e *Sphaerocystis*) e por Vale (2014) que notaram a presença nos gotejadores de leveduras, larvas de vermes e cistos de protozoários.

Figura 6. Análise por microscopia óptica no biofilme formado no interior do gotejador operando com água cinza tratada, destacando a presença de *giardia* (A), de *trypanossoma* (B) e de bactéria *peritriquia* (C).

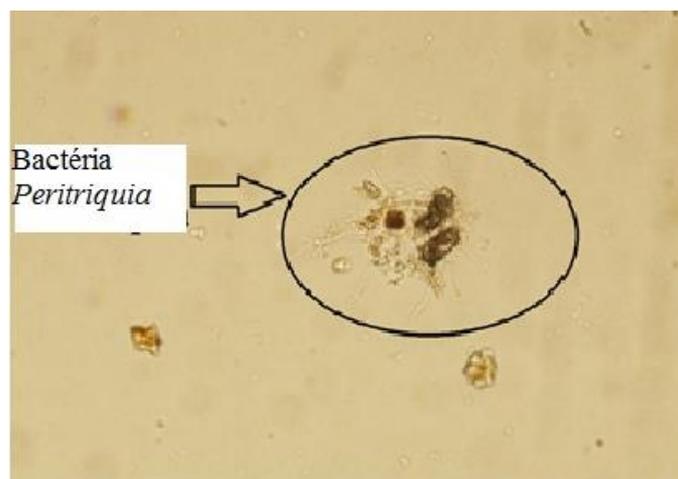
A.



B.



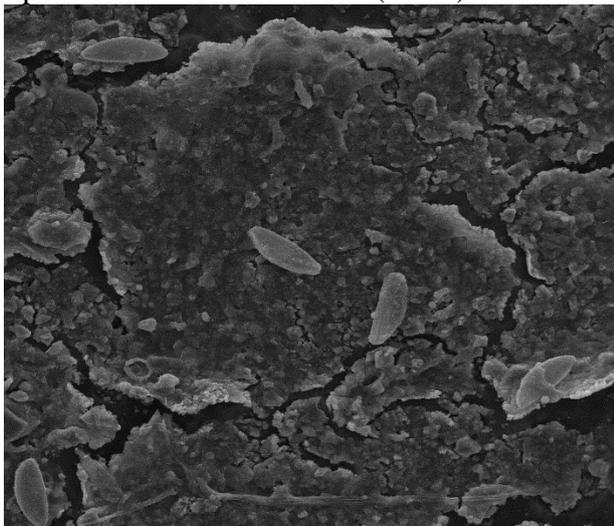
C.



Fonte: Autoria própria (2016).

A Figura 7 apresenta uma micrografia do biofilme, da membrana de um gotejador autocompensante que operou com água cinza tratada obtido por microscopia eletrônica de varredura (M.E.V.).

Figura 7. Micrografia do biofilme na membrana do gotejador que operou com água cinza tratada obtido por microscopia de varredura eletrônica (MEV).



Fonte: Autoria própria (2016).

Observou-se que a bioincrustação se desenvolveu em toda a superfície da membrana do gotejador, corroborando com Vale (2014) e Oliver et al. (2014), que, também, identificaram bioincrustação em gotejadores que operaram com água residuária doméstica tratada, por meio da microscopia eletrônica de varredura.

4. CONCLUSÕES

A aplicação da água cinza tratada, durante o período experimental, proporcionou uma redução nos valores de vazão, do coeficiente de uniformidade de distribuição e do coeficiente de uniformidade estatístico, enquanto que no valor do coeficiente de variação de vazão acarretou aumento, em função do entupimento parcial dos gotejadores.

Com o tratamento proporcionado nas distintas etapas do sistema, foi observado que a maioria das características analisadas, risco de obstrução de moderado a baixo.

Com a aplicação da microscopia óptica, foi possível a identificação de 3 tipos de agentes microbiológicos (*Giardia*, *Trypanossoma*, *Bactéria Peritriquia*) presentes na água cinza tratada, este fato além de ser um fator para a contribuição do entupimento dos gotejadores, indica que a água cinza necessita de uma etapa de desinfecção em seu processo de tratamento.

REFERÊNCIAS

- Almeida, O. A. de. Qualidade da água de irrigação. Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura, 2010.
- Alvarez, C. A.; Stape, J. L.; Sentelhas, P. C.; Gonçalves, J. L. de M.; Sparovek, G. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, Vol. 22, Nº. 6, 711–728, 2014.
- Ayers, R. S.; Westcot, D. W. A qualidade da água na agricultura. Campina Grande: UFPB, 1999. 153p.
- ASAE - AMERICAN SOCIETY FOR AGRICULTURAL ENGINEERING. ASAE EP405.1 APR1988 (R2008). Design and installation of microirrigation systems. St. Joseph: ASABE, 2008. 5p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR ISO 9261 Equipamentos de irrigação agrícola - Emissores e tubos emissores - Especificações e métodos de ensaio. ABNT. Rio de Janeiro: ABNT, 2006. 17p.
- Batista, R. O.; Soares, A. A.; Matos, A. T.; Mantovani, E. C. Suscetibilidade ao entupimento de gotejadores mediante a aplicação de esgoto sanitário tratado. *Engenharia na Agricultura*, v. 14, p. 81-87, 2006.
- 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.
- Batista, R. O.; Costa, F. G. B.; Lopes, H. S. S.; Coelho, D. C. L.; Paiva, M. R. F. C. Efeito das características do esgoto doméstico na uniformidade de aplicação de sistemas de irrigação por gotejamento. *Revista Caatinga, Mossoró*, v. 24, n. 4, p. 137-144, 2011.
- 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.
- Costa, D.VG de O. Eficácia do Tratamento Biológico em Gotejadores Operando com Água Residuária Doméstica Tratada. 2014. 111 f. Dissertação (Mestrado em Manejo de Solo e Água) – Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró, 2014.
- 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*, v. 28, p. 143-147, 2006.

- Figueiredo F., D. B.; Silva Júnior, J. A. Desvendando os Mistérios do Coeficiente de Correlação de Pearson (r). *Revista Política Hoje*, Recife, v. 18, n. 1, p.115-146, 2009.
- Freitas, C. A. S. et al. Crescimento vegetativo da cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.) irrigada com água de esgoto doméstico tratado. *Conexões - Ciência e Tecnologia*, Fortaleza, v. 6, n. 1, p. 27-43, 2012.
- Freitas, C. A. S. et al. Desempenho hidráulico de gotejadores sob o tempo de exposição ao esgoto doméstico tratado. *Revista Caatinga*, Mossoró, v. 28, n. 1, p. 214-219, 2015.
- Liu, H.; Huang, G. Laboratory experiment on drip emitter clogging with fresh water and treated sewage effluent. *Agricultural Water Management*, v. 96, p. 745-756, 2009.
- Marques, B. C. D. ; Cunha, V. T. ; Cunha, V. T. ; Silva, K. B. ; Batista, R. O. . Desempenho de gotejadores operando com água residuária de laticínios em escala laboratorial. *Irriga Botucatu* , v. 01, p. 140-155, 2016.
- Merriam, J. L.; Keller, J. *Farm irrigation system evaluation: a guide for management*. Logan: Utah State University, 1978. 271p.
- Mesquita, F. O.; Alves, S. M. C.; Batista, R. O.; Dantas, T. B.; Souza, L. de. Desempenho de gotejadores aplicando percolado de aterro sanitário diluído. *Irriga*, Botucatu, v. 21, n. 1, p. 156-171, janeiro-março, 2016.
- Nakayama, F. S.; Boman, B. J.; Pitts, D. Maintenance. In: Lamm, F. R.; Ayars, J. E.; Nakayama, F. S. (Eds.). *Microirrigation for crop production: Design, Operation, and Management*. Amsterdam: Elsevier, 2006, cap. 11, p. 389 - 430.
- Oliver, M. M. H.; Hewa, G. A.; Pezzaniti, D. Bio-fouling of subsurface type drip emitters applying reclaimed water under medium soil thermal variation. *Agricultural Water Management*, v. 133, p. 12-23, 2014.
- Pletsch, T. A. et al. Desempenho de gotejadores com uso de esgoto doméstico tratado. *Irriga*, Botucatu, v. 14, p. 243-253, 2009.
- Puig-Barguéz, J.; Arbat, G.; Barragán, J.; Cartagena, F. R. Hydraulic performance of drip subunits using WWTP effluents. *Agricultural Water Management*, v.77, p.249-262, 2005.
- Resende, R. S.; Coelho, R. D.; Piedade, S. M. S. Suscetibilidade de gotejadores ao entupimento de causa biológica. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 4, p. 368-375, 2000.
- SAEG - Sistema para análises estatísticas versão 9.1 (SAEG). Viçosa: Fundação Arthur Bernardes, UFV, 2007. Disponível em: Acesso em: 15 jun. 2016.

- Silva, K. B.; Silva Júnior, M. J.; Batista, R. O.; Santos, D. B.; Barbosa Filho, S. Desempenho de gotejadores operando com efluente da castanha de caju sob distintas pressões de serviço. *Revista Ceres*, Viçosa, v. 60, n.3, p. 339-346, 2013.
- Silva, L. P. et al. Desempenho de gotejadores auto-compensantes com diferentes efluentes de esgoto doméstico. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v. 16, n. 5, p. 480–486, 2012.
- Silva, C. A., Silva, C. J. Avaliação de uniformidade em sistemas de Irrigação localizada - *Revista Científica Eletrônica de Agronomia - publicação científica da Faculdade de Agronomia e Engenharia Florestal de Garça /FAEF*. Ano IV n.8, 2005.
- Teixeira, M. B. et al. Tratamento para desentupimento de gotejadores convencionais. *Irriga*, Botucatu, v. 13, n. 2, p. 235-248, 2008.
- Vale, H. S. M.; Arruda, L. E. V, de; Costa, D. de O.; Costa. F. G. B.; Oliveira. R. O. Potencial de entupimento de um sistema de irrigação por gotejamento operando com esgoto doméstico tratado. *Water Resources and Irrigation Management*, v. 2, n. 1, p. 63-70, jan-abr. 2013.
- Vale, H. S. M. Desempenho de gotejadores operando com percolado de aterro sanitário diluído sob pressões de serviço. 2014. 112 f. Dissertação (Mestrado em Manejo de Solo e Água) – Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró, 2014.