

**ANTONIO MAGNO DOS SANTOS SOUZA**

**FERTIRRIGAÇÃO DA ALFACE COM ESGOTO DOMÉSTICO TRATADO COM  
BIOCARVÃO DE BAGAÇO DE LARANJA**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

Orientador: Fernando França da Cunha

Coorientador: Gregório Guirado Faccioli

**VIÇOSA - MINAS GERAIS  
2022**

**Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central da Universidade  
Federal de Viçosa - Campus Viçosa**

T

S729f Souza, Antonio Magno dos Santos, 1993-  
2022 Fertirrigação da alface com esgoto doméstico tratado com  
biocarvão de bagaço de laranja / Antonio Magno dos Santos  
Souza. – Viçosa, MG, 2022.

1 dissertação eletrônica (88 f.): il. (algumas color.).

Orientador: Fernando França da Cunha.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa,  
Departamento de Engenharia Agrícola, 2022.

Referências bibliográficas: f. 72-88.

DOI: <https://doi.org/10.47328/ufvbbt.2022.236>

Modo de acesso: World Wide Web.

1. Irrigação com águas residuais. 2. Déficit hídrico. 3. Água  
- Reuso. 4. Águas residuais - Legislação. 5. Biochar. I. Cunha,  
Fernando França da, 1980-. II. Universidade Federal de Viçosa.  
Departamento de Engenharia Agrícola. Programa de  
Pós-Graduação em Engenharia Agrícola. III. Título.

CDD 22. ed. 628.3623

Bibliotecário(a) responsável: Bruna Silva CRB6/2552

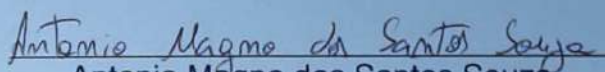
**ANTONIO MAGNO DOS SANTOS SOUZA**

**FERTIRRIGAÇÃO DA ALFACE COM ESGOTO DOMÉSTICO TRATADO COM  
BIOCARVÃO DE BAGAÇO DE LARANJA**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

APROVADA: 25 de fevereiro de 2022.

Assentimento:

  
Antonio Magno dos Santos Souza  
Autor

  
Fernando França da Cunha  
Orientador

*Em memória de Evanildes Terezinha dos Santos Kunkel.*

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus.

Aos meus pais, Inês e Cícero, pelo carinho, dedicação e assistência, sem vocês, não conseguiria.

À Paloma Rocha, por todo amor, paciência, apoio e compreensão.

Ao Marcos Felipe, pelo suporte na pesquisa.

Ao Professor Fernando França da Cunha, pela confiança, conselhos, lições e todo suporte.

Ao Professor Gregório Guirado Faccioli, pelo suporte, disponibilidade e exemplos como humano e como profissional.

Ao Fabiano Santos Santana, essencial durante toda condução do experimento, principalmente quando estive internado devido às complicações da covid-19.

À Mariza Rios, pelo carinho e atenção.

À Ketylen, Thaís, Wandson, e Samuel, pela contribuição no experimento.

Aos amigos que contribuíram de alguma forma para este trabalho, seja por resenhas, debates ou apoio.

À Universidade Federal de Viçosa, pela oportunidade de realizar a pós-graduação.

À Universidade Federal de Sergipe, pelo espaço cedido para o desenvolvimento da pesquisa.

Ao CLQM (Centro de Laboratórios de Química Multiusuários) da Universidade Federal de Sergipe pelo suporte às análises.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa de estudos.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

*“Quando lutamos por nossas águas lutamos por algo muito importante, que é a qualidade da nossa vida. Lutamos, na verdade, por nossa cidadania”.*

(Movimento de Organização Comunitária - MOC)

## RESUMO

SOUZA, Antonio Magno dos Santos, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, fevereiro de 2022. **Fertirrigação da alface com esgoto doméstico tratado com biocarvão de bagaço de laranja**. Orientador: Fernando França da Cunha. Coorientador: Gregório Guirado Faccioli.

A escassez hídrica do planeta vem fomentando debates e pesquisas na busca de alternativas para o enfrentamento ou mitigação do problema. A utilização de água residuária tratada na agricultura irrigada se revela uma opção viável, por apresentar resultados expressivos em relação ao consumo da água, produtividade das culturas e economia de fertilizantes químicos. Porém, a presença dos microrganismos patogênicos neste tipo de fonte hídrica é apontada pelos órgãos competentes, como um risco de saúde pública. Objetivou-se com a realização do presente trabalho estudar a capacidade de adsorção do biocarvão do bagaço da laranja, aplicando seus benefícios na agricultura irrigada. Para isso foi desenvolvido um sistema de tratamento terciário de baixo custo a partir do biocarvão. Objetivou-se também comparar os atributos físico-químicos e microbiológicos da água de irrigação com os limites estabelecidos pela legislação. Verificou-se o impacto da água residuária proveniente do sistema de filtragem no solo e nas características agrônômicas e biológicas na cultura da alface. O biocarvão foi produzido em mufla e caracterizado por termogravimetria e microscopia eletrônica de varredura (MEV). O experimento foi conduzido em ambiente protegido, localizado na Universidade Federal de Sergipe. As lâminas de irrigação foram obtidas em função da evapotranspiração da cultura, utilizando o método direto. O delineamento experimental foi em blocos casualizados, no arranjo fatorial 5 (lâminas de irrigação) x 5 (combinações de fontes hídricas e adubação), com três repetições. As características agrônômicas analisadas foram a matéria fresca e seca, o número de folhas e a produtividade do uso da água. As características microbiológicas analisadas da cultura foram *Salmonella sp.* e Coliformes a 45 °C. Foi possível concluir que a utilização do biocarvão, como material filtrante, melhorou a qualidade microbiológica da água residuária. As fontes hídricas utilizadas na irrigação não promoveram alterações na salinidade do solo, considerando o período experimental utilizado. A fertirrigação utilizando água residuária que passou pelo sistema filtrante afetou positivamente as características agrônômicas da alface, sem a necessidade da adubação de cobertura. As folhas das

alfaces produzidas no experimento foram aceitáveis para o consumo humano, de acordo com os padrões da Resolução-RDC nº 12, de 2 de janeiro de 2001, da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA).

Palavras-chave: Escassez hídrica. Reúso de água. Legislação de águas residuárias. Biochar.

## ABSTRACT

SOUZA, Antonio Magno dos Santos, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, February, 2022. **Lettuce fertigation with domestic sewage treated with orange pomace biochar**. Adviser: Fernando França da Cunha. Co-advisers: Gregório Guirado Faccioli.

The planet's water scarcity has been provoking debates and research in the search for alternatives to face or mitigate the problem. The use of treated wastewater in irrigated agriculture proves to be a viable option, for presenting significant results in relation to water consumption, crop productivity and economy of chemical fertilizers. However, the presence of pathogenic microorganisms in this type of water source is pointed out by Organs competent bodies as a public health risk. The purpose of the present work was to study the adsorption capacity of orange bagasse biochar, applying for its benefits in irrigated agriculture. For this, a low-cost tertiary treatment system was developed using biochar. It also aimed to compare the physical-chemical and microbiological attributes of irrigation water with the limits established by legislation. Check the impact on the soil caused by the effluent that passed through the filtering system. And to characterize the agronomic and biological influence in the culture of lettuce irrigated with wastewater from the filtration system. The biochar was produced in a muffle and characterized by thermogravimetry and scanning electron microscopy (SEM). The experiment was conducted in a protected environment, located at the Federal University of Sergipe. Irrigation blades were obtained as a function of crop evapotranspiration, using the direct method. The experimental design was in randomized blocks, in the factorial arrangement 5 (irrigation blades) x 5 (combinations of water sources and fertilization), with three repetitions. The agronomic characteristics analyzed were fresh matter, dry matter, the number of leaves, and the productivity of water use. The characteristics of microbiological analyzed of the culture were Salmonella sp. and Coliforms at 45 °C. It was possible to conclude that the use of biochar as a filter material improved the microbiological quality of wastewater. The water sources used in irrigation did not promote changes in soil salinity, considering the experimental period used. Fertigation using wastewater that passed through the filtering system positively affected the agronomic characteristics of lettuce, without the need for top dressing. The lettuce leaves produced in the experiment were acceptable

for human consumption, following the standards of Resolution-RDC nº 12, of January 2, 2001, of the National Health Surveillance Agency (ANVISA).

Keywords: Water scarcity. Water reuse. Wastewater legislation. Biochar.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

<b>Figura 1</b> - Preparo do biocarvão: (A) bagaço de laranja espalhado em bancadas e exposto à luz solar; (B) desidratado e acondicionado em bandejas na estufa; (C) processo de moagem do bagaço; (D) o bagaço moído; (E) cadinhos de porcelana dispostos em mufla e (F) biocarvão produzido.....	30
<b>Figura 2</b> - Caracterização do biocarvão: (A) microscópio eletrônico de varredura; (B) material pronto para ser analisado pelo MEV; (C) equipamento de análise termogravimétrica; (D) balança do equipamento.....	32
<b>Figura 3</b> - Mapa de localização do experimento. ....	34
<b>Figura 4</b> – Localização e procedimentos: (A) ambiente protegido; (B) limpeza da cobertura e (C) limpeza da parte lateral. ....	35
<b>Figura 5</b> - Fontes hídricas: (A) tomada de água localizada dentro do ambiente protegido; (B) estação de tratamento de Esgoto localizada no bairro Rosa Elze.....	36
<b>Figura 6</b> - Esquema de distribuição dos vasos no interior do ambiente protegido....	37
<b>Figura 7</b> - Unidade de pré-tratamento da ETE.....	38
<b>Figura 8</b> - Sistemas filtrantes: (A) teste dos sistemas filtrantes para utilização no experimento; (B) sistema filtrante utilizado no pós-tratamento da água residuária doméstica; (C) estrutura utilizada no pós-tratamento do efluente doméstico. ....	39
<b>Figura 9</b> - Procedimentos: (A) transplântio das mudas para os vasos; (B) desbaste das mudas.....	42
<b>Figura 10</b> - Amostras da alface preparadas para serem levadas ao laboratório de microbiologia do ITPS. ....	43
<b>Figura 11</b> - Estimativa da demanda hídrica: (A) procedimento de pesagem dos vasos; (B) plantas utilizadas no ajuste de cálculo da demanda hídrica; (C) procedimento de pesagem da planta.....	44
<b>Figura 12</b> - Coleta das fontes hídricas: (A) coleta da água residuária tratada; (B) coleta da água residuária tratada; (C) água residuária tratada foi coletada para irrigação da alface.....	46
<b>Figura 13</b> - Amostras condicionadas em recipientes padronizados.....	47
<b>Figura 14</b> - Médias dos parâmetros dos três sistemas filtrantes e comparativo com a Resolução CONAMA: (A) valores de pH; (B) valores de oxigênio dissolvido (OD)...	48
<b>Figura 15</b> - Valores físico-químicos das fontes hídricas: (A) demanda bioquímica de oxigênio (DBO); (B) ferro total; (C) fósforo total; (D) oxigênio dissolvido (OD).....	50

<b>Figura 16</b> - Valores de coliformes totais presentes em diferentes fontes hídricas....	52
<b>Figura 17</b> - Valores das fontes hídricas e os valores limites quanto ao perigo de salinização e sodificação do solo: (A) condutividade elétrica (CE) e (B) razão de adsorção de sódio (RAS). .....	53
<b>Figura 18</b> - Massa fresca (A) e seca (B) da parte aérea da alface cultivada no ciclo 1 e número de folhas no primeiro (C) e segundo (D) ciclos de cultivos em função de diferentes lâminas de água .....	62
<b>Figura 19</b> - Massa fresca (A) e seca (B) da parte aérea e produtividade do uso da água (C) da alface em função de diferentes lâminas de água e cultivada no ciclo 2	63
<b>Figura 20</b> - Registro das características microestruturais do biocarvão <i>in natura</i> . ...	67
<b>Figura 21</b> - Registro das características microestruturais do biocarvão pós utilização como elemento filtrante. ....	68
<b>Figura 22</b> - Termogravimetria do biocarvão <i>in natura</i> .....	70
<b>Figura 23</b> - Termogravimetria do biocarvão pós utilização como elemento filtrante.	70

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1</b> – Definição e classificação dos corpos de água estabelecida pela resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005.....	29
<b>Tabela 2</b> - Características físicas da ETE.....	38
<b>Tabela 3</b> - Resumo da análise de variância e valores médios das características químicas do solo em função de diferentes fontes hídricas e fertilizantes.....	55
<b>Tabela 4</b> - Valores médios de massa fresca da parte aérea, massa seca da parte aérea, número de folhas, produtividade do uso da água. ....	59
<b>Tabela 5</b> - Resultados das análises microbiológicas da cultura da alface realizadas nos dois ciclos.....	65
<b>Tabela 6</b> - Faixas de temperaturas e etapas no processo de pirólise da biomassa..	69

## LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas.
ANVISA	Agência Nacional de Vigilância Sanitária.
ANOVA	Análise de variância.
BSE	Elétrons Retroespalhados.
Cc	Capacidade de campo.
CE	Condutividade Elétrica.
CLQM	Centro de Laboratório de Química Multiusuários.
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente.
CTC	Capacidade de troca catiônica.
DBC	Delineamento em blocos casualizados.
DBO	Demanda bioquímica de oxigênio.
DEA	Departamento de Engenharia Agrônoma.
DESO	Companhia de Saneamento Básico de Sergipe.
ETc	Evapotranspiração da cultura.
ETE	Estação de tratamento de Esgoto.
IEC	International Electrotechnical Commission.
ISO	International Organization of Standardization.
ITPS	Instituto Tecnológico e de Pesquisas do Estado de Sergipe.
MEV	Microscopia eletrônica de varredura.
MF	Massa fresca.
MS	Massa seca.
NBR	Norma Brasileira.
NMP	Número de mais provável.
O	Oeste.
ONU	Organização das Nações Unidas.
POA's	Processos oxidativos avançados.
Pm	Ponto de murcha permanente.
PST	Percentual de sódio trocável.
QUIMTEC	Empresa Júnior de Química Bacharelado e Licenciatura da UFS.
RAS	Relação de adsorção de sódio.
RDC	Resolução da Diretoria Colegiada.
SB	Soma de bases trocáveis.

SE	Sergipe.
S	Sul.
TGA	Curva termogravimétrica.
DrTGA	Deriva da curva termogravimétrica.
UFS	Universidade Federal de Sergipe.
UFV	Universidade Federal de Viçosa.
V	Índice de saturação de bases.

## LISTA DE SÍMBOLOS

$\Delta$	Delta.
$^{\circ}$	Grau.
$^{\circ}\text{C}$	Grau Celsius.
$>$	Maior que.
$<$	Menor que.
$\hat{y}$	Média.
'	Minuto.
%	Porcentagem.
"	Segundo.
+	Sinal de adição.
x	Sinal de multiplicação.

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO .....	18
2. REVISÃO DE LITERATURA .....	20
2.1. ÁGUA NO MUNDO .....	20
2.2. AGRICULTURA IRRIGADA .....	21
2.3. REÚSO AGRÍCOLA DE ÁGUAS RESIDUÁRIAS .....	22
2.4. QUALIDADE DA ÁGUA RESIDUÁRIA.....	23
2.5. LAGOAS DE ESTABILIZAÇÃO DE RESÍDUOS.....	25
2.6. REMOÇÃO/DEGRADAÇÃO DE CONTAMINANTES .....	26
2.7. BIOCARVÃO.....	26
2.8. BAGAÇO DA LARANJA.....	27
2.9. LEGISLAÇÃO .....	27
3. MATERIAL E MÉTODOS .....	30
3.1. BIOCARVÃO.....	30
3.1.1. Produção do biocarvão .....	30
3.1.2. Caracterização do biocarvão .....	31
3.2. ENSAIO EXPERIMENTAL.....	33
3.2.1. Localização e caracterização da área experimental .....	34
3.2.2. Fontes hídricas .....	36
3.2.3. Delineamento experimental .....	37
3.2.4. Caracterização da ETE.....	37
3.2.5. Montagem do sistema filtrante.....	38
3.2.6. Solo.....	40
3.2.7. Cultura .....	41
3.2.8. Estimativa da demanda hídrica.....	43
3.2.9. Caracterização climática.....	45
3.2.10. Coleta das fontes hídricas para irrigação.....	45
3.2.11. Análises das fontes hídricas .....	46
3.2.12. Análise estatística .....	47
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	48
4.1. SISTEMA FILTRANTE .....	48
4.2. AVALIAÇÃO DAS FONTES HÍDRICAS PARA USO NA IRRIGAÇÃO .....	49
4.3. CARACTERÍSTICAS DO SOLO .....	55
4.4. CARACTERÍSTICAS AGRONÔMICAS DA ALFACE .....	57

4.5. CARACTERÍSTICAS MICROBIOLÓGICAS DA ALFACE.....	64
4.6. CARACTERIZAÇÃO DO BIOCARVÃO.....	66
4.6.1. Análises MEV .....	66
4.6.2. Análises termogravimétricas.....	68
5. CONCLUSÕES .....	71
REFERÊNCIAS.....	72

## 1. INTRODUÇÃO

A água é um recurso natural indispensável para a sobrevivência e o desenvolvimento humano. Também desempenha um papel importante na garantia da produção agrícola, segurança alimentar e sustentabilidade do ambiente ecológico (HARKEN et al., 2019; LIU et al., 2019). O desenvolvimento da agricultura e o uso de novas tecnologias para a ampliação da produtividade são altamente dependentes da disponibilidade dos recursos hídricos (MENG et al., 2016). Vale salientar que a agricultura é a atividade que consome a maior quantidade de água.

A agricultura irrigada é responsável por utilizar quase 70% de toda a água doce consumida no planeta (FAO, 2017). Até 2030 esse valor deve aumentar cerca de 15% (UNITED NATIONS, 2017; WORLD BANK, 2017), intensificando ainda mais as crises hídricas e os conflitos pela apropriação e uso da água, especialmente nas regiões áridas e semiáridas.

Os cultivos agrícolas sofrem uma grande influência da disposição destes recursos hídricos, já que seu desenvolvimento é fortemente dependente das condições de umidade do solo. O reabastecimento da água do solo por sistemas de irrigação é um fator decisivo para o sucesso da horticultura. A aplicação adequada da lâmina de irrigação promove ganho de produtividade e qualidade (MAROUELLI, SILVA e SILVA, 1996; SILVA e QUEIROZ, 2013).

Dentre as hortaliças de interesse, a alface (*Lactuca sativa*) se destaca uma vez que é cultivada e consumida em todo o mundo. Em 2018 a sua produção ultrapassou 27 milhões de toneladas (FAO, 2020b). No Brasil, é o vegetal folhoso mais consumido por ser barato, de fácil comércio e por sua produção ocorrer durante o ano inteiro (CEUPPENS et al., 2014; MOURA et al., 2016).

O uso de águas residuárias na agricultura irrigada vem ganhando força em todo o mundo. Seu emprego como técnica econômica de gerenciamento de recursos hídricos tem se revelado ambientalmente adequada para lidar com a crescente poluição e demanda de água doce (EGBUIKWEM, MIERZWA e SAROJ, 2020). Sustentando esta ideia, o estudo feito por Urbano et al. (2017) indicou que a utilização desta fonte hídrica para irrigação de uma cultura de ciclo curto, como alface, pode ser uma alternativa para economizar água potável em tempos de escassez deste recurso. Além do benefício adicional de aumentar a produtividade e melhorar a fertilidade do solo.

Nagarajan et al. (2020) corroboram que as águas residuárias são uma fonte abundante de nutrientes a ser recuperada e reutilizada. Além disso, as águas residuárias são ricas em formas orgânicas/inorgânicas de carbono, nitrogênio e fósforo. Cabe destacar que, deve-se promover sempre um tratamento apropriado do efluente a ser utilizado, escolha e manejo adequado do sistema de irrigação, restrição do tipo de cultura a ser irrigada e cuidados na colheita, transporte e manuseio (CARVALHO et al., 2013).

Entre as preocupações com a irrigação usando águas residuárias tratadas, estão os riscos à qualidade do solo e ao desenvolvimento da cultura (URBANO et al., 2015). Nunes-Carvalho et al. (2020) alertam que a presença de contaminação fecal na água de irrigação representa um sério problema de saúde pública, principalmente quando usado para irrigação de vegetais consumidos crus. Dessa forma, o uso de materiais filtrantes como o biocarvão como ferramenta no processo de adsorção, configura como uma alternativa para melhorar a qualidade microbiológica do efluente tratado.

Por definição, o biocarvão é um sólido poroso, rico em carbono e produzido a partir da pirólise de biomassa, na ausência de oxigênio (LIU et al., 2018). Além de seus impactos positivos, o biocarvão também pode ter efeitos adversos na retenção de água e nutrientes (JEFFERY et al., 2015). Sua produção utilizando resíduos e subprodutos como fonte de matéria-prima despertou mais interesse entre os pesquisadores, uma vez que o fator econômico da matéria-prima se apresenta de forma viável na sua produção em larga escala (LENG et al., 2015).

O bagaço da laranja é um resíduo com potencial a ser explorado como fonte de matéria-prima do biocarvão. Segundo Fiorentin et al. (2015), o bagaço da laranja é capaz de acarretar diversos problemas de ordem econômica e ambiental, graças a fermentação elevada que esse resíduo possui. Comumente, parcela do bagaço da laranja vem sendo utilizado como suplemento nutricional de ruminantes na forma de ensilagem. Todavia, o setor industrial vem pensando em modos de ampliar as aplicações para o bagaço da laranja, dentre esses interesses, evidencia-se o emprego desse resíduo no tratamento de efluentes. Além disso, o Brasil é o maior produtor de laranja do mundo, sendo a região Nordeste responsável por 10% do montante nacional. Cabe ressaltar que, os Tabuleiros Costeiros da Bahia e Sergipe destacam-se compondo 90% desse percentual, ressaltando a laranja da variedade Pêra - *Citrus sinensis* (CARVALHO et al., 2016).

Pautado na hipótese do biocarvão promover melhorias na qualidade microbiológica de águas residuárias a serem utilizadas na irrigação, este trabalho busca estudar a capacidade de adsorção do biocarvão do bagaço da laranja, aplicando seus benefícios na agricultura irrigada, dando destinação final em dois subprodutos (esgoto doméstico e bagaço de laranja) para produção de alimentos. Para isso foi desenvolvido um sistema de tratamento terciário de baixo custo a partir do biocarvão do bagaço da laranja, visando melhorar a qualidade microbiológica do efluente doméstico e manter o aporte nutricional que contém este tipo de fonte hídrica. Objetivou-se também comparar os atributos físico-químicos e microbiológicos da água de irrigação com os limites estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005 (BRASIL, 2005) e a Resolução complementar de nº 430, de 13 de maio de 2011 (BRASIL, 2011). Verificou-se o impacto da fertirrigação com efluente que passou pelo sistema filtrante nos atributos químicos do solo e nas características agronômicas e biológicas da cultura da alface (*Lactuca sativa*) cultivada em ambiente protegido.

## **2. REVISÃO DE LITERATURA**

### **2.1. ÁGUA NO MUNDO**

O atual cenário de mudanças climáticas surge como um enorme desafio para a população global, e a importância da água como um item essencial à humanidade é irrefutável. O enfrentamento da escassez de água com qualidade vem gerando debates e pesquisas em todo o mundo na busca de alternativas para mitigar o problema. Além das mudanças climáticas, exemplos como o rápido crescimento populacional, a gestão insustentável da água e o aumento da poluição ambiental, têm acrescido a pressão sobre os recursos de água doce existentes em todo o planeta (CAPODAGLIO, 2021; GURUNG et al., 2020).

Existe um grave conflito entre a demanda e o abastecimento de água, principalmente nas áreas áridas e semiáridas. De acordo com o Relatório Mundial das Nações Unidas sobre Desenvolvimento dos Recursos Hídricos, publicado em 2019, mais de 2 bilhões de pessoas vivem em países que enfrentam estresse hídrico, e cerca de 4 bilhões de pessoas (quase dois terços da população mundial) sofrem uma grave escassez de água, no mínimo um mês durante o ano (UNESCO WWAP, 2019).

Segundo Maryam e Büyükgüngör (2019), a demanda por água deve aumentar anualmente e estima-se que até 2030 esta demanda seja de aproximadamente 6.900 bilhões de m<sup>3</sup>. Essa quantidade é aproximadamente 64% maior do que a quantidade de água atualmente acessível à maioria das nações. De acordo com as previsões do Relatório Mundial das Nações Unidas sobre o Desenvolvimento dos Recursos Hídricos, 47% da população global sofrerá de escassez de água até 2030 (UNESCO WWAP, 2020).

A Organização das Nações Unidas (ONU) definiu o objetivo para a água, nomeado através da meta 6 - “Garantir a disponibilidade e gestão sustentável da água e do saneamento para todos”. Sob esta meta, a reciclagem e o reúso da água são fatores importantes para atingir o objetivo. Três metas que foram especificamente mencionadas são que, até 2030, o mundo deve:

- (i) melhorar a qualidade da água reduzindo a poluição, eliminando o despejo e minimizando a liberação de produtos químicos e materiais perigosos, reduzindo pela metade a proporção de águas residuais não tratadas e aumentando substancialmente a reciclagem e a reutilização segura em todo o mundo, (ii) aumentar substancialmente a eficiência do uso da água em todos os setores e garantir retiradas e abastecimento sustentáveis de água doce para lidar com a escassez de água e reduzir substancialmente o número de pessoas que sofrem com a escassez de água, e (iii) expandir a cooperação internacional e o apoio à capacitação para os países em desenvolvimento em atividades e programas relacionados com água e saneamento, incluindo coleta de água, dessalinização, eficiência hídrica, tratamento de águas residuais, tecnologias de reciclagem e reutilização (UNTED NATIONS, 2021).

O aumento da demanda hídrica é estimado em diversos setores, inclusive no setor agrícola, responsável por captar 70% dos recursos de água doce para irrigar 25% das terras agrícolas do planeta (FAO, 2017; FAO, 2020a; KHOKHAR, 2017).

## 2.2. AGRICULTURA IRRIGADA

A agricultura irrigada desempenha um papel importante na produção agrícola em todo o mundo (LI e REN, 2021; WORLD BANK, 2020), embora consuma a maior parte dos recursos hídricos disponíveis (ADEYEMI et al., 2017; VELASCO-MUÑOZ et al., 2019).

Mantovani, Bernardo e Palaretti (2009) abordam que, no passado, a irrigação era utilizada apenas como uma técnica de aplicação de água, a qual visava a luta contra a seca. Hoje, consiste em uma importante estratégia para otimização da produção mundial de alimentos, sendo um dos principais focos do agronegócio, por proporcionar o aumento da produtividade e rentabilidade no setor agrícola.

Como o rendimento das safras pode ser significativamente aumentado por meio da irrigação, os países em desenvolvimento elevam a produção de alimentos, principalmente pela extração da água e expansão da área de irrigação (NAZARI et al., 2018).

Com base em um quadro “sem alterações” (*business-as-usual*), estima-se que até 2050 o mundo precise de cerca de 60% mais alimentos e que a demanda da agricultura irrigada vai aumentar mais de 50% ao longo do mesmo período (FAO, 2017). A quantidade de água necessária para essas ações não está disponível, e a FAO reconhece que a água captada para uso na agricultura pode aumentar apenas 10%. Portanto, a utilização dos recursos hídricos de forma otimizada, principalmente na agricultura irrigada, é uma forma inteligente de lidar com os problemas acima.

Segundo Von Sperling (2014), a água é o meio de transporte dos variados dejetos sólidos descartados pelo ser humano e compõe 99,9% dos esgotos sanitários. Os dejetos sólidos são responsáveis pelos 0,1% restantes. Já que grande parte do esgoto sanitário é composto por água, a aplicação do efluente tratado na agricultura irrigada passa a ser uma importante alternativa, sendo necessário estudos e análises da água, para comprovar quais as vantagens da sua utilização.

### 2.3. REÚSO AGRÍCOLA DE ÁGUAS RESIDUÁRIAS

O reúso de água é definido como o uso de águas residuárias tratadas para uso benéfico (ALCALDE-SANZ e GAWLIK, 2017). A maior diferença entre águas residuárias e águas comumente empregadas na irrigação está na concentração mais elevada de matéria orgânica, dióxido de nitrogênio, fósforo, e em alguns casos, de sódio, outros sais e microrganismos patogênicos (BRAGA, 2014).

Segundo Matos e Matos (2017), a aplicação de águas residuárias como fertirrigação está fundamentada na aplicação de nutrientes em quantidades pouco superior ou equivalentes às das necessidades da cultura e sua aplicação deve ser feita no período de desenvolvimento das mesmas.

Jones et al. (2021) estimaram a produção global de águas residuais em  $359,4 \times 10^9 \text{ m}^3 \text{ ano}^{-1}$ , dos quais 63% são coletados e 52% são tratados. Segundo Dragonetti et al. (2020), uma forma de aproveitar as vantagens das águas residuárias é destiná-las para fins de irrigação. O uso do efluente tratado é reconhecido como uma solução

promissora e necessária para aliviar o estresse hídrico, especialmente em áreas onde a escassez de recursos hídricos convencionais é um problema estrutural (EPC, 2020).

A Organização Mundial da Saúde (OMS) trata a reutilização dos efluentes domésticos como um paradigma de regeneração das fontes hídricas que tem o potencial de fornecer água potável e segura para as pessoas em quase todos os locais onde as águas residuárias são criadas (WHO, 2017). O reúso realizado de forma planejada pode melhorar a circularidade da água e garantir o uso ideal dos recursos disponíveis (WIELEMAKER, WEIJMA e ZEEMAN, 2018).

Apesar dos seus benefícios, o reúso de água ainda não é uma prática comum e existem problemas que devem ser considerados. Poucos países, como Israel, investiram em tecnologias de reúso de água que lhes permitiram manter a população e as necessidades agroindustriais de água (BELLVER-DOMINGO e HERNÁNDEZ-SANCHO, 2019). Em seu estudo, Alcalde-Sanz e Gawlik (2017) destacam as desvantagens em reutilizar água residuária: o custo, a desconfiança das pessoas em relação aos riscos para a saúde humana e a falta de harmonização no quadro regulatório para gerir os riscos de saúde e ambientais. Além disso, esta técnica requer um monitoramento de qualidade adequado. Como a água recuperada é direta ou indiretamente descarregada nos ecossistemas, sua qualidade é uma variável essencial que pode determinar a viabilidade do projeto de reúso de água (SIMONS, BASTIAANSEN e IMMERZEEL, 2015).

#### 2.4. QUALIDADE DA ÁGUA RESIDUÁRIA

A água, por possuir atributos de solvente e à sua capacidade de conduzir partículas, acrescenta a si inúmeras impurezas, que estabelecerão sua qualidade. Esta qualidade é decorrente de fenômenos naturais e da ação do indivíduo. De modo geral, pode-se dizer que a característica de uma água é encargo dos fatores naturais e da interferência do homem (VON SPERLING, 2014).

A qualidade das águas residuárias tratadas não é idêntica, pois depende das condições do abastecimento de água municipal, da natureza dos resíduos adicionados durante o uso e do grau de tratamento que receberam (PEDRERO et al., 2010). As águas residuárias provenientes dos esgotos domésticos são compostas principalmente por sais inorgânicos não tóxicos (como cloreto, sulfato, nitrato e

fósforo), íons (como sódio, potássio, cálcio e magnésio) e matéria orgânica (US EPA, 2006), tornando uma fonte valiosa de fertilidade para as culturas.

Trabalhos científicos indicaram um aumento significativo na fertilidade do solo, em decorrência do aumento da quantidade de matéria orgânica, macro e microelementos e atividades microbianas, aportados na irrigação utilizando águas residuárias tratadas (BORKEN, MUHS e BEESE, 2002; KOMILIS, KARATZAS e HALVADAKIS, 2005; LESAGE-MEESSEN et al., 2001; MENDUM e HIRSCH, 2002; OVED et al., 2001; PERKIOMAKI e FRITZE, 2002). Benefícios relacionados ao desenvolvimento e a produtividade de algumas espécies de plantas também foram verificados. Esses benefícios foram verificados na germinação de sementes, componentes de produção, crescimento da planta e conteúdo de proteína e clorofila (CERETI et al., 2004; DIVYA et al., 2015; MEKKI, DHOUIB e SAYADI, 2013; PAREDES et al., 2005)

Além de todas as vantagens, a adoção sustentável do reúso agrícola de águas residuárias requer considerações sobre os impactos ocasionados na produtividade da cultura e nas propriedades físico-químicas e microbiológicas do solo (GANOULIS, 2012; IBEKWE, GONZALEZ-RUBIO e SUAREZ, 2018; JARAMILLO e RESTREPO, 2017; MOSSE et al., 2012). A saúde pública também é considerada, principalmente ao reaproveitamento de águas residuárias brutas ou tratadas de forma inadequada (BAKOPOULOU, EMMANOUIL e KUNGOLOS, 2011; QADIR et al., 2010). Mkhinini et al. (2020) sugerem que as águas residuárias precisam aumentar ou manter o nível atual de fertilidade do solo, desde que sem riscos de lixiviação ou toxicidade às culturas. O teor de sais e metais pesados dessas águas precisam ser continuamente monitoradas para reduzir a probabilidade de salinização e contaminação do solo.

O aumento da concentração total de sais solúveis de um solo é um dos principais problemas vinculados à qualidade da água de irrigação. Os sais são responsáveis pela redução do potencial hídrico do solo, prejudicando as plantas, em razão do decréscimo da disponibilidade de água para as mesmas. A salinização resulta da qualidade da água empregada na irrigação, do seu manejo, da presença e do grau de drenagem natural e, ou, artificial do solo, da altura do lençol freático e do acúmulo original dos sais no perfil do solo (BERNARDO et al., 2019; MANTOVANI, BERNARDO e PALARETTI, 2009).

Conforme pode ser observado, a irrigação com água residuária tem um efeito ambíguo na qualidade do solo e na produtividade das culturas. De muitas maneiras,

a ambiguidade decorre das propriedades exclusivas das águas residuárias (PERULLI et al., 2021). Além disso, estudos relacionados à saúde pública têm se concentrado na possível contaminação das partes comestíveis das plantas por patógenos e nos potenciais riscos relacionados a exposição humana a patógenos e metais pesados (AKPONIKPÈ et al., 2011; FARHADKHANI et al., 2018). Por isso, os pesquisadores têm continuado a desenvolver técnicas alternativas de melhorias da qualidade das águas residuárias.

## 2.5. LAGOAS DE ESTABILIZAÇÃO DE RESÍDUOS

As lagoas de estabilização de resíduos são sistemas simples, de baixo custo e eficientes para o tratamento de efluentes, sendo a tecnologia de tratamento mais utilizada no mundo (BARTOSIEWICZ et al., 2021). Podem ser utilizadas como tratamento primário, secundário ou terciário em uma estação de tratamento de esgoto (MAHAPATRA, SAMAL e DASH, 2022). As lagoas foram projetadas e classificadas em quatro tipos de acordo com suas características e utilização: anaeróbicas, aeróbicas, facultativas (ocorrem processos aeróbios e anaeróbios) e maturação (ALI et al., 2020).

As lagoas facultativas são responsáveis pelos tratamentos primário e secundário em um sistema de tratamento de águas residuárias. Seu objetivo principal é estabilizar a matéria orgânica, reduzir a carga de nutrientes e remover a demanda bioquímica de oxigênio (DBO) no efluente (SCHWARZ et al., 2019). Um objetivo menor é reduzir patógenos, mas isso geralmente acontece na lagoa mais adiante. A desinfecção de patógenos de águas residuárias ocorre nas lagoas de maturação (responsáveis pelo tratamento terciário) e geralmente forma o estágio final de tratamento em uma série de lagoas de estabilização de resíduos (DAHL et al., 2021).

Os processos de pós-tratamento secundário são bastante diversificados e ocorrem de acordo com as necessidades, podendo citar etapas como: eletrodialise, osmose reversa, cloração ou ozonização para remoção de bactérias e adsorção por carvão ativado.

## 2.6. REMOÇÃO/DEGRADAÇÃO DE CONTAMINANTES

Os tratamentos tradicionais não são capazes de remover completamente as toxinas, pesticidas, resíduos farmacêuticos, arsênico e herbicidas da água contaminada (HARISHA et al., 2010; RADJENOVIC et al., 2008; SAITÚA, GIANNINI e PADILLA, 2012; SARKAR et al., 2007). Assim, o pós-tratamento das águas residuárias surge como uma alternativa, buscando a melhoria da sua qualidade físico-química e microbiológica, antes da aplicação em sua destinação final. Achinas e Euverink (2016) corroboram que as águas residuárias podem conter restos de plantas ou animais e que os agricultores precisam prepará-las antes de aplicá-las na irrigação, utilizando métodos de sedimentação e filtração de água para remover grandes detritos e sólidos grosseiros.

Nos últimos anos, vários processos de tratamento de efluentes foram desenvolvidos e aplicados na purificação da água, são exemplos: adsorção, separação por membrana, degradação bioquímica, oxidação química e processos oxidativos avançados (POA's) (ALKURDI et al., 2019; CHEN et al., 2021a; RASOULI et al., 2021; YANG et al., 2021). Dentre as várias técnicas desenvolvidas, o processo de adsorção parece ser promissor por se mostrar muito eficiente, econômico e fácil de operar, mesmo em aplicações em larga escala (BOUGNOM et al., 2020; DENG, ZHANG e WANG, 2017; JAMIL et al., 2019; SANGON et al., 2018; VARJANI et al., 2020).

Existem diversos tipos de materiais adsorventes. Dentre eles, o biocarvão tem atraído muita atenção devido à sua estrutura altamente porosa e sua eletronegatividade de superfície. Por ser derivado principalmente da decomposição térmica da biomassa de resíduos agrícolas ou do lodo orgânico em ambiente inerte, é considerado um adsorvente econômico e amigável ao meio ambiente (OLIVEIRA et al., 2017; ZOU et al., 2019).

## 2.7. BIOCARVÃO

Resultado de um dos três principais produtos obtidos a partir da pirólise da biomassa sob condições de baixo ou nenhum oxigênio (LEHMANN e JOSEPH, 2015), o biocarvão é definido como um biomaterial carbonáceo poroso. Ele tem sido empregado como um bioagente de baixo custo e ecologicamente correto na

remediação da poluição do solo, bem como na adsorção de contaminantes de soluções aquosas (WANG et al., 2020; XIANG et al., 2020).

Além de apresentar alta porosidade, o biocarvão é rico em micronutrientes e grupos funcionais reativos, que não só adsorvem vários poluentes de forma eficaz, mas também facilitam o crescimento de microrganismos e plantas e aceleram reações redox que transformam e degradam poluentes (CHAND et al., 2021; CHEN et al., 2021b).

Embora o comportamento e a eficiência de adsorção sejam altamente dependentes da matéria-prima, dos métodos de produção e das características químicas da solução (XIANG et al., 2020), o biocarvão é considerado um material promissor e renovável (CHENG et al., 2021; WANG et al., 2021).

## 2.8. BAGAÇO DA LARANJA

A produção mundial de laranja para 2021/2022 é estimada em 48,8 milhões de toneladas. A estimativa do Brasil, como maior produtor, corresponde a 33,81% do fornecimento global (USDA, 2022). O bagaço da laranja é um subproduto desta produção e constitui cerca de 49% da massa do fruto (GONZAGA et al., 2018).

Atualmente, o resíduo tem sido empregado principalmente na alimentação animal (ERINLE e ADEWOLE, 2022) ou descartado de forma direta em aterros sanitários (OSORIO, FLÓREZ-LÓPEZ e GRANDE-TOVAR, 2021).

O descarte direto deste subproduto pode causar grave poluição ambiental e os altos custos gerados pelos métodos de manejo considerados seguros é um dos grandes problemas das agroindústrias (YING et al., 2020). A conversão do bagaço da laranja em biocarvão, via técnica de pirólise, pode trazer benefícios para o setor agrícola quando aplicado no tratamento de águas residuárias e em melhorias da qualidade do solo (ISSAKA et al., 2022).

## 2.9. LEGISLAÇÃO

Buscando orientar as atividades de reúso de águas residuárias, vários países vêm elaborando seus próprios conjuntos de leis e regulamentações. Entretanto, o risco à saúde pública ainda é uma grande preocupação. Existem desacordos relacionados aos critérios de segurança, normalmente recomendados pela OMS,

necessários, mas muitas vezes considerados inviáveis e bastante restritivos pelos representantes do setor agrícola (SCHAER-BARBOSA, SANTOS e MEDEIROS, 2014). Torna-se importante ressaltar que não existe um padrão internacional que regulamente a aplicação de efluentes no solo, sendo assim cada país possui suas próprias “recomendações” (quando existem), fundamentadas no bom senso e nas considerações da saúde pública (MATOS e MATOS, 2017).

No Brasil, existem tentativas de criação de leis ambientais para regulamentar o aproveitamento agrícola de águas residuárias. Entretanto, nada ainda foi estabelecido nacionalmente. Espera-se que, ao fazê-lo, sejam incluídos profissionais com formação em agrárias nas discussões para proposição da lei. Isso é necessário tendo em vista que a problemática da disposição de águas residuárias no solo está longe de ser um problema exclusivamente sanitário (MATOS e MATOS, 2017).

Tendo em vista que, o uso de efluentes, além de ser uma prática complexa, implica riscos, cabe aos órgãos ambientais e de saúde uma participação ativa no processo de desenvolvimento do reúso agrícola. Por isso, que urge a importância do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) e das agências regulatórias governamentais.

O CONAMA tem como competência, formular diretrizes e políticas governamentais no que condiz o gerenciamento ambiental, deliberando sobre normas, técnicas, critérios e padrões relativos ao meio ambiente em busca do crescimento sustentável (CONAMA, 2021). Dentre seus atos normativos, está a Resolução nº 357, de 17 de março de 2005 (complementada e alterada pela Resolução nº 430, de 13 de maio de 2011), que “dispõe sobre a classificação dos corpos de água e as diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e os padrões de lançamento de efluentes”. Além disso, ela estabelece a Classificação das águas (doces, salinas e salobras) e, para cada uma delas, foram estabelecidos limites e/ou condições em função de sua destinação final ou segundo seus usos preponderantes (BRASIL, 2005).

A seguir está apresentada a definição e classificação dos corpos de água (Tabela 1) de acordo com a conceituação adotada pela Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005 (CAPÍTULO I, Artigo 2º):

**Tabela 1** – Definição e classificação dos corpos de água estabelecida pela resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005.

TIPOS DE ÁGUA	DEFINIÇÕES	CLASSES
Águas Doces	Águas com salinidade igual ou inferior a 0,5%;	Especial, 1, 2,3 e 4.
Águas Salinas	Águas com salinidade superior a 0,5% e inferior a 30%;	Especial, 1, 2, 3.
Águas Salobras	Águas com salinidade igual ou superior a 30%;	Especial, 1, 2, 3.

Fonte: Adaptado de BRASIL (2005).

Segundo a mesma resolução, o enquadramento consiste “no estabelecimento de uma meta ou objetivo de qualidade da água (Classe) a ser alcançado ou mantido em um curso d’água, considerando os usos ao longo do tempo”.

Da classificação dos corpos de água (CAPÍTULO 2, Artigo 4º).

Seção I, Águas doces.

As águas doces são classificadas em:

I - classe especial: águas destinadas:

- a) ao abastecimento para consumo humano, com desinfecção;
- b) a preservação do equilíbrio natural das comunidades aquáticas; e
- c) a preservação dos ambientes aquáticos em unidades de conservação de proteção integral.

II - classe 1: águas que podem ser destinadas:

- a) ao abastecimento para consumo humano, após tratamento simplificado;
- b) a proteção das comunidades aquáticas;
- c) a recreação de contato primário, tais como natação, esqui aquático e mergulho, conforme Resolução CONAMA nº 274, de 2000;
- d) a irrigação de hortaliças que são consumidas cruas e de frutas que se desenvolvam rentes ao solo e que sejam ingeridas cruas sem remoção de película; e
- e) a proteção das comunidades aquáticas em terras Indígenas.

III - classe 2: águas que podem ser destinadas:

- a) ao abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional;
- b) a proteção das comunidades aquáticas;
- c) a recreação de contato primário, tais como natação, esqui aquático e mergulho, conforme Resolução CONAMA no 274, de 2000;
- d) a irrigação de hortaliças, plantas frutíferas e de parques, jardins, campos de esporte e lazer, com os quais o público possa vir a ter contato direto; e
- e) a aquicultura e a atividade de pesca.

IV - classe 3: águas que podem ser destinadas:

- a) ao abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional ou avançado;
- b) a irrigação de culturas arbóreas, cerealíferas e forrageiras;
- c) a pesca amadora;
- d) a recreação de contato secundário; e
- e) a dessedentação de animais.

V - classe 4: águas que podem ser destinadas:

- a) a navegação; e
- b) a harmonia paisagística.

(BRASIL, 2005).

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1. BIOCÁRVÃO

##### 3.1.1. Produção do biocárvão

A produção do biocárvão foi em condições controladas em forno tipo mufla. A matéria prima utilizada foi o bagaço de laranja, variedade Pêra. Por possuir um alto índice de fermentação, o bagaço da laranja, quando não descartado de forma adequada, ocasiona perigos de contaminação ao meio ambiente.

O bagaço de laranja foi coletado em estabelecimento alimentício localizado no bairro industrial, município de Aracaju, estado de Sergipe. O material foi devidamente lavado, espremido, cortado em pedaços de 1 x 1 cm, espalhado em bancadas e exposto a luz solar até sua desidratação (Figura 1A). Após este procedimento, foi acondicionado em bandejas na estufa com circulação e renovação de ar (Figura 1B), onde passou pelo processo de secagem à temperatura de 80 °C, durante 24 horas. Posteriormente, o resíduo foi moído em um macro moinho de facas, tipo Willey, modelo SL-32 com peneira de 20 mesh (Figura 1C). Em seguida, o material resultante foi misturado e acondicionado em sacos plásticos (Figura 1D).

**Figura 1** - Preparo do biocárvão: (A) bagaço de laranja espalhado em bancadas e exposto à luz solar; (B) desidratado e acondicionado em bandejas na estufa; (C) processo de moagem do bagaço; (D) o bagaço moído; (E) cadinhos de porcelana dispostos em mufla e (F) biocárvão produzido.





Na etapa de carbonização, o bagaço moído foi colocado em cadinhos de porcelana. Posteriormente, os cadinhos foram colocados em forno tipo mufla Jung (Figura 1E), à temperatura de 550 °C, com taxa de aquecimento de 25 °C min<sup>-1</sup>. Após atingir a temperatura descrita, permaneciam por 60 minutos. Esse procedimento foi realizado seguindo recomendações de Carvalho et al. (2021), que produziu carvão do bagaço de laranja aquecendo-o em temperaturas de 350 °C, 450 °C, 550 °C e 650 °C, e constatou que a produção em 550 °C apresentou melhores características de acordo com a coloração, condutividade elétrica e pH.

Como na mufla cabiam apenas 18 cadinhos de porcelana, sendo que cada um acomodava apenas 25 g do bagaço moído, o procedimento foi repetido até a obtenção de aproximadamente um quilo de biocarvão. Posteriormente, todo o material foi homogeneizado (Figura 1F) para utilização nas análises de caracterização do biocarvão e na composição de filtros.

### 3.1.2. Caracterização do biocarvão

Foram utilizadas duas amostragens para a realização de todas as caracterizações: biocarvão *in natura* e biocarvão pós utilização como elemento filtrante. Isso possibilitou a realização de um comparativo no comportamento físico-químico após o uso do elemento filtrante. As técnicas utilizadas foram a microscopia eletrônica de varredura (MEV) e termogravimetria. Todas as análises foram realizadas por meio da QUIMTEC (Empresa Júnior de Química Bacharelado e Licenciatura da UFS), utilizando o Centro de Laboratório de Química Multiusuários (CLQM), localizado no Departamento de Química da UFS.

Para mapear a composição elementar dos sólidos e tomar conhecimento da morfologia do material, foi empregado um microscópio eletrônico de varredura de bancada, da marca Hitachi, modelo TM3000 (Figura 2A). O equipamento operou com

tensão de 15 kV e amplificação das imagens variando de 50 a 10.000x. Este equipamento possibilita análises microscópicas por elétrons retroespalhados (BSE), com aumento de até 30.000 vezes e feixes de 5 e 15 keV, resultando em uma melhor visualização das superfícies das amostras. Nesta análise, o material é fixado com fita de carbono dupla face e posicionadas no campo das lentes (Figura 2B).

**Figura 2** - Caracterização do biocarvão: (A) microscópio eletrônico de varredura; (B) material pronto para ser analisado pelo MEV; (C) equipamento de análise termogravimétrica; (D) balança do equipamento.



Dedavid, Gomes e Machado (2007) destacam que o MEV é um dos instrumentos disponíveis mais versáteis para a investigação e análise de características microestruturais de objetos sólidos. Nele é utilizado um feixe de elétrons ao invés de fótons, eliminando o problema de resolução associado a fonte de luz branca do microscópio óptico convencional.

Para monitorar a variação mássica dos materiais em relação à variação de temperatura, foram construídas curvas termogravimétricas obtidas em equipamento da marca Shimadzu, modelo TG-50<sup>a</sup> (Figura 2C). Este equipamento possui uma balança sensível (Figura 2D), em escala de  $\mu\text{g}$ , acoplada a um forno programável. As amostras foram submetidas a uma programação controlada de temperatura na faixa de 30 a 600 °C em um porta-amostra de platina, taxa de aquecimento de 10 °C  $\text{min}^{-1}$ , gás inerte ( $\text{N}_2$ ) com vazão 50 mL  $\text{min}^{-1}$  e massa de amostra 5 mg.

### 3.2. ENSAIO EXPERIMENTAL

Foi conduzido um experimento a fim de verificar a influência do tratamento do efluente doméstico utilizando sistemas filtrantes, produzidos a partir do bagaço da laranja. O efluente foi aplicado no cultivo da alface (*Lactuca sativa*) via sistema de irrigação e, posteriormente, foram avaliadas as características agrônômicas e microbiológicas da cultura. Vale salientar que este estudo se sustenta na hipótese do biocarvão melhorar a qualidade microbiológica do efluente tratado e ser capaz de preservar o aporte de nutrientes. Os nutrientes são fundamentais para o desenvolvimento da cultura em questão, visto que a intenção não é apenas economizar água bruta, mas também economizar adubo químico, dando um retorno ecológico e também financeiro. Para avaliar a reutilização dos efluentes filtrados na irrigação foram construídos sistemas filtrantes adsorventes em escala de bancada.

Também foram avaliados possíveis impactos ambientais causados no solo, estes provenientes da aplicação de água residuária tratada por um sistema de tratamento terciário. Vale ressaltar que a possibilidade de aumentar estes impactos pode ser procedente de aplicações constantes de águas residuárias no solo, sendo este mais um argumento favorável ao uso cauteloso da técnica.

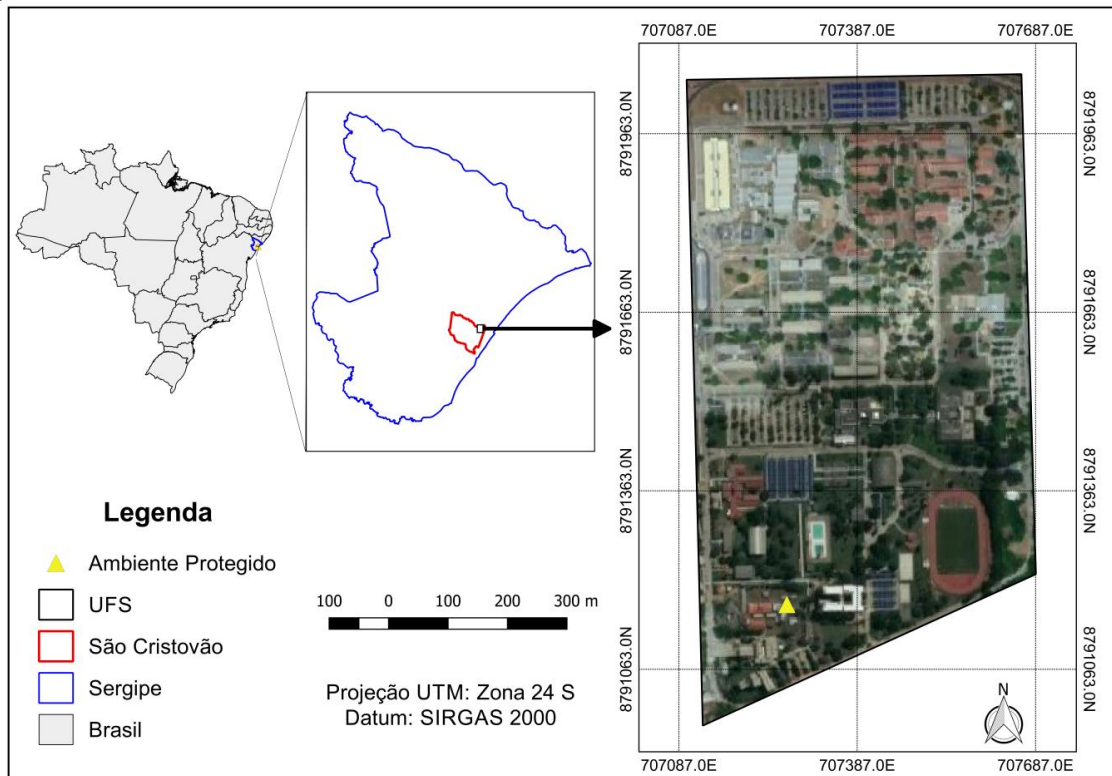
O experimento foi constituído de dois ciclos de cultivo da alface. Após cada ciclo, foram realizadas as análises em duplicatas da cultura, do solo e da água. Em relação a cultura da alface, análises agrônômicas e microbiológicas foram efetuadas.

Foram realizadas análises físico-químicas da água de abastecimento humano e do solo. Por último, análises físico-químicas e microbiológicas da água residuária tratada e da água pós-tratada também foram feitas. Todas as amostras das fontes hídricas, do solo e microbiológicas da cultura foram levadas ao ITPS (Instituto Tecnológico e de Pesquisas do Estado de Sergipe) para realização das análises. Vale salientar que o ITPS possui laboratórios que realizam serviços de ensaios acreditados segundo requisitos estabelecidos na norma ABNT NBR ISO/IEC 17025:2005.

### 3.2.1. Localização e caracterização da área experimental

O experimento foi conduzido em vasos com capacidade de 15 L (diâmetro superior igual a 32 cm, diâmetro inferior igual a 22 cm e altura igual a 26 cm) dispostos sobre paletes, dentro do ambiente protegido. A estrutura está situada no Departamento de Engenharia Agrônômica (DEA) da Universidade Federal de Sergipe (UFS), no município de São Cristóvão, Sergipe (SE). As coordenadas geográficas do local são  $10^{\circ}55'46''$ S latitude,  $37^{\circ}06'13''$ O longitude e altitude acima do nível do mar de 8 m. Na Figura 3 encontra-se o mapa de localização de onde o experimento foi conduzido.

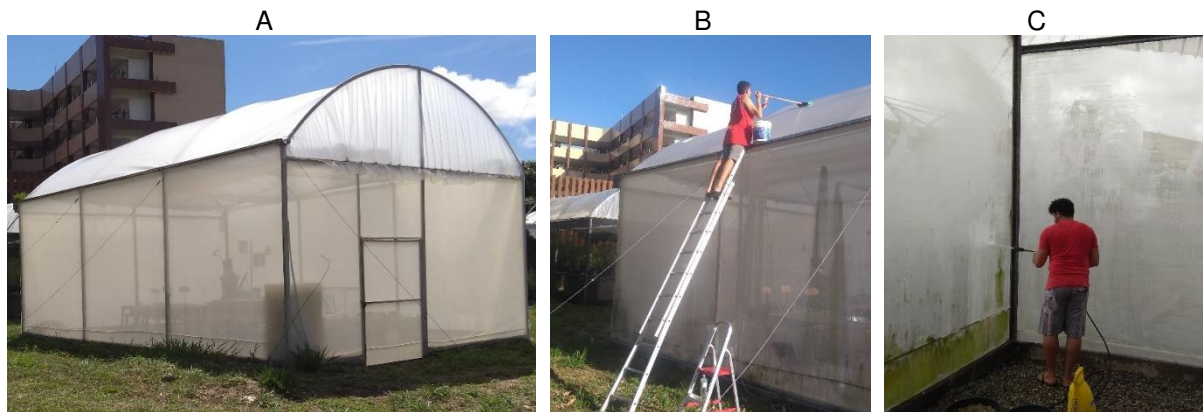
**Figura 3** - Mapa de localização do experimento.



Conforme a classificação de Köppen, o município de São Cristóvão possui clima do tipo As' - clima tropical (chuvas de inverno-outono) com estação seca de verão. O clima do local é caracterizado pelo tipo megatérmico úmido e subsumido, com temperatura média anual de 25,2 °C e precipitação pluvial média anual de 1331 mm, concentrada entre março e agosto (BOMFIM, COSTA e BENVENUTI, 2002).

O ambiente protegido (Figura 4A) possui 9,0 m de comprimento, 6,5 m de largura e pé direito de 3,0 m. A cobertura estrutural é feita de polietileno transparente de baixa densidade, com 0,15 mm de espessura (150 micron) que diminuem os impactos provocados pelos temporais e chuvas. As laterais da casa de vegetação são de telas que protegem as culturas (antiofídica).

**Figura 4** – Localização e procedimentos: (A) ambiente protegido; (B) limpeza da cobertura e (C) limpeza da parte lateral.



Antes da condução do experimento, como forma de evitar interferências na passagem da luz solar e que manchas pudessem bloquear a captação da radiação, foi realizada uma ampla limpeza na cobertura e na parte lateral do ambiente protegido (Figuras 4A e 4B). Na sua parte interna foi realizada uma organização para o início da pesquisa. Neste procedimento foi retirado todo o material existente que pudesse prejudicar o experimento, com o intuito de prevenir qualquer intervenção externa nos processos de cultivo da cultura.

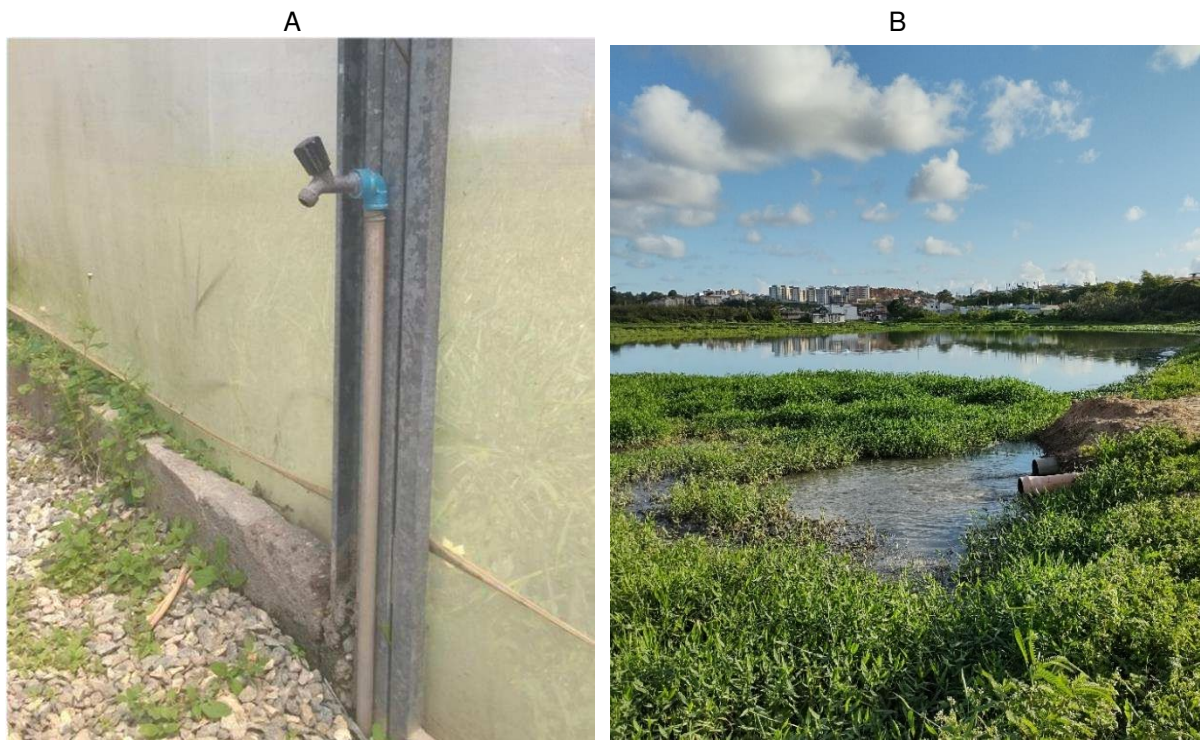
### 3.2.2. Fontes hídricas

Foram utilizadas três fontes de água para fertirrigação da cultura da alface:

- Água de abastecimento humano da concessionária (AH), oriunda da Companhia de Saneamento Básico de Sergipe (DESO), coletada em uma saída de tubulação (Figura 5A) situada dentro do ambiente protegido,
- Água residuária tratada (AR), proveniente da ETE (Estação de tratamento de Esgoto) Rosa Elze, localizada próxima à Universidade Federal de Sergipe, em São Cristóvão/Sergipe, e
- Água pós-tratada (AB), proveniente da ETE e posteriormente passada pelo sistema filtrante (utilizando o biocarvão produzido), montado para o experimento.

A estação de tratamento de esgoto (ETE) encontra-se localizada no bairro Rosa Elze, no município São Cristóvão, Sergipe, sob as coordenadas geográficas de 10°55'59,34''S latitude e 37°07'02.68''O longitude, a uma altitude de 7 m (Figura 5B).

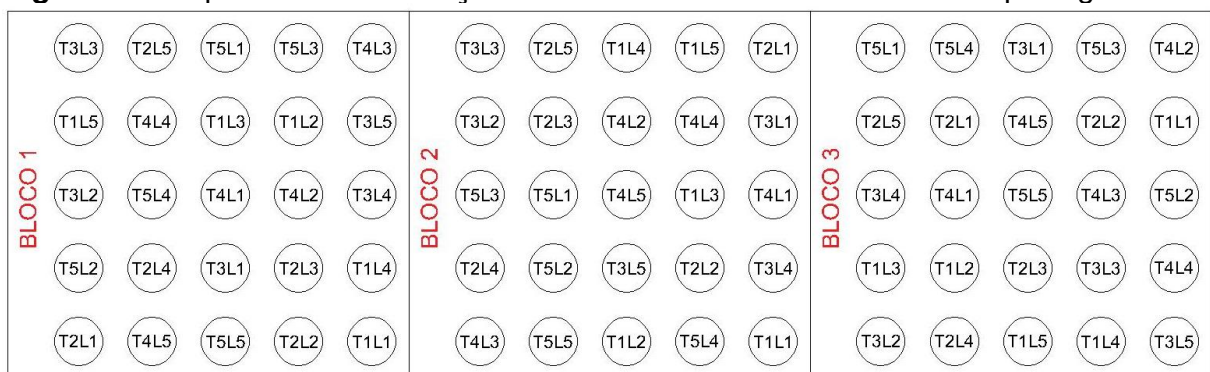
**Figura 5** - Fontes hídricas: (A) tomada de água localizada dentro do ambiente protegido; (B) estação de tratamento de Esgoto localizada no bairro Rosa Elze.



### 3.2.3. Delineamento experimental

Foram realizados dois ciclos de cultivo da alface seguindo o delineamento em blocos casualizados (DBC), no arranjo fatorial 5 x 5, com 3 repetições e totalizando 75 unidades experimentais (Figura 6). Os fatores foram constituídos por cinco lâminas de irrigação e cinco tratamentos. As lâminas de irrigação foram para reposição de 50, 75, 100, 125 e 150% da evapotranspiração da cultura (ET<sub>c</sub>). Já os tratamentos foram: T1 - Irrigado com água de abastecimento humano da concessionária + adubação de cobertura; T2 - Irrigado com água residuária tratada proveniente da ETE Rosa Elze; T3 - Irrigado com água residuária tratada proveniente da filtragem com biocarvão; T4 - Irrigado com água residuária tratada proveniente da ETE Rosa Elze + adubação de cobertura; T5 - Irrigado com água residuária tratada proveniente da filtragem com biocarvão + adubação de cobertura.

**Figura 6** - Esquema de distribuição dos vasos no interior do ambiente protegido.



### 3.2.4. Caracterização da ETE

A Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) Rosa Elze foi construída na década de 80 e desde então é mantida e operada pela Companhia de Saneamento de Sergipe. Os bairros habitacionais que têm suas águas residuárias tratadas são o Rosa Elze e o Eduardo Gomes, tendo uma vazão próxima a 7,6 L s<sup>-1</sup>. A ETE é integrada por cinco lagoas de estabilização dispostas em série, sendo duas facultativas e três de maturação, totalizando uma área de 29.650 m<sup>2</sup>. A descrição das características físicas são apresentadas na Tabela 2.

**Tabela 2** - Características físicas da ETE.

LAGOA	PROFUNDIDADE (m)	ÁREA (m <sup>2</sup> )	VOLUME (m <sup>3</sup> )
Facultativa Primária	2,00	8,74	17,47
Facultativa Secundária	1,98	6,96	13,79
Maturação 1	1,96	4,71	9,24
Maturação 2	1,94	4,62	8,96
Maturação 3	1,92	4,62	8,88

Fonte: Projeto do sistema de lagoas de estabilização Rosa Elze fornecida pela DESO (2022).

A ETE utilizada na pesquisa é alimentada pelo esgoto sanitário em dois locais. O primeiro local é na lagoa facultativa primária, responsável pela maior contribuição do sistema, segundo informações da DESO (2022), recebendo o esgoto oriundo da estação elevatória. O outro local é na lagoa facultativa secundária, que recebe o esgoto por gravidade. Conjuntamente, o esgoto dos dois pontos, chega à unidade de pré-tratamento, formado por grade e caixa de areia, sendo então conduzido às lagoas de estabilização (Figura 7).

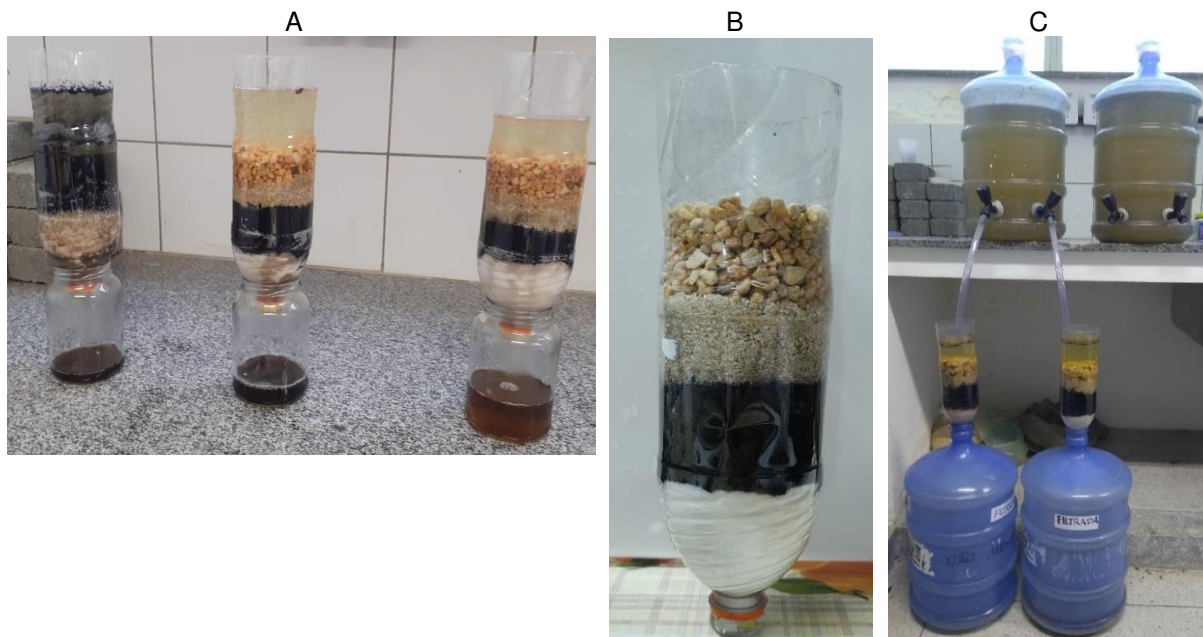
**Figura 7** - Unidade de pré-tratamento da ETE.

### 3.2.5. Montagem do sistema filtrante

Foram montados três diferentes sistemas filtrantes para serem testados e posteriormente, escolhido o filtro utilizado no experimento. Foram montadas colunas de filtragem constituídas por garrafas plásticas, com diâmetro aproximado de 8,5 cm

e comprimento de 28 cm. O biocarvão do filtro 1 ficou disposto no interior da coluna com altura de 5 cm. Esse biocarvão permaneceu entre uma camada superior de 1 cm de gases e outra inferior de 3 cm de areia fina. Abaixo desta camada de areia fina, foi colocado uma camada de 3 cm de areia grossa e outra camada de 5 cm de algodão. No filtro 2, o biocarvão ficou disposto no interior da coluna com altura de 5 cm entre uma camada de 5 cm de algodão (inferior) e uma camada de 3 cm de areia fina (superior). Acima da camada de areia fina foi inserida uma camada de 3 cm de areia grossa para minimizar o impacto causado pela queda do efluente. O filtro 3 possuiu as mesmas características físicas do filtro 2, porém a camada do biocarvão foi de 3 cm. As colunas ficaram dispostas verticalmente e em suas extremidades inferiores foram colocadas telas presas a elásticos para a contenção de todo o sistema (Figura 8A).

**Figura 8** - Sistemas filtrantes: (A) teste dos sistemas filtrantes para utilização no experimento; (B) sistema filtrante utilizado no pós-tratamento da água residuária doméstica; (C) estrutura utilizada no pós-tratamento do efluente doméstico.



A partir dos resultados obtidos em função do oxigênio dissolvido (OD) e do pH do efluente filtrado, foi decidido pela utilização do filtro 2 (Figura 8B) para dar prosseguimento ao experimento. Vale salientar que os parâmetros de OD e pH foram verificados utilizando o medidor multiparâmetros SensoDirect 150. Além disso, os

resultados foram comparados com os limites estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005 (BRASIL, 2005).

Também foram instalados recipientes plásticos de 20 L abaixo dos filtros para o seu apoio e as devidas coletas do efluente filtrado. Foram adaptadas torneiras em um recipiente plástico de 20 L e através de mangueiras foi promovida a alimentação dos filtros (Figura 8C).

### 3.2.6. Solo

O solo utilizado no experimento foi proveniente do Campus Rural, fazenda experimental pertencente à Universidade Federal de Sergipe. A coleta foi realizada no dia 20 de janeiro de 2021 e a profundidade utilizada na coleta foi de até 20 cm. Após a coleta, o solo foi peneirado, homogeneizado e disposto nos vasos plásticos, sobre camada de 10 cm de brita.

Para tomar conhecimento da composição do solo, antes do transplântio, foi retirada uma amostra com aproximadamente 500 g e levada ao laboratório certificado de solos do ITPS para realização das análises. De acordo com os resultados, foi detectada a capacidade de campo (Cc) de 8,38% (em massa, base seca), o ponto de murcha permanente (Pm) de 2,25% ( $\text{g g}^{-1}$ , bs) e a classificação textural obtida foi areia franca.

Na análise química do solo foi constatada a necessidade de correção da acidez, sendo realizada a calagem aplicando  $320 \text{ mg kg}^{-1}$  de solo. Com a integração do calcário em todo o volume de solo do vaso, foi efetuada, em seguida, a saturação deste até ser constatada a percolação da água. Esperou-se um período de aproximadamente 90 dias, tempo suficiente para que ocorresse a reação do produto e correções do pH e da fertilidade do solo.

Com base nos resultados da análise química do solo, foi realizada adubação de transplântio em todos os vasos. Já a adubação de cobertura foi executada nos vasos dos tratamentos T1, T4 e T5. A quantidade de nutrientes aplicados foram  $30 \text{ mg dm}^{-3}$  de N,  $30 \text{ mg dm}^{-3}$  de  $\text{K}_2\text{O}$  e  $60 \text{ mg dm}^{-3}$  de  $\text{P}_2\text{O}_5$ . As fontes comerciais dos nutrientes utilizados foram ureia, cloreto de potássio e superfosfato simples.

A caracterização físico-química do solo foi realizada após a colheita de cada ciclo, para a verificação dos possíveis impactos ocorridos em função do uso do efluente. O solo utilizado no preenchimento dos vasos foi peneirado e

homogeneizado. Para tomar conhecimento da composição do solo, antes do transplântio, foi retirada uma amostra com aproximadamente 500 g e levada ao laboratório certificado de solos do ITPS para realização das análises. Após a colheita, amostras de solo de cada parcela com a lâmina de irrigação equivalente a 100% da ETc foram retiradas da camada 0 - 20 cm. Esses solos foram misturados e homogeneizados de acordo com seu tratamento, armazenados em sacos plásticos devidamente identificados e levados ao laboratório para realização das análises.

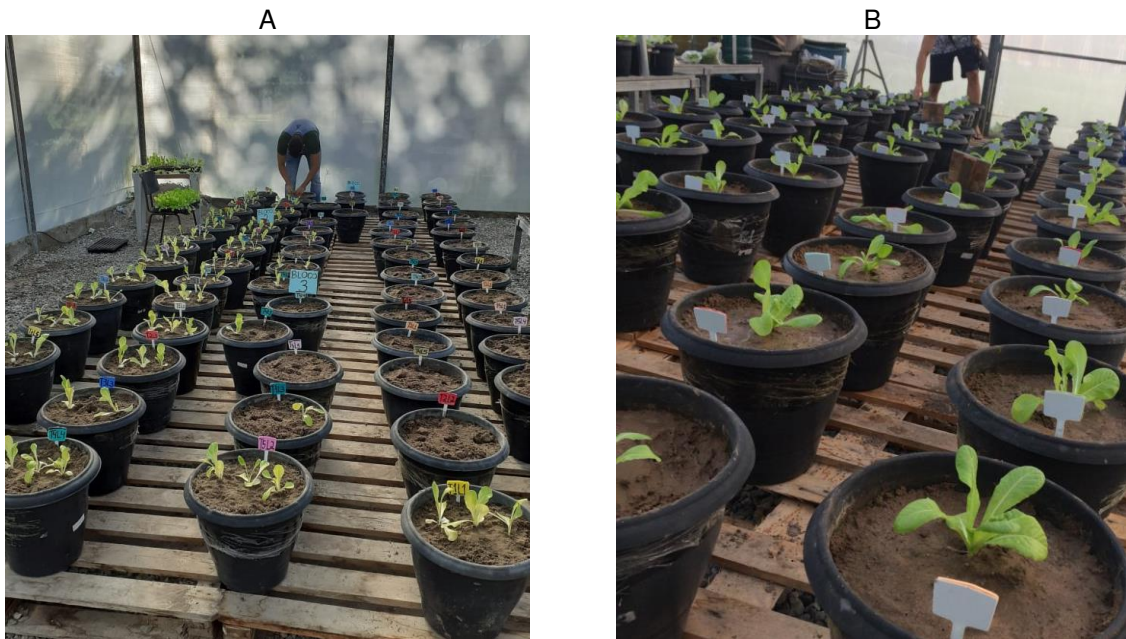
Os parâmetros verificados foram: pH em água, condutividade elétrica (CE), classificação de solo quanto a salinidade, matéria orgânica (MO), sódio, potássio, capacidade de troca catiônica (CTC) e percentual de sódio trocável (PST).

### **3.2.7. Cultura**

A alface (*Lactuca sativa*) utilizada é da variedade Saia Véia, pertencente à família das Asteraceae, adquirida em mudas de um viveiro no município Itabaiana, pertencente ao estado de Sergipe. Essa cultivar é identificada e selecionada pela Hortivale. Além de não formar cabeça, possui folhas lisas e moderadamente enrugadas, grandes e elípticas, com coloração verde-clara. Seu ciclo é de 35 a 40 dias após o transplante. Segundo a detentora, é importante manter o solo sempre bem adubado, com matéria orgânica, úmido e livre de plantas daninhas.

Nos dois ciclos foram transplantadas em cada vaso três mudas (Figura 9A) de alface. Após a estabilidade da cultura, que ocorreu sete dias após o transplântio, foi realizado o desbaste (Figura 9B), deixando apenas a planta mais vigorosa em cada vaso, quando foi iniciada a diferenciação dos tratamentos. Durante os sete primeiros dias após o transplântio, foi utilizada irrigação com apenas água de abastecimento em todas as parcelas. A adubação de transplântio foi realizada em todas as parcelas no momento do transplântio e a adubação de cobertura foi realizada 21 dias após o transplântio nos vasos dos tratamentos T1, T4 E T5.

**Figura 9** - Procedimentos: (A) transplântio das mudas para os vasos; (B) desbaste das mudas.



O transplântio no 1º ciclo ocorreu no dia 25 de junho de 2021 e a colheita foi realizada no dia 3 de agosto de 2021, totalizando um ciclo de 40 dias de cultivo. Já o transplântio no 2º ciclo ocorreu no dia 9 de agosto de 2021 e a colheita foi realizada no dia 15 de setembro de 2021, totalizando um ciclo de 38 dias de cultivo. Não foi necessário realizar o controle químico de pragas e doenças.

As características microbiológicas analisadas foram *Salmonella sp.* e Coliformes a 45 °C. Amostras da alface de cada parcela com a lâmina de irrigação equivalente a 100% da ETc foram retiradas. Essas amostras foram homogeneizadas de acordo com seu tratamento, armazenadas em sacos plásticos devidamente identificados (Figura 10), contendo aproximadamente 100 g cada e finalmente levados ao laboratório de microbiologia do ITPS. Os valores obtidos foram comparados com os limites estabelecidos pela Resolução-RDC nº 12, de 02 de janeiro de 2001, da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) (BRASIL, 2001).

**Figura 10** - Amostras da alface preparadas para serem levadas ao laboratório de microbiologia do ITPS.



As características agrônômicas analisadas da alface foram a massa fresca da parte aérea (MF), a massa seca da parte aérea (MS), o número de folhas e a produtividade do uso da água ( $\text{g L}^{-1}$ ). Durante a colheita foram realizados alguns procedimentos. Primeiro foi feito o corte da cultura para separar a parte aérea da raiz, em que foram conferidas a massa fresca e contado o número de folhas por planta. Posteriormente, para determinar a MS, cada amostra foi acondicionada em sacos de papel e encaminhada ao laboratório do Departamento de Engenharia Agrônômica da UFS. As amostras foram secadas em estufa com ventilação forçada de ar, à temperatura de  $65\text{ }^{\circ}\text{C}$  e durante 72 h. Após este período foi medido a massa seca de cada planta.

### 3.2.8. Estimativa da demanda hídrica

O cálculo da demanda hídrica da cultura foi realizado por meio do método direto, onde os vasos equivalentes as lâminas de 100% da  $\text{ETc}$  tiveram suas massas medidas diariamente (Figura 11A). As diferenças entre as massas do dia anterior (referente à capacidade de campo) e do dia atual, corresponderam à perda de água por evapotranspiração.

**Figura 11** - Estimativa da demanda hídrica: (A) procedimento de pesagem dos vasos; (B) plantas utilizadas no ajuste de cálculo da demanda hídrica; (C) procedimento de pesagem da planta.



A evapotranspiração da cultura em um período qualquer entre duas irrigações é dada pela Equação 1.

$$ET_c = 1.000 \times [(C_c - U_a) + (P_{ant} - P_{atual})] \quad (1)$$

Em que,

$ET_c$  – Evapotranspiração da cultura ( $\text{mL vaso}^{-1}$ );

$C_c$  – Massa do vaso na capacidade de campo (kg);

$U_a$  – Massa do vaso na umidade atual (kg);

$P_{ant}$  – Massa da planta no dia anterior (kg);

$P_{atual}$  – Massa da planta no dia atual (kg).

Para o ajuste da variação de massa do vaso devido ao crescimento da planta, em cada ciclo foram transplantadas, ao lado do experimento, 45 mudas de alface em vasos de 5 L (Figura 11B). Todos os dias era escolhida uma planta, separada sua parte aérea e verificado sua massa (Figura 11C). A variação de massa da planta corresponde a diferença entre sua massa no dia anterior e sua massa no dia atual.

Para cada tratamento foi realizada uma média entre as 3 repetições e irrigado de forma proporcional a suas respectivas lâminas. No tratamento de 100% da  $ET_c$ , a

irrigação foi realizada diariamente para elevar a umidade atual até a capacidade de campo do solo, sendo utilizadas provetas graduadas de 100 mL para melhor precisão da lâmina aplicada.

### **3.2.9. Caracterização climática**

A caracterização climática foi realizada utilizando uma estação meteorológica situada no interior do ambiente protegido no primeiro ciclo de cultivo. No segundo ciclo, foi utilizado um termo-higrômetro digital para o registro das temperaturas e umidades relativas máximas e mínimas.

Segundo Allen et al. (1998), para padronização, em períodos de 24 horas, a temperatura média ( $T_{med}$ ) deve ser definida como a média das temperaturas máximas ( $T_{max}$ ) e mínimas ( $T_{min}$ ) diárias, em vez da média de medições de temperatura de hora em hora. A temperatura do ar registrada durante o experimento atingiu sua máxima em 44,8 °C, sua mínima em 19,0 °C e a média foi de 30,9 °C.

A umidade relativa média do ar foi calculada seguindo a metodologia proposta pela FAO 56, onde é preciso determinar os valores de pressão de vapor real e pressão de vapor de saturação, expressos a partir dos valores máximos e mínimos de temperatura (ALLEN et al., 1998). A umidade relativa durante o experimento variou entre 84% e 25%, perfazendo uma média de 46,48% durante o período.

### **3.2.10. Coleta das fontes hídricas para irrigação**

A água residuária tratada foi coletada (Figuras 12A e 12B) semanalmente, de acordo com a demanda, em galões plástico de 20 L e disponibilizada no ambiente protegido para seu uso na irrigação (Figura 12C). Parte desta fonte hídrica passava pelo sistema filtrante e posteriormente era disponibilizada para irrigação da cultura da alface. No processo de filtragem do efluente doméstico foi mantida uma coluna d'água de 5 cm. A água de abastecimento utilizada na irrigação foi proveniente da tomada de água localizada no interior do ambiente protegido.

**Figura 12** - Coleta das fontes hídricas: (A) coleta da água residuária tratada; (B) coleta da água residuária tratada; (C) água residuária tratada foi coletada para irrigação da alface.



### 3.2.11. Análises das fontes hídricas

Nos três tipos de fontes hídricas utilizadas no estudo foram realizadas análises físico-químicas. Apenas nas fontes de efluente doméstico e água pós-tratada com biocarvão foram realizadas análises microbiológicas, pois como é considerada potável, espera-se que a fonte de água de abastecimento humano da concessionária esteja livre de agentes patógenos.

Nas características físico-químicas, os parâmetros verificados foram: demanda bioquímica de oxigênio (DBO), ferro total, fósforo total e relação de adsorção de sódio (RAS). A característica microbiológica verificada foi a quantidade de coliformes totais.

As amostras foram coletadas semanalmente durante a realização de cada ciclo (durante 8 semanas, 4 para cada ciclo). Apenas o parâmetro de DBO foi verificado a cada 15 dias. As amostras eram condicionadas em recipientes padronizados (Figura 13) de aproximadamente 1 L e entregues ao laboratório no mesmo dia da coleta, adotando todos os procedimentos estabelecidos pelo ITPS. Os resultados foram comparados com base nos padrões aceitáveis com as três classificações de água doce utilizadas para irrigação, conforme a Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005 (BRASIL, 2005) e a Resolução complementar de nº 430, de 13 de maio de 2011 (BRASIL, 2011).

**Figura 13** - Amostras condicionadas em recipientes padronizados.



Durante a condução do 2º ciclo do experimento, diariamente, foram monitorados o oxigênio dissolvido (OD) e condutividade elétrica (CE) das fontes hídricas. Esses parâmetros indicadores de qualidade de água foram obtidos por meio de um medidor multiparâmetros SensoDirect 150. Esse equipamento incorpora *software* de uso intuitivo, robusto, display de fácil visualização em uma maleta com eletrodos, soluções de calibração e acessórios coletando os dados em tempo real.

Como o experimento foi conduzido em ambiente protegido, a temperatura e a radiação solar neste tipo de ambiente podem alterar diretamente os níveis dos parâmetros verificados. Os resultados foram comparados com base nos padrões aceitáveis com as três classificações de água doce utilizadas para irrigação, conforme a Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005 (BRASIL, 2005) e a Resolução complementar de nº 430, de 13 de maio de 2011 (BRASIL, 2011).

### 3.2.12. Análise estatística

As variáveis agronômicas e as variáveis do solo foram submetidas à análise de variância (ANOVA), a 5% de significância no teste F. Para verificar o pressuposto de homogeneidade das variâncias foi utilizado o teste de Bartlett a 5% de significância e para verificar o pressuposto de normalidade foi utilizado o teste de Shapiro-Wilk a 5% de significância. Para os fatores qualitativos, as médias foram comparadas utilizando o teste de Tukey a 5% de significância. Para os fatores quantitativos, os modelos foram escolhidos com base nos coeficientes de determinação ( $r^2$ ), na significância dos coeficientes de regressão e no fenômeno biológico.

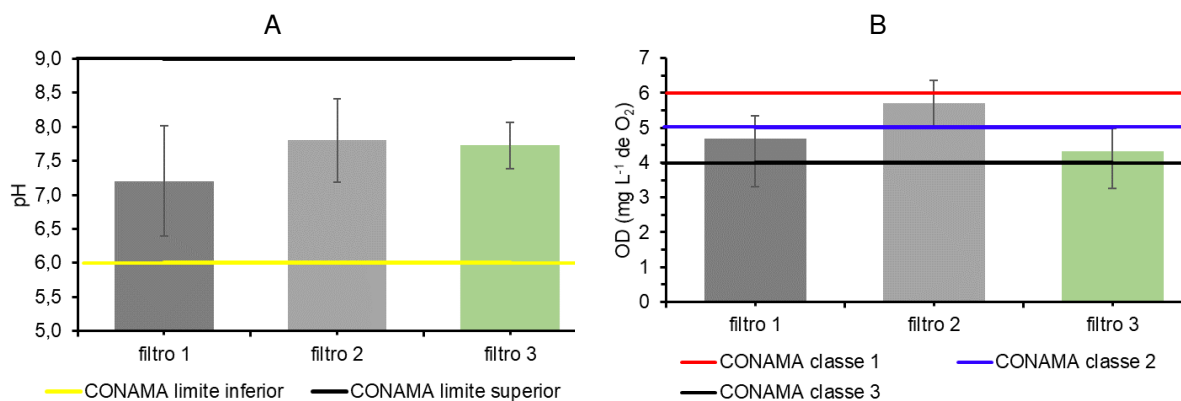
Para execução das análises estatísticas foi utilizado o software R, versão 3.6.3. As plotagens dos gráficos de regressão foram realizadas utilizando o software Microsoft Office Excel.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1. SISTEMA FILTRANTE

Os resultados obtidos durante os testes dos sistemas filtrantes foram comparados com base nos padrões aceitáveis das três classificações de águas doces destinadas à irrigação, conforme a Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005 (BRASIL, 2005) e a Resolução complementar de nº 430, de 13 de maio de 2011 (BRASIL, 2011). Na Figura 14 são apresentados os resultados do pH verificados nos três sistemas filtrantes (filtro 1 - filtro com camada de 5 cm de biocarvão e camada superior com gases; filtro 2 - filtro com camada de 5 cm de biocarvão e camada superior de areia fina; filtro 3 - filtro com camada de 3 cm de biocarvão e camada superior de areia fina) e o comparativo com os limites estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005 (BRASIL, 2005).

**Figura 14** - Médias dos parâmetros dos três sistemas filtrantes e comparativo com a Resolução CONAMA: (A) valores de pH; (B) valores de oxigênio dissolvido (OD).



A concentração de  $H^+$  e  $OH^-$  são de extrema utilidade na avaliação das interferências humanas na qualidade da água. De acordo com a Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005, para efeito do pH nas águas destinadas à irrigação, é recomendado valores entre 6 e 9 (BRASIL, 2005). Segundo Guimarães et al. (2021), o pH é um dos parâmetros que caracterizam a qualidade da água para irrigação,

podendo influenciar na microbiologia do solo e no processo de troca catiônica entre solo e planta. Portanto, pelos dados apresentados na Figura 14A, os níveis de pH se mostraram dentro dos limites da resolução e o filtro 3 obteve o menor desvio-padrão, seguido do filtro 2.

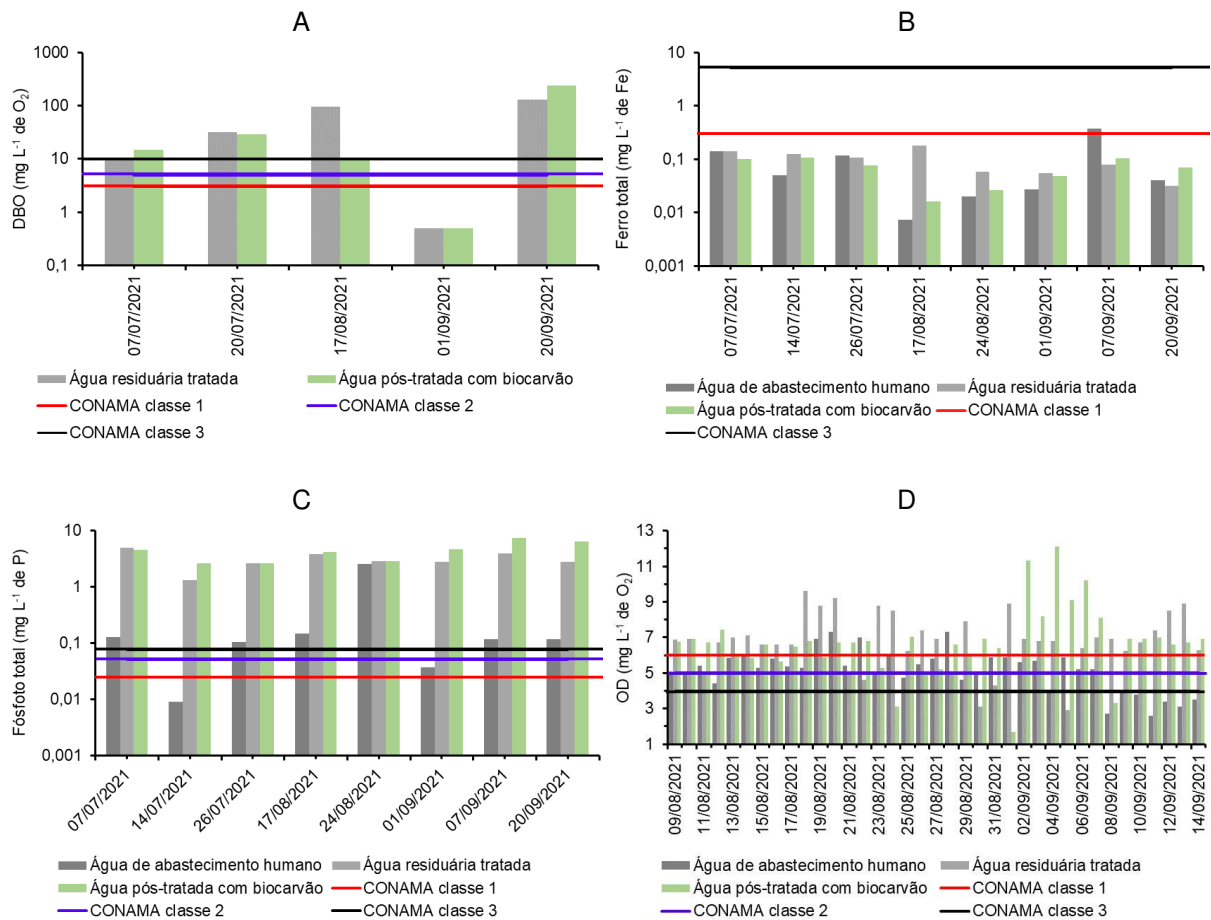
Na Figura 14B estão apresentados os valores de oxigênio dissolvido (OD) verificados nos três sistemas filtrantes e o comparativo com os limites estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005 (BRASIL, 2005). De acordo com (BRASIL, 2005), os valores de OD não devem ser inferiores a 6, 5 e 4 mg L<sup>-1</sup> de O<sub>2</sub>, segundo as classes 1, 2 e 3, respectivamente, das águas doces destinadas à irrigação. Observa-se na Figura 14B que as médias dos filtros 1 e 3 se enquadraram na classe 3 e a média do filtro 2 se enquadrou na classe 2. O filtro 2 obteve menor desvio-padrão em relação aos filtros 1 e 3.

Diante dos resultados obtidos, foi escolhido o filtro 2 para dar sequência ao experimento, por apresentar valores mais consonantes com a Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005 (BRASIL, 2005).

#### 4.2. AVALIAÇÃO DAS FONTES HÍDRICAS PARA USO NA IRRIGAÇÃO

Os resultados físico-químicos e microbiológicos obtidos no presente estudo foram comparados com base nos padrões aceitáveis das três classificações de águas doces destinadas à irrigação, conforme a Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005 (BRASIL, 2005) e a Resolução complementar de nº 430, de 13 de maio de 2011 (BRASIL, 2011). Na Figura 15 estão apresentados os resultados dos parâmetros de demanda bioquímica de oxigênio (DBO), ferro total, fósforo total e oxigênio dissolvido das fontes hídricas utilizadas no estudo e os limites estabelecidos pelas três classificações destinadas à irrigação de água doce da Resolução CONAMA.

**Figura 15** - Valores físico-químicos das fontes hídricas: (A) demanda bioquímica de oxigênio (DBO); (B) ferro total; (C) fósforo total; (D) oxigênio dissolvido (OD).



A DBO é um dos constituintes poluentes que caracterizam a qualidade da água utilizada na irrigação. De acordo com Brasil (2005) os valores de DBO não devem ultrapassar 3, 5 e 10 mg L<sup>-1</sup> de O<sub>2</sub>, segundo as classes 1, 2 e 3, respectivamente, das águas doces destinadas à irrigação. Observa-se na Figura 15A que os valores de DBO da água filtrada se mantiveram próximos aos valores encontrados na água residuária e que a maioria dos pontos ficaram fora dos limites estabelecidos pela resolução. O resultado do laboratório também evidenciou um aumento do valor a partir do dia 01/09/2021, propondo que o uso prolongado do sistema de filtragem pode reduzir sua eficiência.

A Resolução complementar de nº 430, de 13 de maio de 2011 (BRASIL, 2011), atribui um valor máximo de 120 mg L<sup>-1</sup> de O<sub>2</sub>, ressaltando que o limite estabelecido só poderá ser ultrapassado caso o sistema de tratamento possua eficiência de remoção mínima de 60% de DBO do efluente. Mendonça et al. (2005) em seus estudos, relataram que a ETE Rosa Elze possui eficiência média de 79%. Portanto, às médias

dos resultados obtidos de 53,70 e 59,04 mg L<sup>-1</sup> de O<sub>2</sub> para água residuária tratada e água filtrada com biocarvão, respectivamente, atenderam a Resolução complementar de nº 430, de 13 de maio de 2011 (BRASIL, 2011).

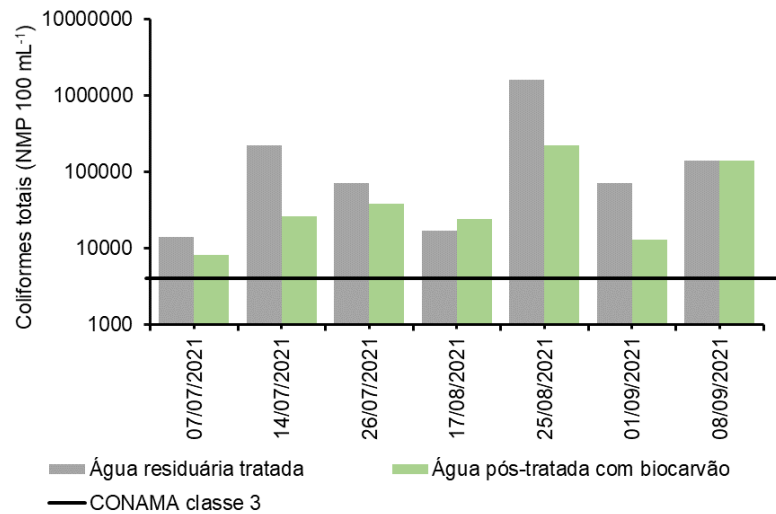
A Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005 (BRASIL, 2005) apresenta valores máximos de 0,3 mg L<sup>-1</sup> de Fe para a classe 1 e valores máximos de 5 mg L<sup>-1</sup> de Fe para a classe 3 das águas doces destinadas à irrigação. Observa-se na Figura 15B que as fontes hídricas água residuária tratada (AR) e água pós-tratada com biocarvão (AB) se enquadraram na classificação 1 desta resolução. No dia 07/09/2021 a fonte hídrica água de abastecimento humano (AH) apresentou o valor de 0,37 mg L<sup>-1</sup> de Fe, valor esse muito próximo ao estabelecido pela classe 1. Nas demais datas e fontes hídricas os valores ferro total ficaram dentro do intervalo da classe 1.

De acordo com (BRASIL, 2005) os valores de fósforo total (ambiente intermediário, com tempo de residência entre 2 e 40 dias), para as águas doces destinadas à irrigação, não devem ultrapassar 0,025, 0,050 e 0,075 mg L<sup>-1</sup> de P, segundo as classes 1, 2 e 3, respectivamente. De acordo com a Figura 15C, as fontes AR e AB não se enquadraram em nenhuma classificação desta resolução. A fonte AH se enquadrou apenas em 2 amostras, no dia 14/07/2021 foi enquadrada na classe 1 e em 01/09/2021 na classe 2.

Para águas doces destinadas à irrigação, BRASIL (2005) recomenda que os valores de OD não devem ser inferiores a 6, 5 e 4 mg L<sup>-1</sup> de O<sub>2</sub> para as classes 1, 2 e 3, respectivamente. Observa-se na Figura 15D que os valores das três fontes hídricas oscilaram entre as 3 classificações. Isso ocorreu principalmente com as fontes hídricas AR e AB, que apresentaram altos valores de OD, enquadrando a maioria dos seus valores na classe 1. A maioria dos valores da fonte AH se enquadrou na classe 2.

O efluente doméstico bruto e o pós-tratado com biocarvão foram submetidos às análises microbiológicas. Já a água de abastecimento humano não foi analisada, pois é considerada potável e espera-se que esteja livre de agentes patogênicos. Na Figura 16 estão apresentados os valores de coliformes totais presentes nas fontes hídricas e o limite estabelecido pela classe 3 de água doce da Resolução CONAMA.

**Figura 16** - Valores de coliformes totais presentes em diferentes fontes hídricas.



Para o uso da água na irrigação, BRASIL (2005) determina que a quantidade de coliformes termotolerantes não deva exceder o limite de 200, 1000 e 4000 NMP 100 mL<sup>-1</sup>, para as classes 1, 2 e 3, respectivamente, em 80 % ou mais, de pelo menos seis amostras, coletadas durante o período de um ano, com frequência bimestral. Foi utilizado coliformes totais em substituição ao parâmetro coliforme termotolerantes.

Observa-se nos resultados das análises de coliformes totais (Figura 16) que nenhuma fonte hídrica atende ao exigido pelo enquadramento, visto que não deveria ser excedido o limite de pelo menos 4.000 coliformes totais por 100 mL, impossibilitando o seu uso para irrigação por ultrapassar os valores aceitáveis mediante esta resolução.

### **Classificação quanto ao perigo de salinização e sodificação do solo**

A classificação das fontes hídricas para irrigação foi realizada seguindo o modelo proposto pelos técnicos do Laboratório de Salinidade dos Estados Unidos (BERNARDO et al., 2019). Esse modelo é baseado na condutividade elétrica (CE), como indicadora do perigo de salinização do solo, e na razão de adsorção de sódio (RAS), como indicadora do perigo de alcalinização ou sodificação do solo.

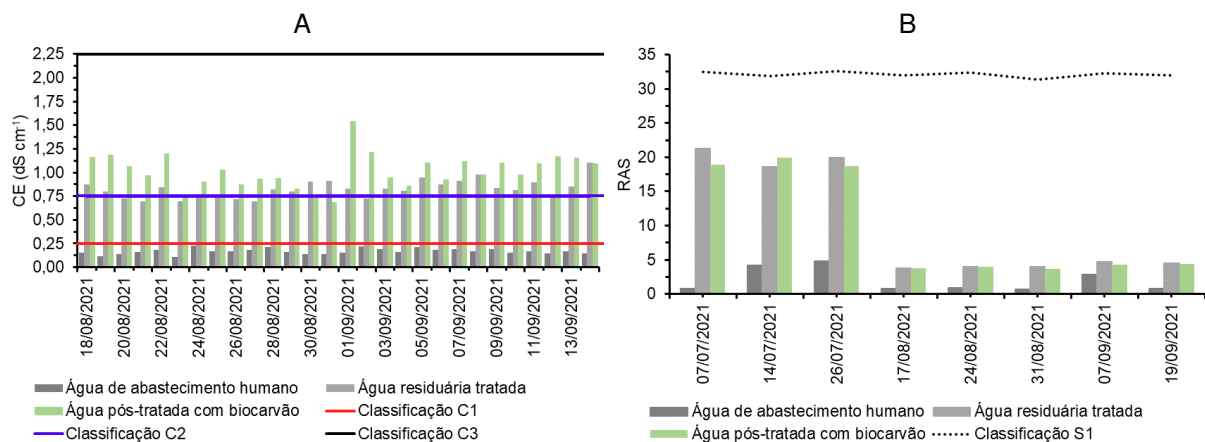
Provavelmente, um dos critérios mais importantes com respeito à qualidade da água para irrigação, seja a concentração total de sais. Tomando como base este critério de CE, as águas se dividem em quatro classes: salinidade baixa (C1), salinidade média (C2), salinidade alta (C3) e salinidade muito alta (C4), sendo os

pontos divisórios entre classes 0,25; 0,75 e 2,25 dS cm<sup>-1</sup>, a 25 °C (BERNARDO et al., 2019). No critério de perigo de sodificação, as águas se classificam em quatro classes: baixa concentração de sódio (S1), média concentração de sódio (S2), alta concentração de sódio (S3) e muito alta concentração de sódio (S4), a depender dos valores da RAS e da CE (BERNARDO et al., 2019).

A CE mede a capacidade que a água possui de conduzir corrente elétrica. Apresenta conexão com as espécies iônicas dissolvidas, quanto maior for à quantidade de íons dissolvidos, maior será a condutividade elétrica. Segundo Pedrotti et al. (2015), um dos principais fatores que limita a produção agrícola é a salinização do solo via irrigação com águas de baixa qualidade. A RAS corresponde a associação entre a concentração de sódio e o total de cálcio e magnésio existentes na água. Esse parâmetro não é apontado na resolução CONAMA, mas se configura como relevante fator a ser considerado quando a água é direcionada com finalidades na agricultura irrigada. A RAS associada à condutividade elétrica da água pode ocasionar limitações quanto a sua utilização (BATISTA et al., 2016).

Na Figura 17 estão apresentados os valores de CE e RAS para as diferentes fontes hídricas e suas classificações quanto ao perigo de salinização e sodificação do solo.

**Figura 17** - Valores das fontes hídricas e os valores limites quanto ao perigo de salinização e sodificação do solo: (A) condutividade elétrica (CE) e (B) razão de adsorção de sódio (RAS).



Em relação ao perigo de salinização do solo, a água de abastecimento humano obteve classificação C1, considerada água de salinidade baixa, podendo ser utilizada na maioria das culturas e solos, com pouca probabilidade de ocasionar salinidade. Já

as fontes hídricas de água residuária tratada e água proveniente da filtragem com biocarvão obtiveram classificação C3, considerada água com salinidade alta, não podendo ser empregada em solos com deficiência de drenagem. Já eram esperados resultados maiores tanto nos valores da CE quanto nas suas classificações em consequência destas fontes apresentarem uma carga de matéria orgânica maior do que na água de abastecimento humano.

Guan et al. (2020) produziram dois biocarvões a partir de matéria-prima de palha de trigo e madeira de salgueiro. Após a filtragem do efluente, a partir de um sistema de filtragem de bioareia modificado em laboratório, os autores verificaram que os níveis de pH, CE e fósforo total foram maiores que os níveis do efluente e da água potável. Resultados semelhantes foram encontrados por Reddy, Xie e Dastgheibi (2014).

A salinização pode ocorrer durante a irrigação com efluente tratado e até mesmo com água doce, mas o efluente tratado acelera o processo devido apresentar maior salinidade (URBANO et al., 2017). Embora a salinidade afete o crescimento das plantas de forma geral, na maioria das culturas agrícolas, a germinação, a emergência e o crescimento inicial são as fases de desenvolvimento mais afetadas. Em regiões semiáridas, o acúmulo de sais minerais, destacando  $\text{Na}^+$  e  $\text{Cl}^-$ , vem afetando de forma negativa o funcionamento das raízes das plantas. A redução do potencial hídrico proporciona um maior desequilíbrio iônico no solo, provocando a redução da absorção de alguns nutrientes minerais, entre eles  $\text{K}^+$  e  $\text{Ca}^+$  (AL-KARAKI, AL-AJMI e OTHMAN, 2009; BRITO et al., 2014; FLOWERS e FLOWERS, 2005; MEDEIROS et al., 2007; MUNNS e TESTER, 2008; QUEIROGA et al., 2006; SÁ et al., 2013).

De modo geral, a produção vegetal decresce linearmente com o aumento da salinidade do solo. Santos e Brito (2016) destacam que a necessidade de lixiviação é fundamental para reduzir a salinidade onde se encontra a maior parte do sistema radicular das plantas.

Quanto à questão do perigo de sodificação do solo, todas as três fontes hídricas apresentaram classificação S1, considerada água de baixa concentração de sódio. Essa água pode ser utilizada em quase todos os tipos de solo, com pouca possibilidade de alcançar níveis indesejáveis de sódio trocável. Santos (2018) ao utilizar efluente doméstico que serviu como aporte nutricional para a irrigação do quiabo, observou valores crescentes de sódio no solo. Acredita-se que o uso

prolongado dessa fonte hídrica no mesmo solo causará sua sodização, refletindo em um balanceamento nutricional e estrutural desequilibrado.

Bernardo et al. (2019) apostam que é possível utilizar na irrigação algumas águas classificadas como “duvidosas”. Para isso, os autores relatam a necessidade de um bom manejo de irrigação, utilizando lâminas de lixiviação e corretivos apropriados. Dessa forma, é possível alcançar sucesso com o uso de águas de qualidade inferior na agricultura.

### 4.3. CARACTERÍSTICAS DO SOLO

Após o término de cada ciclo de cultivo foram determinadas as características químicas do solo com lâmina de irrigação equivalente a 100% da ETc, com o intuito de verificar as possíveis mudanças ocorridas após a aplicação das diferentes fontes hídricas e fertilizantes. Um resumo da análise de variância é apresentado na Tabela 3. É possível verificar os efeitos causados no solo submetido à aplicação prolongada dos tratamentos.

**Tabela 3** - Resumo da análise de variância e valores médios das características químicas do solo em função de diferentes fontes hídricas e fertilizantes.

Fator	CV (%)	Quadrado médio	Tratamentos				
			T1	T2	T3	T4	T5
pH	12,12	0,2837 <sup>ns</sup>	$\hat{y} = 5,42$				
CE (dS m <sup>-1</sup> a 25°)	11,56	0,4014*	0,74 b	0,83 b	0,68 b	1,37 a	1,70 a
Sódio (mg dm <sup>-3</sup> )	10,87	180,072*	19,80 b	37,05 a	35,40 a	37,45 a	45,90 a
Potássio (mg dm <sup>-3</sup> )	78,57	1223,2 <sup>ns</sup>	$\hat{y} = 47,81$				
Matéria orgânica (g dm <sup>-3</sup> )	16,8	0,9383 <sup>ns</sup>	$\hat{y} = 11,28$				
CTC (cmolc dm <sup>-3</sup> )	35,25	0,7418 <sup>ns</sup>	$\hat{y} = 4,86$				
PST (%)	36,99	2,0227 <sup>ns</sup>	$\hat{y} = 3,37$				
Classificação do solo quanto a salinidade	Ciclo 1		Normal	Normal	Normal	Normal	Normal
	Ciclo 2		Normal	Normal	Normal	Normal	Normal

Nota: <sup>ns</sup> - não significativo ( $p > 0,05$ ); \* - significativo ( $p < 0,05$ ). Médias seguidas por letras iguais nas linhas não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ). T1 - Tratamento irrigado com água de abastecimento humano da concessionária + adubação de plantio e cobertura; T2 - Tratamento irrigado com água residuária tratada proveniente da ETE Rosa Elze; T3 - Tratamento irrigado com água residuária tratada proveniente da filtragem com biocarvão; T4 - Tratamento irrigado com água residuária tratada proveniente da ETE Rosa Elze + adubação de plantio e cobertura; T5 - Tratamento irrigado com água residuária tratada proveniente da filtragem com biocarvão + adubação de plantio e cobertura.

O pH do solo é um índice importante, pois pode interferir na disponibilidade dos nutrientes para as plantas. De acordo com a Tabela 3, o pH do solo não foi alterado

pelas diferentes fontes hídricas e fertilizantes. Resultados semelhantes foram encontrados nos estudos de Chaganti et al. (2020), Pinto Júnior (2018), Urbano et al. (2015) e Urbano et al. (2017). Segundo Puissant et al. (2019), o pH é um parâmetro que caracteriza o nível de acidez ou alcalinidade de uma solução ou dispersão e que no caso do solo, a faixa de pH apontada normal vai de 5,0 a 7,0. A alface não se desenvolve de forma adequada em solos com reações ácidas ( $\text{pH} < 5,5$ ) e também quando são muito alcalinos (YURI et al., 2016). Nunes (2007) determina que o ideal para o cultivo da alface é que o pH esteja dentro da faixa de 6,0 a 6,8.

As associações de diferentes fontes hídricas e fertilizantes também não proporcionaram efeito na matéria orgânica (MO), CTC, potássio e PST do solo (Tabela 3). Segundo Crespo et al. (2021), a MO é fundamental para aumentar a CTC do solo e fornecer nutrientes como nitrogênio, fósforo e enxofre para a nutrição das plantas. Velescu et al. (2021) definem a CTC como a capacidade que o solo tem de armazenar nutrientes como cálcio, potássio e magnésio para as plantas. De acordo com Pedrero et al. (2020) o acréscimo da MO favorece os atributos físicos do solo, como densidade, estabilidade dos agregados e porosidade total, favorecendo uma lixiviação adequada e impedindo sua degradação por acúmulo de sais.

Embora não tenha sofrido efeito aos tratamentos, o aumento da PST do solo tem sido frequentemente relatado por estudos utilizando efluentes tratados na irrigação, provavelmente devido à concentração de sódio na água (LIANG et al., 2021). Urbano et al. (2015) observaram que após cinco ciclos de cultivo de alface irrigados com água residuária, as propriedades físicas de um Latossolo Vermelho-escuro não sofreram alterações. A água residuária utilizada nesse trabalho citado, apresentou risco de salinidade leve a moderado para irrigação e, conseqüentemente, aumentou a PST no solo e a concentração de sódio.

A condutividade elétrica (CE) representa o conteúdo de sais minerais no solo. Na Tabela 3 é possível observar maiores valores de CE nos solos dos tratamentos T4 e T5. Estes, além de ter sido irrigados com fontes hídricas ricas em nutrientes, também receberam o aporte da adubação de cobertura. De acordo com Bernardo et al. (2019), a cultura da alface possui uma tolerância de  $1,3 \text{ dS m}^{-1}$  a  $25^\circ \text{ C}$  da CE do extrato de saturado do solo, para atingir a produção potencial de 100% e uma tolerância de  $2,1 \text{ dS m}^{-1}$  a  $25^\circ \text{ C}$  para que a produção possa atingir os 90%. Os resultados comprovam que os tratamentos irrigados com as fontes hídricas sem a necessidade do aporte da adubação de cobertura, tem o potencial de atingir sua produção máxima.

Erel et al. (2019) afirmam que os efluentes possuem concentrações de sais maiores que a água doce e que estas concentrações podem ser altas o suficiente para prejudicar o crescimento das plantas e degradar a qualidade do solo. Awedat et al. (2021) corrobora que a salinidade e sodicidade do solo tendem a se acumular em todo o perfil do solo. Porém, Zalacáin et al. (2019) constataram que a salinização do solo, ao longo de 5 anos de pesquisa em irrigação, não ocorreu nas parcelas irrigadas com águas residuais tratadas e que o parque irrigado com águas residuárias tratadas por 15 anos apresentou apenas uma leve salinização do solo.

Em relação ao sódio, de acordo com a Tabela 3, obteve-se maiores valores nos tratamentos irrigados com água residuária tratada e água da ETE que passou pelo sistema filtrante, principalmente aqueles que também receberam o aporte nutricional da adubação de cobertura. Libutti et al. (2018) em seu estudo, trabalhando com fontes de águas residuárias, encontrou resultados semelhantes, ou seja, percebeu menores valores nas parcelas irrigadas com água potável.

Potássio e sódio são elementos químicos encontrados em concentrações relativamente elevadas em águas residuárias provenientes do meio urbano (LIANG, 2021). Por serem dispersantes da argila, quando os efluentes são dispostos de formas inadequadas podem promover a destruição dos macroporos do solo. Por consequência, problemas físicos irão aparecer, como os associados a aeração, infiltração de água e penetração radicular (GHARAIBEH, 2021).

O solo de todos os tratamentos foi classificado como normal (Tabela 3) quanto a sua salinidade. Segundo Bernardo et al. (2019), solos salinos são aqueles cuja condutividade elétrica da solução de solo saturada é maior do que  $4 \text{ dS m}^{-1}$ , à  $25 \text{ }^\circ\text{C}$ , o PST é menor do que 15%, e normalmente o pH é menor do que 8,5. Ainda de acordo com os autores, os principais problemas da salinização, ocorrida nos solos do país, surgiram nos projetos de irrigação, notadamente nos projetos públicos desenvolvidos no “polígono das secas” e não estão diretamente relacionados com a qualidade da água utilizada para irrigação. Os autores responsabilizam a falta de drenagem adjunta a baixa eficiência da irrigação por superfície, conduzida na maioria dos projetos.

#### 4.4. CARACTERÍSTICAS AGRONÔMICAS DA ALFACE

Neste tópico será discutido os resultados das características agronômicas da cultura da alface. Vários estudos relatam de forma ampla as vantagens da reutilização de águas residuais tratadas na agricultura (BAKARI et al., 2022; SHANNAG, AL-

MEFLEH e FREIHAT, 2021; URBANO et al., 2017; YAN et al., 2021). Nutrientes presentes nas águas residuárias como nitrogênio, fósforo e potássio podem reduzir a necessidade de compostos minerais complementares. Além disso, podem aumentar a concentração de alguns elementos (Ca, B, Fe, Cu, Zn e Mn) essenciais para o crescimento e desenvolvimento das culturas (GATTA et al., 2016; URBANO et al., 2017; VIVALDI et al., 2019). Urbano et al. (2017) comparando as características entre fontes de água potável e água residuária, observaram que as concentrações de sódio, cálcio, nitrogênio, potássio e fósforo nas águas residuárias foram pelo menos duzentos por cento maiores que as concentrações dos mesmos nutrientes na água potável.

Os resultados do presente estudo indicaram a continuidade do aporte nutricional da água residuária mesmo após a filtração com biocarvão e sua utilização sem a necessidade da adubação de cobertura para o desenvolvimento das culturas. Um resumo da análise de variância e teste de média é apresentado na Tabela 4.

**Tabela 4** - Valores médios de massa fresca da parte aérea, massa seca da parte aérea, número de folhas, produtividade do uso da água.

Fator	Ciclo	Teste F			Lâminas de irrigação	Tratamentos				
		LI	TRAT	LI*TRAT		T1	T2	T3	T4	T5
Massa fresca da parte aérea (g pl <sup>-1</sup> )	1	46,164***	7,0399***	0,5753 <sup>ns</sup>		372,9 b	435,0 ab	490,6 a	392,1 b	369,5 b
					50% ETc	107,0 a	187,3 a	184,3 a	115,0 a	152,0 a
	2	8,7864***	6,9007***	2,3764*	75% ETc	194,7 b	221,3 ab	380,0 a	153,0 b	207,7 ab
					100% ETc	180,0 b	227,7 b	414,7 a	314,7 ab	312,0 ab
					125% ETc	146,0 b	234,3 ab	351,0 a	407,0 ab	367,7 ab
150% ETc	236,7 a	182,7 a	208,3 a	364,3 a	313,3 a					
Massa seca da parte aérea (g pl <sup>-1</sup> )	1	25,4182***	3,4513*	0,9345 <sup>ns</sup>		17,26 ab	17,52 ab	19,75 a	16,50 b	17,05 b
					50% ETc	7,97 ab	14,60 a	12,32 ab	7,83 b	9,95 ab
	2	16,7453***	4,0665***	2,7585**	75% ETc	11,17 b	15,13 ab	18,00 a	13,94 ab	11,42 ab
					100% ETc	15,82 a	12,72 a	18,97 a	13,88 a	17,18 a
					125% ETc	13,73 b	16,97 ab	19,91 ab	22,65 a	21,28 a
150% ETc	15,04 a	12,23 a	14,78 a	19,08 a	16,20 a					
Número de folhas (un pl <sup>-1</sup> )	1	22,1405***	2,0217 <sup>ns</sup>	0,5411 <sup>ns</sup>	$\hat{y} = 49$					
	2	8,3594***	3,3414*	1,7427 <sup>ns</sup>	43,93 b	48,00 ab	53,67 a	46,20 ab	48,53 ab	
Produtividade do uso da água (g L <sup>-1</sup> )	1	1,5107 <sup>ns</sup>	4,255**	0,6775 <sup>ns</sup>		32,31 b	43,79 a	38,59 ab	38,70 ab	35,73 ab
					50% ETc	15,48 a	20,98 a	23,68 a	18,60 a	23,19 a
	2	4,0888**	10,4152***	2,4079**	75% ETc	20,52 b	17,68 b	35,20 a	18,22 b	23,20 ab
					100% ETc	14,92 b	14,14 b	30,03 a	29,64 a	27,49 ab
					125% ETc	9,97 b	11,90 b	20,87 ab	31,73 a	26,74 a
150% ETc	13,73 ab	7,85 b	10,50 ab	24,23 a	19,41 ab					

Nota: <sup>ns</sup> - não significativo ( $p > 0,05$ ); \* - significativo ( $p < 0,05$ ); \*\* - significativo ( $p < 0,01$ ); \*\*\* - significativo ( $p < 0,001$ ). Médias seguidas por letras iguais nas linhas não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ). T1 - Tratamento irrigado com água de abastecimento humano da concessionária + adubação de plantio e cobertura; T2 - Tratamento irrigado com água residuária tratada proveniente da ETE Rosa Elze; T3 - Tratamento irrigado com água residuária tratada proveniente da filtragem com biocarvão; T4 - Tratamento irrigado com água residuária tratada proveniente da ETE Rosa Elze + adubação de plantio e cobertura; T5 - Tratamento irrigado com água residuária tratada proveniente da filtragem com biocarvão + adubação de plantio e cobertura

Verificou-se efeito isolado de lâminas de irrigação e de fontes hídricas com adubação na massa fresca e seca da parte aérea das plantas de alface no ciclo 1. No ciclo 2 verificou-se interação entre os fatores para essas variáveis. De acordo com os dados apresentados na Tabela 4, nos ciclos 1 e 2, a massa fresca e seca da parte aérea apresentou maiores médias no tratamento irrigado com o efluente que passou pelo sistema filtrante e não necessitou da adubação de cobertura (T3). Quando irrigados com a lâmina de 125% da ETc, os tratamentos irrigados com as duas fontes hídricas ricas em nutrientes e que receberam adubação de cobertura (T4 e T5), também se destacaram. Quando irrigado com a lâmina 150% da ETc, não houve diferença dessas variáveis entre os tratamentos no ciclo 2.

A massa seca é o produto do material que perdeu toda sua umidade após passar pelo processo de secagem, e caracteriza fisiologicamente a evolução da planta ao longo do seu ciclo de desenvolvimento. Os resultados apresentados comprovam que o valor nutricional da água filtrada atendeu de forma satisfatória o crescimento fisiológico das culturas sem a necessidade da utilização da adubação de cobertura. Azevedo (2004), Gallego et al. (2021), Sandri, Matsura e Testezlaf (2007) e Urbano et al. (2017) irrigando a cultura da alface com água residuária, verificaram maiores médias de massa fresca em relação às plantas irrigadas com água de abastecimento.

Duarte (2006) ao utilizar fertirrigação com água residuária com diferentes tipos de tratamento, além de não encontrar diferenças significativas entre os tipos de tratamentos, verificou maiores médias destas fontes hídricas em relação a fonte hídrica de água potável. Azevedo (2004) ao cultivar alface e utilizar na irrigação água de um ribeirão receptor de efluentes, observou que a produção de massa seca foi maior com esta fonte hídrica do que nas plantas irrigadas com água de abastecimento. Nos trabalhos de Tavares et al. (2019) e Alayu e Leta (2021) são encontrados resultados semelhantes.

Faccioli et al. (2017) e Dantas et al. (2014) encontraram resultados semelhantes em seus estudos cultivando duas variedades de feijão-caupi e rabanete, respectivamente. Esses autores utilizaram as mesmas fontes de água de abastecimento humano e água residuária tratada deste experimento e não encontraram diferenças significativas a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey para as massas secas da parte aérea e nas alturas das plantas.

Em relação ao número de folhas, não foram observados efeitos isolados ou da interação, obtendo-se valor médio de 49 un pl<sup>-1</sup> no primeiro ciclo de cultivo da alface.

No segundo ciclo, foram verificados efeitos isolados das lâminas de irrigação e fontes hídricas + adubação no número de folhas da cultura. O T3 apresentou maior média em relação ao T1 e os demais tratamentos não apresentaram diferença. Ramos (2021), após irrigar couve manteiga com água residuária da mesma ETE, verificou que as médias do número de folhas foram maiores em relação às plantas irrigadas com água de abastecimento humano. No trabalho de Amori et al. (2022), que cultivou alface, é encontrado resultado semelhante.

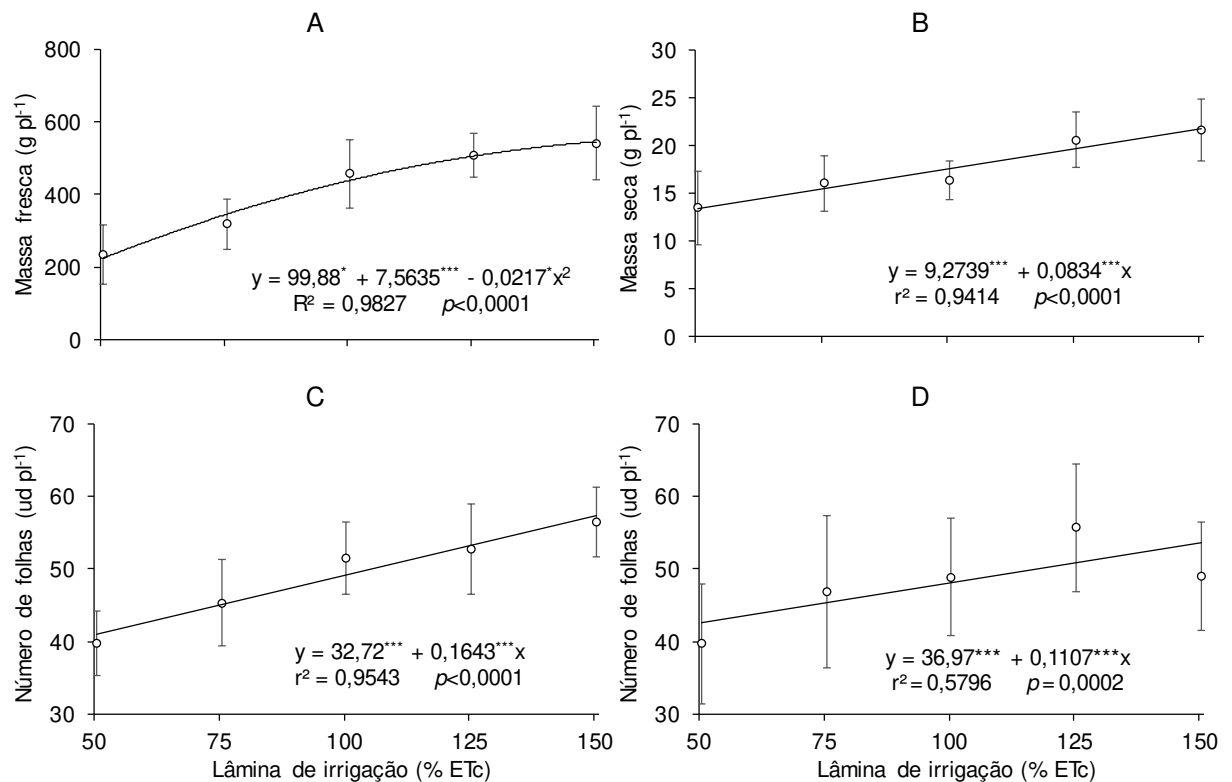
Para a produtividade do uso da água verificou-se na análise de variância efeito isolado das fontes hídricas + adubação no ciclo 1 e interação entre lâminas de irrigação e fontes hídricas no ciclo 2 da alface. De acordo com o teste de média, observou-se no ciclo 1 que o T2 apresentou maior média em relação ao T1 e os demais tratamentos não diferiram de nenhum deles. No ciclo 2, independente da lâmina de irrigação, o T3 apresentou as maiores médias.

Os resultados do presente estudo se assemelham aos obtidos por Alves et al. (2012), que avaliaram o uso de água residuária na produção de mudas de tomate através do número de folhas, área foliar, diâmetro do coleto, altura da parte aérea e massa seca total. Esses autores verificaram que todas as variáveis apresentaram diferenças significativas, sendo que as mudas mais desenvolvidas foram obtidas na maior concentração de efluente aplicado. Apesar dos estudos indicarem maior produção nas culturas irrigadas com água residuária tratada (SINGH, DESHBHRATAR e RAMTEKE, 2012), é importante ressaltar que não substitui o uso de fertilizantes nitrogenados, apenas fornece parte da quantidade necessária, conforme relatado por Damasceno et al. (2010) e Fonseca et al. (2007).

Em relação as respostas das variáveis avaliadas às lâminas de irrigação, verifica-se na Figura 18A que a massa fresca da parte aérea da alface sofreu efeito quadrático no ciclo 1. De acordo com a equação de regressão ajustada, observa-se que as lâminas de irrigação proporcionaram aumento dessa variável de 50% até 150% da ETc. No ciclo 2, verifica-se na Figura 18A que as lâminas de irrigação também proporcionaram efeito quadrático para a massa fresca da parte aérea quando foi utilizada água de abastecimento humano + adubação (T1). De acordo com a equação de regressão, a lâmina de irrigação de 127% da ETc proporcionou a maior massa fresca, resultando no valor aproximado de 478 g pl<sup>-1</sup>. Nas demais fontes hídricas (Figura 18A), as lâminas de irrigação conferiram efeito linear positivo, ou seja, o

aumento das lâminas proporcionou acréscimos da massa fresca da parte aérea da alface.

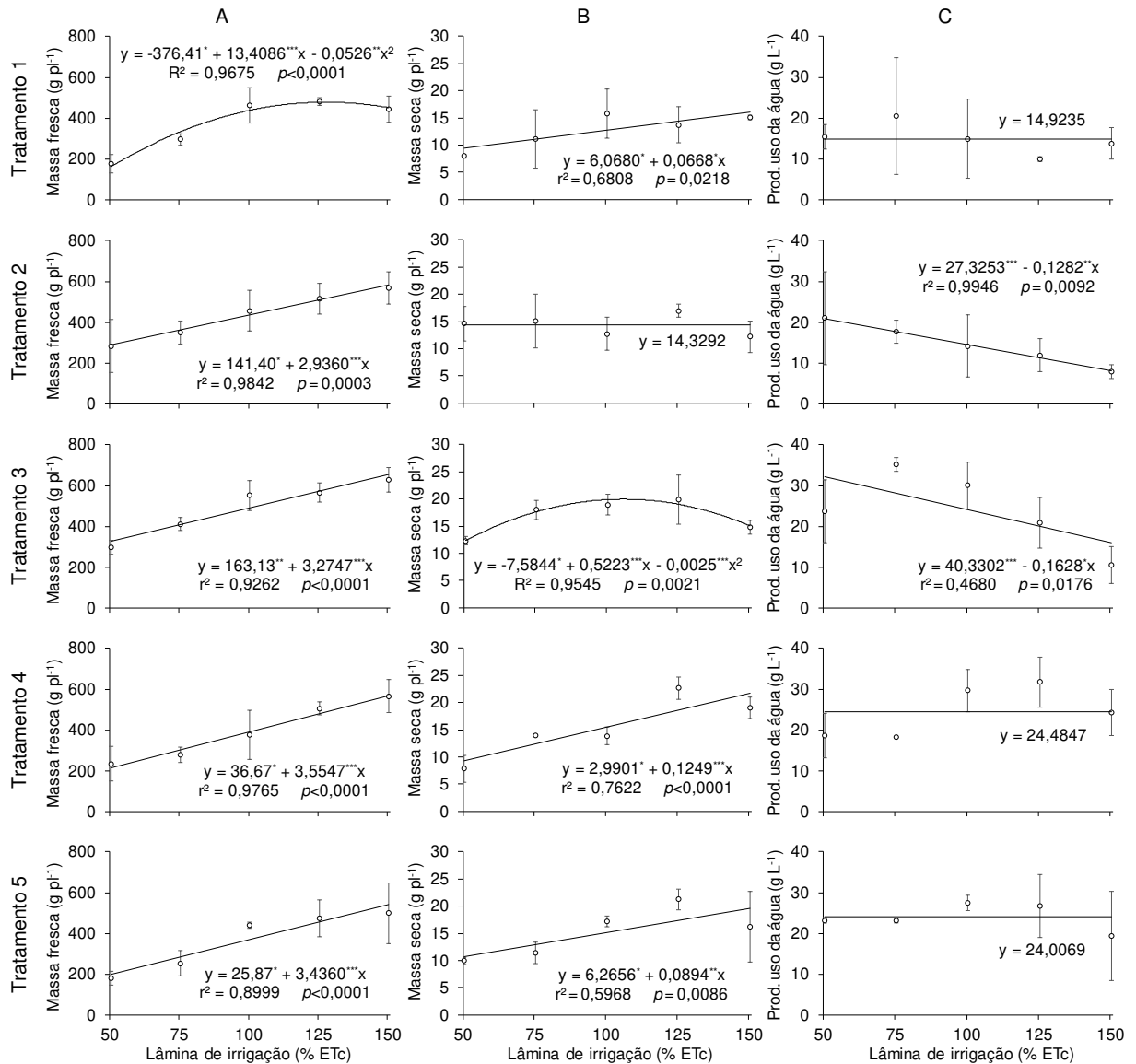
**Figura 18** - Massa fresca (A) e seca (B) da parte aérea da alface cultivada no ciclo 1 e número de folhas no primeiro (C) e segundo (D) ciclos de cultivos em função de diferentes lâminas de água



\* $p < 0,05$ ; \*\* $p < 0,01$  e \*\*\* $p < 0,001$  pelo teste t.

A literatura discorda a respeito do efeito de lâminas de irrigação na massa fresca da parte aérea da cultura da alface. Guimarães et al. (2019) aplicaram lâminas de irrigação entre 50 e 125% da ETc e verificaram efeito quadrático em diferentes variedades de alface. Os autores verificaram que a lâmina de irrigação para reposição de 100% da ETc foi aquela que maximizou os valores de biomassa fresca das diferentes variedades de alface. Já Magalhães et al. (2015) estudaram diferentes variedades de alface e também aplicaram distintas lâminas de irrigação, entre 50 e 125% da ETc, e verificaram efeito linear positivo na massa fresca da parte aérea da alface.

**Figura 19** - Massa fresca (A) e seca (B) da parte aérea e produtividade do uso da água (C) da alface em função de diferentes lâminas de água e cultivada no ciclo 2



\* $p < 0,05$ ; \*\* $p < 0,01$  e \*\*\* $p < 0,001$  pelo teste t.

T1 - Tratamento irrigado com água de abastecimento humano da concessionária + adubação de plantio e cobertura; T2 - Tratamento irrigado com água residuária tratada proveniente da ETE Rosa Elze; T3 - Tratamento irrigado com água residuária tratada proveniente da filtragem com biocarvão; T4 - Tratamento irrigado com água residuária tratada proveniente da ETE Rosa Elze + adubação de plantio e cobertura; T5 - Tratamento irrigado com água residuária tratada proveniente da filtragem com biocarvão + adubação de plantio e cobertura.

Para a massa seca da parte aérea no primeiro ciclo de cultivo da alface, as lâminas de irrigação provocaram efeito linear positivo (Figura 18B). Em relação ao ciclo 2, esse mesmo efeito foi observado para os tratamentos 1, 4 e 5 (Figura 19B). Para a alface fertirrigada com água residuária (T2), não foi possível ajustar um modelo de regressão. Já o tratamento fertirrigado com água residuária tratada proveniente da filtragem com biocarvão, verificou-se que as lâminas de água proporcionaram efeito

quadrático na massa seca da parte aérea. De acordo com a equação de regressão ajustada, a lâmina de irrigação de 104% maximizou a massa seca da parte aérea, resultando no valor de 19,7 g pl<sup>-1</sup>.

Independente do ciclo de cultivo, verificou-se que as lâminas de irrigação proporcionaram aumento linear no número de folhas de alface (Figura 18C e 18D). Magalhães et al. (2015) trabalhando com as variedades Rapids e Mônica também verificaram que as lâminas de irrigação entre 50 e 125% da ETc proporcionaram aumento no número de folhas de alface.

No ciclo 1, as lâminas de irrigação não conferiram efeito na produtividade do uso da água pela alface (Tabela 4). No ciclo 2, verifica-se na Figura 19C que não foi possível ajustar um modelo de regressão aos dados para os tratamentos T1, T4 e T5. Nos tratamentos que receberam apenas água residuária, sem complementação de adubação (T2 e T3), verificou-se que as lâminas de irrigação proporcionaram efeito linear negativo.

Em relação a redução da produtividade da água em função do aumento da lâmina de irrigação, isso aconteceu, possivelmente, devido ao aumento de volume de água fornecido no cultivo da alface não ter sido acompanhado em acréscimos de biomassa na mesma intensidade. É oportuno ressaltar que a produtividade da água é diretamente proporcional a produtividade de biomassa e inversamente proporcional à lâmina de irrigação. Guimarães et al. (2019) e Magalhães et al. (2015) corroboram com os resultados obtidos. Esses autores também verificaram que o aumento das lâminas de irrigação proporcionou redução linear na produtividade da água em diferentes variedades de alface.

#### 4.5. CARACTERÍSTICAS MICROBIOLÓGICAS DA ALFACE

As características microbiológicas analisadas foram *Salmonella sp.* e Coliformes a 45 °C. Amostras da alface de cada parcela foram levadas ao laboratório de microbiologia do ITPS para realização das análises. Os resultados obtidos foram comparados com padrões microbiológicos sanitários para alimentos da Resolução-RDC nº 12, de 02 de janeiro de 2001, da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) (BRASIL, 2001), que traz no seu Anexo I, os “Padrões Microbiológicos Sanitários para Alimentos”. Na Tabela 5 estão apresentados os resultados das análises.

**Tabela 5** - Resultados das análises microbiológicas da cultura da alface realizadas nos dois ciclos.

Tratamento	Ciclo 1		Ciclo 2	
	Coliformes a 45°C	Salmonellas	Coliformes a 45°C	Salmonellas
	NMP g <sup>-1</sup>	em 25 g	NMP g <sup>-1</sup>	em 25 g
T1	< 3,0	Ausência	9,2	Ausência
T2	< 3,0	Ausência	< 3,0	Ausência
T3	< 3,0	Ausência	< 3,0	Ausência
T4	< 3,0	Ausência	< 3,0	Ausência
T5	< 3,0	Ausência	< 3,0	Ausência

Nota: < – menor que. T1 - Tratamento irrigado com água de abastecimento humano da concessionária + adubação de plantio e cobertura; T2 - Tratamento irrigado com água residuária tratada proveniente da ETE Rosa Elze; T3 - Tratamento irrigado com água residuária tratada proveniente da filtragem com biocarvão; T4 - Tratamento irrigado com água residuária tratada proveniente da ETE Rosa Elze + adubação de plantio e cobertura; T5 - Tratamento irrigado com água residuária tratada proveniente da filtragem com biocarvão + adubação de plantio e cobertura.

A Resolução-RDC nº 12, de 02 de janeiro de 2001 (BRASIL, 2001) denomina "coliformes a 45°C" como equivalente à denominação de "coliformes de origem fecal" e de "coliformes termotolerantes". Ela recomenda a ausência de *Salmonella sp.* em 25 g e a população máxima de 10<sup>2</sup> NMP g<sup>-1</sup> de coliformes termotolerantes para "hortaliças frescas, "in natura", inteiras, selecionadas ou não, com exceção de cogumelos".

Observa-se na Tabela 5 a presença de 9,2 NMP g<sup>-1</sup> de Coliformes a 45°C g<sup>-1</sup> apenas no tratamento T1 do ciclo 2, resultado este que pode ter sido causado por algum procedimento incorreto durante o manejo de irrigação. Porém, todos os resultados encontram-se dentro do padrão microbiológico estabelecido pela resolução. Assim como na população de coliformes, os resultados da *Salmonella sp.* estão dentro do padrão microbiológico da resolução, pois não foi detectada sua presença na planta de alface. Sendo assim, é possível afirmar que as fontes hídricas do estudo, não interferiram sobre as características microbiológicas da alface.

É oportuno ressaltar que a água residuária excedeu o limite mínimo de coliformes totais (Figura 16), mas que isso não interferiu nos resultados de coliformes presentes na planta. Considerando apenas os problemas causados na planta, sugere-se que o limite mínimo aceito para coliformes presentes na água de irrigação possa ser aumentado, uma vez que valores até 10<sup>6</sup> NMP 100 mL<sup>-1</sup> não foram suficientes para causarem contaminação na cultura da alface.

Corroborando com este resultado, trabalhos que utilizaram a mesma fonte de água residuária tratada, como os de Ramos (2021) na irrigação de couve manteiga e Faccioli et al. (2017) na irrigação de duas variedades de feijão-caupi, verificaram

resultados para Coliformes e *Salmonella sp.*, dentro dos padrões microbiológicos aceitáveis da Resolução-RDC nº 12, de 02 de janeiro de 2001, da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) (BRASIL, 2001). Resultados semelhantes também foram encontrados nos estudos de Dantas (2015) na irrigação de cenoura e beterraba, Dantas et al. (2014) na irrigação de rabanete e Carvalho et al. (2013) na irrigação da cultura do girassol.

Em seu trabalho, Souza et al. (2015) concluíram que a qualidade da água residuária é adequada para uso na fertirrigação de culturas agrícolas. Contudo, o método de irrigação por aspersão não foi recomendado e sim o de gotejamento, no objetivo de evitar uma contaminação por patógenos e monitorar a salinidade do solo devido à alta concentração de sódio no efluente.

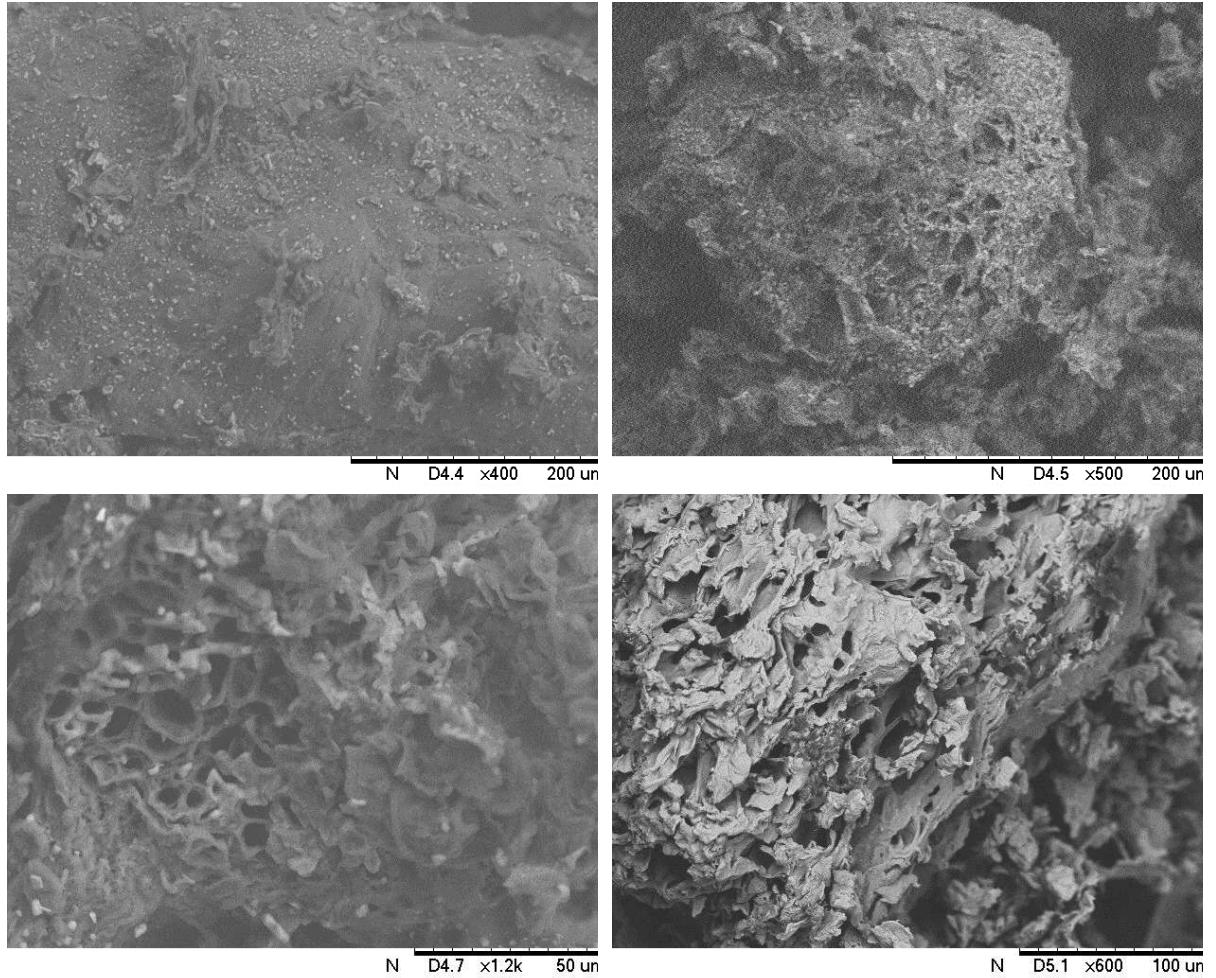
Vale ressaltar que, a água residuária possui densidade maior do que a água de abastecimento humano, podendo causar entupimento dos filtros e labirintos dos gotejadores. Recomenda-se estudos mais aprimorados para uma adequada irrigação via gotejamento. A avaliação de culturas com ciclo de cultivo mais longo e estudos com mais repetições também é recomendada. Pesquisas futuras, utilizando as mesmas condições deste estudo em campo, são encorajadas.

## 4.6. CARACTERIZAÇÃO DO BIOCARVÃO

### 4.6.1. Análises MEV

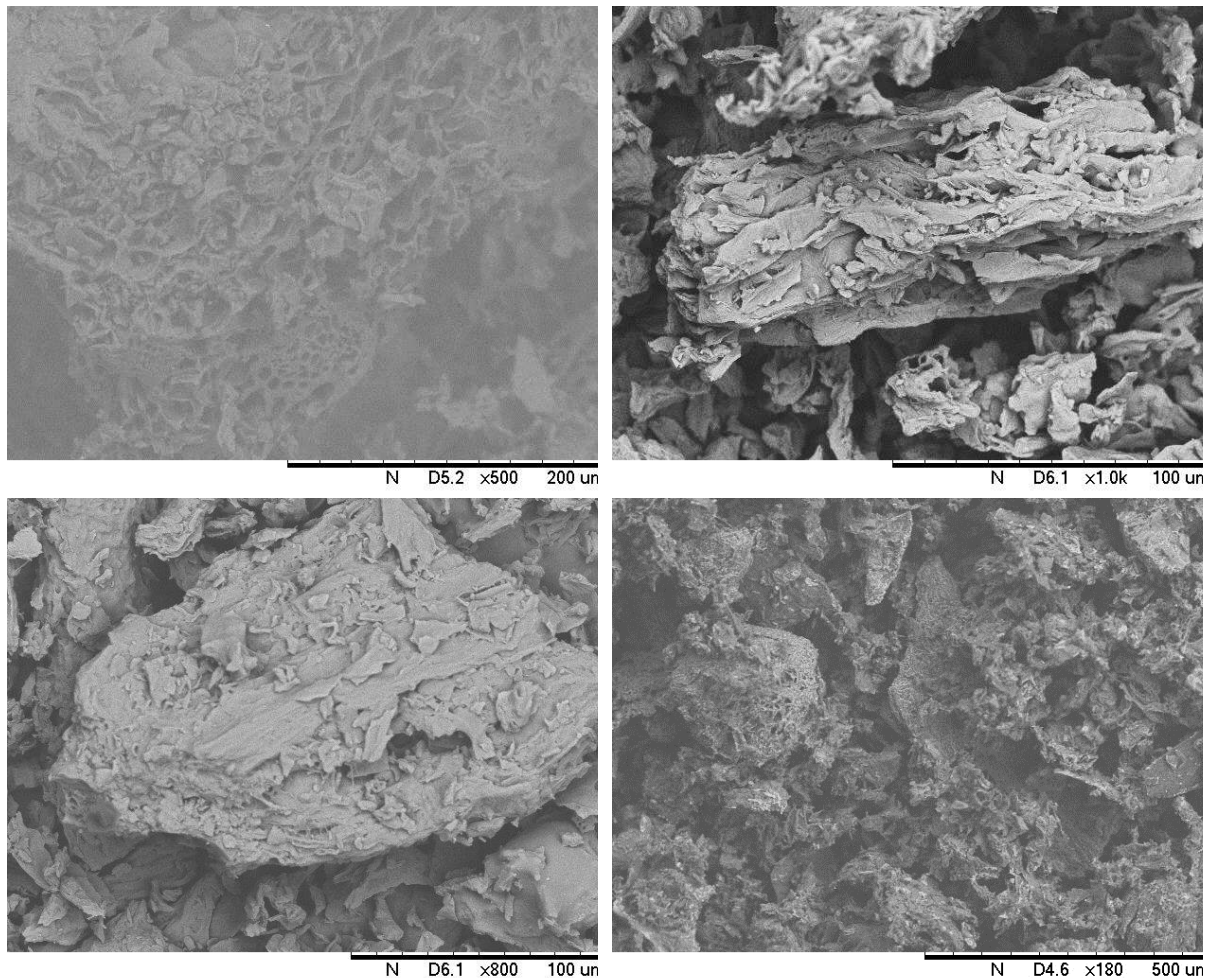
Na análise de microscopia eletrônica de varredura (MEV) foi possível comparar a alteração morfológica do biocarvão de bagaço de laranja *in natura* (Figura 20) com o biocarvão pós utilização como elemento filtrante (Figura 21). O biocarvão *in natura* se mostrou um material poroso, fibroso e heterogêneo. Também é possível verificar a presença de cinzas e que sua estrutura é composta por canais e partículas com cavidades profundas, arredondadas e abertas. Segundo Carvalho et al. (2021), a estrutura se apresenta dessa forma devido a liberação da matéria volátil. Este efeito que pode estar relacionado à existência de algum material mineral que provoca um aumento da desintegração nas partículas do biocarvão.

**Figura 20** - Registro das características microestruturais do biocarvão *in natura*.



Na observação do biocarvão pós utilização como elemento filtrante, é possível verificar uma superfície mais preenchida, homogênea e aparentemente mais compacta. Também é possível perceber que as cinzas foram solubilizadas e que os seus canais estão menos profundos.

**Figura 21** - Registro das características microestruturais do biocarvão pós utilização como elemento filtrante.



#### 4.6.2. Análises termogravimétricas

A termogravimetria é a técnica mais eficaz para otimização da temperatura de pirólise. Ela também fornece uma noção do teor de umidade, matéria volátil e composição. A biomassa é composta principalmente por celulose, hemicelulose e lignina. Cada elemento da biomassa tem uma faixa de decomposição térmica exclusiva que afeta a pirólise.

Durante o processo de pirólise da biomassa ocorrem várias etapas que ocasionam a perda de massa. A primeira etapa corresponde à evaporação da água e as demais correspondem à degradação térmica dos diferentes compostos orgânicos da biomassa (celulose, hemicelulose, lignina e pectina) (CAI e LIU, 2007; KIM et al., 2015). Vale ressaltar que nas análises termogravimétricas deve ser considerada a sobreposição das etapas citadas.

Na Tabela 6 está apresentada a interação dos intervalos de temperatura com as etapas do processo de pirólise da biomassa.

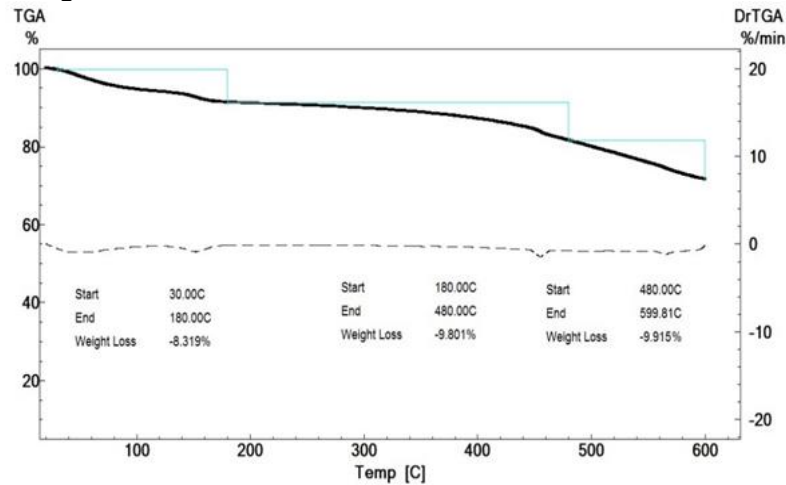
**Tabela 6** - Faixas de temperaturas e etapas no processo de pirólise da biomassa.

TEMPERATURAS	ETAPAS
Até 150 °C	Liberação de água livre (menores temperaturas) e ligada (interação com a biomassa mais forte).
Entre 125 °C e 250 °C	Decomposição dos biopolímeros (principalmente hemicelulose), ocorre em temperaturas mais baixas se comparadas a da celulose.
Entre 250 °C e 380 °C	Intensa cisão das cadeias poliméricas da celulose, acompanhada pelo início da decomposição da lignina.
Entre 180 °C e 500 °C	Decomposição da lignina, com produção de fenóis e outros compostos aromáticos no bioóleo, com formação de metanol e parte do ácido acético.
Abaixo de 500 °C	Decomposição da pectina.

Fonte: Adaptado de Chen, Zheng e Zhu (2013).

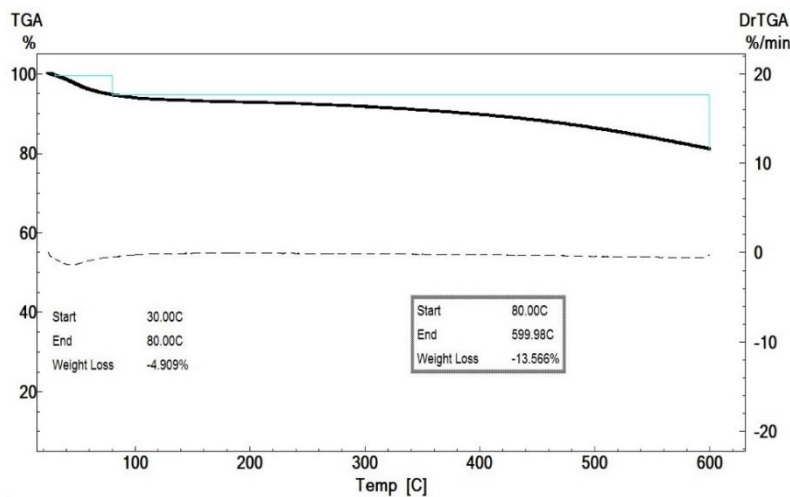
Na Figura 22, onde estão apresentadas a TGA e a DrTGA do biocarvão de bagaço de laranja *in natura*, considerando a Tabela 6, é possível observar três fases no processo de pirólise do material. Na primeira fase foi detectada perda de 9% de massa na faixa de temperatura até 180 °C. Essa fase compreende a degradação do biocarvão *in natura* devido à evaporação da água e das moléculas de menor peso molecular e dá início a decomposição da hemicelulose. Quando a temperatura se aproximou de 150 °C, a perda de massa da biomassa foi muito pequena e a maior parte da água já havia sido removida. Na segunda fase foi detectada perda de 11% de massa na faixa de temperatura entre 180 °C e 480 °C. Essa fase compreende a decomposição da hemicelulose, celulose e lignina. A perda de massa se manteve baixa até atingir a temperatura de 250 °C e aumentou consideravelmente até o fim desta fase em 480 °C. Por fim, na terceira fase de pirólise da biomassa, que foi detectada na faixa de temperatura entre 480 e 600 °C, houve perda de mais 9% de massa, em que a pectina foi degradada conjuntamente com a lignina. No final de todo processo foi encontrada uma massa residual de aproximadamente 72%.

**Figura 22** - Termogravimetria do biocarvão *in natura*.



Ao analisar a Figura 23, na qual apresenta a TGA e a DrTGA do biocarvão pós utilização como elemento filtrante, considerando a Tabela 6, foi observado duas fases no processo de pirólise do material. Na primeira fase foi detectada perda de massa de 6% na faixa de temperatura até 90 °C. Na segunda fase foi detectada perda de massa de 13% na faixa de temperatura entre 90 °C e 600 °C, ela compreende a decomposição da hemicelulose, celulose, lignina e pectina. No final de todo processo foi encontrada uma massa residual de aproximadamente 81%.

**Figura 23** - Termogravimetria do biocarvão pós utilização como elemento filtrante.



Os resultados mostram que o biocarvão *in natura* apresenta maior sensibilidade à degradação térmica, ocasionando em mais etapas individuais de decomposição e possivelmente o biocarvão pós utilização como elemento filtrante passa por algum processo de degradação durante sua filtragem.

## 5. CONCLUSÕES

Os resultados deste estudo indicaram que a fertirrigação utilizando efluentes tratados, pode ser uma alternativa para culturas de ciclo curto na agricultura irrigada. Essa estratégia deve ser utilizada principalmente em regiões de escassez hídrica, com o benefício de aumentar os nutrientes no solo e elevar a produtividade das culturas sem a necessidade da adubação de cobertura.

A utilização do biocarvão como material adsorvente no processo de filtração, melhorou a qualidade microbiológica da água residuária.

De modo geral, a irrigação com água residuária não modificou significativamente os teores de macronutrientes do solo. Porém, foram observados valores significativamente maiores de sódio nos solos irrigados com água residuária tratada e água da ETE que passou pelo sistema filtrante, embora, o solo de todos os tratamentos tenha sido classificado como normal quanto a sua salinidade.

A fertirrigação utilizando água da ETE que passou pelo sistema filtrante apresentou as maiores médias de produtividade de massa fresca, massa seca e número de folhas das plantas cultivadas, sem a necessidade da adubação de cobertura.

As folhas das alfaces produzidas durante o experimento são aceitáveis para o consumo humano, visto que foi constatada a ausência de *Salmonella sp.* em todos os tratamentos e a população máxima de Coliformes de todos os tratamentos obedece ao limite estabelecido pela Resolução-RDC nº 12, de 02 de janeiro de 2001, da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA).

## REFERÊNCIAS

- ACHINAS, S.; EUVERINK, G. J. W. Consolidated briefing of biochemical ethanol production from lignocellulosic biomass. **Electronic Journal of Biotechnology**, Valparaiso, v. 23, p. 44-53, 2016. doi: 10.1016/j.ejbt.2016.07.006
- ADEYEMI, O.; GROVE, I.; PEETS, S.; NORTON, T. Advanced monitoring and management systems for improving sustainability in precision irrigation. **Sustainability**, Basel, v. 9, n. 3, p. 353, 2017. doi: 10.3390/su9030353
- AKPONIKPÈ, P. B. I.; WIMA, K.; YACOUBA, H.; MERMOUD, A. Reuse of domestic wastewater treated in macrophyte ponds to irrigate tomato and eggplant in semi-arid West-Africa: benefits and risks. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 98, n. 5, p. 834-840, 2011. doi: 10.1016/j.agwat.2010.12.009
- ALAYU, E.; LETA, S. Evaluation of irrigation suitability potential of brewery effluent post treated in a pilot horizontal subsurface flow constructed wetland system: implications for sustainable urban agriculture. **Heliyon**, [S.I.], v. 7, n. 5, p. 1-14, 2021. doi: 10.1016/j.heliyon.2021.e07129
- ALCALDE-SANZ, L.; GAWLIK, B. M. Minimum quality requirements for water reuse in agricultural irrigation and aquifer recharge: towards a water reuse regulatory instrument at EU level. **Publications Office of the European Union**, Luxembourg, 2017. doi: 10.2760/887727
- ALI, A. E.; SALEM, W. M.; YOUNES, S. M.; KAID, M. Modeling climatic effect on physiochemical parameters and microorganisms of Stabilization Pond Performance. **Heliyon**, v. 6, n. 5, p. e04005, 2020. doi: 10.1016/j.heliyon.2020.e04005
- AL-KARAKI, G.; AL-AJMI, A.; OTHMAN, Y. Response of soilless grown pepper cultivars to salinity. **Acta Horticulturae**, Leuven, v. 807, n. 2, p. 227-232, 2009. doi: 10.17660/ActaHortic.2009.807.29
- ALKURDI, S. S. A.; AL-JUBOORI, R. A.; BUNDSCHUH, J.; HAMAWAND, I. Bone char as a green sorbent for removing health threatening fluoride from drinking water. **Environment International**, Elmsford, v. 127, p. 704-719, 2019. doi: 10.1016/j.envint.2019.03.065
- ALLEN, R.G., PEREIRA, L.S., RAES, D., SMITH, M. **Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements**. Rome: FAO, 1998. (FAO: Irrigation and Drainage Paper, 56).
- ALVES, R. C.; FERREIRA NETO, M.; NASCIMENTO, M. L.; OLIVEIRA, M. K. T.; LINHARES, P. S. F.; CAVALCANTE, J. S. J.; OLIVEIRA, F. A. Reutilização de água residuária na produção de mudas de tomate. **Agropecuária científica no semiárido**, [S.I.], v. 8, n. 4, p. 77-81, 2012. doi: 10.30969/acsa.v8i4.219
- AMORI, P. N.; MIERZWA, J. C.; BARTELT-HUNT, S.; GUO, B.; SAROJ, D. P. Germination and growth of horticultural crops irrigated with reclaimed water after biological treatment and ozonation. **Journal of Cleaner Production**, Oxford, v. 336, p. 130173, 2022. doi: 10.1016/j.jclepro.2021.130173.

AWEDAT, A. M.; ZHU, Y.; BENNETT, J. M.; RAINE, S. R. The impact of clay dispersion and migration on soil hydraulic conductivity and pore networks.

**Geoderma**, Amsterdam, v. 404, p. 115297, 2021. doi: 10.1016/j.geoderma.2021.115297

AZEVEDO, L. P. **Avaliação da qualidade microbiológica e da produção de alface americana sob diferentes sistemas de irrigação utilizando águas residuárias.**

Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Estadual Paulista "Julio de Mesquita Filho", Botucatu, 2004. 77 p.

BAKARI, Z.; GHADRAOUI, A. E.; BOUJELBEN, N.; BUBBA M. D.; ELLEUCH, B.

Assessment of the impact of irrigation with treated wastewater at different dilutions on growth, quality parameters and contamination transfer in strawberry fruits and soil: Health risk assessment. **Scientia Horticulturae**, [S.l.], v. 297, p. 110942, 2022. doi: 10.1016/j.scienta.2022.110942

BAKOPOULOU, S.; EMMANOUIL, C.; KUNGOLOS, A. Assessment of wastewater effluent quality in Thessaly region, Greece, for determining its irrigation reuse potential. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, New York, v. 74, p. 188-194, 2011. doi: 10.1016/j.ecoenv.2010.06.022

BARTOSIEWICZ, M.; COGGINS, L. X.; GLAZ, P.; CORTÉS, A.; BOURGET, S.; REICHWALDT, E. S.; MACINTYRE, S.; GHADOUANI, A.; LAURION, I. Integrated approach towards quantifying carbon dioxide and methane release from waste stabilization ponds. **Water Research**, Oxford, v. 202, p. 117389, 2021. doi: 10.1016/j.watres.2021.117389

BATISTA, P. H. D.; FEITOSA, A. K.; LEITE, F. E.; SALES, M. M.; SILVA, K. B. Avaliação da qualidade das águas dos rios São Francisco e Jaguaribe para fins de irrigação. **Agropecuária Científica no Semiárido**, [S.l.], v. 12, n. 1, p. 48-54, 2016. doi: 10.30969/acsa.v12i1.697

BELLVER-DOMINGO, A.; HERNÁNDEZ-SANCHO, F. **Overview of water abstraction in the world.** In: HERNÁNDEZ-SANCHO, F. (Ed.), *Water Consumption, Tariffs and Regulation*, IWA Publishing (2019).

BERNARDO, S.; MANTOVANI, E. C.; SILVA, D. D.; SOARES, A. A. **Manual de irrigação.** 9. ed. Viçosa, MG: Editora UFV, 2019. 545 p.

BOMFIM, L. F. C.; COSTA, I. V. G.; BENVENUTI, M. P. **Projeto Cadastro da Infra-Estrutura Hídrica do Nordeste: Estado de Sergipe. Diagnóstico do Município São Cristóvão.** Aracaju: CPRM, 2002. 14 p.

BORKEN, W.; MUHS, A.; BEESE, F. Changes in microbial and soil properties following compost treatment of degraded temperate forest soils. **Soil Biology and Biochemistry**, Elmsford, v. 34, n. 3, p. 403-412, 2002. doi: 10.1016/S0038-0717(01)00201-2

BOUGNOM, B. P.; THIELE-BRUHN, S.; RICCI, V.; ZONGO, C.; PIDDOCK, L. J. V. Raw wastewater irrigation for urban agriculture in three African cities increases the abundance of transferable antibiotic resistance genes in soil, including those encoding extended spectrum  $\beta$ -lactamases (ESBLs). **Science of The Total Environment**, Amsterdam, v. 698, p. 134201, 2020. doi: 10.1016/j.scitotenv.2019.134201

BRAGA, M. B.; LIMA, C. E. P. **Reúso de água na agricultura**. EMBRAPA. Brasília/DF, 2014.

BRASIL. MINISTÉRIO DA SAÚDE. Agência Nacional da Saúde - ANVISA. **RESOLUÇÃO DA DIRETORIA COLEGIADA (RDC) Nº 12, DE 02 DE JANEIRO DE 2001**. Regulamento Técnico Sobre Padrões Microbiológicos para Alimentos. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília/DF, 2001. Seção 1.

BRASIL. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **RESOLUÇÃO Nº 357, DE 17 DE MARÇO DE 2005**: Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Brasília/DF: MMA, 2005. Disponível em: <http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=459>. Acesso em: 22 jun. 2021.

BRASIL. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **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, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA. Brasília/DF: MMA, 2011. Disponível em: <http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=17214>. Acesso em: 22 jun. 2021.

BRITO, M. E. B.; FERNANDES, P. D.; GHEYI, H. R.; MELO, A. S.; SOARES FILHO, W. S.; SANTOS, R. T. Sensibilidade à salinidade de híbridos trifoliados e outros porta-enxertos de citros. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 27, n. 1, p. 17-27, 2014.

CAI J.; LIU, R. Research on Water Evaporation in the Process of Biomass Pyrolysis. **Energy & Fuels**, [S.l.], v. 21, n. 6, p. 3695–3697, 2007. doi: 10.1021/ef700442n

CAPODAGLIO, A. G. Fit-for-purpose urban wastewater reuse: analysis of issues and available technologies for sustainable multiple barrier approaches. **Critical Reviews in Environmental Science and Technology**, [S.l.], v. 51, n. 15, p. 1619-1666, 2021. doi: 10.1080/10643389.2020.1763231

CARVALHO, L. M.; CARVALHO, H. W. L.; SOARES FILHO, W. S.; MARTINS, C. R.; PASSOS, O. S. Porta-enxertos promissores, alternativos ao limoeiro 'Cravo', nos Tabuleiros Costeiros de Sergipe. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 51, n. 2, p. 132-141, 2016. doi: 10.1590/S0100-204X2016000200005

CARVALHO, R. S.; ARGUELHO, M. L. P. M.; FACCIOLI, G. G.; OLIVEIRA, R. A.; PASSOS, E. S.; SILVA, A. V.; SANTOS, B. F. S. Utilização do biocarvão de bagaço

de laranja na remoção de tetraciclina em água residuária. **Matéria**, Rio de Janeiro, v. 26, n. 2, p. 1-14, 2021. doi: 10.1590/S1517-707620210002.1280

CARVALHO, R. S.; SANTOS FILHO, J. S.; SANTANA, L. O. G.; GOMES, D. A.; MENDONÇA, L. C.; FACCIOLI, G. G. Influência do reuso de águas residuárias na qualidade microbiológica do girassol destinado à alimentação animal. **Revista Ambiente e Água**, Taubaté, v. 8, n. 2, p. 157-167, 2013. doi: 10.4136/ambi-agua.1116

CERETI, C. F.; ROSSINI, F.; FEDERICI, F.; QUARATINO, D.; VASSILEV, N.; FENICE, M. Reuse of microbially treated olive mill wastewater as fertilizer for wheat (*Triticum durum* Desf). **Bioresource Technology**, New York, v. 91, n. 2, p. 135-140, 2004. doi: 10.1016/S0960-8524(03)00181-0

CEUPPENS, S.; HESSEL, C. T.; RODRIGUES, R. Q.; BARTZ, S.; TONDO, E. C.; UYTENDAELE, M. Microbiological quality and safety assessment of lettuce production in Brazil. **International Journal of Food Microbiology**, Amsterdam, v. 181, p. 67-76, 2014. doi: 10.1016/j.ijfoodmicro.2014.04.025

CHAGANTI, V. N.; GANJEGUNTE, G.; NIU, G.; ULERY, A.; FLYNN, R.; ENCISO, J. M.; MEKI, M. N.; KINIRY, J. R. Effects of treated urban wastewater irrigation on bioenergy sorghum and soil quality. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 228, p. 105894, 2020. doi: 10.1016/j.agwat.2019.105894

CHAND, N.; SUTHAR, S.; KUMAR, K.; TYAGI, V. K. Enhanced removal of nutrients and coliforms from domestic wastewater in cattle dung biochar-packed *Colocasia esculenta*-based vertical subsurface flow constructed wetland. **Journal of Water Process Engineering**, [S.l.], v. 41, p. 101994, 2021. doi: 10.1016/j.jwpe.2021.101994

CHEN, D.; ZHENG Y.; ZHU, X. In-depth investigation on the pyrolysis kinetics of raw biomass. Part I: Kinetic analysis for the drying and devolatilization stages. **Bioresource Technology**, New York, v. 131, p. 40-46, 2013. doi: 10.1016/j.biortech.2012.12.136

CHEN, J.; DENG, S.; JIA, W.; LI, X.; CHANG, J. Removal of multiple heavy metals from mining-impacted water by biochar-filled constructed wetlands: adsorption and biotic removal routes. **Bioresource Technology**, New York, v. 331, p. 125061, 2021b. doi: 10.1016/j.biortech.2021.125061

CHEN, Y.-D.; DUAN, X.; ZHOU, X.; WANG, R.; WANG, S.; REN, N.-Q.; HO, S.-H. Advanced oxidation processes for water disinfection: Features, mechanisms and prospects. **Chemical Engineering Journal**, [S.l.], v. 409, p. 128207, 2021a. doi: 10.1016/j.cej.2020.128207

CHENG, N.; WANG, B.; WU, P.; LEE, X.; XING, Y.; CHEN, M.; GAO, B. Adsorption of emerging contaminants from water and wastewater by modified biochar: a review. **Environmental Pollution**, Barking, v. 273, p. 116448, 2021. doi: 10.1016/j.envpol.2021.116448

CONAMA. O que é o CONAMA? Ministério do Meio Ambiente, Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Portal do Governo Brasileiro**, Brasília, 07 de jul. de 2021. Disponível em: <http://conama.mma.gov.br/o-que-e-o-conama> Acesso em: 19 jan 2022.

CRESPO, C.; WYNGAARD, N.; ROZAS, H. S.; BARBAGELATA, P.; BARRACO, M.; GUDELJ, V.; BARBIERI, P. Improving soil organic nitrogen and sulfur pools by cover cropping and crop fertilization in soybean-based cropping systems. *Soil and Tillage Research*, [S.l.], v. 213, p. 105138, 2021. doi: 10.1016/j.still.2021.105138

DAHL, N. W.; WOODFIELD, P. L.; SIMPSON, B. A. F.; STRATTON, H. M.; LEMCKERT, C. J. Effect of turbulence, dispersion, and stratification on *Escherichia coli* disinfection in a subtropical maturation pond. **Journal of Environmental Management**, London, v. 288, p. 112470, 2021. doi: 10.1016/j.jenvman.2021.112470

DAMASCENO, L. M. O.; ANDRADE JÚNIOR, A. S.; GHEYI, H. R.; RIBEIRO, V. Q.; DIAS, N. S. Cultivation of gerbera irrigated with treated domestic effluents. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 14, n. 6, p. 582–588, 2010. doi: 10.1590/S1415-43662010000600003

DANTAS, I. L. A. **Análise microbiológica de cenoura e beterraba irrigadas com águas residuárias domésticas tratadas**. Dissertação (mestrado em Recursos Hídricos) - Universidade Federal de Sergipe, 2015.

DANTAS, I. L. A.; FACCIOLI, G. G.; MENDONÇA, L.C.; NUNES, T. P.; VIEGAS, P.R. A.; SANTANA, L. O. G. Viabilidade do uso de água residuária tratada na irrigação da cultura do rabanete (*Raphanus sativus* L.). **Revista Ambiente e Água**, Taubaté, v. 9 n. 1, p. 109-117, 2014. doi: 10.4136/ambi-agua.1220

DEDAVID, B. A.; GOMES C. I.; MACHADO G. **Microscopia eletrônica de varredura: aplicações e preparação de amostras**: materiais poliméricos, metálicos e semicondutores. Edição do CEMM - Centro de Microscopia e Microanálises do IDÉIAPUCRS - Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento. Porto Alegre: EDIPUCRS, 2007. 60 p.

DENG, Y.; ZHANG, T.; WANG, Q. “Biochar Adsorption Treatment for Typical Pollutants Removal in Livestock Wastewater: A Review.” **Engineering Applications of Biochar**, London, 2017. doi: 10.5772/intechopen.68253

DESO. **Companhia de saneamento de Sergipe**, 2022. Disponível em: <http://www.deso-se.com.br>. Acesso em: 22 jun. 2021.

DIVYA, L.; GEORGE, J.; MIDHUN, G.; MAGESH, S. B. Impacts of treated sewage effluent on seed germination and vigour index of monocots and dicot seeds. **Russian Agricultural Sciences**, [S.l.], v. 41, n. 4, p. 252-257, 2015. doi: 10.3103/S1068367415040242

DRAGONETTI, G.; KHADRA, R.; DACCACHE, A.; OUBELKACEM, A.; CHOUKR-ALLAH, R.; LAMADDALENA, N. Development and Application of a Predictive Model

for Treated Wastewater Irrigation Management in a Semiarid Area. **Integrated Environmental Assessment and Management**. [S.l.], v. 16, n. 6, p. 910-919, 2010. doi: 10.1002/ieam.4307

DUARTE, A. S. **Reuso de água residuária tratada na irrigação da cultura do pimentão (*Capsicum annun L.*)**. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, SP, 2006. 187 p.

EGBUIKWEM, P. N.; MIERZWA, J. C.; SAROJ, D. P. Assessment of suspended growth biological process for treatment and reuse of mixed wastewater for irrigation of edible crops under hydroponic conditions. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 231, p. 106034, 2020. doi: 10.1016/j.agwat.2020.106034

EREL, R.; EPPEL, A.; YERMIYAHU, U.; BEN-GAL, A.; LEVY, G.; ZIPORI, I.; SCHAUMANN, G. E.; MAYER, O.; DAG, A. Long-term irrigation with reclaimed wastewater: Implications on nutrient management, soil chemistry and olive (*Olea europaea L.*) performance. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 213, p. 324-335, 2019. doi: 10.1016/j.agwat.2018.10.033

ERINLE, T. J.; ADEWOLE, D. I. Fruit pomaces—their nutrient and bioactive components, effects on growth and health of poultry species, and possible optimization techniques. **Animal Nutrition**, [S.l.], p. 1-76, 2022. doi: 10.1016/j.aninu.2021.11.011

EPC. **Regulation (EU) 2020/741 of the European Parliament and of the Council of 25 May 2020 on Minimum Requirements for Water Reuse**. Diario Oficial de la Unión Europea, 2020.

FACCIOLI, G. G.; RAMOS, F. S. M.; SANTANA, F. S.; DANTAS, C. K. S. Análise das características agronômicas e microbiológicas do feijão-caupi (*Vigna unguiculada (L.) Walp.*) brs novaera e brs guariba com aplicação de água residuária tratada. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, Fortaleza, v. 11, n. 5, p. 1707-1713, 2017. doi: 10.7127/RBAI.V11N500761

FAO. **Production/Yield quantities of Lettuce and chicory in World + (Total) (2018)**. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Statistics Division, Production/Crops, 2020. Available in: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC/visualize>. Access in: 20 june 2021.

FAO. The State of Food and Agriculture 2020. Overcoming water challenges in agriculture. **Food and Agriculture Organization of the United Nations**, Rome, 2020. doi: 10.4060/cb1447en.

FAO. **Water for Sustainable Food and Agriculture: A Report Produced for the G20 Presidency of Germany**. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, 2017. Available in: <http://www.fao.org/3/a-i7959e.pdf>. Access in: 20 june 2021.

FARHADKHANI, M.; NIKAEEN, M.; YADEGARFAR, G.; HATAMZADEH, M.; POURMOHAMMADBAGHER, H.; SAHBAEI, Z.; RAHMANI, H. R. Effects of irrigation

with secondary treated wastewater on physicochemical and microbial properties of soil and produce safety in a semi-arid area. **Water Research**, Oxford, v. 144, p. 356-364, 2018. doi: 10.1016/j.watres.2018.07.047

FIORENTIN, L. D.; MÓDENES, A. N., ESPINOZA-QUIÑONES F. R.; TRIGUEROS D. E. G.; KROUMOV A. D.; MANENTI D. R.; BORBA C. E. Biosorption of the Reactive Blue 5G Dye in a Fixed Bed Column Packed with Orange Bagasse: Experimental and Mathematical Modelling. **Separation Science and Technology**, [S.I.], v. 50, n. 15, p. 2267-2275, 2015. doi: 10.1080/01496395.2015.1047453

FLOWERS, T. J.; FLOWERS, S. A. Why does salinity pose such a difficult problem for plant breeders? **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 78, n. 1, p. 15-24, 2005. doi: 10.1016/j.agwat.2005.04.015

FONSECA, A. F.; HERPIN U.; PAULA, A. M.; VICTÓRIA, R. L.; MELFI, A. J. Agricultural use of treated sewage effluents: agronomic and environmental implications and perspectives for Brazil. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 64, n. 2, p. 194-209, 2007. doi: 10.1590/S0103-90162007000200014

GALLEGO, S; MONTEMURRO, N; BÉGUET, J; ROUARD, N; PHILIPPOT, L; PÉREZ, S; MARTIN-LAURENT, F. Ecotoxicological risk assessment of wastewater irrigation on soil microorganisms: Fate and impact of wastewater-borne micropollutants in lettuce-soil system. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, New York, v. 223, p. 112595, 2021. doi: 10.1016/j.ecoenv.2021.112595

GANOULIS, J. Risk analysis of wastewater reuse in agriculture. **International Journal Of Recycling of Organic Waste in Agriculture**, Isfahan, v. 1, n. 3, p. 1-9, 2012. doi: 10.1186/2251-7715-1-3

GATTA, G; LIBUTTI, A; BENEDEUCE, L; GAGLIARDI, A; DISCIGLIO, G; LONIGRO, A; TARANTINO, E. Reuse of treated municipal wastewater for globe artichoke irrigation: Assessment of effects on morpho-quantitative parameters and microbial safety of yield. **Scientia Horticulturae**, [S.I.], v. 213, pp. 55-65, 2016. doi: 10.1016/j.scienta.2016.10.011

GHARAIBEH, M. A.; ALBALASMEH, A. A.; PRATT, C.; HANANDEH, A. E. Estimation of exchangeable sodium percentage from sodium adsorption ratio of salt-affected soils using traditional and dilution extracts, saturation percentage, electrical conductivity, and generalized regression neural networks. **CATENA**, [S.I.], v. 205, p. 105466, 2021. doi: 10.1016/j.catena.2021.105466

GONZAGA, M. I. S.; MACKOWIAK, C.; ALMEIDA, A. Q.; CARVALHO JUNIOR, J. I. T.; ANDRADE, K. R. Positive and negative effects of biochar from coconut husks, orange bagasse and pine wood chips on maize (*Zea mays* L.) growth and nutrition. **CATENA**, [S.I.], v. 162, p. 414-420, 2018. Doi: 10.1016/j.catena.2017.10.018

GUAN, P.; PRASHER, S. O.; AFZAL, M. T.; GEORGE, S.; RONHOLM, J.; DHIMAN, J.; PATEL, R. M. Removal of *Escherichia coli* from lake water in a biochar-amended biosand filtering system. **Ecological Engineering**, [S.I.], v. 150, p. 105819, 2020. doi: 10.1016/j.ecoleng.2020.105819

- GUIMARÃES, C. M.; CUNHA, F. F.; SILVA, F. C. S.; ARAÚJO, E. D.; GUIMARÃES, A. B. F.; MANTOVANI, E. C.; SILVA, D. J. H. Agronomic performance of lettuce cultivars submitted to different irrigation depths. **Plos One**, San Francisco, v. 14, n. 12, e0224264, 2019. doi: 10.1371/journal.pone.0224264
- GUIMARÃES, J. J.; SOUSA, F. G. G.; ROMÁN, R. M. S.; PAI, A. D.; RODRIGUES, S. A.; SARNIGHAUSEN, V. C. R. Effect of irrigation water pH on the agronomic development of hops in protected cultivation. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 253, 2021. doi: 10.1016/j.agwat.2021.106924.
- GURUNG, K.; CHRISTENSEN, M. L.; SILLANPÄÄ, M.; NCIBI, M. C.; JØRGENSEN, M. K. Nutrients enrichment and process repercussions in hybrid microfiltration osmotic membrane bioreactor: a guideline for forward osmosis development based on lab-scale experience. **Water**, Basel, v. 12, n.4, p. 1098, 2020. doi: 10.3390/W12041098
- HARISHA, R.; HOSAMANI, K. M.; KERI, R. S.; NATARAJ, S. K.; AMINABHAVI, T.M. Arsenic removal from drinking water using thin film composite nanofiltration membrane. **Desalination**, Amsterdam, v. 252, n. 1-3, p. 75-80, 2010. doi: 10.1016/j.desal.2009.10.022
- HARKEN, B.; CHANG, C.; DIETRICH, P.; KALBACHER, T.; RUBIN, Y. Hydrogeological Modeling and Water Resources Management: improving the link between data, prediction, and decision making. **Water Resources Research**, [S.l.], v. 55, n. 12, p. 10340-10357, 2019. doi: 10.1029/2019WR025227
- IBEKWE, A. M.; GONZALEZ-RUBIO, A.; SUAREZ, D. L. Impact of treated wastewater for irrigation on soil microbial communities. **Science of The Total Environment**, Amsterdam, v. 622–623, p. 1603-1610, 2018. doi: 10.1016/j.scitotenv.2017.10.039
- ISSAKA, E.; FAPOHUNDA, F. O.; AMU-DARKO, J. N. O.; YEBOAH, L.; YAKUBU, S.; VARJANI, S.; ALI, N.; BILAL, M. Biochar-based composites for remediation of polluted wastewater and soil environments: Challenges and prospects. **Chemosphere**, Oxford, v. 297, p. 134163, 2022. doi: 10.1016/j.chemosphere.2022.134163
- JAMIL, S.; LOGANATHAN, P.; LISTOWSKI, A.; KANDASAMY, J.; KHOURSHED, C.; Vigneswaran, S. Simultaneous removal of natural organic matter and micro-organic pollutants from reverse osmosis concentrate using granular activated carbon. **Water Research**, Oxford, v. 155, p. 106-114, 2019. doi: 10.1016/j.watres.2019.02.016
- JARAMILLO, M. F.; RESTREPO I. Wastewater reuse in agriculture: a review about its limitations and benefits. **Sustainability**, Basel, v. 9, p. 1-19, 2017. doi: 10.3390/su9101734
- JEFFERY, S.; MEINDERS, M. B. J.; STOOF, C. R.; BEZEMER, T. M.; VOORDE, T. F. J.; MOMMER, L.; VAN GROENIGEN, J. W. Biochar application does not improve

the soil hydrological function of a sandy soil. **Geoderma**, Amsterdam, v. 251-252, p. 47-54, 2015. doi: 10.1016/j.geoderma.2015.03.022

JONES, E. R.; VAN VLIET, M. T. H.; QADIR, M.; BIERKENS M. F. P. Country-level and gridded estimates of wastewater production, collection, treatment and reuse. **Earth System Science Data**, Göttingen, v. 13, p. 237-254, 2021. doi: 10.5194/essd-13-237-2021

KHOKHAR, T. **Chart**: Globally, 70% of Freshwater is Used for Agriculture. WorldBankBlogs, 22 de março de 2017. Available: <https://blogs.worldbank.org/opendata/chart-globally-70-freshwater-used-agriculture>. Access in: 20 June 2021.

KIM, Y.-M.; LEE H. W.; KIM S.; WATANABE C.; PARK Y.-K. Non-Isothermal Pyrolysis of Citrus Unshiu Peel. **Bioenergy Research**, [S.I.], v. 8, p. 431–439, 2015. doi: 10.1007/s12155-014-9534-5

KOMILIS, D. P.; KARATZAS, E.; HALVADAKIS, C. P. The effect of olive mill wastewater on seed germination after various pretreatment techniques. **Journal of Environmental Management**, London, v. 74, n. 4, p. 339-348, 2005. doi: 10.1016/j.jenvman.2004.09.009

LEHMANN, J.; JOSEPH, S. **Biochar for environmental management: science, technology and implementation**. 2. ed. London and New York: Routledge, 2015. 976 p.

LENG, L.; YUAN, X.; HUANG, H.; WANG, H.; WU, Z.; FU, L.; PENG, X.; CHEN, X.; ZENG, G. Characterization and application of bio-chars from liquefaction of microalgae, lignocellulosic biomass and sewage sludge. **Fuel Processing Technology**, [S.I.], v. 129, p. 8-14, 2015. doi: 10.1016/j.fuproc.2014.08.016

LESAGE-MEESSEN, L.; NAVARRO, D.; MAUNIER, S.; SIGOILLOT, J. C.; LORQUIN, J.; DELATTRE, M.; SIMON, J. L.; ASTHER, M.; LABAT, M. Simple phenolic content in olive oil residues as a function of extraction systems. **Food Chemistry**, Barking, v. 75, n. 4, p. 501-507, 2001. doi: 10.1016/S0308-8146(01)00227-8

LI, P.; REN, L. Evaluating the saline water irrigation schemes using a distributed agro-hydrological model. **Journal of Hydrology**, [S.I.], v. 594, p. 125688, 2021. doi: 10.1016/j.jhydrol.2020.125688

LIANG, X.; RENGASAMY, P.; SMERNIK, R.; MOSLEY, L. M. Does the high potassium content in recycled winery wastewater used for irrigation pose risks to soil structural stability? **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 243, p. 106422, 2021. doi: 10.1016/j.agwat.2020.106422

LIBUTTI, A.; GATTA, G.; GAGLIARDI, A.; VERGINE, P.; POLLICE, A.; BENEDEUCE, L.; DISCIGLIO, G.; TARANTINO, E. Agro-industrial wastewater reuse for irrigation of a vegetable crop succession under Mediterranean conditions. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 196, p. 1-14, 2018. doi: 10.1016/j.agwat.2017.10.015

LIU, J.; ENGEL, Be. A.; DAI, L.; WANG, Y.; WU, Y.; YAN, G.; CONG, L.; ZHAI, J.; ZHANG, Z.; ZHANG, M. Capturing hydrological connectivity structure of wetlands with indices based on graph theory: a case study in yellow river delta. **Journal of Cleaner Production**, Oxford, v. 239, p. 118059, 2019. doi: 10.1016/j.jclepro.2019.118059

LIU, Y.; LONAPPAN, L.; BRAR, S. K.; YANG, S. Impact of biochar amendment in agricultural soils on the sorption, desorption, and degradation of pesticides: a review. **Science of The Total Environment**, Amsterdam, v. 645, p. 60-70, 2018. doi: 10.1016/j.scitotenv.2018.07.099

MAGALHÃES, F. F.; CUNHA, F. F.; GODOY, A. R.; SOUZA, E. J.; SILVA, T. R. Produção de cultivares de alface tipo crespa sob diferentes lâminas de irrigação. **Water Resources and Irrigation Management**, Cruz das Almas, v. 4, n. 3, p. 41-50, 2015. doi: 10.19149/2316-6886/wrim.v4n1-3p41-50

MAHAPATRA, S.; SAMAL, K.; DASH, R. R. Waste Stabilization Pond (WSP) for wastewater treatment: A review on factors, modelling and cost analysis. **Journal of Environmental Management**, London, v. 308, p. 114668, 2022. doi: 10.1016/j.jenvman.2022.114668

MANTOVANI, E. C.; BERNARDO, S.; PALARETTI, L. F. **Irrigação**: princípios e métodos. 3. ed. atual. Viçosa, MG: Editora UFV, 2009. 355 p.

MARQUELLI, W. A.; SILVA, W. L. C.; SILVA, H. R. **Manejo da irrigação em hortaliças**. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), Centro Nacional de Pesquisa de Hortaliças (CNPQ), Ministério da Agricultura e Abastecimento (MA). Revista e ampliada, 5 ed. Brasília: Embrapa-SPI, 1996.

MARYAM, B; BÜYÜKGÜNGÖR, H. Wastewater reclamation and reuse trends in Turkey: opportunities and challenges. **Journal of Water Process Engineering**, [S.l.], v. 30, p. 100501, 2019. doi: 10.1016/j.jwpe.2017.10.001

MATOS, A. T.; MATOS, M. P. **Disposição de águas tratadas residuárias no solo e em sistemas alagados construídos**. Viçosa, MG: Editora UFV, 2017. 371 p.

MEDEIROS, J. F.; SILVA, M. C. C.; SARMENTO, D. H. A.; BARROS, A. D. Crescimento do meloeiro cultivado sob diferentes níveis de salinidade, com e sem cobertura do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 11, n. 3, p. 248-255, 2007. doi: 10.1590/S1415-43662007000300002

MEKKI, A.; DHOUB, A.; SAYADI, S. Review: effects of olive mill wastewater application on soil properties and plants growth. **International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture**, Isfahan, v. 2, p. 2-7, 2013. doi: 10.1186/2251-7715-2-15

MENDONÇA, L. C.; PINTO, A. S.; SAMPAIO, L. F. S.; CARDOSO, L. R. Caracterização e avaliação da ETE Rosa Elze para reúso do efluente. **Revista**

**Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 9, n. 1, 143-145, 2005. doi: 10.1590/1807-1929/agriambi.v9nsupp143-145

MENDUM, T. A.; HIRSCH, P. R. Changes in the population structure of b-group autotrophic ammonia oxidizing bacteria in arable soils in response to agricultural practice. **Soil Biology and Biochemistry**, Elmsford, v. 34, n. 10, p. 1479-1485, 2002. doi: 10.1016/S0038-0717(02)00092-5

MENG, Q.; CHEN, X.; LOBELL, D. B.; CUI, Z.; ZHANG, Y.; YANG, H.; ZHANG, F. Growing sensitivity of maize to water scarcity under climate change. **Scientific Reports**, London, v. 6, p. 19605, 2016. doi: 10.1038/srep19605

MKHININI, M.; BOUGHATTAS, I.; ALPHONSE, V.; LIVET, A.; GIUSTI-MILLER, S.; BANNI, M.; BOUSSERRHINE, N. Heavy metal accumulation and changes in soil enzymes activities and bacterial functional diversity under long-term treated wastewater irrigation in East Central region of Tunisia (Monastir governorate). **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 235, p. 106150, 2020. doi: 10.1016/j.agwat.2020.106150

MOSSE, P. K.; PATTI, F. A.; SMERNIK, J. R.; CHRISTEN, W. E.; CAVAGNARO, R. T. Physicochemical and microbiological effects of long- and short-term winery wastewater application to soils. **Journal of Hazardous Materials**, Amsterdam, v. 201-202, p. 219-228, 2012. doi: 10.1016/j.jhazmat.2011.11.071

MOURA, L. O.; CARLOS, L. A.; OLIVEIRA, K. G.; MARTINS, L. M.; SILVA, E. C. Physicochemical characteristics of purple lettuce harvested at different ages. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 29, n. 2, p. 489-495, 2016. doi: 10.1590/1983-21252016v29n227rc

MUNNS, R.; TESTER, M. Mechanisms of salinity tolerance. **Annual Review of Plant Biology**, Palo Alto, v. 59, n. 6, p. 651-681, 2008. doi: 10.1146/annurev.arplant.59.032607.092911

NAGARAJAN, D.; LEE, D.; CHEN, C.; CHANG, J. Resource recovery from wastewaters using microalgae-based approaches: a circular bioeconomy perspective. **Bioresource Technology**, New York, v. 302, p. 122817, 2020. doi: 10.1016/j.biortech.2020.122817

NAZARI B.; LIAGHAT A.; AKBARI M. R.; KESHAVARZ M. Irrigation water management in Iran: Implications for water use efficiency improvement. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 208, p. 17-18, 2018. doi: 10.1016/j.agwat.2018.06.003

NUNES, M. U. C. **Alface**. In: SOBRAL, L. F.; VIEGAS, P. R. A.; SIQUEIRA, O. J. W.; ANJOS, J. L.; BARRETTO, M. C. V.; GOMES, J. B. V. Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes no Estado de Sergipe. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2007. 251 p.

NUNES-CARVALHO, M. C.; JAYME, M. M. A.; CARMO, F. L.; PYRRHO, A. S.; LEITE, S. G. F.; ARAUJO, F. V. Influence of different sources of contamination on

the microbiological quality of lettuce in the Teresópolis region, RJ, Brazil. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, Rio de Janeiro, v. 25, n. 2, p. 229-235, 2020. doi: 10.1590/s1413-41522020144815

OLIVEIRA, F. R.; PATEL, A. K.; JAISI, D. P.; ADHIKARI, S.; LU, H.; KHANAL, S. K. Environmental application of biochar: current status and perspectives. **Bioresource Technology**, New York, v. 246, p. 110-122, 2017. doi: 10.1016/j.biortech.2017.08.122

OSORIO, L. L. D. R.; FLÓREZ-LÓPEZ, E.; GRANDE-TOVAR, C. D. The Potential of Selected Agri-Food Loss and Waste to Contribute to a Circular Economy: Applications in the Food, Cosmetic and Pharmaceutical Industries. **Molecules**, [S.l.], v. 26, n. 2, p. 515, 2021. doi: 10.3390/molecules26020515

OVED, T.; SHAVIV, A.; GOLDRATH, T.; MANDELBAUN, R. T.; MINZ, D. Influence of effluent irrigation on community composition and function of ammonia oxidizing bacteria in soil. **Applied and Environmental Microbiology**, [S.l.], v. 67, n. 8, p. 3426-3433, 2001. doi: 10.1128/AEM.67.8.3426-3433.2001

PAREDES, C.; CEGARRA, J.; BERNAL, M. P.; ROIG, A. Influence of olive mill wastewater in composting and impact of the compost on a Swiss chard crop and soil properties. **Environment International**, Elmsford, v. 31, p. 305-312, 2005. doi: 10.1016/j.envint.2004.10.007

PEDRERO, F.; KALAVROUZOTIS, I.; ALARCÓN, J. J.; KOUKOULAKIS, P.; ASANO, T. Use of treated municipal wastewater in irrigated agriculture - review of some practices in Spain and Greece. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 97, n. 9, p. 1233-1241, 2010. doi: 10.1016/j.agwat.2010.03.003

PEDRERO, F.; GRATTAN, S. R.; BEN-GAL, A.; VIVALDI, G. A. Opportunities for expanding the use of wastewaters for irrigation of olives. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 241, n.1, p. 106333, 2020. doi: 10.1016/j.agwat.2020.106333.

PEDROTTI, A.; CHAGAS, R. M.; RAMOS, V. C.; PRATA, A. P. N.; LUCAS, A. A. T.; SANTOS, P. B. Causas e consequências do processo de salinização dos solos. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, Santa Maria, v. 19, n. 2, p. 1308-1324, 2015. doi: 105902/2236117016544

PERKIOMAKI, J.; FRITZE, H. Short and long-term effects of wood ash on boreal forest humus microbial community. **Soil Biology and Biochemistry**, Elmsford, v. 34, p. 1343-1353, 2002. doi: 10.1016/S0038-0717(02)00079-2

PERULLI, G. D.; GAGGIA, F.; SORRENTI, G.; DONATI, I.; BOINI, A.; BRESILLA, K.; MANFRINI, L.; BAFFONI, L.; DI GIOIA, D.; GRAPPADELLI, L. C.; SPINELLI, F.; MORANDI, B. Treated wastewater as irrigation source: a microbiological and chemical evaluation in apple and nectarine trees. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 244, p. 106403, 2021. doi: 10.1016/j.agwat.2020.106403

PINTO JÚNIOR, E. S. **Análise dos parâmetros de solo cultivado com maxixe (*Cucumis anguria*) irrigado com água residuária doméstica**. 2018, 64 f. Dissertação (mestrado em Recursos Hídricos) - Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, 2018.

PUISSANT, J.; JONES, B.; GOODALL, T.; MANG, D.; BLAUD, A.; GWEON, H. S.; MALIK, A.; JONES, D. L.; CLARK, I. M.; HIRSCH, P. R.; GRIFFITHS, R. The pH optimum of soil exoenzymes adapt to long term changes in soil pH. **Soil Biology and Biochemistry**, Elmsford, v. 138, p. 107601, 2019. doi: 10.1016/j.soilbio.2019.107601

QADIR, M.; WICHELNS, D.; RASCHID-SALLY, L.; MCCORNICK, P. G.; DRECHSEL, P.; BAHRI, A.; MINHAS, P. S. The challenges of wastewater irrigation in developing countries. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 97, p. 561-568, 2010. doi: 10.1016/j.agwat.2008.11.004

QUEIROGA, R. C. F.; ANDRADE NETO, R. C.; NUNES, G. H. S.; MEDEIROS, J. F.; ARAÚJO, W. B. M. Germinação e crescimento inicial de híbridos de meloeiro em função da salinidade. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 24, n. 3, p. 315-319, 2006. doi: 10.1590/S0102-05362006000300009

RADJENOVIĆ, J.; PETROVIĆ, M.; VENTURA, F.; BARCELÓ D. Rejection of pharmaceuticals in nanofiltration and reverse osmosis membrane drinking water treatment. **Water Research**, Oxford, v. 42, n. 14, p. 3601-3610, 2008. doi: 10.1016/j.watres.2008.05.020

RAMOS, F. S. M. **Características agronômicas e microbiológicas da couve manteiga (*Brassica Oleracea L.*) irrigada com água residuária tratada em ambiente protegido**. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos) – Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, 2021. 61 p.

RASOULI, S.; REZAEI, N.; HAMED, H.; ZENDEHBOUDI, S.; DUAN, X. Design, fabrication, and characterization of a facile superhydrophobic and superoleophilic mesh-based membrane for selective oil-water separation. **Chemical Engineering Science**, New York, v. 236, p. 116354, 2021. doi: 10.1016/j.ces.2020.116354

REDDY, K. R.; XIE, T.; DASTGHEIBI, S. Evaluation of biochar as a potential filter media for the removal of mixed contaminants from urban storm water runoff. **Journal of Environmental Engineering**, New York, v. 140, n. 12, 2014. doi: 10.1061/(ASCE)EE.1943-7870.0000872

SÁ, F. V. S.; BRITO, M. E. B.; MELO, A. S.; ANTÔNIO NETO, P.; FERNANDES, P. D.; FERREIRA, I. B. Produção de mudas de mamoeiro irrigadas com água salina. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 17, n. 10, p. 1047-1054, 2013. doi: 10.1590/S1415-43662013001000004

SAITÚA, H.; GIANNINI, F.; PADILLA, A. P. Drinking water obtaining by nanofiltration from waters contaminated with glyphosate formulations: process evaluation by means of toxicity tests and studies on operating parameters. **Journal of Hazardous Materials**, Amsterdam, v. 227-228, p. 204-210, 2012. doi: 10.1016/j.jhazmat.2012.05.035

SANDRI, D.; MATSURA, E. E.; TESTEZLAF, R. Desenvolvimento da alface Elisa em diferentes sistemas de irrigação com água residuária. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.11, n.1, p.17–29, 2007. doi: 10.1590/S1415-43662007000100003.

SANGON, S.; HUNT, A. J.; ATTARD, T. M.; MENGCHANG, P.; NGERNYEN, Y.; SUPANCHAIYAMAT, N. Valorisation of waste rice straw for the production of highly effective carbon based adsorbents for dyes removal. **Journal of Cleaner Production**, Oxford, v. 172, p. 1128-1139, 2018. doi: 10.1016/j.jclepro.2017.10.210

SANTOS, C. K.; SANTANA, F. S.; RAMOS, F. S. M.; FACCIOLI, G. G.; GOMES FILHO R. R. Impacto do uso de efluentes nas características do solo cultivado com quiabo (*abelmoschus esculentus* l). **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, Fortaleza, v.12, n. 4, p. 2776–2783, 2018. doi: 10.7127/RBAI.V12N400975

SANTOS, M. R.; BRITO, C. F. B. Irrigação com água salina, opção agrícola consciente. **Revista Agrotecnologia**, Ipameri, v. 7, n. 1, p. 33-41, 2016. doi: 10.12971/5175

SARKAR, B.; VENKATESHWARLU, N.; RAO, R. N.; BHATTACHARJEE, C.; KALE, V. Potable water production from pesticide contaminated surface water—A membrane based approach. **Desalination**, Amsterdam, v. 204, n. 1-3, p. 368-373, 2007. doi: 10.1016/j.desal.2006.02.041

SCHAER-BARBOSA, M.; SANTOS, M. E. P.; MEDEIROS, Y. D. P. Viabilidade do reúso de água como elemento mitigador dos efeitos da seca no semiárido na Bahia. **Ambiente & Sociedade**, São Paulo, v. XVII, n. 2, p. 17-32, 2014. doi: 10.1590/S1414-753X2014000200003

SCHWARZ, K. R.; SIDHU, J. P. S.; TOZE, S.; LI, Y.; LEE, E.; GRUHLIK, Y.; PRITCHARD, D. L. Decay rates of *Escherichia coli*, *Enterococcus* spp., F-specific bacteriophage MS2, somatic coliphage and human adenovirus in facultative pond sludge. **Water Research**, Oxford, v. 154, p. 62-71, 2019. doi: 10.1016/j.watres.2019.01.027

SHANNAG, S. K.; AL-MEFLEH, N. K.; FREIHAT, M. Reuse of wastewaters in irrigation of broad bean and their effect on plant-aphid interaction. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 257, p. 107156, 2021. doi: 10.1016/j.agwat.2021.107156

SILVA, V. D.; QUEIROZ, S. O. P. Manejo de água para produção de alface em ambiente protegido. **Irriga**, Botucatu, v. 18, n. 1, p. 184-199, 2013. doi: 10.15809/irriga.2013v18n1p184

SIMONS, G. W. H.; BASTIAANSEN, W. G. M.; IMMERZEEL, W. W. Water reuse in river basins with multiple users: a literature review. **Journal of Hydrology**, [S.l.], v. 522, p. 558-571, 2015. doi: 10.1016/j.jhydrol.2015.01.016

SINGH, P. K.; DESHBHRATAR, P. B.; RAMTEKE, D. S. Effects of sewage wastewater irrigation on soil properties, crop yield and environment. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 103, p. 100-104, 2012. doi: 10.1016/j.agwat.2011.10.022

SOUZA C. F.; BASTOS R. G.; GOMES M. P. M.; PULSCHEN, A. A. Eficiência de estação de tratamento de esgoto doméstico visando reuso agrícola. **Revista Ambiente e Água**, Taubaté, v. 10, n. 3, p. 587-597, 2015. doi: 10.4136/ambi-agua.1549

TAVARES, F. B.; SILVA, A. C. R.; FERNANDES, C. S.; KALLIANY, K.; MOURA, C. F.; TRAVASSOS, K. D. Crescimento e produção de pimentão utilizando água residuária doméstica tratada. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, Fortaleza, v. 13, n. 5, p. 3683-3690, 2019. doi: 10.7127/rbai.v13n5001131

UNESCO WWAP. **Relatório Mundial das Nações Unidas sobre Desenvolvimento dos Recursos Hídricos: Água e mudança climática**, resumo executivo. World Water Assessment Programme (UNESCO WWAP), 2020. Disponível em: [https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000372882\\_por](https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000372882_por). Acesso em: 10 jan 2022.

UNESCO WWAP. **Relatório Mundial das Nações Unidas sobre Desenvolvimento dos Recursos Hídricos: Não deixar ninguém para trás**, fatos e dados. World Water Assessment Programme (UNESCO WWAP), 2019. Disponível em: [https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000367276\\_por](https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000367276_por). Acesso em: 10 jan 2022.

UNITED NATIONS. **Envision2030 Goal 6: Clean Water and Sanitation 2021**. Available in: <https://www.un.org/development/desa/disabilities/envision2030-goal6.html>. Access in: 20 nov 2021.

UNITED NATIONS. **The Sustainable Development Goals Report**. Department of Economic and Social Affairs. Statistics Division: New York, 2017. Available in: <https://unstats.un.org/sdgs/report/2017/>. Access in: 20 sept. 2021.

URBANO, V. R.; MENDONÇA, T. G.; BASTOS, R. G.; SOUZA, C. F. Physical-chemical effects of irrigation with treated wastewater on Dusky Red Latosol soil. **Revista Ambiente e Água**, Taubaté, v. 10, n. 4, p. 737-747, 2015. doi: 10.4136/ambi-agua.1695

URBANO, V. R.; MENDONÇA, T. G.; BASTOS, R.G.; SOUZA, C.F. Effects of treated wastewater irrigation on soil properties and lettuce yield. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 181, p. 108-115, 2017. doi: 10.1016/j.agwat.2016.12.001

US EPA. **Process Design Manual: Land Treatment of Municipal Wastewater Effluents**. U.S. Environmental Protection Agency, Cincinnati, Ohio, 2006.

USDA. **Citrus: World Markets and Trade**. United States Department of Agriculture Foreign Agricultural Service. January, 2022. Available in: <https://apps.fas.usda.gov/psdonline/circulars/citrus.pdf>. Access in: 27 fev. 2022.

VARJANI, S.; JOSHI, R.; SRIVASTAVA, V. K.; NGO, H. H; GUO, W. Treatment of wastewater from petroleum industry: current practices and perspectives.

**Environmental Science And Pollution Research**, [S.l.], v. 27, p. 27172–27180, 2020. doi: 10.1007/s11356-019-04725-x

VELASCO-MUÑOZ, J. F.; AZNAR-SÁNCHEZ, J. A.; BATLLES-DELAFUENTE, A.; FIDELIBUS, M. D. Sustainable irrigation in agriculture: an analysis of global research. **Water**, Basel, v. 11, p. 1758, 2019. doi: 10.3390/w11091758

VELESCU, A.; HOMEIER, J.; BENDIX, J.; VALAREZO, C.; WILCKE, W. Response of water-bound fluxes of potassium, calcium, magnesium and sodium to nutrient additions in an Ecuadorian tropical montane forest. **Forest Ecology and Management**, [S.l.], v. 501, p. 119661, 2021. doi: 10.1016/j.foreco.2021.119661

VIVALDI, G. A; CAMPOSEO, S; LOPRIORE, G; ROMERO-TRIGUEROS, C; SALCEDO, F. P. Using saline reclaimed water on almond grown in Mediterranean conditions: deficit irrigation strategies and salinity effects. **Water Supply**, London, v. 19, p. 1413-1421, 2019. doi:10.2166/ws.2019.008

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. v. 1. Princípios do tratamento biológico de águas residuárias. 4 ed. Belo Horizonte, MG: Editora UFMG, 2014. 452 p.

WANG, F.; HARINDINTWALI, J. D.; YUAN, Z.; WANG, M.; WANG, F.; LI, S. Technologies and perspectives for achieving carbon neutrality. **The Innovation**, New York, v. 2, p. 1-22, 2021. doi: 10.1016/j.xinn.2021.100180

WANG, Y.; SUN, Y.; DENG, H.; ZHONG, H. Biochar amendment mitigates the health risks of dietary methylmercury exposure from rice consumption in mercury-contaminated areas. **Environmental Pollution**, Barking, v. 267, p. 115547, 2020. doi: 10.1016/j.envpol.2020.115547

WHO, **Potable Reuse: Guidance for Producing Safe Drinking-Water**. Geneva: World Health Organization, 2017.

WIELEMAKER, R. C.; WEIJMA, J.; ZEEMAN, G. Harvest to harvest: Recovering nutrients with New Sanitation systems for reuse in Urban Agriculture. **Resources, Conservation and Recycling**, [S.l.], v. 128, p. 426-437, 2018. doi: 10.1016/j.resconrec.2016.09.015

WORLD BANK. **Water in Agriculture**, 2020. Available in: <https://www.worldbank.org/en/topic/water-in-agriculture>. Access in: 20 sept. 2021.

WORLD BANK. **Water Resources Management**, 2017. Available in: <https://www.worldbank.org/en/topic/waterresourcesmanagement>. Access in: 20 sept. 2021.

XIANG, W.; ZHANG, X.; CHEN, J.; ZOU, W.; HE, F.; HU, X.; TSANG, D. C. W.; OK, Y. S.; GAO, B. Biochar technology in wastewater treatment: a critical review.

**Chemosphere**, Oxford, v. 252, p. 126539, 2020. doi: 10.1016/j.chemosphere.2020.126539

YAN, Q.; XU, Y.; CHEN, L.; CAO, Z.; SHAO, Y.; XU, Y.; YU, Y.; FANG, C.; ZHU, Z.; FENG, G.; CHEN, M. Irrigation with secondary municipal-treated wastewater: Potential effects, accumulation of typical antibiotics and grain quality responses in rice (*Oryza sativa* L.). **Journal of Hazardous Materials**, Amsterdam, v. 410, p. 124655, 2021. doi: 10.1016/j.jhazmat.2020.124655

YANG, X.; LAI, J. L.; LI, J.; ZHANG, Y.; LUO, X. G.; LI, Z. G. Biodegradation and physiological response mechanism of a bacterial strain to 2,4,6-trinitrotoluene contamination. **Chemosphere**, Oxford, v. 270, p. 129280, 2021. doi: 10.1016/j.chemosphere.2020.129280

YING, D.; HONG, P.; JIALI, F.; QINQIN, T.; YUHUI, L.; YOUQUN, W.; ZHIBIN, Z.; XIAOHONG, C.; YUNHAI, L. Removal of uranium using MnO<sub>2</sub>/orange peel biochar composite prepared by activation and in-situ deposit in a single step. **Biomass and Bioenergy**, [S.l.], v. 142, p. 105772, 2020. doi: 10.1016/j.biombioe.2020.105772

YURI, J. E.; MOTA, J. H.; RESENDE, G. M.; SOUZA, R. J. **Nutrição e adubação da cultura da alface**. In: PRADO, R. M.; CECÍLIO FILHO, A. B. *Nutrição e adubação de hortaliças*. Jaboticabal, SP: Editora FCAV/CAPES, 2016. 600 p.

ZALACÁIN, D.; MARTÍNEZ-PÉREZ, S.; BIENES, R.; GARCÍA-DÍAZ, A.; SASTRE-MERLÍN, A. Salt accumulation in soils and plants under reclaimed water irrigation in urban parks of Madrid (Spain). **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 213, p. 468-476, 2019. doi: 10.1016/j.agwat.2018.10.031

ZOU, W.; GAO, B.; OK, Y. S.; DONG, L. Integrated adsorption and photocatalytic degradation of volatile organic compounds (VOCs) using carbon-based nanocomposites: a critical review. **Chemosphere**, Oxford, v. 218, p. 845-859, 2019. doi: 10.1016/j.chemosphere.2018.11.175