



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

ADLER LINCOLN SEVERIANO DA SILVA

**APERFEIÇOAMENTO E MONITORAMENTO DE ESTAÇÃO PARA TRATAMENTO
E USO AGRÍCOLA DE ÁGUA CINZA NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO**

**MOSSORÓ/RN
2018**

ADLER LINCOLN SEVERIANO DA SILVA

**APERFEIÇOAMENTO E MONITORAMENTO DE ESTAÇÃO PARA TRATAMENTO
E USO AGRÍCOLA DE ÁGUA CINZA NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO**

Dissertação apresentada ao Mestrado 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 Mestre em Manejo de Solo e Água.

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

Orientador: Prof. Dr. Rafael Oliveira Batista.

Coorientadora: Profa. Dra. Solange Aparecida Goularte Dombroski

**MOSSORÓ/RN
2018**

© Todos os direitos estão reservados a 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 tomar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

S586a Silva, Adler Lincoln Severiano da.
APERFEIÇOAMENTO E MONITORAMENTO DE ESTAÇÃO
PARA TRATAMENTO E USO AGRÍCOLA DE ÁGUA CINZA NO
SEMIÁRIDO BRASILEIRO / Adler Lincoln Severiano
da Silva. - 2018.
60 f. : il.

Orientador: Rafael Oliveira Batista.
Coorientadora: Solange Aparecida Goularte
Dombroski.
Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Programa de Pós-graduação em
Manejo de Solo e Água, 2018.

1. Reúso. 2. Efluente doméstico. 3. Radiação
ultravioleta. 4. Ajuste tecnológico. I. Oliveira
Batista, Rafael, orient. II. Aparecida Goularte
Dombroski, Solange, co-orient. III. Título.

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

ADLER LINCOLN SEVERIANO DA SILVA

**APERFEIÇOAMENTO E MONITORAMENTO DE ESTAÇÃO PARA TRATAMENTO
E USO AGRÍCOLA DE ÁGUA CINZA NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO**

Dissertação apresentada ao Mestrado 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 Mestre em Manejo de Solo e Água.

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

Defendida em: 28/11/2018.

BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. Rafael Oliveira Batista - UFERSA
Presidente



Dra. Ana Kaline da Costa Ferreira - UFERSA
Membro Examinador



Profa Dra. Fernanda Lima Cavalcante - IFRN
Membro Examinador

In memoriam a meus queridos familiares que, mesmo tendo partido, sempre estiveram presentes nesta longa jornada. Aos meus avôs **Severino Vale da Silva, Julião Severiano, Maria da Conceição**. E a meu irmão **Adson Lincoln Severiano** que recentemente nos deixou de maneira precoce, que com certeza queria comemorar essa vitória comigo. Espero que esteja vibrando com essa conquista.

Saudade é uma coisa que não tem medida, é um vazio que só se pode preencher com a lembrança.

Irene de Albuquerque

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente à Deus pelo dom da vida como também a possibilidade de desenvolver esse trabalho. À coordenação do Programa Manejo Solo e Água (PPGMSA) e a Universidade Federal Rural do Semiárido (UFERSA), por permitir a qualificação do servidor, sou grato pela oportunidade dada pela instituição no qual tenho muito orgulho em fazer parte.

Ao meu orientador Rafael Batista, que me mostrou a importância da humanização e humildade na vida acadêmica, que me ensinou na prática a essência da docência, sempre atencioso e disposto a ajudar dentro das suas possibilidades, muito obrigado professor.

À minha co-orientadora Solange Dombroski que por todas as vezes se prontificou e esteve presente auxiliando e tirando dúvidas, sendo de suma importância para andamento e concretização desse trabalho.

À todos os professores, funcionários e colegas que integram o PPGMSA, muito obrigado pelo convívio, aprendizagem e troca de experiências.

Aos meus amigos que sempre torceram por minhas vitórias e sofreram com minhas angústias e frustrações. Em especial (Daianni Ariane, Ana Beatriz, e o quadro de servidores da UFERSA que desempenham um trabalho muito comprometido) aqueles que estão sempre disponíveis, que contribuiu de forma direta e indireta por esta conquista.

A banca pela disponibilidade e contribuição acerca desse trabalho.

A minha sogra Amália Sousa e minha cunhada Vilmara Martins que sempre que precisei ficaram com minha filha, para poder assistir aula ou pesquisar.

Aos meus compadres e grandes amigos que apostam todas as fichas no meu sucesso e brindam minhas vitórias com muita alegria.

Aos meus vizinhos que são a extensão da minha família (se comportam como família de verdade, sempre dispostos a ajudar) no qual tenho grande carinho e gratidão.

A minha Avó Áurea Silva, que me ajudou desde o meu ingresso ensino médio/ Universidade, com ajuda financeira e emocional, amo muito você minha velhinha.

Aos meus irmãos Livia Maria, Abraham Lincoln, Adson Lincoln (*in memoriam*), Adneison Lincoln e meu irmão de vida John Kenneth, todos que tanto amo, que sou ciente o quanto eles me admiram e acreditam no meu potencial, vocês são essenciais na minha vida.

Aos meus sobrinhos que espero que me tenham como referência, buscando sempre conhecimento, já que a educação é uma arma transformadora.

Aos meus familiares de forma em geral pelo incentivo e apoio.

Aos meus pais Aluísio Severiano da Silva e Alzinete Vale da Silva por todo apoio e amor incondicional (mútuo) que sempre tiveram por mim, admiração e principalmente em acreditar

na minha escolha de estudar e mudar minha realidade de vida, que apesar de todos os percalços financeiros, sempre fez de tudo e não mediram esforços para me ajudar. Hoje trago na bagagem, muita luta e comprometimento de um cidadão nascido no bairro Santa Helena, periferia de Mossoró-RN que alcançou este objetivo, sendo esse o primeiro degrau conquistado, acredito que muito ainda está por vir.

A minha esposa Renata Sousa, que foi meu pilar nessa empreitada, desde quando me propus a prestar o processo seletivo, foi a minha maior incentivadora, me auxiliando, entendendo atribuições dessa caminhada. Espero poder retribuir todo amor e carinho, te amo muito meu amor.

Por fim, é difícil não se emocionar ao falar do meu MOZÃO, a pessoa mais importante da minha vida, minha filha Lícia Rebeca, que por muitas vezes fui ausente como pai, devido a necessidade de estudar /desenvolver esse trabalho já que tenho dois vínculos empregatícios. Foi tudo muito puxado e exaustivo. Apesar da pouca idade, espero que ela sinta muito orgulho do pai, tenha um caminho trilhado nas boas escolhas, retidão e comprometimento com os estudos, te amo, minha princesa.

*Quantas vezes eu estive cara à cara com
a pior metade?
A lembrança no espelho, a esperança na
outra margem
Quantas vezes a gente sobrevive à hora
da verdade?
Na falta de algo melhor nunca me faltou
coragem
Se eu soubesse antes o que sei agora
Erraria tudo exatamente igual....*

Humberto Gessinger

RESUMO

SILVA, A. L. S. **Aperfeiçoamento e monitoramento de estação para tratamento e uso agrícola de água cinza no semiárido brasileiro.** 2018. 60f. Dissertação (Mestrado em Manejo de Solo e Água), Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró, 2018.

A escassez hídrica associada a problemas ambientais são fatores que estimulam o desenvolvimento de tecnologias que possibilitem o reúso da água de forma sustentável para fins agrícolas e florestais. Neste sentido, a pesquisa objetivou aperfeiçoar e monitorar o desempenho de uma estação de tratamento e uso agrícola de água cinza instalada na Universidade Federal Rural do Semi-Árido em Mossoró-RN, Brasil. A estação é composta por tanque de equalização, tanque séptico, filtro anaeróbio, reator ultravioleta artificial e vala de infiltração. No reator ultravioleta foi ajustada a altura de lâmina de água cinza, a distância entre as lâmpadas, a distância entre as lâmpadas e a superfície líquida e o número de lâmpadas germicidas. O experimento foi montado no delineamento inteiramente casualizado com quatro repetições no tempo, tendo como pontos de coleta: a água cinza coletada no tanque de equalização (amostra bruta) e a água cinza coletada no reator ultravioleta artificial (amostra tratada), sendo estas amostras os tratamentos. A amostragem da água cinza foi realizada em média a cada 32 dias, no período de julho a outubro de 2018, compreendendo a determinação dos atributos pH, temperatura, condutividade elétrica, turbidez, Demanda Química de Oxigênio (DQO), Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO_{5,20}), sólidos suspensos totais, sólidos totais, sódio, potássio, cálcio, magnésio, cloreto, carbonato, bicarbonato, fósforo, cobre, zinco, ferro, manganês, cádmio, níquel, chumbo, cromo, coliformes totais e *E. coli*. Os dados foram submetidos à análise estatística descritiva com obtenção da média e desvio padrão. Observou-se que o aumento no número de lâmpadas de duas para quatro lâmpadas no reator ultravioleta artificial, influenciou muito no decaimento do nível populacional de *E. coli*, passando, assim a atender o padrão de reúso agrícola da Resolução COEMA nº 02/2017 do Estado do Ceará. O sistema de tratamento estudado apresentou remoções superiores a 95% para os atributos turbidez, sólidos suspensos totais, DQO, DBO e remoções de 2,86 e 4,09 unidades logarítmicas em relação aos níveis populacionais de coliformes totais e *E. coli*, respectivamente. Com base na literatura internacional, os níveis de metais pesados encontrados na água cinza não comprometem a produção e desenvolvimento de cultivos agrícolas.

Palavras-chave: Reúso. Efluente doméstico. Radiação ultravioleta. Ajuste tecnológico.

ABSTRACT

SILVA, A. L. S. Improvement and monitoring of the station for the treatment and use of gray water in the Brazilian semi-arid region. 2018. 60f. Dissertation (Master in Soil and Water Management), Federal Rural Semi-Arid University, Mossoró, 2018

The water scarcity associated with environmental problems are factors that stimulate the development of technologies that allow the reuse of water in a sustainable way for agricultural and forestry purposes. In this sense, the research aimed to improve and monitor the performance of a gray water treatment plant and agricultural use installed at the Federal Rural Semi-Arid University in Mossoró-RN, Brazil. The station consists of equalization tank, septic tank, anaerobic filter, artificial ultraviolet reactor and infiltration ditch. In the ultraviolet reactor the height of the gray water slide, the distance between the lamps, the distance between the lamps and the liquid surface and the number of germicidal lamps were adjusted. The experiment was set up in a completely randomized design with four replicates in time, taking as collection points: gray water collected in the equalization tank (crude sample) and gray water collected in the artificial ultraviolet reactor (treated sample). treatments. The gray water sampling was performed on average every 32 days from July to October 2018, including determination of pH, temperature, electrical conductivity, turbidity, Chemical Oxygen Demand (COD), Biochemical Oxygen Demand (BOD_{5,20}), total suspended solids, total solids, sodium, potassium, calcium, magnesium, chloride, carbonate, bicarbonate, phosphorus, copper, zinc, iron, manganese, cadmium, nickel, lead, chromium, total coliforms and E. coli . Data were submitted to descriptive statistical analysis with mean and standard deviation. It was observed that the increase in the number of lamps from two to four lamps in the artificial ultraviolet reactor influenced greatly the decay of the population level of E. coli, and thus met the agricultural reuse standard of COEMA Resolution 02/2017 of the State of Ceará. The treatment system showed removals above 95% for turbidity, total suspended solids, COD, BOD and removals of 2.86 and 4.09 logarithmic units in relation to the total coliform and E. coli populations, respectively. Based on the international literature, the levels of heavy metals found in gray water do not compromise the production and development of agricultural crops.

Keywords: Reuse. Domestic effluent. Ultraviolet radiation. Technological adjustment.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Imagem de localização da área experimental no Centro de Multiplicação de Animais Silvestres (CEMAS) da Universidade Federal Rural do Semiárido (UFERSA) em Mossoró-RN, Brasil.....	11
Figura 2. Ilustração do sistema compacto de tratamento e uso agrícola e florestal de águas cinza.....	12
Figura 3. Vista lateral do sistema compacto de tratamento e uso agrícola e florestal de águas cinza.....	13
Figura 4. Vistas do tanque de equalização.....	13
Figura 5. Vista lateral do tanque séptico.....	14
Figura 6. Vista superior do filtro anaeróbio.....	15
Figura 7. Vistas do reator ultravioleta artificial.....	16
Figura 8. Reator ultravioleta utilizado por Cunha (2018) e Autor.....	17
Figura 9. Proporções de sais encontrados no efluente tratado (ERU).....	29
Figura 10. Proporção de micronutrientes no efluente tratado (ERU).....	31
Figura 11. Proporcionalidade dos metais pesados do efluente (ERU).....	32

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Padrões de reuso agrícola e florestal e ambiental do Estado do Ceará....	6
Tabela 2. Diretrizes e padrões de utilização de águas residuárias – USEPA.....	7
Tabela 3. Datas das avaliações, valores das lâminas reator ultravioleta e da vazão de água cinza no sistema compacto de tratamento e reuso agrícola e florestal de água cinza.....	21
Tabela 4. Valores e médias dos atributos físicos e físico-químicos das amostras de água cinza coletadas no tanque de equalização (ETE) e no reator ultravioleta artificial (ERU), no período de julho a outubro de 2018, bem como os padrões de comparação e as remoções alcançadas pelo sistema.....	22
Tabela 5. Valores e médias do atributo químico e bioquímico das amostras de água cinza coletadas no tanque de equalização (ETE) e no reator ultravioleta artificial (ERU), no período de julho a outubro de 2018, bem como os padrões de comparação e as remoções alcançadas pelo sistema.....	25
Tabela 6. Valores e médias das concentrações dos sais das amostras de água cinza coletadas no tanque de equalização (ETE) e no reator ultravioleta artificial (ERU), no período de julho a outubro de 2018, bem como os padrões de comparação e as remoções alcançadas pelo sistema.....	27
Tabela 7. Valores e médias dos micronutrientes essenciais e metais pesados encontrados nas amostras de água cinza coletadas no tanque de equalização (ETE) e no reator ultravioleta artificial (ERU), no período de julho a outubro de 2018, bem como os padrões de comparação e as remoções alcançadas pelo sistema.....	30
Tabela 8. Valores e médias dos atributos microbiológicos das amostras de água cinza coletadas no tanque de equalização (ETE) e no reator ultravioleta artificial (ERU), no período de julho a outubro de 2018, bem como os padrões de comparação e as remoções alcançadas pelo sistema.....	33
Tabela 9. Resumo da análise de variância e comparação das médias dos atributos físicos, químicos, bioquímico e microbiológicos das amostras dos efluentes coletados no tanque de equalização (ETE) e no reator ultravioleta artificial (ERU).....	35
Tabela 10. Correlação de Pearson entre atributos físico-químicos, bioquímico e microbiológicos das amostras de água cinza coletadas no período de julho a outubro de 2018.....	36

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANA	Agência Nacional de Águas
Ca ²⁺	Cálcio
CAERN	Companhia de Águas e Esgotos do Rio Grande do Norte
Cd	Cádmio
CEMAS	Centro de Multiplicação de Animais Silvestres
Cl ⁻	Cloreto
CO ₃ ²⁻	Carbonato
COEMA	Conselho Estadual de Meio Ambiente
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
Cr	Cromo
CT	Coliformes Totais
Cu	Cobre
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
DQO	Demanda Química de Oxigênio
<i>E. coli</i>	<i>Escherichia coli</i>
ERU	Efluente do Reator Ultravioleta
ETE	Efluente do Tanque de Equalização
Fe	Ferro
HCO ₃ ⁻	Bicarbonato
K ⁺	Potássio
Mg ²⁺	Magnésio
Mn	Manganês
Na ⁺	Sódio
NBR	Norma Brasileira
Ni	Níquel
NMP	Número Mais Provável

P	Fósforo
Pb	Chumbo
pH	Potencial Hidrogeniônico
PPGMSA	Programa de Pós-Graduação em Manejo de Solo e Água
PVC	Policloreto de vinil
RAS	Razão de Adsorção de Sódio
SST	Sólidos Suspensos Totais
ST	Sólidos Totais
TB	Turbidez
TEMP	Temperatura
UFERSA	Universidade Federal Rural do Semi-Árido
UNT	Unidade Nefelométrica de Turbidez
UV	Radiação Ultravioleta
Zn	Zinco

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	1
2	REVISÃO DE LITERATURA.....	3
2.1	A escassez hídrica no semiárido nordestino.....	3
2.2	A caracterização da água cinza.....	4
2.3	Conceitos e tipos de reúso.....	6
2.4	Impactos ambientais da disposição inadequada de águas residuária no ambiente.....	7
2.5	Tratamento de águas cinza e qualidade do efluente para para fins agrícolas.....	8
3	MATERIAL E MÉTODOS.....	11
3.1	Localização de área experimental.....	11
3.2	Apresentação do sistema compacto de tratamento e uso agrícola de água cinza.....	12
3.3	Aperfeiçoamento do sistema compacto de tratamento e uso agrícola e florestal de água cinza.....	16
3.4	Determinação da vazão da estação compacta de tratamento de água cinza....	17
3.5	Monitoramento da estação compacta de tratamento e uso agrícola e florestal de água cinza.....	18
3.6	Delineamento e análise estatística dos dados.....	19
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	21
4.1	Vazão da estação compacta de tratamento e uso agrícola e florestal de água cinza.....	21
4.2	Análise de desempenho do sistema compacto em relação as alterações de atributos físicos, químicos, bioquímico e microbiológicos presentes na água cinza.....	21
4.2.1	Comportamento dos atributos físico-químicos presentes nas amostras de água cinza	21
4.2.2	Comportamento de atributo químico e bioquímico presente nas amostras de água cinza.....	25
4.2.3	Comportamento das concentrações de elementos químicos presentes nas amostras de água cinza.....	26
4.2.4	Comportamento dos teores dos micronutrientes e metais pesados presentes nas amostras de água cinza.....	30
4.2.5	Comportamento dos atributos microbiológicos presentes nas amostras de água cinza.....	33
4.3	Análise estatística dos atributos físicos, químicos, bioquímicos e microbiológicos das amostras de água cinza.....	34
5	CONCLUSÕES.....	37
	REFERÊNCIAS.....	38

1. INTRODUÇÃO

A água é um recurso natural de grande importância econômica, ambiental e social. Mais que um insumo imprescindível à produção trata-se de um recurso estratégico ao desenvolvimento econômico, por ser vital na sustentação dos ciclos biológicos, geológicos e químicos que mantêm o balanceamento e a ordem dos ecossistemas. Porém com o consumo crescente desse recurso, muitas vezes a oferta de água de boa qualidade não supre a demanda de maneira satisfatória. A conscientização da população no combate ao desperdício, ainda é a maior alternativa para conservação desse bem precioso.

No geral três fatores são primordiais para agravar o problema da escassez hídrica: seca, poluição e má distribuição desse recurso. A seca é um fator climático, onde o homem não pode intervir de maneira ampla, a alternativa é criar estratégias para minimizar os impactos dos períodos de estiagem, como a criação de barragens e perfurações de poços e cisternas para armazenamento de águas.

Nesse contexto, o reúso de águas residuárias domésticas é uma importante ferramenta de gestão integrada dos recursos hídricos, uma vez que permite reduzir a demanda por água de boa qualidade e diminuir o lançamento de efluentes em corpos hídricos receptores. Além disso, as águas residuárias são fontes potenciais de água e nutrientes para as culturas agrícolas. Entretanto, as águas residuárias domésticas possuem microrganismos patogênicos que devem ser inativados antes da sua disposição final no solo (Queluz et al., 2015).

A coleta eficiente e tratamento das águas residuárias minimizam problemas recorrentes na saúde da população, evitando doenças de vinculação hídrica tais como: a diarreia que, com mais de quatro bilhões de casos por ano, é uma das doenças que mais aflige a humanidade, já que causa 30% das mortes de crianças com menos de um ano de idade. Entre as causas dessa doença destacam-se as condições inadequadas de saneamento básico (Guimarães et al., 2007).

A região nordeste brasileira apresenta peculiaridades desde o seu litoral, onde as precipitações pluviométricas são mais intensas, até o sertão, local de maior aridez. No sertão nordestino geralmente apresenta grandes períodos de estiagem, o que dificulta o armazenamento de grandes estoques de água. Estas regiões comumente apresentam elevadas temperaturas, associada à baixa umidade relativa do ar, provocada pela grande evaporação.

Diante do cenário de escassez hídrica e dos problemas de esgotamento sanitário no semiárido, é imprescindível o desenvolvimento de tecnologias para o tratamento de águas residuárias visando o aproveitamento agrícola, a fim de possibilitar a convivência com a escassez hídrica, a conservação dos recursos hídricos e, minimização dos impactos ambientais gerados pelo esgotamento sanitário inadequado, desde que seja atendida a legislação vigente para reúso da água.

A qualidade da água ou a falta dela está em constante voga no semiárido brasileiro, elaborar métodos, pode minimizar problemas e inserir a água cinza como importante protagonista na agricultura. Por esta razão, se faz importante elaborar discussões visando à consciência local, esclarecendo à preservação dos mananciais incorporada as boas práticas sustentáveis, como por exemplo, a utilização do tanque séptico, empregado para coleta e tratamento do lodo e da gordura (ABNT, 1993), juntamente com o filtro anaeróbio de fluxo ascendente, utilizado na remoção de sólidos suspensos e Demanda Bioquímica de Oxigênio (ABNT, 1997) e a utilização do reator ultravioleta artificial na desinfecção do efluente, de forma a possibilitar o reúso seguro da água para fins agrícolas, conforme as recomendações de Queluz et al. (2015) e Feitosa (2016).

Segunda a USEPA (1999), a radiação ultravioleta é capaz de inativar o material nuclear (DNA OU RNA) dos microrganismos patogênicos, que consiste na reação fotoquímica provocada pela luz proveniente das lâmpadas, dificultando o desempenho das funções celulares destes organismos. A radiação ultravioleta no espectro eletromagnético posiciona-se entre a luz visível e os raios X. A inativação dos microrganismos está associada à intensidade e tempo de exposição à radiação ultravioleta, além ainda da altura de lâmina de efluente e da uniformidade da distribuição da radiação ultravioleta no interior do reator (Bilotta, 2000). De acordo com Souza et al. (2012), quando se trata do mesmo tempo de exposição, a eficiência varia de acordo com o número de lâmpadas utilizadas no interior do reator.

Nesta perspectiva, este trabalho tem como objetivo aperfeiçoar e monitorar o desempenho de uma estação de tratamento e uso agrícola de água cinza instalada na Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA) em Mossoró-RN, Brasil. Tendo como objetivos específicos: a) averiguar se a estação apresenta bom desempenho quanto à remoção de atributos físico-químico presentes na água cinza; e b) analisar se o aumento no número de lâmpadas ultravioletas é suficiente para o decaimento do nível populacional de *E. Coli* de forma a atender aos padrões de reúso agrícola e florestal.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 A escassez hídrica no semiárido nordestino

A insuficiência de água no mundo é um fator que aumenta gradativamente em virtude do crescimento populacional e da falta de manejo e usos sustentáveis dos recursos naturais. Existem grandes diferenças entre os países desenvolvidos e os que estão em processo de desenvolvimento. Nos países em desenvolvimento menos da metade dos habitantes possuem acesso à água potável e esse dado, evidencia que a crise mundial dos recursos hídricos está, diretamente, ligada às desigualdades sociais (CETESB, 2013).

As maiores destinações de águas são para irrigação que corresponde a 73% do consumo de água, 21% vão para a indústria e apenas 6% destina-se ao consumo doméstico (Silva et al., 2014).

No Brasil, a escassez desse recurso é bem significativa, principalmente na região semiárida do Nordeste que corresponde a 58% do território. Com isso, uma das particularidades do Nordeste brasileiro é a irregularidade temporal e espacial das precipitações pluviométricas derivadas de um conjunto de fatores, tais como características fisiográficas e a influência de vários sistemas atmosféricos (Araújo et al., 2008). Caracterizado também, por haver baixas precipitações pluviométricas e altas taxas de evaporação ocasionando, naturalmente, um déficit hídrico, o que limita o crescimento e o desenvolvimento das culturas (Medeiros et al., 2003).

Segundo o ministério do desenvolvimento regional, o semiárido compreende cerca de 1,03 milhão de km² (12% da área do País) e atualmente congrega uma população de 27 milhões de pessoas (12% da população brasileira) vivendo em 1.262 municípios de nove estados da Federação, passando por problemas de estiagens prolongadas (BRASIL, 2018).

Diante desse contexto, percebe-se que a disponibilidade hídrica para consumo humano e para a prática agrícola nessa localidade vem sendo gradativamente reduzida tanto em qualidade como em quantidade, necessitando portanto do desenvolvimento de alternativas de tratamento e de uso para águas de qualidade inferior, que sirvam para atender a demanda de irrigação agrícola nessa região. O reúso esquematizado de águas residuárias domésticas na agricultura é uma medida que atenua o problema da escassez hídrica no semiárido, tornando-se opção para os agricultores localizados nestas áreas (Silva et al., 2014).

De acordo Oliveira (2013), o uso de águas de esgotos tratados é de grande potencial para a agricultura, principalmente em regiões áridas e semiáridas uma vez que esta técnica se compõe em uma fonte de abastecimento de recursos hídricos para as culturas agrícolas em

região onde a água é insuficiente, redirecionando a água potável para outros fins. Além disto, o reúso impede o lançamento de efluentes em corpos hídricos receptores sem tratamento, como também aproveita os nutrientes contidos nas águas residuárias domésticas tratadas como fonte de fertilizante para as culturas irrigadas ao invés de potencializar a eutrofização dos corpos hídricos receptores.

2.2 A caracterização da água cinza

Água cinza por definição são águas provenientes dos resíduos domésticos em contato com água de abastecimento. Nesse grupo, estão inclusas águas oriundas da pia de louça e lavagem de roupa, como também efluentes do chuveiro e lavatório de mãos do banheiro, com exceção da água do vaso sanitário (Boyjoo et al., 2013).

De acordo com Li et al. (2009), dentre os efluentes gerados em ambientes residenciais a água cinza representa um quantitativo em torno de 50 a 80% do volume de água residuária doméstica gerada pelas famílias, sendo considerada uma boa fonte para reúso de água.

Segundo a organização das nações unidas ONU (2018), todo ser humano necessita ter acesso a água de forma suficiente para suprir suas necessidades seja para fins pessoal ou doméstico, a quantidade per capita varia de 50 a 100 L de, não excedendo a 3% da renda familiar como também, estar acessível.

O reúso da água cinza pode apresentar diversas vantagens, além do menor nível populacional de agentes patogênicos em relação à água negra. Esta contém apenas 30% da fração orgânica, com cerca de 9 a 20% de nutrientes tornando-se assim uma boa alternativa para uso com fins agrícolas ou florestais, como também pode ser utilizada na descarta de vasos sanitários de banheiros e usos externos, como irrigação de jardim. A sua variação ocorre de acordo com os hábitos e a realidade de cada residência. Por outro lado, sem o devido tratamento, a água cinza pode causar riscos à saúde, pois apresenta uma série de produtos químicos provenientes de sabões, detergentes e sais como também milhões de bactérias patogênicas, sendo assim de suma importância passar por um tratamento adequado, antes de sua utilização (Bani-Melhem et al., 2015).

Nos últimos anos, vários países avaliaram a potencialidade do uso de água residuárias, buscando alternativas e desenvolvendo pesquisa nessa área, como EUA (Yu et al., 2013) e Israel (Oron et al., 2014). No Brasil, alguns estudos estão sendo desenvolvidos, nessas pesquisas constatou-se que a água cinza apresentou elevados teores de sais, principalmente sulfatos como também matéria orgânica e turbidez. Em relação a matéria orgânica, pode-se destacar que mesmo sem contribuição do vaso sanitário a concentração de matéria orgânica e

inorgânica é bastante significativa, em virtude de resíduos alimentares, corporais seja oriundo de higiene pessoal ou da lavagem roupas (Feitosa et al., 2011).

Devido à grande necessidade ambiental, a água cinza precisa ser tratada a fim de diminuir a carga de poluição ambiental, gerada por esses efluentes, conseqüente reduzir riscos à saúde, principalmente em locais periféricos sem condições mínimas de saneamento (Abu Ghunmi et al., 2008). Nessa perspectiva buscar maneiras de minimizar a poluição e fazer o reúso desses efluentes, realizando técnicas com os devidos tratamentos na origem da sua produção é primordial para prevenir o lançamento e aumentar a carga de poluentes no ambiente (Díaz et al., 2016).

As águas cinzas podem apresentar características, as quais estão relacionadas ao costume ou rotina das pessoas em suas respectivas residências, podendo provocar a elevação das concentrações da Demanda Bioquímica de Oxigênio-DBO) e da Demanda Química de Oxigênio-DQO (Halalsheh et al., 2008). Donner et al. (2010) apresentaram valores de sólidos suspensos totais (SST) variando de 7 a 207mg L⁻¹ em água proveniente do chuveiro e 235 a 720 mg L⁻¹ do efluente da pia da cozinha. Em relação a turbidez, Gilboa & Friedler (2008) encontraram valores de turbidez variando de 15 a 240 Unidades Nefelométricas de Turbidez (UNT) para efluentes do chuveiro e da pia do banheiro, denotando a grande variabilidade dos dados, em virtude dos hábitos da população. A alta taxa de DQO / DBO e a deficiência de nutrientes observadas em fluxos específicos de água cinza (por exemplo, águas residuárias de banheiro e lavanderia) poderiam ser um fator limitante, quando do uso de processos biológicos no tratamento destes resíduos líquidos (Jefferson et al., 2004; Pidou et al., 2007).

Os parâmetros de qualidade da água para fins de reúso dependem de cada localidade como também, da sua empregabilidade, no geral baseia-se no teor de material orgânico, sólido e microbiológico. Os critérios mais exigentes requerem DBO inferior a 10 mg L⁻¹, turbidez abaixo de 2 UNT e um nível não detectável de coliformes totais ou fecais (USEPA, 2004).

De acordo com Zabrocki et al. (2005), a variação de pH da água cinza varia entre 6,7 e 8,5, fato explicado pelos produtos de limpeza com características alcalinas. Quando se trata de águas residuárias provenientes da lavadora de roupas, segundo Boyojoo et al. (20013), os atributos físico-químicos se acentuam como a condutividade elétrica que varia em torno de 0,19 a 3,0 dS m⁻¹, a turbidez de 19 a 440 UNT e os SST de 35 a 315 mg L⁻¹.

Temperatura, turbidez e sólidos são os principais atributos que interferem nas propriedades físico-química das águas cinza, em virtude da temperatura influenciar a proliferação de microrganismos juntamente com sólidos (resíduos orgânicos da pia da cozinha). A turbidez e elevados teores de sólidos podem provocar entupimentos das tubulações, ocasionando problemas futuros na rede coletora de águas residuárias domésticas (Bazzarella, 2005).

2.3 Conceitos e tipos de reúso

O reúso de água, tanto para fins potáveis e não potável é uma importante alternativa para um destino desse efluente, sendo apontado como importante solução potencial para enfrentar as crescentes pressões sobre os recursos hídricos globais (van der Bruggen, 2010) e como parte de uma abordagem mais integrada para gerenciar todo o ciclo da água e apoiar a economia (Wang et al., 2015).

A Resolução COEMA N° 2/2017 (CEARÁ, 2017), se destaca por ser a única do Brasil que apresenta padrões para reúso da água em diversas atividades, inclusive os padrões para reúso agrícola e florestal, como descrito na Tabela 1.

Tabela 1. Padrões de reúso agrícola e florestal e ambiental do Estado do Ceará.

Tipos de reúso	Artigo	Parâmetros		Valor
Agrícola e Florestal	39	Coliformes Termotolerantes (CT)	Culturas consumidas cruas com parte consumida em direto com a água de irrigação	Não Detectado (ND)
			Demais culturas	Até 1000 CT 100 mL ⁻¹
		Ovos de helmintos	Culturas consumidas cruas com parte consumida em direto com a água de irrigação	Não Detectado (ND)
			Demais culturas	Até 1 ovo L ⁻¹ de amostra
		Condutividade elétrica (CE)		Até 3,0 dS cm ⁻¹
		pH		Entre 6,0 e 8,5
		Razão de adsorção de sódio (RAS)		(15 mmolcL ⁻¹) ^{0,5}

Fonte: Adaptado da Resolução COEMA N° 02/2017 (CEARÁ, 2017).

Segundo Ottonson (2003), a água cinza pode ter vários destinos pós tratamento, como recarga de águas subterrâneas, descarga em vasos sanitários e irrigação de jardins, parques, gramados e culturas. Na Tabela 2 estão apresentados os padrões de reúso da água propostos pela USEPA (2004).

Na Tabela 2 estão apresentados os padrões de uso das águas cinza, bem como os tipos de reúso propostos pela USEPA (2004).

Tabela 2 :Diretrizes e padrões de utilização de águas residuárias - USEPA

Tipo de reúso	Qualidade da água de reúso					
	pH	DBO	Turbidez	SST	Coliformes fecais	Cloro
Uso urbano - todos os tipos de irrigação paisagística, descarga de vaso sanitário, proteção contra incêndio, condicionadores de ar	6-9	≤ 10 mg L ⁻¹	≤ 2 UNT		Não detectável/100ml	1 mg L ⁻¹ residual (mínimo)
Reúso agrícola – Culturas alimentícias processadas comercialmente, Irrigação superficial de pomares e vinhedos, Silvicultura e irrigação de áreas com acesso restrito ao público.	6-9	≤ 30 mg L ⁻¹		≤ 30 mgL ⁻¹	$\leq 200/100\text{mL}^{-1}$	1 mg L ⁻¹ residual (mínimo)
Reúso agrícola - Culturas não alimentícias, Forrageiras, cereais, fibras e grãos. Pastagens para rebanhos de leite.	6-9	≤ 30 mg L ⁻¹		≤ 50 mgL ⁻¹	$\leq 200/100\text{mL}^{-1}$	1 mg L ⁻¹ residual (mínimo)
Reúso agrícola - culturas alimentares não processadas comercialmente – irrigação de superfície ou irrigação por aspersão	6-9	≤ 10 mg L ⁻¹	≤ 2 UNT		Não detectável/100ml	1 mg L ⁻¹ residual (mínimo)
Construção - compactação do solo, controle de poeira e confecção de concreto.		≤ 30 mg L ⁻¹		≤ 30 mgL ⁻¹	$\leq 200/100\text{mL}^{-1}$	1 mg L ⁻¹ residual (mínimo)

Fonte: USEPA (2004).

2.4 Impactos ambientais da disposição inadequada de águas residuárias no ambiente

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).

Várias doenças são provocadas pela falta de saneamento básico, como a cólera, a difteria, o tifo, a hepatite e muitas outras (Guimarães et al., 2007).

Das 14 milhões de pessoas que moram nas áreas urbanas, dos 1.135 municípios do semiárido brasileiro, cerca de 10 milhões (71%) não são beneficiadas com a coleta de águas residuárias domésticas e sanitárias, destinando os dejetos gerados em fossas, sumidouros, valas abertas ou diretamente nos rios. Denotando que além da escassez hídrica que afeta a região semiárida, a poluição ambiental é um agravante, pois torna a água de corpos hídricos receptores não apropriados para o consumo humano (Medeiros et al., 2014).

Ainda, segundo Medeiros et al. (2014), no semiárido brasileiro o tratamento e reúso de água, é extremamente importante para minimizar a estiagem que afeta constantemente a

região. Os referidos autores estimam que cerca de 423 milhões de m³ de águas residuárias domésticas e sanitárias são lançados, anualmente, no ambiente semiárido com algum ou sem tratamento.

A capacidade de fazer o reúso de água independe da intenção de aumentar o abastecimento ou gerenciar nutrientes no efluente tratado (USEPA, 2012). A reutilização traz diversos benefícios, como melhor produção agrícola; redução do consumo de energia associado à produção, tratamento e distribuição de água; e benefícios ambientais significativos, como a redução de cargas de nutrientes para as águas receptoras, devido à utilização das águas residuárias tratadas. (SWH, 2009).

Mundialmente é comum o uso de água residuária tratada na irrigação, cerca de 20 milhões de hectares de terras agrícolas são irrigados com água poluída (Jiménez & Jiménez, Asano, 2008). Segundo Bunani et al. (2013) e Letey et al. (2011), a reutilização de água enfrenta uma série de desafios sociais, técnicos, económicos, principalmente nas regiões semiáridas.

2.5 Tratamento de águas cinza e qualidade do efluente para para fins agrícolas

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 (Feitosa, 2016).

Os critérios fundamentais para avaliar a qualidade da água para fins de irrigação são a salinidade, os riscos a saúde humana e os efeitos dos íons dissolvidos (Chhabra, 1996). Os sólidos dissolvidos também merecem atenção, devido aos seus efeitos para o crescimento das culturas, já que os sais dissolvidos aumentam o potencial osmótico da água e, conseqüentemente provoca o aumento na pressão osmótica da solução do solo, elevando a quantidade de energia que as plantas devem gastar para absorver água (Pescod, 1992).

A água de irrigação além da salinidade total, pode apresentar níveis excessivos de sódio trocável, influenciando de forma negativa as propriedades físico-químicas do solo, atributo esse avaliado por meio da análise da razão de adsorção de sódio (RAS) (Chhabra, 1996). De acordo com Almeida (2010), para avaliar qualidade da água para fins de irrigação, três fatores são essenciais na sua caracterização, salinidade, sodicidade e toxicidade, devido ao acúmulos de sais na planta tais como K⁺ (potássio), Na⁺ (sódio), Ca²⁺ (cálcio), Mg²⁺ (magnésio), Cl⁻ (cloreto), CO₃²⁻ (carbonato) e HCO₃⁻ (bicarbonato).

Em relação aos metais pesados (Ag, As, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Pb, Sb, Se e Zn) que são encontrados no solo em condições naturais, dependendo das concentrações e o tempo de exposição podem promover risco a saúde e problemas ambientais, esses elementos quando

presente em águas cinza, associa-se a sua incorporação ao despejo de efluentes de indústrias e outras fontes contaminantes (Lins, 2010).

O semiárido brasileiro demanda tecnologias eficientes, de fácil operação, de baixo custo relativo e que não empreguem produtos químicos em alguma etapa de tratamento. Neste sentido, destacam-se o sistema composto por tanque séptico, filtro anaeróbio e reator ultravioleta artificial, estudado por Cunha (2018).

Segundo a NBR 7229/1993 (ABNT, 1993), o tanque séptico de câmaras em série é uma unidade com dois ou mais compartimentos contínuos, dispostos sequencialmente no sentido do fluxo do líquido e interligados adequadamente, nos quais devem ocorrer, conjunta e decrescentemente, processos de flotação, sedimentação e digestão.

A NBR 13969/1997 (ABNT, 1997) define filtro anaeróbio como um reator biológico com água residuária doméstica ou sanitária em fluxo ascendente, composto de uma câmara inferior vazia e uma câmara superior preenchida com meio filtrante submerso, onde atuam microrganismos facultativos e anaeróbios, responsáveis pela estabilização da matéria orgânica.

A combinação de tanque séptico a filtro anaeróbio, no tratamento de águas residuárias domésticas, pode remover até 85% da Demanda Bioquímica de Oxigênio e até 90% dos sólidos suspensos totais, entretanto elementos químicos como amônia e fósforo não são removidos com eficiência nesse tipo de tratamento (von Sperling, 2014).

O reator ultravioleta artificial é um dispositivo com cúpula refletora dotado internamente de lâmpadas germicidas, de longa duração e baixa pressão de vapor de mercúrio com 85% da energia emitida em 254 nm que está inserido na faixa do UV C, dispostas sobre a água residuária e paralelamente ao seu escoamento (Bilotta & Daniel, 2012). Os referidos autores concluíram que o uso de lâmpadas germicidas com emissão de radiação em 254 nm se mostrou bastante positivo no controle de indicadores patogênicos no tratamento terciário de água residuária doméstica; alcançando uma remoção de 1,70 a 3,90 log na inativação de colifagos e 1,60 a 5,20 log para *Escherichia coli*, com dosagens correspondentes a 123,0 e 247,0 mWs cm⁻².

A radiação ultravioleta (UV), quando utilizada para o tratamento terciário de águas residuárias domésticas, afeta as cadeias do ácido desoxirribonucleico (DNA) dos microrganismos causando a perda da sua atividade biológica seguida da morte celular, pela incapacidade de se reproduzirem (Queluz et al., 2014).

Nesse sentido, as fontes de radiação ultravioleta artificial mais comumente utilizada são as lâmpadas de mercúrio convencionais, pois é uma tecnologia promissora para o tratamento de águas residuárias, que promove a degradação dos compostos organometálicos sob influencia

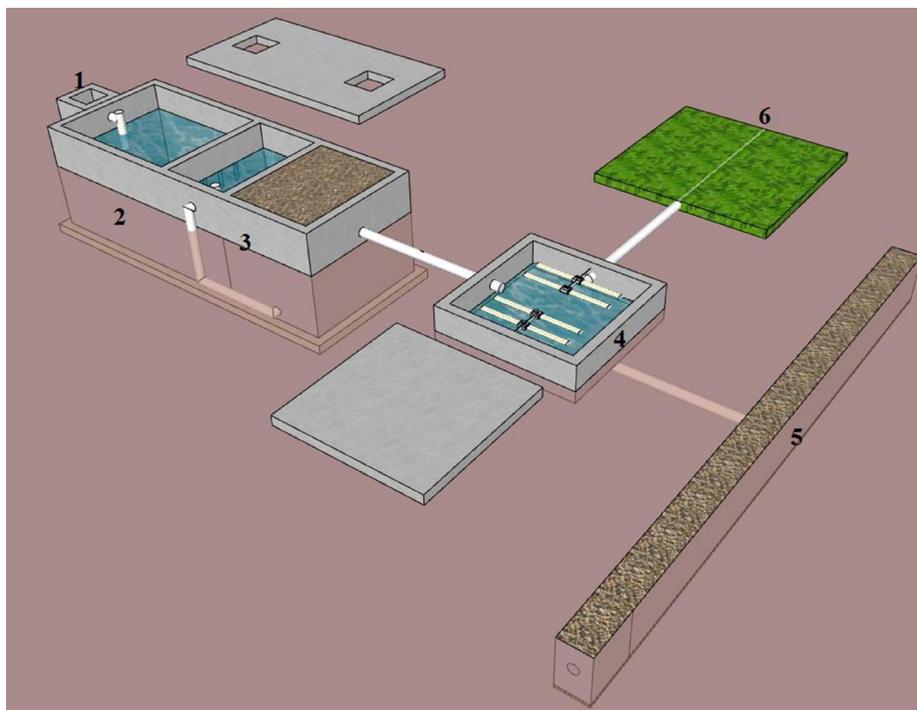
do tempo de irradiação, oscilação entre as faixas de luz UV de 206 a 254 nm (Zhao et al., 2011), uma vez que, atua de forma eficiente na inativação de microrganismos patogênicos (Hallmich & Gehr, 2010) e como inibidores de corrosão e biocidas (De La Cruz et al., 2012). Além da ação germicida, a radiação ultravioleta artificial de 254 nm possui energia de fóton suficiente para provocar alterações (ácido desoxirribonucleico) no DNA e (ácido ribonucleico) RNA dos microrganismos atingidos (Bilotta & Daniel, 2012). Dessa forma, as alterações do RNA das células são menos expressivas e são reversíveis (Bitton, 1994; WEF, 1996), enquanto, as alterações do DNA das células promovem a inativação de patógenos, tanto no tratamento de água de abastecimento quanto esgoto doméstico (WEF, 1996; USEPA,1999).

de 2017 o seu desempenho vem sendo monitorado.

3.2 Apresentação do sistema compacto de tratamento e uso agrícola de água cinza

O sistema compacto de tratamento e uso agrícola de água cinza foi dimensionado com base nas diretrizes da NBR 7.229 (ABNT, 1993) e da NBR 13.969 (ABNT, 1997) para atender uma vazão máxima de 400 L d^{-1} de água cinza, gerada por quatro pessoas, conforme relatado no trabalho de Cunha (2018). Este sistema é composto por um tanque de equalização, um tanque séptico, um filtro anaeróbio de fluxo ascendente, um reator ultravioleta artificial, uma vala de infiltração e uma área para reuso agrícola e florestal, como esquematizado na Figura 2. Na Figura 3 está apresentada uma vista lateral do sistema compacto de tratamento e uso agrícola de água cinza instado no CEMAS/UFERSA.

Figura 2. Ilustração do sistema compacto de tratamento e uso agrícola e florestal de águas cinza.



Nota: 1 - Tanque de equalização; 2 - Tanque séptico; 3 - Filtro anaeróbio; 4 - Reator ultravioleta artificial; 5 - Vala de infiltração; e 6 - Área de reuso agrícola e florestal (6).

Fonte: Acervo pessoal (2018).

Figura 3. Vista lateral do sistema compacto de tratamento e uso agrícola e florestal de águas cinza.



Nota: 1 - Tanque de equalização; 2 - Tanque séptico; 3 - Filtro anaeróbio; 4 - Reator ultravioleta artificial; 5 - Vala de infiltração e 6 - Área de reuso agrícola e florestal (6).

Fonte: Acervo pessoal (2018).

O tanque de equalização foi utilizado na homogeneização das águas cinza oriundas do chuveiro, das pias do banheiro, cozinha e do tanque de lavagem de roupas, em seguida a água cinza homogeneizada foi encaminhada ao tanque séptico. O tanque de equalização foi construído em alvenaria de tijolos e revestido internamente com argamassa adicionada de material impermeabilizante, tendo as dimensões internas de 0,30 m de lado e 0,30 m de profundidade, como relatado por Cunha (2018) e apresentado na Figura 4.

Figura 4. Vistas do tanque de equalização.



Fonte: Acervo pessoal (2018).

O tanque séptico, apresentado na Figura 5, foi construído com duas câmaras em série visando flotar, sedimentar e digerir resíduos orgânicos contidos na água cinza oriunda do tanque de equalização. Este foi construído nas dimensões internas de 1,70 m de comprimento, 0,95 m de largura e 1,4 m de profundidade, empregando-se alvenaria de tijolos, laje pré-moldada e revestimento interno adicionado de material impermeabilizante. No seu dimensionamento para o efluente gerado por quatro pessoas, empregando-se a NBR 7.229 (ABNT, 1993), foi utilizada a contribuição de lodo fresco de $1 \text{ L habitante}^{-1} \text{ d}^{-1}$; contribuição de água cinza de $100 \text{ L habitante}^{-1} \text{ d}^{-1}$; tempo de detenção hidráulica de um dia; e taxa de acúmulo de lodo digerido de 217 dias, para um intervalo entre limpeza de quatro anos e temperatura ambiente acima dos 20°C , conforme descrito por Cunha (2018).

Figura 5. Vista lateral do tanque séptico.



Fonte: Acervo pessoal (2018).

No filtro anaeróbio de fluxo ascendente (Figura 6) ocorreu a estabilização da matéria orgânica, bem como a remoção de sólidos suspensos totais da água cinza oriunda do tanque séptico. Este foi dimensionado para atender o efluente gerado por quatro pessoas, seguindo as recomendações da NBR 13.969 (ABNT, 1997), onde se considerou contribuição de água cinza de $100 \text{ L habitante}^{-1} \text{ d}^{-1}$ e tempo de detenção hidráulica de um dia. Segundo Cunha (2018), este dispositivo foi revestido internamente, com argamassa adicionada de material impermeabilizante, e possui dimensões internas de 1,0 m de lado e 1,40 m de profundidade,

tendo como elemento filtrante a brita gnaisse nº 1.

Figura 6. Vista superior do filtro anaeróbio.



Fonte: Acervo pessoal (2018).

No reator ultravioleta artificial (Figura 7) ocorre a redução do nível populacional de *E. coli* por meio da exposição da água cinza do filtro anaeróbio à radiação UV C (254 nm) gerada por quatro lâmpadas germicida de 30 W (modelo G30WT8 da HALOTECH e vida útil de 8000 h). De acordo com Cunha (2018), este dispositivo foi construído em alvenaria de tijolos, revestido internamente com material impermeabilizante e pintado com tinta refletiva, tendo seção quadrada de 1,94 m de lado e 0,43 m de profundidade, possui, internamente, uma régua de 0,43 m, com precisão de 1 cm, para auxiliar na medição da vazão de água cinza.

Figura 7. Vistas do reator ultravioleta artificial.



Fonte: Acervo pessoal (2018).

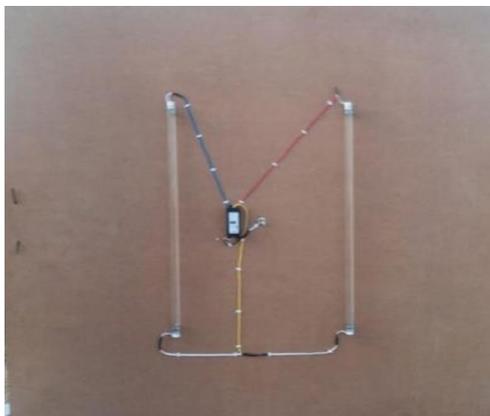
A água cinza tratada no reator ultravioleta artificial pode ser disposta no ambiente da seguinte forma: a) Vala de infiltração dimensionada com base nas diretrizes da NBR 13.969 (ABNT, 1997), considerando contribuição de água cinza de $100 \text{ L habitante}^{-1} \text{ d}^{-1}$ e coeficiente de infiltração de $130 \text{ L m}^{-2} \text{ d}^{-1}$, sendo construída com 0,50 m de largura, 6,0 m de largura e 0,50 m de profundidade, possuindo, internamente, uma tubulação em PVC com diâmetro nominal de 100 mm, dotado de perfurações de diâmetro de 0,01 m, conforme relatado por Cunha (2018); ou b) Ser empregada para fins agrícolas e florestais em pesquisas da UFERSA.

3.3 Aperfeiçoamento do sistema compacto de tratamento e uso agrícola e florestal de água cinza

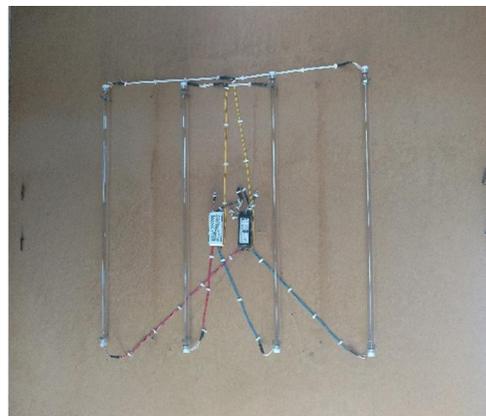
Para atender ao padrão de reúso agrícola e florestal de 1000 coliformes termotolerantes por 100 mL, estabelecido na Resolução COEMA nº 2/2017 (CEARÁ, 2017) para cultivos agrícolas não consumidos crus, foi necessário aumentar a eficiência de remoção de *E. coli* pelo reator ultravioleta artificial. Para isso, ampliou-se o número de lâmpadas germicidas de 30 W de duas para quatro, como apresentado na Figura 8), passando; a altura de lâmina de água cinza foi alterada para 0,11m; a distância entre as lâmpadas germicidas foi reduzida para 0,10 m; e a distância entre as lâmpadas e a superfície da água cinza também foi alterada para 0,10 m. Deve ressaltar que a maior dimensão das lâmpadas germicida foi posicionada sempre no sentido do escoamento da água cinza dentro do reator, conforme recomendação de Bilotta & Daniel (2012).

O reator operou com o tempo de acionamento das lâmpadas germicidas de 1 h proposto por Feitosa (2016) e Cunha (2018) para águas cinza.

Figura 8. Reator ultravioleta utilizado por Cunha (2018) e Autor.



Fonte: Cunha (2018).



Fonte: Acervo pessoal (2018).

3.4 Determinação da vazão da estação compacta de tratamento de água cinza

A determinação da vazão média da estação de tratamento e uso agrícola e florestal de água cinza foi obtida pelo método gravimétrico, realizado durante o período de amostragem e caracterização físico-química e microbiológica da água cinza.

A vazão média foi determinada dividindo-se o volume de água cinza, gerado na residência um dia antes da amostragem, pelo respectivo tempo de geração de efluente. Este volume foi quantificado no reator ultravioleta artificial, que possui uma régua graduada em centímetros para a leitura do nível do efluente, cujo valor foi multiplicado pela área de seção do reator ultravioleta artificial ($3,76 \text{ m}^2$), conforme proposto por Cunha (2018) e descrito na equação 1.

$$V = \frac{3,76 \cdot A}{P} \quad 1$$

Em que:

V - Vazão, $\text{m}^3 \text{ d}^{-1}$;

3,76 - Área de seção do reator ultravioleta artificial, m^2 ;

A - Altura de lâmina de água cinza tratada armazenada no reator ultravioleta artificial, m; e

P - Período de tempo onde ocorre a geração de água cinza na residência, d.

3.5 Monitoramento da estação compacta de tratamento e uso agrícola e florestal de água cinza

A avaliação do desempenho do sistema de tratamento e uso agrícola de água cinza foi realizado por meio de quatro amostragens e caracterizações físico-química e microbiológicas da água cinza no tanque de equalização (ETE) e no reator ultravioleta artificial (ERU).

A amostragem da água cinza foi realizada em média a cada 32 dias, nas datas de 19 de julho, 4 de Setembro, 02 de outubro e 23 de outubro de 2018 sempre no horário das 08:00 às 10:00 horas. As amostras coletadas foram preservadas em caixa isotérmica com gelo à 4°C até a realização das análises no Laboratório de Solo, Água e Planta (LASAP) e no Laboratório de Saneamento Ambiental (LASAM) ambos pertencentes a Universidade Federal Rural do Semiárido (UFERSA).

No LASAP foram realizadas análises físico-químicas das amostras de ETE e ERU, as quais compreenderam sódio (Na^+), potássio (K^+), cálcio (Ca^{2+}), magnésio (Mg^{2+}), cloreto (Cl^-), carbonato (CO_3^{2-}) e bicarbonato (HCO_3^-), fósforo (P), cobre (Cu), manganês (Mn), ferro (Fe), níquel (Ni), zinco (Zn), cádmio (Cd), chumbo (Pb) e Crômio (Cr).

Enquanto, no LASAM realizaram as seguintes análises físico-químicas e microbiológicas das amostras de ETE e ERU: pH, condutividade elétrica (CE), turbidez, Demanda Química de Oxigênio (DQO), Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), sólidos suspensos totais (SST), sólidos totais (ST), coliformes totais e *E. coli*.

A temperatura da água cinza foi medida *in loco* com o auxílio de um termômetro analógico com precisão de 0,2°C.

Os procedimentos de amostragem, preservação e análises físico-químicas e microbiológicas da água cinza seguiram as recomendações técnicas do *Standart methods for examination of water and wastewater* (Rice et al., 2012) e da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Silva, 2009).

O desempenho da estação compacta de tratamento e resúso agrícola e florestal de água cinza foi representado pela remoção das características físico-químicos e microbiológicos, conforme apresentado na equação 2.

$$\text{Re} = \left(1 - \frac{\text{ERU}}{\text{ETE}} \right) \cdot 100 \quad 2$$

Em que:

Re - Remoção dos atributos físico-químicos e microbiológicos ocorridas na estação

compacta de tratamento e resuso agrícola e florestal de água cinza, %;

ERU - Valores dos atributos físico-químicos e microbiológicos das amostras coletadas no reator ultravioleta artificial; e

ETE - Valores dos atributos físico-químicos e microbiológicos das amostras coletadas no tanque de equalização.

3.6 Delineamento e análise estatística dos dados

O experimento foi montado no delineamento inteiramente casualizado com quatro repetições no tempo (amostragens de julho a outubro de 2018), tendo os pontos de coleta ETE (Água cinza coletada no tanque de equalização) e ERU (Água cinza coletada no reator ultravioleta artificial) como tratamentos.

Utilizou-se nos atributos físico-químicos, bioquímico e microbiológicos da água cinza a estatística descritiva, empregando média e desvio padrão aritméticos aos atributos físico-químicos e bioquímico e média e desvio padrão geométrico aos atributos microbiológicos, como proposto por von Sperling (2001).

Os atributos físico-químicos, bioquímico e microbiológicos foram também submetidos à análise de variância, empregando-se o teste F à 1 e 5% de probabilidade. As médias foram comparadas utilizando-se o teste Tukey à 5% de probabilidade.

Aplicou-se a correlação de Pearson, descrita pela equação 3, aos atributos TB, SST, ST, DBO, DQO, *E. coli* e CT à 5% de probabilidade pelo teste “t” de de Student. Segundo Galarça et al. (2010), o coeficiente de correlação de Pearson é representado pela letra r e assume valores de -1 a 1. Assim ($r = 1$), representa a correlação perfeita e positiva entre duas variáveis, ($r = -1$), representa correlação perfeita negativa entre duas variáveis, ou seja, enquanto uma aumenta a outra diminui, à medida que se aproxima do 1 vai ficando perfeita a correlação. Brito et al. (2003) classifica a correlação de Pearson em Perfeita ($r = 1$), Fortíssima ($0,91 < r < 0,99$), Forte ($0,61 < r < 0,91$), Média ($0,31 < r < 0,60$), Fraca ($0,01 < r < 0,30$) e Nula ($r = 0$).

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n \left[x_i - \left(\frac{1}{n} \right) \cdot \sum_{i=1}^n x_i \right] \cdot \left[y_i - \left(\frac{1}{n} \right) \cdot \sum_{i=1}^n y_i \right]}{\sqrt{\sum_{i=1}^n \left[x_i - \left(\frac{1}{n} \right) \cdot \sum_{i=1}^n x_i \right]^2 \cdot \sum_{i=1}^n \left[y_i - \left(\frac{1}{n} \right) \cdot \sum_{i=1}^n y_i \right]^2}} \quad 3$$

Em que:

x_1, x_2, \dots, x_n e y_1, y_2, \dots, y_n são os valores medidos das variáveis em estudo.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Vazão da estação compacta de tratamento e uso agrícola e florestal de água cinza

Na Tabela 3 estão apresentados as datas das avaliações de desempenho da estação compacta de tratamento e reuso agrícola e florestal de água cinza.

Tabela 3. Datas das avaliações, valores das lâminas reator ultravioleta e da vazão de água cinza no sistema compacto de tratamento e reuso agrícola e florestal de água cinza.

Datas das avaliações	Lâminas no reator ultravioleta (m)	Vazão ($\text{m}^3 \text{d}^{-1}$)
19/07/2018	0,124	0,47
04/09/2018	0,100	0,38
02/10/2018	0,110	0,41
23/10/2018	0,120	0,45
Média	0,114	0,43

Fonte: Acervo pessoal (2018).

Constou-se, nessa tabela, que a vazão média de água cinza variou de 0,38 a 0,47 $\text{m}^3 \text{d}^{-1}$, tendo 0,43 $\text{m}^3 \text{d}^{-1}$ como a vazão média. Estes valores foram superiores a faixa de 0,17 a 0,25 $\text{m}^3 \text{d}^{-1}$ encontrados por Cunha (2018), que operou a mesma estação no período de outubro e novembro de 2017. Este fato pode ser atribuído ao aumento no número de visitantes na residência situada no CEMAS/UFERSA, no período de julho a outubro de 2018.

4.2 Análise de desempenho do sistema compacto em relação as alterações de atributos físicos, químicos, bioquímico e microbiológicos presentes na água cinza

4.2.1 Comportamento dos atributos físico-químicos presentes nas amostras de água cinza

Estão apresentados na Tabela 4 os valores dos atributos e físico-químicos das amostras de água cinza coletadas no tanque de equalização (ETE) e no reator ultravioleta artificial (ERU), ao longo do período experimental.

Tabela 4. Valores e médias dos atributos físicos e físico-químicos das amostras de água cinza coletadas no tanque de equalização (ETE) e no reator ultravioleta artificial (ERU), no período de julho a outubro de 2018, bem como os padrões de comparação e as remoções alcançadas pelo sistema.

Atributos	Unidade	19/07/2018		04/09/2018		02/10/2018		23/10/2018	
		ETE	ERU	ETE	ERU	ETE	ERU	ETE	ERU
T	°C	28,0	30,0	28,4	30,6	29,0	31,0	29,2	31,3
TB	UNT	631	52	760	26,4	506	15,6	1170	8,57
ST	mg L ⁻¹	1816	767	1965	704	1221	722	2247	683
SST	mg L ⁻¹	530	25	830	43	995	55	2930	30
CE	dS m ⁻¹	1,23	1,4	1,3	1,5	1,08	1,14	1,03	1,05
pH	-	5,85	7,40	7,56	8,18	6,73	7,74	7,46	7,24
Atributos	Unidade	Média e desvio padrão de ECP		Média e desvio padrão de ERU		Padrões		Remoção (%)	
T	°C	28,7 ± 0,55		30,8 ± 0,56		40°C ⁽¹⁾		-	
TB	UNT	766,8 ± 288,14		25,64 ± 19,04		5,0 ⁽²⁾		96,70	
ST	mg L ⁻¹	1812 ± 433		719 ± 36		-		60,30	
SST	mg L ⁻¹	1321 ± 1090		38 ± 13		100 ⁽¹⁾		97,11	
pH	-	6,90 ± 0,79		7,64 ± 0,42		6,0 - 8,5 ⁽¹⁾		-	
CE	dS m ⁻¹	1,16 ± 0,13		1,27 ± 0,21		3,0 ⁽¹⁾		-	

Nota: T - Temperatura da água cinza; TB - Turbidez; UNT - Unidade nefelométrica de turbidez; ST - Sólidos totais; SST - Sólidos suspensos totais; CE - Condutividade elétrica; pH - Potencial hidrogeniônico ; ⁽¹⁾Resolução COEMA n° 2/2017 (CEARÁ, 2017); ⁽²⁾NBR 13.969/97 (ABNT, 1997).

Durante o período da amostragem, em média a temperatura da água cinza (T) aumentou, passando de 28,7 °C para 30,08 °C. Para lançamento em corpos hídricos receptores, a Resolução CONAMA n° 430/11 (BRASIL, 2011) estabelece que a T deverá ser inferior a 40 °C e não exceder a 3°C no limite da zona de mistura, desde que não comprometa os usos previstos para o corpo d'água. Portanto, pode-se inferir que água cinza bruta e tratada estão dentro do padrão de lançamento de efluentes. Os valores de T das amostras seguiram as oscilações naturais da temperatura do ar, conforme seus aspectos de sazonalidade. Vista que, a coleta foi realizada em diferentes períodos do ano, onde os meses de setembro e outubro são os mais quentes, como pode-se observar na Tabela 4. Todavia, isso pode ter influenciado diretamente em T antes e após o tratamento. A amostra coletada no reator apresentou pequena elevação de T em comparação ao tanque de equalização fato que pode ter sido provocado pelo contato da água cinza do tanque séptico com o piso e as paredes do reator ultravioleta artificial, enquanto o tanque de equalização possui tampa e impede aquecimento por incidência da radiação solar. Segundo Derisio (2012), é de suma importância avaliar as oscilações de T, devido à intensidade de calor que água foi submetida. A T influencia diretamente na proporção de gases dissolvidos nos líquidos, sendo que o aumento de T no

meio aquático implica na redução da quantidade de gases disponíveis, inclusive do oxigênio dissolvido.

Em média os valores de TB em ETE e ERU foram de 766,8 e 25,64 UNT, respectivamente, tendo remoção média de 96,70% (Tabela 4), superior à obtida por Feitosa et al. (2011) em uma estação compacta de tratamento e uso agrícola de água cinza. Apesar da grande remoção, ERU apresentou valores de TB superiores ao limite de 30 UNT, estabelecido pela USEPA (1999), para desinfecção de efluentes com radiação ultravioleta. Nota-se que as amostras apresentaram valores de TB acima do exigido pela NBR 13969/1997 (ABNT, 1997), classe 3 (reúso nas descargas sanitárias) em vista que o mínimo exigido é de 10,00 UNT. Somente na última coleta o efluente tratado apresentou turbidez de 8,57 UNT, pouco abaixo do limite recomendado pela NBR 13969/1997 para água classe 3.

Possivelmente a TB tem interferência direta na eficiência de remoção de microrganismos pela radiação ultravioleta, uma vez que quanto maior for a TB, menor será a penetração da radiação no meio líquido. Essa eficiência é mais acentuada quando a água cinza apresenta TB inferior a 30 UNT (USEPA, 1999). A TB elevada, como também a presença de muitas partículas no efluente, pode criar barreiras à penetração da radiação e consequentemente configurar-se como proteção aos microrganismos. A TB é um atributo correlacionado diretamente com o potencial de absorção de radiação ultravioleta, devido a sua capacidade de impedimento da penetração da luz através de um líquido. A regulamentação em relação aos níveis de TB para água cinza, variam de acordo com as normas de cada país; no Reino Unido por exemplo, para efluentes tratados com TB superior a 10 UNT podem ser reutilizadas principalmente em descargas de vasos sanitários. Em contrapartida na Califórnia a água cinza para os mesmos fins, deve apresentar uma turbidez menor que 2,00 UNT (Yu et al., 2015).

Pode-se observar que na primeira coleta, que a TB de ERU apresentou valor de 52,00 UNT, o que ocasionou pouca remoção na população de microrganismos (Coliformes Totais e *E. coli*), fato que pode ser comprovado nas coletas seguintes, no qual ocorreu redução do nível populacional de microrganismos de acordo com a diminuição da TB. Nas coletas posteriores, a TB apresentou valores de 26,4, 15,6 e 8,57 UNT, associadas a presença de sólidos no meio líquido.

As concentrações médias de ST em ETE e ERU foram de 1812 e 719 mg L⁻¹, respectivamente, apresentando remoção média de 60,30%. Essa remoção de ST foi superior à alcançada por Feitosa et al. (2011) em uma estação compacta de tratamento e uso agrícola de água cinza composta por caixa de gordura, tanque anaeróbio, filtro anaeróbio, mini-sistema alagado construído e reator solar.

Em relação aos SST os valores ficaram abaixo do estabelecido pela Resolução COEMA nº

2/2017 (CEARÁ, 2017), em seu Artigo 12, que cita sobre os padrões de lançamento de efluentes sanitários tratados em corpo hídrico, que limita o valor de SST em até 100,00 mg L⁻¹. Os valores obtidos em ERU foram 25,00, 43,00, 55,00 e 30,00 mg L⁻¹, respectivamente. A eficiência de remoção de SST pelo sistema, ao comparar os valores médios de ETE e ERU, foi de 97,11% superior à remoção de 87,44% encontrada por Feitosa et al. (2011) em uma estação compacta de tratamento e uso agrícola de água cinza. Com relação ao risco de obstrução de gotejadores, o valor médio de SST em ERU foi inferior ao valor limite de 50,00 mg L⁻¹, o que representa baixo risco de comprometimento do desempenho hidráulico do sistema de irrigação por gotejamento (Bucks et al., 1979).

Na maioria das medições de pH, exceto a última coleta, o pH tendeu a uma elevação, fato que pode estar associado ao aumento de T (Feltre, 2004). O pH da água é associado à T podendo inibir ou acelerar o desenvolvimento de microrganismos, os valores médios do pH para ETE e ERU foram de 6,90 e 7,64, respectivamente. Segundo a Resolução COEMA n° 2/2017 (CEARÁ, 2017), o pH do efluente tratada para reúso agrícola e florestal deve ficar na faixa de 6,00 e 8,50, o que foi evidenciado no presente trabalho. O valor médio de pH em ERU foi superior ao limite de 7,50 estabelecido por Bucks et al. (1979), indicando risco severo de obstrução de gotejadores desse atributo. Segundo Apella & Araújo (2005), muitos nutrientes entram nas células através da membrana plasmática por transporte passivo, o que só pode ser realizado se os nutrientes estão na sua forma ionizada; o pH do meio produz ionização de alguns nutrientes, impedindo sua utilização; e o outro efeito do pH do meio, é a acidificação ou alcalinização com consequente desnaturação de componentes vitais à célula.

Observados os valores médios de CE em ETE e ERU, constatou-se aumento de 1,16 dS m⁻¹ para 1,27 dS m⁻¹, resultando em acréscimo de 9,48%, devido ao acúmulo de sais no tanque séptico. Mesmo com o aumento de CE em ERU esse ainda foi inferior ao limite de 3,0 dS m⁻¹, apresentado na Resolução COEMA n° 02/2017 (CEARÁ, 2017), para reúso agrícola e florestal de águas residuárias tratadas. O valor médio da CE em ERU representa risco moderado de entupimento de gotejadores, segundo critério apresentado por Capra & Scicolone (1998). Segundo Almeida (2010), quanto maior o teor salino de uma solução, maior será a CE, sendo este atributo definido por Porto et al. (1991) como a capacidade da água em transmitir corrente elétrica, sendo determinada pela presença de substâncias dissolvidas que se dissociam em ânions e cátions. Segundo WHO (2006a,b,c), a água contendo CE entre 0,7 a 3 dS m⁻¹ apresenta ligeiro a moderado grau de restrição para fins de irrigação, dessa forma, apesar do aumento da CE do ERU em relação a ETE, estas encontram-se dentro desse intervalo. As águas cinza podem apresentar elevados valores de CE, em virtude de condições

das regiões semiáridas tais como a presença da salinidade, precipitação baixa e evapotranspiração elevada (Lopes, 2012).

4.2.2 Comportamento de atributo químico e bioquímico presente nas amostras de água cinza

A Tabela 5 apresenta os valores médios dos atributos químicos e bioquímicos das amostras de água cinza coletadas no tanque de equalização (ETE) e no reator ultravioleta artificial (ERU), ao longo do período experimental.

Tabela 5. Valores e médias do atributo químico e bioquímico das amostras de água cinza coletadas no tanque de equalização (ETE) e no reator ultravioleta artificial (ERU), no período de julho a outubro de 2018, bem como os padrões de comparação e as remoções alcançadas pelo sistema.

Atributos	Unidade	19/07/2018		04/09/2018		02/10/2018		23/10/2018	
		ETE	ERU	ETE	ERU	ETE	ERU	ETE	ERU
DQO	mg L ⁻¹	2671	77	1820	81	2093	187	4829	86
DBO	mg L ⁻¹	987	34	454	28	685	46	760	29
Atributos	Unidade	Média e desvio padrão de ECP		Média e desvio padrão de ERU		Padrões	Remoção (%)		
DQO	mg L ⁻¹	2853 ± 1364		108 ± 53		200 ⁽¹⁾	96,20		
DBO	mg L ⁻¹	721 ± 220		34 ± 8		120 ⁽¹⁾	95,30		

Nota: DBO - Demanda bioquímica de oxigênio; e DQO - Demanda química de oxigênio. ⁽¹⁾Resolução COEMA nº 2/2017 (CEARÁ, 2017).

Em relação a Demanda Química de Oxigênio (DQO), os valores médios em ETE e ERU foram de 2853 e 108 mg L⁻¹, respectivamente. Houve remoção média de 96,20% da DQO no sistema, inclusive superior à encontrada por Feitosa et al. (2011) em uma estação compacta de tratamento e uso agrícola de água cinza. O valor médio da DQO de ERU foi inferior ao limite estabelecido pela Resolução COEMA nº 2/2017, apresentado em seu Artigo 11, inciso XII, tratante sobre o lançamento direto de efluentes não sanitários em corpos hídricos, a qual estabelece um valor de 200,00 mg L⁻¹ (CEARÁ, 2017). Porém, segundo NBR nº 13.969/1997 (ABNT, 1997), os valores ficaram acima do padrão para DQO (< 50,00 mg L⁻¹) para lançamento de efluentes tratados em águas superficiais – classe A.

No caso da Demanda Biológica de Oxigênio (DBO) a média foi de 34 mg L⁻¹ para ERU, sendo assim inferior ao valor de 120,00 mg L⁻¹, estimado pela Resolução CONAMA nº 430/2011 (BRASIL, 2011), para lançamento de efluentes tratados em corpos hídricos, como também inferior ao limite de 60,00 mg L⁻¹ estabelecido pela Resolução COEMA nº 02/2017 (CEARÁ, 2017). No presente estudo a remoção de DBO foi de 95,30% mostrando uma boa eficiência na remoção, superior a remoção de 77,95% alcançada por Feitosa et al. (2011) em uma estação compacta de tratamento e uso agrícola de água cinza.

Neste estudo, a relação média DQO/DBO₅ de ETE foi de 3,95, enquanto em ERU a mesma relação apresentou valor de 3,14. Esses valores mostram que, mesmo sem tratamento, a água cinza apresenta biodegradabilidade. No entanto, pode-se inferir que após o tratamento a redução do valor da relação DQO/DBO favorece a biodegradação. Segundo von Sperling (2014), relacionando DQO/DBO₅ pode-se avaliar a eficiência do tratamento empregado, medindo a fração biodegradável presente na amostra. Portanto, quanto maior a ação do tratamento biológico na remoção da matéria orgânica biodegradável, maior será a relação entre os valores tratados de DQO e DBO₅ podendo chegar a 4,0 ou 5,0, quando comparados com os resultados brutos da relação DQO e DBO₅.

4.2.3 Comportamento de elementos químicos presentes nas amostras de água cinza

Na Tabela 6 estão descritos os valores e as médias das concentrações de elementos químicos presentes nas amostras de água cinza coletadas no tanque de equalização (ETE) e no reator ultravioleta artificial (ERU), ao longo do período experimental.

A concentração média de potássio (K⁺) em ERU foi de 0,69 mmol_c L⁻¹ superior ao limite de 0,05 mmol_c L⁻¹ sugerido por Almeida (2010) para água utilizada na irrigação de cultivos agrícolas. Com relação ao sódio (Na⁺), o valor médio em ERU foi de 4,72 mmol_c L⁻¹ superior ao limite recomendado por Ayers & Westcot (1999) que é de 3,00 mmol_c L⁻¹, e sendo inferior ao limite apresentado por Almeida (2010) de 40,00 mmol_c L⁻¹ para água de irrigação.

Os valores médios dos íons cálcio (Ca²⁺), magnésio (Mg²⁺) e cloreto (Cl⁻) em ERU foram de 2,28, 0,46 e 4,45 mmol_c L⁻¹, respectivamente, valores esses inferiores aos limites de 20,00, 5,00 e 30,00 mmol_c L⁻¹ apresentados por Almeida (2010) para água destinada à irrigação de cultivos agrícolas. Os íons Ca²⁺ e Mg²⁺ apresentaram valores médios em ERU inferiores aos limites de 12,50 e 2,00 mmol_c L⁻¹ apresentados por Capra & Scicolone (1998), indicando baixo risco de obstrução de gotejadores desses atributos. Para o íon Cl⁻ o valor médio obtido em ERU ficou acima do limite 3,0 mmol_c L⁻¹, recomendado por Ayers & Westcot (1999) para irrigação de cultivos agrícolas, podendo acarretar o risco de toxicidade.

Tabela 6. Valores e médias das concentrações de elementos químicos presentes nas amostras de água cinza coletadas no tanque de equalização (ETE) e no reator ultravioleta artificial (ERU), no período de julho a outubro de 2018, bem como os padrões de comparação e as remoções alcançadas pelo sistema.

Atributos	Unidade	19/07/2018		04/09/2018		02/10/2018		23/10/2018	
		ETE	ERU	ETE	ERU	ETE	ERU	ETE	ERU
K ⁺	mmolc L ⁻¹	0,78	0,83	0,67	0,81	0,58	0,63	0,55	0,50
Na ⁺	mmolc L ⁻¹	5,05	5,77	4,12	4,97	4,83	3,43	4,70	4,72
Ca ²⁺	mmolc L ⁻¹	1,58	2,18	1,74	2,01	1,61	2,34	1,21	2,57
Mg ²⁺	mmolc L ⁻¹	0,80	0,87	0,49	0,12	0,80	0,41	0,61	0,45
Cl ⁻	mmolc L ⁻¹	7,60	5,0	5,0	4,80	5,00	4,80	4,60	3,20
CO ₃ ²⁻	mmolc L ⁻¹	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
HCO ₃ ⁻	mmolc L ⁻¹	9,0	6,90	4,80	3,60	8,00	5,60	8,00	3,90
RAS	(mmolc L ⁻¹) ^{0,5}	4,60	4,70	3,9	4,8	4,4	2,90	4,9	4,0
P	mg L ⁻¹	0,535	0,331	0,243	0,016	0,401	0,189	0,563	0,103

Atributos	Unidade	Média e desvio padrão de ETE	Média e desvio padrão de ERU	Padrões	Remoção (%)
K ⁺	mmolc L ⁻¹	0,65 ± 0,10	0,69 ± 0,16	0,05 ⁽²⁾	-
Na ⁺	mmolc L ⁻¹	4,68 ± 0,40	4,72 ± 0,97	40 ⁽²⁾	-
Ca ²⁺	mmolc L ⁻¹	1,54 ± 0,23	2,28 ± 0,24	20 ⁽²⁾	-
Mg ²⁺	mmolc L ⁻¹	0,68 ± 0,15	0,46 ± 0,31	5,0 ⁽²⁾	32,35
Cl ⁻	mmolc L ⁻¹	5,55 ± 1,38	4,45 ± 0,84	30 ⁽²⁾	19,82
CO ₃ ²⁻	mmolc L ⁻¹	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00	0,1 ⁽²⁾	-
HCO ₃ ⁻	mmolc L ⁻¹	7,45 ± 1,83	5,00 ± 1,54	10 ⁽²⁾	32,89
RAS	(mmolc L ⁻¹) ^{0,5}	4,45 ± 0,42	4,10 ± 0,88	15 ⁽¹⁾	7,87
P	mg L ⁻¹	0,44 ± 0,15	0,16 ± 0,13	2 ⁽²⁾	63,64

Nota: K⁺ – Potássio; Na⁺ – Sódio; Ca²⁺ – Cálcio; Mg²⁺ – Magnésio; Cl⁻ – Cloreto; CO₃²⁻ – Carbonato; HCO₃⁻ – Bicarbonato; RAS - Razão de adsorção de sódio; P – Fósforo. ⁽¹⁾Resolução COEMA nº 2/2017 (CEARÁ, 2017); ⁽²⁾Almeida (2010).

Teores de carbonato (CO₃²⁻) não foram encontrados na água cinza, em virtude dos valores de pH tanto de ETE quanto de ERU terem sido inferiores a 8,4, indicando apenas a presença de bicarbonatos (HCO₃⁻) nos efluentes. Entretanto o valor médio do teor de HCO₃⁻ chegou ao limite de 5,00 mmolc L⁻¹ estabelecido por Almeida (2010) para água de irrigação, indicando assim a possibilidade de obstrução de gotejadores. A obstrução ocorre quando o teor encontrado for superior 5,00 mmolc L⁻¹ associado ao pH acima de 7,5, nessas condições, o bicarbonato poderá reagir com o íon Ca²⁺, formando o carbonato de cálcio.

A razão de adsorção de sódio (RAS) média em ERU foi de 4,10 (mmolc L⁻¹)^{0,5}, sendo menor que o valor de 6,97 (mmolc L⁻¹)^{0,5} apresentado por Cunha (2018) em estudo com água cinza tratada pelo mesmo sistema do presente estudo, essa redução da RAS pode ser atribuída

a maior diluição da água cinza durante o período experimental, em virtude do aumento da água cinza oriundo da lavagem de roupas. Analisando de forma conjunta, os valores médios de CE e RAS, nota-se que ERU apresenta baixo risco de redução da infiltração de água no solo, com base no critério proposto por Ayers & Westcot (1999).

Os valores médios de fósforo (P) em ETE e ERU foram de 0,44 e 0,16 mg L⁻¹, respectivamente, evidenciando remoção pelo sistema em torno de 63,64%. Essa foi inferior à remoção de P de 76,00% obtida por Cunha (2018) em seu estudo em estação idêntica ao do presente estudo. O valor médio de P em ERU encontra-se dentro das faixas de referência apresentadas por von Sperling (2014) e Jordão & Pessoa (2011), de 3 a 9 mg L⁻¹ e de 3 a 13 mg L⁻¹, respectivamente, para águas residuárias domésticas. Segundo Almeida (2010), os teores de P em ERU são inferiores ao valor máximo admissível de 2 mg L⁻¹ para água de irrigação.

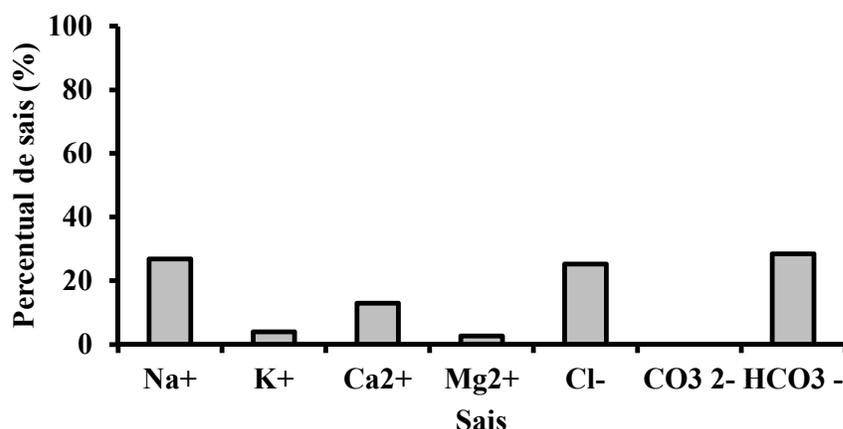
A água cinza no geral contribui com cerca de 12,4% da carga de P nas residências (Grey & Becker, 2002). O P presente na água cinza geralmente está associado ao uso de detergentes que possuem P na sua composição, geralmente em locais que ainda é permitido o uso de detergentes contendo fosfatos (Eriksson et al., 2002). Em comparativo, locais onde o uso desses detergentes não é permitido, a concentração de P na água cinza tende a ser 70% menor (Otterpohl, 2001).

No Brasil, o P está presente na formulação da maioria dos detergentes em pó fabricados no país, na forma de tripolifosfato de sódio (STPP), segundo a Resolução CONAMA n° 359/2005 (BRASIL, 2005). No intuito de reduzir e eliminar o fosfato dos detergentes o Conselho Nacional do Meio Ambiente criou a Resolução CONAMA n° 359/2005 (BRASIL, 2005), que dispõe sobre a regulamentação do teor de P em detergentes para o uso no mercado nacional, estabeleceu que o limite máximo de P deve ser de 4,80%.

A grande variabilidade dos sabões ocorre de acordo com o tipo de álcali utilizado na sua fabricação, como por exemplo os sabões em barra geralmente são fabricados com sais de sódio de ácidos graxos conhecidos como sabões duros (Peruzzo, 1999). Já os sabões ditos moles têm como base sais de potássio, presente em sabonetes, cremes de barbear e sabões líquidos (Seager & Slabaugh, 2016).

De acordo com a Figura 9 a quantidade de Na⁺ na composição do efluente tratado (ERU) é de aproximadamente 26,82% e que a quantidade de K⁺ presente é de apenas 3,92%, indicando a composição do álcali do sabão utilizado na residência.

Figura 9. Proporções de sais encontrados no efluente tratado (ERU).



A quantidade elevada de Na⁺ pode estar associada aos detergentes que apresentam na sua composição o surfactante, considerado o componente mais importante. O surfactante é o agente tensoativo do detergente sintético, utilizado no lugar do sabão líquido ou em pó, o teor desse componente tensoativo em uma caixa de detergente é da ordem de 17,00 a 32,00% (Osório & Oliveira, 2001).

A dupla camada difusa do solo é diretamente influenciada pela presença de cátions no meio, principalmente por Na⁺, K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺ e Al³⁺ se a concentração de cátions de baixa valência for elevada, pode provocar afastamento das colóides e provocar consequentemente a degradação do solo (Matos, 2007). De acordo com Dias & Blanco (2010), altas concentrações de Na⁺ ou outros cátions na solução do solo pode alterar suas características físicas.

Ainda de acordo com a Figura 9, as maiores concentrações presentes no efluente em ordem crescente foram do Cloreto (Cl⁻), sódio (Na⁺) e bicarbonato (HCO₃⁻), sendo o HCO₃⁻ com o maior quantitativo.

Os principais cátions responsáveis pela alcalinidade em água são HCO₃⁻, CO₃²⁻ e hidróxidos (OH⁻), sendo a maior contribuição da alcalinidade atribuída ao HCO₃⁻, que é formado pela ação do dióxido de carbono sobre carbonatos de cálcio e magnésio (Sawyer & Mccarty, 1978).

4.2.4 Comportamento dos teores dos micronutrientes e metais pesados presentes nas amostras de água cinza

Na Tabela 7 estão apresentados os valores e as médias dos micronutrientes essenciais e metais pesados encontrados nas amostras de água cinza coletadas no tanque de equalização (ETE) e no reator ultravioleta artificial (ERU), ao longo do período experimental.

Em ERU as concentrações médias de Cu, Mn, Fe, Ni, Zn, Cd, Pb e Cr foram de 0,00, 0,05, 0,34, 0,01, 0,02, 0,01, 0,12 e 0,02 mg L⁻¹, respectivamente. Deve-se ressaltar que todos esses atributos apresentaram médias inferiores ao limite estabelecido por Feigin et al. (1991) para uso agrícola de águas residuárias contendo traços de metais pesados.

Tabela 7. Valores e médias dos micronutrientes essenciais e metais pesados encontrados nas amostras de água cinza coletadas no tanque de equalização (ETE) e no reator ultravioleta artificial (ERU), no período de julho a outubro de 2018, bem como os padrões de comparação e as remoções alcançadas pelo sistema.

Atributos	Unidade	19/07/2018		04/09/2018		02/10/2018		23/10/2018	
		ETE	ERU	ETE	ERU	ETE	ERU	ETE	ERU
Cu	mg L ⁻¹	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Mn	mg L ⁻¹	0,104	0,100	0,00	0,021	0,174	0,032	0,123	0,042
Fe	mg L ⁻¹	0,435	0,890	0,44	0,087	1,350	0,143	0,670	0,257
Ni	mg L ⁻¹	0,016	0,031	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Zn	mg L ⁻¹	0,1312	0,0258	0,00	0,0108	0,1307	0,0234	0,122	0,0189
Cd	mg L ⁻¹	0,005	0,002	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Pb	mg L ⁻¹	0,160	0,140	0,690	0,170	0,04	0,00	0,123	0,180
Cr	mg L ⁻¹	0,005	0,015	0,00	0,049	0,00	0,00	0,00	0,00
Atributos	Unidade	Média e desvio padrão de ECP		Média e desvio padrão de ERU		Padrões		Remoção (%)	
Cu	mg L ⁻¹	0,00 ± 0,00		0,00 ± 0,00		5,0 ⁽¹⁾		-	
Mn	mg L ⁻¹	0,100 ± 0,07		0,05 ± 0,04		0,2 ⁽¹⁾		50	
Fe	mg L ⁻¹	0,072 ± 0,43		0,34 ± 0,37		5,0 ⁽¹⁾		-	
Ni	mg L ⁻¹	0,04 ± 0,08		0,01 ± 0,02		5,0 ⁽¹⁾		75	
Zn	mg L ⁻¹	0,10 ± 0,06		0,02 ± 0,01		10 ⁽¹⁾		80	
Cd	mg L ⁻¹	0,01 ± 0,03		0,01 ± 0,02		0,05 ⁽¹⁾		-	
Pb	mg L ⁻¹	0,025 ± 0,03		0,12 ± 0,08		20 ⁽¹⁾		-	
Cr	mg L ⁻¹	0,00 ± 0,00		0,02 ± 0,02		0,1 ⁽¹⁾		-	

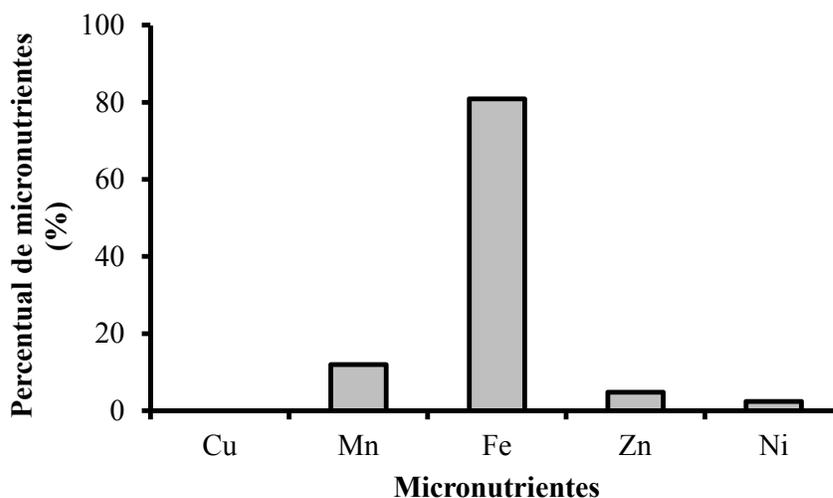
Nota: Cu – Cobre; Mn – Manganês; Fe – Ferro; Ni – Níquel; Zn – Zinco. ⁽¹⁾Feigin et al. (1991).

Dentre os micronutrientes apresentados, observou-se que o Fe apresentou a maior proporção no efluente tratado, sendo de 80,95%, enquanto o Cu não foi quantificado dentro do limite de detecção. Conforme Richter & Azevedo Netto (1991), o Fe pode se apresentar

em águas superficiais ligados a matéria orgânica formando colóides. Neste caso, como a água cinza apresenta a presença de elevada quantidade de matéria orgânica, devido aos resíduos de alimentos proveniente da pia da cozinha, fato que explica o elevado teor de Fe em relação aos outros micronutrientes. No geral a remoção de Mn, Ni e Zn foram bastante expressivas como mostrado na Tabela 7. Estas remoções foram superiores às encontrada por Cunha (2018) em seu estudo realizado no mesmo modelo de estação de tratatamento e uso agrícola de água cinza, isso se deve provavelmente ao acúmulo de matéria orgânica no sistema, ao longo do tempo, sendo que essa realização complexação junto aos íons metálicos.

Na residência do CEMAS/UFERSA que abastece a estação com água cinza, ao longo do período experimental, notou-se aumento considerável na realização de café para os funcionários que trabalham neste setor. Evidenciou-se, também, que o pó do café era lançado na pia da cozinha, juntamente com a água cinza. Segundo Catani et al. (1967), o Fe é o micronutriente metálico com maior teor no grão de café seguido pelo manganês, fato ocorreu em ERU, como apresentado na Figura 10.

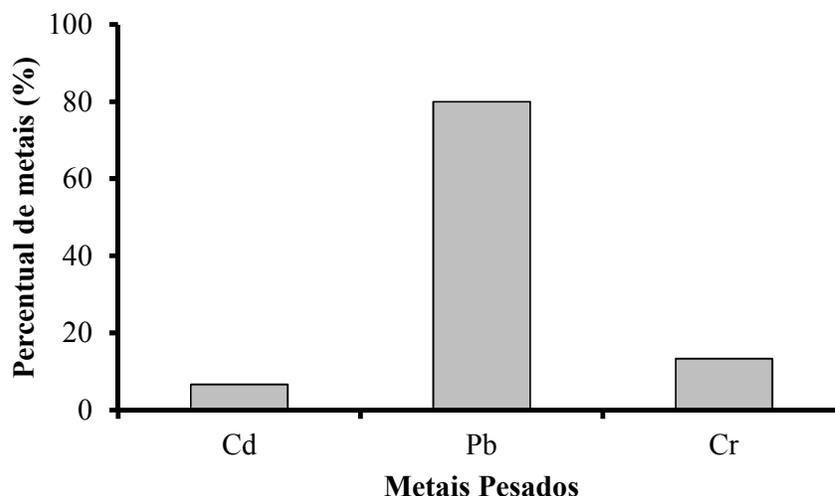
Figura 10. Proporção de micronutrientes no efluente tratado (ERU).



Com relação aos metais pesados Cd, Pb e Cr, os valores médios obtidos em ERU foram 0,01, 0,12 e 0,02 mg L⁻¹, respectivamente (Tabela 7), valores esses inferiores aos limites de 0,2 mg L⁻¹ de Cd, 0,5 mg L⁻¹ de Pb e 1,0 mg L⁻¹ propostos na Resolução CONAMA n° 430/2011 (BRASIL, 2011), voltada para o lançamento de efluentes tratados em corpos hídricos.

Na Figura 11 constam as proporções de alguns dos metais pesados presentes no efluente tratado (ERU).

Figura 11. Proporcionalidade dos metais pesados do efluente (ERU).



Pode-se observar, na Figura 11, que o Pb é o metal pesado com a maior proporção no efluente tratado. Esta elevada concentração de Pb pode ser atribuída a presença de alimentos que apresentam pequenas quantidades de Pb, como também os utensílios usados para cozinhar a comida, principalmente se os alimentos apresentarem propriedades ácidas que podem trazer riscos de contaminação WHO (2006a,b,c). Além disso, o teor de Pb no efluente pode ser proveniente dos produtos de higiene, alimentos ou cosméticos. Paoliello (2001) em seus resultados mostrou que o Pb pode ser encontrado associado a compostos orgânicos, podendo aumentar em 60 vezes a concentração de Pb na água. O Pb pode contaminar diversos produtos, no Brasil o Pb é regulamentado para cosméticos e produtos de beleza. Segundo Resolução RDC n° 15/2013 da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) (BRASIL, 2013), o acetato de chumbo $Pb(C_2H_3O_2)_2$ só poderá ser empregada em produtos utilizados como tintura capilar e a concentração máxima expressa em Pb no produto final não poderá ser superior a 0,6%.

4.2.5 Comportamento dos atributos microbiológicos presentes nas amostras de água cinza

Na Tabela 8 estão apresentados os valores e as médias dos atributos microbiológicos das amostras de água cinza coletadas no tanque de equalização (ETE) e no reator ultravioleta artificial (ERU), ao longo do período experimental.

Analisando-se os valores dos atributos microbiológicos no decorrer dos meses em estudo, observou-se elevada remoção do nível populacional, principalmente quando a turbidez (TB) apresentou valores inferiores a 30 UNT. Coliformes totais e *E. coli* quando submetidos a desinfecção por radiação ultravioleta, na maioria dos casos apresentam grande decréscimo populacional, sendo a taxa de inativação bacteriana de *E. coli* é proporcional à dose de radiação (Taghipour, 2004).

Tabela 8. Valores e médias dos atributos microbiológicos das amostras de água cinza coletadas no tanque de equalização (ETE) e no reator ultravioleta artificial (ERU), no período de julho a outubro de 2018, bem como os padrões de comparação e as remoções alcançadas pelo sistema.

Atributos	Unidade	19/07/2018		04/09/2018		02/10/2018		23/10/2018	
		ETE	ERU	ETE	ERU	ETE	ERU	ETE	ERU
CT	NMP 100 mL ⁻¹	5,59x10 ⁷	2,72x10 ⁵	6,5x10 ⁶	3,1x10 ³	6,01x10 ⁶	3,6x10 ⁴	4,2x10 ⁶	1,05x10 ³
<i>E. coli</i>	NMP 100 mL ⁻¹	4,68x10 ⁶	7,28x10 ³	1x10 ⁵	<1	3,92x10 ⁵	1x10 ²	9,3x10 ⁴	<1
Atributos	Unidade	Média e desvio padrão de ECP		Média e desvio padrão de ERU		Padrões		Remoção (log)	
CT	NMP 100 mL ⁻¹	9,78x10 ⁶ ±3,25*		1,34x10 ⁴ ±4,39*		-		2,86	
<i>E. coli</i>	NMP 100 mL ⁻¹	3,61x10 ⁵ ±6,24*		2,92x10 ¹ ±2,60*		10 ³⁽¹⁾		4,09	

Nota: CT – Coliformes totais; *E.Coli* - *Escherichia coli*; NMP – Número mais provável. * Média e desvio padrão geométrico. ⁽¹⁾Resolução COEMA n° 2/2017 (CEARÁ, 2017).

Nota-se que a remoção de coliformes totais foi de 2,86 unidades logarítmicas, quando se compara ETE e ERU; fato esse relacionado à eficiência do reator ultravioleta e, quando neste aumenta-se o número de lâmpadas, a redução nos níveis populacionais de coliformes totais é potencializada, além disso quando trabalhasse com quatro lâmpadas no reator tem-se maior uniformidade da distribuição da radiação na superfície líquida (Bilotta, 2000). De acordo com Souza et al. (2012), quando se trata do mesmo tempo de exposição, a eficiência varia de acordo com número de lâmpadas utilizada no reator.

Segundo Friedler (2004), o crescimento das bactérias entéricas na água cinza é

potencializado pela presença da matéria orgânica de fácil degradação, onde o nível populacional de coliformes termotolerantes pode variar de 10^4 à 10^8 NMP/100 mL⁻¹. Cunha (2018), avaliou o monitoramento de uma estação compacta de tratamento e uso agrícola de água cinza, e observou que o nível populacional de coliformes totais após tratamento apresentou um valor médio de $1,80 \times 10^6$ NMP 100 mL⁻¹, atribuiu-se estes resultados ao tempo de exposição e ao número de lâmpadas.

Ainda em relação aos atributos microbiológicos, verifica-se que houve eficiência na remoção da *E. coli* no efluente tratado, obtendo-se valores remoção de 4,09 unidades logarítmicas. Esse resultado atende ao padrão estabelecido pela Resolução do COEMA nº 2/2017 em seu artigo 39 - inciso I, que estabelece o limite de 1×10^3 NMP 100 mL⁻¹, para reúso externo de efluentes sanitários visando fins agrícolas e florestais. Em relação ao trabalho de Cunha (2018), o presente estudo apresentou maior eficiência de remoção de *E. coli*, pois o número de lâmpadas no reator passou de duas para quatro, e além disso na maior parte do período experimental os níveis de Tb em ERU foram inferiores à 30 UNT.

É importante destacar que a TB interfere na remoção de *E. coli*, pois na primeira coleta a turbidez apresentou valor de 52 UNT e *E. Coli* de $7,28 \times 10^3$ NMP 100 mL⁻¹, nas coletas 2, 3 e 4, em que TB ficou inferior a 30 NTU, sendo 26,4, 15,6 e 8,57 UNT, a eficiência foi bastante acentuada, apresentando valores de <1, 1×10^2 e <1 NMP 100 mL⁻¹, respectivamente. Estudos explicam que a elevada TB presente nas águas, atrelada com a altura da lâmina a ser tratada, pode causar a redução da inativação bacteriana, devido a incapacidade de penetração da radiação no meio líquido, podendo, ainda, facilitar o recrescimento bacteriano. Portanto, recomenda-se que a mesma não exceda 30 NTU para que o microrganismo possa ser atingidos, com maior facilidade, pela radiação ultravioleta (USEPA, 1999; Kehoe et al., 2001; SODIS, 2002; Torrico; Fuentes, 2005; Feitosa et al., 2011).

4.3 Análise estatística dos atributos físicos, químicos, bioquímicos e microbiológicos das amostras de água cinza

Na Tabela 9 está apresentado o resumo da análise de variância e comparação das médias dos atributos físicos, químicos, bioquímico e microbiológicos das amostras dos efluentes coletados no tanque de equalização (ETE) e no reator ultravioleta artificial (ERU).

Tabela 9. Resumo da análise de variância e comparação das médias dos atributos físicos, químicos, bioquímico e microbiológicos das amostras dos efluentes colectados no tanque de equalização (ETE) e no reator ultravioleta artificial (ERU).

Atributos	Unidade	Teste F	Significância	ETE	ERU
T	°C	27,82	0,0019**	28,65b	30,72a
TB	UNT	26,35	0,0022**	767a	26b
ST	mg L ⁻¹	25,35	0,0024**	1812a	719b
SST	mg L ⁻¹	5,54	0,0547*	1321a	38b
CE	dS m ⁻¹	0,83	0,3973 ^{ns}	1,16	1,27
pH	-	2,74	0,1491 ^{ns}	6,90	7,24
DQO	mg L ⁻¹	39,07	0,0008**	721a	34b
DBO	mg L ⁻¹	16,17	0,0069**	2853a	108b
K ⁺	mmol _c L ⁻¹	0,26	0,6309 ^{ns}	0,64	0,69
Na ⁺	mmol _c L ⁻¹	0,01	0,9308 ^{ns}	4,67	4,72
Ca ²⁺	mmol _c L ⁻¹	20,17	0,0041**	1,53b	2,27a
Mg ²⁺	mmol _c L ⁻¹	1,52	0,2634 ^{ns}	0,67	0,46
Cl ⁻	mmol _c L ⁻¹	1,86	0,2219 ^{ns}	5,55	4,45
HCO ₃ ⁻	mmol _c L ⁻¹	4,19	0,0865 ^{ns}	7,45	5,00
RAS	(mmol _c L ⁻¹) ^{0,5}	0,52	0,4982 ^{ns}	4,45	4,10
P	mg L ⁻¹	7,70	0,0322*	0,43a	0,16b
Mn	mg L ⁻¹	1,61	0,2512 ^{ns}	0,10	0,05
Fe	mg L ⁻¹	1,78	0,2306 ^{ns}	0,72	0,34
Ni	mg L ⁻¹	0,18	0,6822 ^{ns}	0,004	0,008
Zn	mg L ⁻¹	5,60	0,0548*	0,09a	0,02b
Cd	mg L ⁻¹	0,31	0,5976 ^{ns}	0,001	0,0005
Pb	mg L ⁻¹	0,73	0,4270 ^{ns}	0,25	0,12
Cr	mg L ⁻¹	1,61	0,2514 ^{ns}	0,001	0,02
CT	NMP 100 mL ⁻¹	22,88	0,0031**	9,78x10 ⁶ a	1,34x10 ⁴ b
<i>E. coli</i>	NMP 100 mL ⁻¹	16,44	0,0067**	3,61x10 ⁵ a	2,92x10 ¹ b

Nota 1: T - Temperatura da água cinza; TB - Turbidez; UNT – Unidade nefelométrica de turbidez; ST - Sólidos totais; SST - Sólidos suspensos totais; CE - Condutividade eléctrica; pH - Potencial hidrogeniônico; DQO - Demanda Química de Oxigênio; DBO - Demanda Bioquímica de Oxigênio; K⁺ - Potássio; Na⁺ - Sódio; Ca²⁺ - Cálcio; Mg²⁺ - Magnésio; Cl⁻ - Cloreto; CO₃²⁻ - Carbonato; HCO₃⁻ - Bicarbonato; RAS – Razão de Adsorção de Sódio; P – Fósforo; Cu - Cobre; Mn Manganês; Fe - Ferro; Ni - Níquel; Zn - Zinco; Cd - Cádmi; Pb - Chumbo; Cr - Cromio; CT - Coliformes totais; e NMP – Número Mais Provável.

Nota 2: ** e * Significativo a 1 e 5% de probabilidade pelo teste F, respectivamente; ^{ns} - Não significativo a 5% de probabilidade pelo teste F.

Nota 3: Médias seguidas de letras iguais, nas colunas, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey à 5% de probabilidade.

Na análise de variância verifica-se que os atributos T, TB, ST, DQO, DBO, Ca²⁺, CT e *E. Coli* foram significativas a 1% de probabilidade pelo teste F. Enquanto, os atributos SST, P e Zn foram significativos a 5% de probabilidade pelo mesmo teste. Já os atributos CE, pH, K⁺, Na⁺, Mg²⁺, Cl⁻, HCO₃⁻, RAS, Mn, Fe, Ni, Cd, Pb, Cr não foram significativos 5% de probabilidade pelo teste F. Em relação ao teste de Tukey, nota-se que os atributos T, TB, ST, SST, DQO, DBO, Ca²⁺, P, Zn, CT e *E. Coli* apresentam diferença estatística quando ETE e ERU são comparados.

Na Tabela 10 está apresentada a correlação de Pearson entre atributos físico-químicos, bioquímico e microbiológicos das amostras de água cinza.

Tabela 10. Correlação de Pearson entre atributos físico-químicos, bioquímico e microbiológicos das amostras de água cinza coletadas no período de julho a outubro de 2018.

Variável 1	Variável 2	Correlação (r)	Classificação da correlação ⁽¹⁾	Significância
<i>E. coli</i>	TB	0,73	Forte (0,61 < r < 0,91)	0,02*
<i>E. coli</i>	SST	0,50	Média (0,31 < r < 0,60)	0,10 ^{ns}
<i>E. coli</i>	ST	0,75	Forte (0,61 < r < 0,91)	0,01**
<i>E. coli</i>	DBO	0,70	Forte (0,61 < r < 0,91)	0,02*
<i>E. coli</i>	DQO	0,86	Forte (0,61 < r < 0,91)	0,01**
CT	TB	0,77	Forte (0,61 < r < 0,91)	0,01**
CT	SST	0,53	Média (0,31 < r < 0,60)	0,09 ^{ns}
CT	ST	0,81	Forte (0,61 < r < 0,91)	0,01**
CT	DBO	0,74	Forte (0,61 < r < 0,91)	0,02*
CT	DQO	0,88	Forte (0,61 < r < 0,91)	0,01**

Nota 1: T - Temperatura da água cinza; TB - Turbidez; ST - Sólidos totais; SST - Sólidos suspensos totais; DQO - Demanda Química de Oxigênio; DBO - Demanda Bioquímica de Oxigênio; e CT - Coliformes totais.

Nota 2: ** e * Significativo a 1 e 5% de probabilidade pelo teste “t” de Student, respectivamente; ^{ns} - Não significativo a 5% de probabilidade pelo teste “t” de Student, respectivamente.

Nota 3: ⁽¹⁾ Classificação da correlação de Pearson proposta por Brito et al. (2003).

O atributo SST não foi significativo pelo teste “t” a 5% de probabilidade, apresentando correlação média, ou seja, não interferindo no decréscimo do nível populacional de CT e *E. Coli*. Entretanto, os atributos TB, ST, DBO e DQO foram significativos a 1 e 5% de probabilidade pelo teste “t” e influenciaram diretamente no decaimento do nível populacional de CT e *E* apresentando ainda correlação classificada como forte.

Nesse sentido, observando os atributos físico-químicos, bioquímico e microbiológicos da água cinza estudada, recomenda-se avaliar o nível de interferência da radiação ultravioleta, na eficiência na inativação de microrganismos, levando em consideração os valores de TB, ST, DBO e DQO; no caso específico do presente trabalho o atributo SST não interferiu de forma significativa no decaimento populacional de CT e *E. Coli*.

5 CONCLUSÕES

1. O sistema de tratamento estudado apresentou remoção superior a 95% para os atributos turbidez, sólidos suspensos totais, Demanda Bioquímica de Oxigênio e Demanda Química de Oxigênio.

2. Com o uso de quatro lâmpadas no reator ultravioleta artificial e tempo de exposição de uma hora, houve remoção de 2,86 e 4,09 unidades logarítmicas nos níveis populacionais de coliformes totais e *E. coli* da água cinza.

3. A análise de correlação de Pearson revelou que os atributos turbidez, sólidos totais, Demanda Bioquímica de Oxigênio e Demanda Química de Oxigênio foram os que mais interferiram no processo de desinfecção de coliformes totais e *E. coli* da água cinza empregando a radiação ultravioleta artificial.

4. A estação compacta possibilitou a geração de efluente que atende aos padrões nacionais e internacionais de reúso agrícola e florestal.

REFERÊNCIAS

- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. 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.
- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 7229. Projeto, construção e operação de sistemas de tanques sépticos. Rio de Janeiro: ABNT, 1993. 15p.
- Abu Ghunmi, L.; Zeeman, G.; van Lier, J.; Fayyad, M. Quantitative and qualitative characteristics of grey water for reuse requirements and treatment alternatives: the case of Jordan. *Water Science and Technology*, v. 58, p. 1385-1396, 2008.
- Almeida, O. A. Qualidade da água de irrigação. 1 ed. Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura, 2010. 227p.
- Alvares, C. A.; Stape, J. L.; Sentelhas, P. C.; Gonçalves, J. L. de M.; Sparovek, G. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, v.22, p. 711-728, 2013.
- Alves, W. W. A.; Dantas Neto, J.; Lima, V. L. A. de. Área foliar do algodoeiro irrigado com água residuária adubado com nitrogênio e fósforo. *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável*, v.4, p.41-46, 2009.
- Apella, M. C.; Araujo, P. Z. Microbiología de agua. Conceptos básicos. In: Posibilidades para la provisión de agua segura usando nuevas tecnologías. Puerto Iguazú: CNEA/SOLAR SAFE WATER, 2005. Cap.2, p.33-50.
- Araújo, L. E.; Sousa, F. A. S.; Ribeiro, M. A. F. M.; Santos, A. S.; Medeiros, P. C. Análise estatística de chuvas intensas na bacia hidrográfica do Rio Paraíba. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 23, p. 162-169, 2008.
- Ayers, R. S.; Westcot, D. W. A qualidade da água na agricultura. Traduzida por Gheyi, H. R.; Medeiros, J. F.; Damasceno, F. A. V. Campina Grande: UFPB, 1999. 153 p. (Estudos FAO 29, 1999).
- Bani-Melhem, K.; Al-Qodah, Z.; Al-Shannag, M.; Qasimeh, A.; Qtaishat, M. R.; Alkasrawi, M. On the performance of real grey water treatment using a submerged membrane bioreactor system. *Journal of Membrane Science*, v. 476, p. 40-49, 2015.
- Bazzarella, B. B. Caracterização e aproveitamento de água cinza para uso não-potável em edificações. Vitória: UFES, 2005. 165p. .Dissertação Mestrado.
- Bilotta, P. Estudo comparativo da ação do ozônio e radiação UV na desinfecção de esgoto sanitário. São Carlos: USP, 2000. 96p. Dissertação Mestrado.
- Bilotta, P.; Daniel, L. A. Utilização de lâmpadas germicidas na desinfecção de esgoto sanitário. *Revista Ambiente & Água*, v. 7, p. 120-129, 2012.
- Bitton, G. Wastewater microbiology. New York: John Wiley & Sons, 1994. 280p.
- Boyjoo, Y.; Pareek, V. K.; Ang, M. A review of greywater characteristics and treatment processes. *Water Science & Technology*. n. 7, p. 1403-1424, 2013.

- Bucks, D. A.; Nakayama, F. S.; Gilbert, R. G. Trickle irrigation water quality and preventive maintenance. *Agricultural Water Management*, v. 2, p. 149-162, 1979.
- BRASIL. Resolução CONAMA Nº 359 de 29 de abril de 2005. Dispõe sobre a regulamentação do teor de fósforo em detergentes em pó para uso em todo o território nacional e dá outras providências. Brasília, Diário Oficial da União, 2005.
- BRASIL. Resolução CONAMA Nº 430 de 13 de maio de 2011. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução nº 357/2005. Brasília, Diário Oficial da União, 2011.
- BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. RESOLUÇÃO RDC nº 15, de 26 de março de 2013. Aprova o Regulamento Técnico “lista de substâncias de uso cosmético: acetato de chumbo, pirogalol, formaldeído e paraformaldeído” e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, 2013.
- BRASIL. 2018. Ministério do Desenvolvimento Regional. Semiárido brasileiro. Brasília: MDR, 2014. Disponível em: < <http://www.integracao.gov.br/semiario-brasileiro>>, Acesso em: 23 dez. 2018.
- Brito, N. M.; Amarante Júnior, O. P.; Polese, L.; Ribeiro, M. L.; R. Pesticidas: Revista de Ecotoxicologia e Meio Ambiente, v.13, p. 129-146, 2003.
- Bunani, S.; Yörükoğlu, E.; Sert, G.; Yüksel, Ü.; Yüksel, M.; Kabay, N. Application of nanofiltration for reuse of municipal wastewater and quality analysis of product water. *Desalination*, v. 315, p. 33-36, 2013.
- Capra, A.; Scicolone, B. Water quality and distribution uniformity in drip/trickle irrigation systems. *Journal of Agricultural Engineering Research*, v.70, p.355-365, 1998.
- Catani, R.A.; Pellegrino, D.; Bittencourt, V. C.; Jacintho, A. O.; Graner, C. A. F. A concentração e a quantidade de micronutrientes e de alumínio no cafeeiro, *Coffea arabica*, L., variedade mundo novo (B.Rodr.) Choussy, aos dez anos de idade. *Anais da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz*, v. 24, p. 97-106, 1967.
- CEARÁ. Resolução COEMA Nº 2 de 2 de fevereiro de 2017. Dispõe sobre padrões e condições para lançamento de efluentes líquidos gerados por fontes poluidoras, revoga as Portarias SEMACE nº 154, de 22 de julho de 2002 e nº 111, de 05 de abril de 2011, e altera a Portaria SEMACE nº 151, de 21 de fevereiro de 2017. Diário Oficial do Estado do Ceará, Fortaleza, 2002.
- CETESB. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. Águas interiores: o problema da escassez de água no mundo. São Paulo: CETESB, 2019. Disponível em: < <https://cetesb.sp.gov.br/aguas-interiores/informacoes-basicas/tpos-de-agua/o-problema-da-escassez-de-agua-no-mundo/>> Acesso em: 12 jan. 2019.
- Chhabra, R. Soil salinity and water Quality. Rotterdam: Old Post Road, 1996. 284 p.
- Cunha, M. E. Monitoramento e avaliação socioambiental de sistema compacto para tratamento e uso agrícola de água cinza. Mossoró: UFERSA, 2018. 88p. Dissertação Mestrado.

- 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.
- Derisio, J. C. *Introdução ao controle de poluição ambiental*. 4.ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2012. 223p.
- Dias, N. S.; Blanco, F. F. Efeitos dos sais no solo e na planta. In: Gheyi, H. R.; Dias, N. da Silva; Lacerda, C. F. de (Ed.). *Manejo da salinidade na agricultura: Estudos básicos e aplicados*. Fortaleza: INCTSal, 2010, p. 133-144.
- Díaz, P.; Stanek, P.; Frantzeskaki, N.; Yeh, D. H. Shifting paradigms, changing waters: Transitioning to integrated urban water management in the coastal city of Dunedin, USA. *Sustainable Cities and Society*, v. 26, p. 555-567, 2016.
- Donner, E.; Eriksson, E.; Revitt, D. M.; Scholes, L.; Holten Lützhøft, H. C.; Ledin, A. Presence and fate of priority substances in domestic greywater treatment and reuse systems. *Science of the Total Environment*, v. 408, p. 2444–2451, 2010.
- Eriksson, E.; Auffarth, K.; Henze, M; Ledin, A. Characteristics of grey water. *Urban Water*, v. 4, p. 85-104, 2002.
- Feigin, A.; Ravina, I.; Shalhevet, J. *Irrigation with treated sewage effluent: management for environmental protection*. Berlin: Springer-Verlag, 1991. 224p.
- 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*, v. 8, p. 196-206, 2011.
- Feitosa, A. P. Avaliação de sistema de tratamento da água cinza e reúso da água no semiárido brasileiro. Mossoró: UFERSA, 2016. 94p.. Tese de Doutorado.
- Feltre, R.. *Química*. 6.ed. São Paulo: Ed. Moderna, 2004. 225p..
- Friedler, E. Quality of individual domestic greywater streams and its implication for onsite treatment and reuse possibilities. *Environmental Technology*, v. 25, p. 997-1008, 2004.
- Galarça, S. P.; Lima, C. M.; Silveira, G.; Rufato, A. De R. Correlação de Pearson e análise de trilha identificando variáveis para caracterizar porta-enxerto de *Pyrus communis* L. *Ciência e Agrotecnologia*, v. 34, p. 860-869, 2010.
- Gilboa Y.; Friedler E. UV disinfection of RBC-treated light greywater effluent: kinetics, survival and regrowth of selected microorganisms. *Water Research*, v. 42, p.1043–1050, 2008.
- Guimarães, A. J. A.; Carvalho, D. F. de; Silva, L. D. B. da. *Saneamento básico*. Seropélica: IT/DE/UFRRJ., 2007. 9 p. (Apostila do Instituto de Tecnologia/Departamento de Engenharia – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro).

- Grey, S. R.; Becker, N. S. C. Contaminant flows in urban residential water system. *Urban Water*. v. 4, p. 331-346, 2002.
- 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.
- Halalsheh, M.; Dalahmeh, S.; Sayed, M.; Suleiman, W.; Shareef, M.; Mansour, M.; Safi, M. Grey water characteristics and treatment options for rural areas in Jordan. *Bioresource Technology*, v. 99, p. 6635-6641, 2008.
- Jacobi, P. R.; Grandisoli, E. *Água e sustentabilidade: desafios, perspectivas e soluções*. 1.ed. São Paulo: IEE-USP e Reconnecta, 2017. 110 p.
- Jefferson, B. A.; Palmer, P.; Jeffrey, R.; Stuetz, S.; Judd, S. Grey water characterisation and its impact on the selection and operation of technologies for urban reuse. *Water Science and Technology*, v. 50, (p. 157-164, 2004.
- Jiménez, B; Asano, T. Water reclamation and reuse around the world. In: Jiménez, B; Asano, T. (eds). *Water reuse: an international survey of current practice, issues and needs*. London: IWA Publishing, 2008. 648p.
- Jordão, E. P.; Pessôa, C. A. *Tratamento de esgotos domésticos*. 6. ed. Rio de Janeiro: ABES, 2011. 1050 p.
- Kehoe, S. C.; Joyce, T. M.; Ibrahim, P.; Gillespie, J. B.; Shahar, R. A.; McGuigan, K. G. Effect of agitation, turbidity, aluminium foil reflectors and container volume on the inactivation efficiency of batch-process solar disinfectors. *Water Research*, v. 35, p. 1061-1065, 2001.
- Letey, J.; Hoffman, G. J.; Hopmans, J. W.; Grattan, S. R.; Suarez, D.; Corwin, D. L.; Oster, J. D.; Wu, L.; Amrhein, C. Evaluation of soil salinity leaching requirement guidelines. *Agricultural Water Management*, v. 98, p. 502-506, 2011.
- Li, F.; Wichmann, K.; Otterpohl, R. Review of the technological approaches for grey water treatment and reuses. *Science of the Total Environment*, v. 407, p. 3439–3449, 2009.
- Lins, G. A. *Impactos ambientais em estações de tratamento de esgotos (ETEs)*. Rio de Janeiro: UFRJ, 2010. 285p.
- Lopes, H. S. S. *Tecnologias limpas aplicadas ao tratamento de águas residuárias domésticas para reúso no semiárido*. Mossoró: UFERSA, 2012. 105p.. Dissertação Mestrado.
- Matos, A. T. *Disposição de águas residuárias no solo*. Caderno didático. Viçosa: AEAGRI/DEA/UFV, 2007. 142p.
- Medeiros, J. F.; Lisboa, R. A.; Oliveira, M. Silva Júnior, M. J.; Alves, L. P. Caracterização das águas subterrâneas usadas para irrigação na área produtora de melão da Chapada do Apodi. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.7, p.46-472, 2003.
- Medeiros, S. S.; Salcedo, I. H.; Santos, D. B.; Batista, R. O.; Santos Júnior, J. A.; Lima, R. C. C.; Marin, A. M. P. *Esgotamento sanitário: panorama para o semiárido brasileiro*.

Campina Grande: INSA, 2014. 63p.

Oliveira, P. C. P. de; Gloaguen, T. V.; Gonçalves, R. A. B.; Santos, D. L. Produção de moranga irrigada com esgoto doméstico tratado. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.17, p.861–867, 2013.

ONU. Organização das Nações Unidas. Water. Disponível em:<
<http://www.un.org/en/sections/issues-depth/water/index.html>.> Acesso em: 24 dez. 2018.

Oron, G.; Adel, M.; Agmon, V.; Friedler, E.; Halperin, R.; Leshem, E.; Weinberg, D. Greywater use in Israel and worldwide: standards and prospects. *Water Research*, v. 58, p. 92–101, 2014.

Osório, V. K. L; Oliveira, W. Polifosfatos em detergentes em pó comerciais. *Química Nova* – v. 24, p. 700-708, 2001.

Otterpohl, R. Black, brown, yellow, grey- the new colors of sanitation. *Magazine of the International Water Association*, Water, v. 1, p. 37-41, 2001.

Ottosson, J. Hygiene aspects of greywater and greywater reuse. Stockholm: KTH, 2003. 50p. Licentiate thesis.

Paoliello, M. M. B.; Chasin, A. A. M. Ecotoxicologia do chumbo e seus compostos. Salvador: CRA, 2001. 144 p. (Cadernos de Referencia Ambiental, 003)..

Peruzzo, T. M.; Canto, E. L. do. *Química*. São Paulo: Ed. Moderna, 1999. p 319-320.

Pescod, M. B. *Wastewater Treatment and Use in Agriculture*. Rome: FAO, 1992. 125p.

Pidou, M.; Memon, .F. A.; Stephenson, T.; Jeffrey, P.; Jefferson, B. Greywater recycling: treatment options and applications. *Engineering Sustainability*, v. 160, p. 119-131, 2007.

Porto, M. F. A.; Branco, S. M.; De Luca, S. J. Caracterização da qualidade da água. In: Porto, R. L. L. (ed.). *Hidrologia ambiental*. São Paulo: Editora da USP/ABRH, 1991. p. 27-66.

Queluz, J. G. T.; Alves, T. R.; Sánchez-Román, R. M. Desinfecção solar: uma solução de baixo custo para o tratamento de águas residuárias. *Brazilian Journal of Biosystems Engineering*, v. 8, p. 199-208, 2014.

Queluz, J. G. T.; Nicolete, D. A. P.; Alves, T. R.; Sánchez-Román, R. M. Estimativa do tempo de exposição à radiação solar para desinfecção de águas residuárias domésticas. *Scientia Plena*, v. 11, p. 1-6, 2015.

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.

Richter, C. A.; Azevedo Netto, J. M. de *Tratamento de água: tecnologia atualizada*. São Paulo: Blucher, 1991. 332 p.

Sawyer, C. N.; Mccarty, P. L. *Chemistry for Environmental Engineering*. 3.ed. New York: McGraw-Hill Book Co, 1978.

- Seager, S. L.; Slabaugh, M. R. Chemistry for today : general, organic and biochemistry; 9.ed. Boston: CENGAGE Learning,, 2016. 904p.
- Silva, F. C. Manual de análises químicas de solos, planta e fertilizantes. 2. ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2009. 627p.
- Silva, José L. de A.; Medeiros, J. F.; Alves, S. S. V.; Oliveira, F. de A. De; Silva Junior, M. J. da; Nascimento, I. B. do. Uso de águas salinas como alternativa na irrigação e produção de forragem no semiárido nordestino. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.18, p.66–72, 2014.
- SODIS. Solar water disinfection: a guide for the application of SODIS. Dübendorf: EAWAG/SANDEC Regula Meierhofer, 2002. 88p. (SANDEC Report nº. 06/2002).
- Souza, J. B.; Vidal, C. M. S.; Cavallini, G. S.; Quartaroli, L.; Marcon, L. R. C. Avaliação do emprego da radiação ultravioleta na desinfecção de esgoto sanitário. Semina: Ciências Exatas e Tecnológicas, v. 33, p. 117-126, 2012.
- SWH. Swedish Water House. Securing water for ecosystems and human well-being: the importance of environmental flows. Stockholm: SIWI, 2009. 52p.
- Torrico, A; Fuentes, I. Influencia de los parâmetros físicos en la inactivación de coliformes termotolerantes por lá desinfección solar del agua y evaluación del potencial de sodis em Cochabamba y Bolivia. In: Alha, O. C. Desinfección solar del agua, de la investigación a la aplicación. Centro de Aguas y Saneamiento Ambiental – Facultad de Ciencias y Tecnología, v.1, p. 45-55, 2005.
- USEPA. United States Environmental Protection Agency. Alternative disinfectants and oxidants guidance manual. Washington: USEPA, 1999. 346p.
- USEPA. United States Environmental Protection Agency. Guidelines for water reuse. Washington: USEPA, 2004. 480p.
- USEPA. United States Environmental Protection Agency. Guidelines for water reuse . Washington: USEPA, 2012. 643p.
- van Der Bruggen, B. The global water recycling situation. Sustainability Science and Engineering, v. 2, p. 41-62, 2010.
- Vieira, V. P. P. B.; Gondim Filho, J. G. C. Água no Semi-Árido. In: Rebouças, A. da C; Braga, B.; Tundisi, J. G. Águas Doces no Brasil; capital ecológico, uso e conservação. 3.ed. São Paulo: Escrituras Editora, 2006. p. 481-540.
- von Sperling, M. Coliformes e pH – médias aritméticas, médias geométricas e medianas. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 21, 2001, João Pessoa. Anais... João Pessoa: ABES, 2001. CDRom.
- von Sperling, M. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. 4.ed. Belo Horizonte: UFMG, 2014. 452p. (Princípios do tratamento biológico de águas residuárias, v. 1.
- Wang, X. C.; Zhang, C.; Ma, X.; Luo, L. Water cycle management: a new paradigm of

- wastewater reuse and safety control. New York: Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2015. 98p.
- WEF. Water Environment Federation. Wastewater disinfection: manual of practice. Alexandria: WEF, 1996. 230 p.
- WHO. World Health Organization. Guidelines for the safe use of wastewater, excreta and greywater: policy and regulatory aspects (Vol.1). Geneva: WHO, 2006a. 100p.
- WHO. World Health Organization. Guidelines for the safe use of wastewater, excreta and greywater: wastewater use in agriculture (Vol.2). Geneva: WHO, 2006b. 196p.
- WHO. World Health Organization. Guidelines for the safe use of wastewater, excreta and greywater: excreta and greywater use in agriculture (Vol.4). Geneva:WHO, 2006c. 182 p.
- Yu, Z. L. T.; Bill, B. R.; Stenstrom, M. K.; Cohen, Y. Feasibility of a semi-batch vertical-flow wetland for onsite residential graywater treatment. *Ecological Engineering*, v. 82, p. 311-322, 2015.
- Yu, Z .L.; Rahardianto, A.; DeShazo, J.; Stenstrom, M.K.; Cohen, Y. Critical review: regulatory incentives and impediments for onsite graywater reuse in the United States. *Water Environment Research*,, v.85, p. 650–662, 2013.
- Zabrocki, L.; Santos, D. C. Caracterização da água cinza em edifícios residenciais. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 23, 2005, Campo Grande. Anais... Campo Grande: ABES, 2005. p. 112 – 112.
- 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.