



INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO CEARÁ
IFCE *CAMPUS* FORTALEZA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM TECNOLOGIA E GESTÃO AMBIENTAL

ANTONIO MARCELO MAGALHÃES GOMES

REÚSO DE ÁGUA CINZA SINTÉTICA TRATADA POR *WETLANDS*
CONSTRUÍDOS NO CULTIVO DO GIRASSOL ORNAMENTAL

FORTALEZA

2025

ANTONIO MARCELO MAGALHÃES GOMES

REÚSO DE ÁGUA CINZA SINTÉTICA TRATADA POR *WETLANDS* CONSTRUÍDOS
NO CULTIVO DO GIRASSOL ORNAMENTAL

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Tecnologia e Gestão Ambiental do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE) - *Campus* Fortaleza, como requisito parcial para obtenção do Título de Mestre em Tecnologia e Gestão Ambiental. Área de concentração: Gestão e Saneamento Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Marcus Vinícius Freire Andrade.

Coorientadora: Profa. Dra. Kelly de Araújo Rodrigues Pessoa.

FORTALEZA

2025

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Instituto Federal do Ceará - IFCE
Sistema de Bibliotecas - SIBI
Ficha catalográfica elaborada pelo SIBI/IFCE, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

- G633r Gomes, Antonio Marcelo Magalhães.
 Reúso de água cinza sintética tratada por wetlands construídos no cultivo do girassol ornamental /
 Antonio Marcelo Magalhães Gomes. - 2025.
 105 f. : il. color.
- Dissertação (Mestrado) - Instituto Federal do Ceará, Mestrado em Tecnologia e Gestão Ambiental,
 Campus Fortaleza, 2025.
 Orientação: Prof. Dr. Marcus Vinícius Freire Andrade.
 Coorientação: Profa. Dra. Kelly de Araújo Rodrigues Pessoa.
1. Reúso agrícola. 2. Espécies ornamentais. 3. *Helianthus annuus*. 4. Eficiência hídrica. 5.
 Fitotecnologias. I. Título.

CDD 628



INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO CEARÁ
Av. 13 de maio, 2081 - Bairro Benfica - CEP 60040-531 - Fortaleza - CE - www.ifce.edu.br

FOLHA DE APROVAÇÃO

Processo: 23256.002309/2025-02

Interessado: Marcus Vinicius Freire Andrade

ANTONIO MARCELO MAGALHÃES GOMES

REÚSO DE ÁGUA CINZA SINTÉTICA TRATADA POR WETLANDS CONSTRUÍDOS NO CULTIVO DE GIRASSOL

Dissertação apresentada ao Curso de **PÓS-GRADUAÇÃO EM TECNOLOGIA E GESTÃO AMBIENTAL** do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE) Campus de Fortaleza, como requisito parcial para obtenção do Título de Mestre em **TECNOLOGIA E GESTÃO AMBIENTAL**.

Aprovada em: **26/02/2025**.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Marcus Vinicius Freire Andrade

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará - IFCE

Dr. Joilson Silva Lima

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará - Campus Sobral

Profa. Dra. Alana Gandra Lima de Moura

Universidade Federal do Maranhão(UFMA)



Documento assinado eletronicamente por **Marcus Vinicius Freire Andrade, Professor do Ensino Básico, Técnico e Tecnológico**, em 27/02/2025, às 16:20, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Joilson Silva Lima, Engenheiro Agrônomo**, em 27/02/2025, às 16:31, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Alana Gandra Lima de Moura, Usuário Externo**, em 28/02/2025, às 14:05, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade do documento pode ser conferida no site https://sei.ifce.edu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0 informando o código verificador **7094214** e o código CRC **F429B143**.

A Deus, pelo dom da vida. Aos meus pais,
Iracema e Brizamar, por tanta confiança e
apoio em todos os momentos.

Dedico.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por se fazer presente em todos os momentos da minha vida, por me conceder força e coragem e por iluminar e guiar o meu caminho.

Aos meus queridos pais, Iracema Magalhães e Brizamar Ferreira, pelo amor imensurável e por lutarem pelos meus sonhos como se fossem deles, me proporcionando tudo o que não tiveram oportunidade de ter. A minha eterna gratidão.

Às minhas irmãs, Daiane e Patrícia, pelo zelo e amizade, e por acreditarem tanto em mim.

Às minhas tias, Antônia, Fátima e Maria, pelo carinho incondicional e pelo incentivo de sempre na busca pelos meus objetivos. As palavras são insuficientes para expressar a minha gratidão.

Ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE), através do Programa de Pós-Graduação em Tecnologia e Gestão Ambiental (PGTGA), por ter concedido a oportunidade de cursar o Mestrado.

Ao Prof. Dr. Marcus Vinícius, meu orientador desde a iniciação científica, por quem tenho enorme respeito, admiração e gratidão. Por sua indiscutível orientação no decorrer de todas as etapas deste trabalho, pelo bom humor, pela confiança, amizade, respeito, apoio, paciência e pelo oferecimento de inúmeras oportunidades.

À minha coorientadora, Profa. Dra. Kelly Rodrigues, à Profa. Dra. Glória Marinho; Profa. Dra. Waleska Eloi e Prof. Dr. Rinaldo Araújo; grato pelo apoio, conhecimento compartilhado e por serem sempre tão solícitos. Vocês são exemplos de pesquisadores.

Aos membros da banca examinadora, Profa. Dra. Alana Gandra e Dr. Joilson Silva, pelas valiosas contribuições ao meu trabalho.

À Profa. Dra. Maria Cristina e ao técnico Dimitri, do Laboratório de Solos e Água para Irrigação (IFCE/*Campus* Sobral), por todo o apoio e suporte nas análises de solos.

Aos amigos do Laboratório de Tecnologia Ambiental (LATAM), em especial, Sheila, Maria Beatriz, Victoria, Clécio, Rodrigo, Rafael, Catharina, Emily e Taís, pelo suporte na execução das análises, palavras de incentivo e dificuldades compartilhadas.

Às queridas amigas, colegas de turma e companheiras de projeto, Sara Maria e Joice Maciel, por tanto companheirismo, apoio e por compartilharem comigo tantos momentos felizes e dificuldades durante o curso. São muitas histórias para contar.

Ao amigo Alex, pela singular responsabilidade, disposição constante e auxílio indispensável nos experimentos.

Aos demais familiares e amigos que tanto me incentivaram e que sempre torcem pelo meu sucesso.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e à Fundação Cearense de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico (FUNCAP), através do projeto 22008012001P3 - FUNCAP, pelo auxílio financeiro concedido no decorrer deste trabalho.

RESUMO

A escassez de recursos hídricos tem tornado o reúso de água uma prática imperativa para a promoção do cultivo agrícola em diversas regiões. O objetivo do trabalho foi estudar a aplicação de reúso de água cinza sintética tratada por sistemas de *wetlands* construídos em escala piloto na irrigação do girassol ornamental (*Helianthus annuus* L.). Foram conduzidos três experimentos distintos, abrangendo os efluentes tratados advindos de dois sistemas de *wetlands*, denominados W1 e W2, nos períodos chuvoso e seco. Em período chuvoso (experimento I), com delineamento experimental inteiramente casualizado, os tratamentos foram representados por cinco níveis de água cinza sintética de W1 e W2, misturadas com água de poço profundo (0, 25, 50, 75 e 100%), com quatro repetições, totalizando 36 unidades experimentais. Avaliou-se o percentual de emergência, o índice de velocidade de emergência, a altura da planta, o número de folhas e o diâmetro do caule. No período seco, o reúso dos efluentes tratados foram realizados separadamente, sendo que no experimento II utilizou-se efluente de W1 e no experimento III, de W2. No experimento III, além dos cinco níveis do efluente, avaliou-se um tratamento adicional com substrato comercial adicionado de areia grossa. Além das variáveis biométricas avaliadas no experimento I, além das variáveis do experimento I, outras variáveis foram avaliadas: área foliar, fitomassa fresca e seca da raiz e da parte aérea, emissão de botão floral, início de florescimento e abertura total do capítulo. Os resultados obtidos mostraram que as condições empregadas em período seco, no experimento III, foram as que propiciaram melhores resultados, obtendo-se desempenhos superiores para todas as variáveis analisadas em comparação com a água de poço, apresentando diferenças significativas para altura da planta e número de folhas. Na altura da planta, os tratamentos com 100 % de efluente e aplicação de substrato com areia grossa e 50% água cinza sintética W2 + 50% água de poço, proporcionaram um acréscimo de 56,15 % e 46,78 %, respectivamente, em relação ao tratamento com apenas água de poço. Para o número de folhas, o acréscimo na cultura irrigada com os mesmos tratamentos em comparação com AP foi de 48,83%. Dessa forma, a aplicação de efluente do W2 sob as condições investigadas em período seco, no experimento III, podem substituir a aplicação de fontes de irrigação usuais, como água de poço, proporcionando economia de recursos hídricos e benefícios à cultura.

Palavras-chave: Reúso agrícola. Espécies ornamentais. *Helianthus annuus*. Eficiência hídrica. Fitotecnologias.

ABSTRACT

Water scarcity has made water reuse an imperative practice for promoting agricultural cultivation in various regions. This study aimed to evaluate the application of treated synthetic graywater, processed by pilot-scale constructed wetland systems, for irrigating ornamental sunflower (*Helianthus annuus* L.). Three distinct experiments were conducted, encompassing treated effluents from two wetland systems, designated as W1 and W2, during both rainy and dry periods. In the rainy period (Experiment I), a completely randomized experimental design was adopted, with treatments represented by five levels of synthetic graywater from W1 and W2, mixed with deep well water (0, 25, 50, 75, and 100%), with four replicates, totaling 36 experimental units. The percentage of emergence, emergence speed index, plant height, number of leaves, and stem diameter were evaluated. During the dry period, the reuse of treated effluents was conducted separately: Experiment II utilized effluent from W1, while Experiment III used effluent from W2. In Experiment III, in addition to the five effluent levels, an additional treatment was included using a commercial substrate supplemented with coarse sand. Besides the biometric variables assessed in Experiment I, additional parameters were evaluated: leaf area, fresh and dry phytomass of both root and aerial parts, floral bud emission, flowering onset, and full capitulum opening. The results demonstrated that the conditions applied during the dry period in Experiment III provided the best outcomes, yielding superior performance across all analyzed variables compared to deep well water. Significant differences were observed in plant height and number of leaves. Regarding plant height, treatments with 100% effluent combined with substrate and coarse sand, as well as 50% synthetic graywater from W2 + 50% deep well water, resulted in an increase of 56.15% and 46.78%, respectively, compared to the deep well water treatment. For the number of leaves, irrigation with these same treatments led to an increase of 48.83% compared to the deep well water treatment. Thus, the application of W2 effluent under the investigated conditions during the dry period (Experiment III) has the potential to replace conventional irrigation sources, such as deep well water, thereby promoting water resource conservation and benefits to crop cultivation.

Keywords: Agricultural reuse. Ornamental species. *Helianthus annuus*. Water efficiency. Phytotechnologies.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 — Esquemas de WC de fluxo subsuperficial horizontal (a) e fluxo subsuperficial vertical (b).....	21
Figura 2 — Descrição esquemática das fases de desenvolvimento do girassol, segundo Schneiter e Miller (1981).....	27
Figura 3 — Croqui ilustrando as dimensões, detalhes e distribuição dos tratamentos em campo, de acordo com o delineamento inteiramente casualizado realizado.....	33
Figura 4 — Vaso de polietileno com capacidade de 6 L utilizado no estudo e detalhes do sistema de drenagem.....	34
Figura 5 — Sistemas <i>wetlands</i> construídos para tratamento do efluente sintético utilizado no estudo.....	35
Figura 6 — Vasos vedados com sacos plásticos para teste da capacidade de campo.....	37
Figura 7 — Medidas da altura (A) e diâmetro do caule (B) de plantas de girassol.....	39
Figura 8 — Incidência de lagartas (A) e gafanhotos (B) nas unidades experimentais.....	40
Figura 9 — Croqui ilustrando as dimensões, detalhes e distribuição dos tratamentos dos experimentos II (a) e III (b), de acordo com o delineamento inteiramente casualizado realizado.....	42
Figura 10 — Medidas da altura da planta (a); diâmetro do caule (b); número de folhas e área foliar (c) da cultura do girassol.....	45
Figura 11 — Medidas da fitomassa fresca da parte aérea (a) e fitomassa fresca da raiz (b) da cultura do girassol.....	45
Figura 12 — Suprimento da demanda hídrica por irrigação e precipitação pluviométrica...	51
Figura 13 — Precipitação pluviométrica diária durante o período do experimento I	51
Figura 14 — Comprometimento de repetição de tratamento por ataque de pragas (a) e efeitos do excesso de precipitação sobre o colo do girassol (b).....	54
Figura 15 — Regressão polinomial da altura da planta em relação às diferentes diluições aplicadas do efluente do W1 (a, b) e W2 (c, d) em comparação com a água de poço.....	57

Figura 16 — Regressão polinomial da altura da planta em relação às diferentes diluições aplicadas do efluente do W2 em comparação com a água de poço no experimento III, em 30 (a), 45 (b) e 60 DAS (c).....	72
Figura 17 — Regressão polinomial do número de folhas em relação às diferentes diluições aplicadas do efluente do W2 em comparação com a água de poço no experimento III, em cada um dos períodos de avaliação.....	77
Figura 18 — Aparecimento do botão floral (a) e início da floração (b) da cultura do girassol no experimento III.....	85
Figura 19 — Abertura total do capítulo (ATC) do girassol durante o experimento III.....	85
Figura 20 — Número de repetições de alcançaram os estágios EBF e IF por tratamento, durante o experimento III.....	87

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	— Parâmetros convencionais para caracterizar águas cinzas domésticas.....	18
Tabela 2	— Descrição das fases de desenvolvimento vegetativa (V) e reprodutiva (R) do girassol.....	28
Tabela 3	— Descrição dos tratamentos aplicados no experimento I.....	32
Tabela 4	— Tabela 4 – Características químicas da terra vegetal comercial utilizada no experimento I.....	34
Tabela 5	— Variáveis analisadas na caracterização das fontes de irrigação do girassol.....	36
Tabela 6	— Descrição dos tratamentos aplicados nos experimentos II e III.....	41
Tabela 7	— Características físicas das areias utilizadas nos experimentos II e III.....	43
Tabela 8	— Caracterização físico-química e microbiológica da água cinza sintética afluyente e das fontes de irrigação do girassol.....	47
Tabela 9	— ANOVA e médias do percentual de emergência (PE) e do índice de velocidade de emergência (IVE) das plântulas de girassol aos 10 dias após o plantio.....	53
Tabela 10	— ANOVA para a variável ADP do girassol irrigado com diferentes diluições de água cinza sintética tratada em água de poço.....	55
Tabela 11	— ANOVA para a variável número de folhas (NF) do girassol irrigado com diferentes diluições de água cinza sintética tratada em água de poço.....	59
Tabela 12	— ANOVA para a variável diâmetro do caule (DC) do girassol irrigado com diferentes diluições de água cinza sintética tratada em água de poço.....	61
Tabela 13	— Caracterização físico-química e microbiológica da água cinza sintética afluyente e das fontes de irrigação do girassol nos experimentos II e III.....	63
Tabela 14	— ANOVA e médias do percentual de emergência (PE) e do índice de velocidade de emergência (IVE) das plântulas de girassol nos experimentos II e III.....	68

Tabela 15 — ANOVA para a variável altura da planta (ADP) do girassol irrigado com diferentes diluições de água cinza sintética tratada em água de poço nos experimentos II e III.....	70
Tabela 16 — ANOVA para a variável número de folhas (NF) do girassol irrigado com diferentes diluições de água cinza sintética tratada em água de poço nos experimentos II e III.....	75
Tabela 17 — ANOVA para a variável diâmetro do caule (DC) do girassol irrigado com diferentes diluições de água cinza sintética tratada em água de poço nos experimentos II e III.....	79
Tabela 18 — ANOVA para a variável área foliar (AF) do girassol irrigado com diferentes diluições de água cinza sintética tratada em água de poço nos experimentos II e III.....	81
Tabela 19 — ANOVA para as variáveis FFR, FSR, FFPA e FSPA do girassol irrigado com diferentes diluições de água cinza sintética tratada em água de poço nos experimentos II e III.....	83

LISTA DE SIGLAS

ADP	Altura da Planta
AF	Área Foliar
AP	Água de Poço
ANOVA	Análise de Variância
CC	Capacidade de Campo
CE	Condutividade Elétrica
CNRH	Conselho Nacional de Recursos Hídricos
COEMA	Conselho Estadual do Meio Ambiente
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CV	Coefficiente de Variação
DAS	Dias Após a Semeadura
DC	Diâmetro do Caule
DQO	Demanda Química de Oxigênio
EBF	Emissão do Botão Floral
EPA	<i>Environmental Protection Agency</i>
FAO	<i>Food and Agriculture Organization</i>
FFPA	Fitomassa Fresca da Parte Aérea
FFR	Fitomassa Fresca da Raiz
FSPA	Fitomassa Seca da Parte Aérea
FFR	Fitomassa Seca da Raiz
FSH	Fluxo Subsuperficial Horizontal
FSV	Fluxo Subsuperficial Vertical
FV	Fonte de variação

GL	Grau de Liberdade
IF	Início da Floração
IFCE	Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará
IVE	Índice de Velocidade de Emergência
NF	Número de Folhas
NMP	Número Mais Provável
NSE	Número de Sementes Emergidas
NSS	Número de Sementes Semeadas
OMS	Organização Mundial da Saúde
PE	Percentual de Emergência
pH	Potencial Hidrogeniônico
SNIS	Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento
UASB	Reator Anaeróbio de Fluxo Ascendente
UNICEF	<i>United Nations Children's Fund</i>
USSL	<i>United States Salinity Laboratory</i>
W1	<i>Wetland</i> construído com <i>Echinodorus subalatus</i>
W2	<i>Wetland</i> construído com <i>Typha domingensis</i>
WC	<i>Wetland</i> Construído
W1T1	25% de água cinza sintética W1 + 75% água de poço
W1T2	50% de água cinza sintética W1 + 50% de água de poço
W1T3	75% de água cinza sintética W1 + 25% água de poço
W1T4	100% de água cinza sintética W1
W2T1	25% de água cinza sintética W2 + 75% água de poço
W2T1	25% de água cinza sintética W2 + 75% água de poço
W2T2	50% de água cinza sintética W2 + 50% de água de poço

W2T3	75% de água cinza sintética W2 + 25% água de poço
W2T4	100% de água cinza sintética W2
W2T5	100% de água cinza sintética W2 + substrato com areia grossa

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	13
2	OBJETIVOS.....	15
2.1	Objetivo geral.....	15
3	REVISÃO DE LITERATURA.....	16
3.1	Disponibilidade hídrica no Brasil.....	16
3.2	As águas cinzas.....	17
3.3	Tratamento de águas cinzas visando o reúso.....	18
3.3.1	<i>Wetlands construídos</i>.....	19
3.4	Reúso de efluentes domésticos na agricultura.....	22
3.5	A cultura do girassol ornamental.....	24
3.5.1	<i>Estádios fenológicos do girassol</i>.....	26
3.6	Requisitos para o desenvolvimento do girassol.....	29
4	MATERIAL E MÉTODOS.....	31
4.1	Local de instalação dos experimentos.....	31
4.2	Período chuvoso (experimento I).....	31
4.2.1	Delineamento experimental.....	31
4.2.2	Características das fontes de irrigação utilizadas.....	35
4.2.3	Condução do experimento e análises realizadas.....	36
4.2.4	Controle de pragas e doenças.....	39
4.2.5	Análise estatística.....	40
4.3	Período seco (experimentos II e III).....	40
4.3.1	Delineamento experimental.....	40
4.3.2	Características das fontes de água utilizadas na irrigação.....	43
4.3.3	Condução do experimento e análises realizadas.....	43
4.3.4	Análise estatística.....	46
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	47
5.1	Período chuvoso (experimento I).....	47
5.1.1	Caracterização das fontes de irrigação.....	47
5.1.2	Irrigação da cultura.....	50
5.1.3	Percentual de emergência (PE) e índice de velocidade de emergência (IVE).....	52
5.1.4	Análises biométricas do girassol.....	53
5.4.1.1	<i>Altura da planta (ADP)</i>.....	54
5.4.1.2	<i>Número de folhas (NF)</i>.....	58
5.4.1.3	<i>Diâmetro do caule (DC)</i>.....	60
5.2	Período seco (experimentos II e III).....	62
5.2.1	Caracterização das fontes de irrigação.....	62
5.2.3	Percentual de emergência (PE) e índice de velocidade de emergência (IVE).....	67

5.2.4	Análises biométricas do girassol.....	69
5.2.4.1	<i>Altura da planta (ADP).....</i>	69
5.2.4.2	<i>Número de folhas (NF).....</i>	74
5.2.4.3	<i>Diâmetro do caule (DC).....</i>	78
5.2.4.4	<i>Área foliar (AF).....</i>	80
5.2.4.5	<i>Fitomassas.....</i>	82
5.2.4.6	<i>Emissão do botão floral (EBF), início da floração (IF) e abertura total do capítulo (ATC).....</i>	84
6	CONCLUSÕES.....	88
6	RECOMENDAÇÕES.....	89
	REFERÊNCIAS.....	90

1 INTRODUÇÃO

A escassez de recursos hídricos a nível global tem se tornado cada vez mais proeminente, diante de um aumento acentuado da população mundial, da ocorrência frequente de condições climáticas extremas, da poluição ambiental e do desperdício de recursos sem controle (GAO, 2023). Esses fenômenos globais estão sobrecarregando os recursos hídricos disponíveis, de modo que a água doce se tornou um dos fatores mais limitantes (MELO *et al.*, 2020). Além dessa limitação, diversas regiões também enfrentam problemas sanitários, com sistemas de saneamento precários e efluentes de esgoto despejados em cursos d'água, causando contaminação dos corpos hídricos e do meio ambiente e, reduzindo ainda mais a oferta de recursos hídricos (GONÇALVES *et al.*, 2020).

Na região Nordeste do Brasil, onde as condições climáticas estabelecem uma situação de escassez de recursos hídricos, devido aos baixos índices pluviométricos e altas taxas de evapotranspiração, os fins domésticos e industriais são prioritários no uso da água, o que limita o uso e a expansão da agricultura irrigada (GONÇALVES *et al.*, 2020).

Na agricultura, a água é essencial para o desenvolvimento e produção das culturas. O estresse hídrico é um dos fatores mais limitantes ao crescimento e à produtividade das plantas em condições de escassez hídrica (RAD *et al.*, 2021). Nesse contexto, a irrigação é um fator importante para garantir a produção agrícola nessas regiões (WU *et al.*, 2023). Por isso, em áreas onde as chuvas são escassas, é de fundamental importância complementar a irrigação. Nesse sentido, estratégias de reúso da água na agricultura têm aumentado significativamente, em decorrência de fatores como a crescente dificuldade em identificar fontes alternativas de água para irrigação e o alto custo dos fertilizantes (HESPANHOL, 2015).

A utilização de efluentes domésticos tratados como fonte alternativa de irrigação representa uma estratégia viável para reduzir a escassez de água durante os períodos mais quentes da estação, como apoio à gestão tradicional da irrigação, não só em ambientes áridos e semiáridos, mas também em áreas afetadas por escassez ocasional de água (PERULLI *et al.*, 2019).

Bakari (2022) destaca que o elevado teor de nutrientes, matéria orgânica e minerais na água residuária pode substituir o uso de fertilizantes, o que reduz consideravelmente o custo da produção agrícola. Além disso, os nutrientes presentes nos efluentes, estão normalmente presentes na forma solúvel, o que facilita sua absorção pelas culturas, quando comparados aos

fertilizantes convencionais, minimizando a sua dispersão no ambiente e reduzindo a emissão indireta de gases do efeito estufa (GEE) (MAINARDIS *et al.*, 2022).

Os benefícios decorrentes da economia de fertilizantes minerais e da redução das emissões de GEE podem atingir até 80,0% e 79,7%, respectivamente, ainda que possam variar de acordo com a cultura, o tratamento do efluente empregado e condições ambientais (PENSERINI *et al.*, 2024). Entretanto, o uso indiscriminado dessa fonte alternativa pode causar problemas ambientais devido à potencial presença de organismos patogênicos, grandes quantidades de íons cloreto e sódio e metais pesados acima dos níveis permitidos, o que pode representar riscos à saúde humana (MELO *et al.*, 2020).

O reúso de efluentes pode fornecer uma fonte segura de água e nutrientes para culturas que não são destinadas ao consumo humano direto, destacando-se nesse sentido o cultivo de plantas ornamentais, como o girassol. Além do seu potencial paisagístico, o girassol é uma das plantas industriais mais importantes para a produção de óleo que fornece os nutrientes básicos, possui propriedades funcionais como baixo teor de gordura saturada, rico teor de ácido linoleico e altos valores energéticos, além de auxiliar na prevenção de doenças cardiovasculares e reduzir o nível de colesterol (ADELEKE; BABALOLA, 2020).

A cultura do girassol tem demonstrado clara superioridade sobre as demais oleaginosas devido à sua maior adaptabilidade a diversas regiões agroclimáticas, alto potencial produtivo e insensibilidade ao fotoperíodo (MULPURI *et al.*, 2024). Dessa forma, em decorrência da relevância do girassol e da necessidade de maior sustentabilidade agrícola em regiões com escassez de recursos hídricos, pesquisas voltadas ao reúso de efluentes na irrigação desta cultura tornam-se essenciais.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Estudar o reúso de águas cinzas sintéticas tratadas por sistemas de *wetlands* construídos em escala piloto na irrigação do girassol ornamental.

2.2 Objetivos específicos

- Caracterizar qualitativamente as águas cinzas tratadas por dois sistemas de *wetlands* construídos, cultivados com duas espécies distintas de macrófitas aquáticas;
- Enquadrar os efluentes estudados quanto à legislação nacional/estadual e diretrizes internacionais para o reúso agrícola, quanto aos aspectos físico-químicos e sanitários;
- Avaliar o reúso dos efluentes tratados no cultivo de girassol ornamental;
- Investigar o efeito da aplicação dos efluentes de dois *wetlands* construídos, diluídos em água de poço em diferentes proporções, na emergência das plântulas, variáveis biométricas e de produção do girassol ornamental nos períodos chuvoso e seco;
- Verificar qual a fonte de água cinza tratada e qual a estratégia de aplicação proporcionaram condições mais favoráveis ao desenvolvimento do girassol ornamental, visando potencial aplicação em escala maior.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Disponibilidade hídrica no Brasil

A escassez de recursos hídricos de boa qualidade é um problema que afeta o mundo inteiro, com maior impacto em áreas de clima árido e semiárido, onde as chuvas são irregulares e a evaporação é alta (YASUOR *et al.*, 2020).

O relatório *Water Security for All* (Segurança Hídrica para Todos), publicado pela UNICEF, evidencia essa realidade a partir da constatação de que, atualmente, 1,42 bilhão de pessoas vivem em áreas de alta ou extremamente alta vulnerabilidade da água (UNICEF, 2021). Esse contexto é justificado sob várias perspectivas, uma delas é a distribuição irregular da água no espaço terrestre.

O Brasil apresenta, em termos globais, uma situação hídrica confortável, uma vez que possui cerca de 12% de toda água doce disponível no planeta (BRASIL, 2024). No entanto, a desigualdade na distribuição de água é uma realidade observada quando as regiões do país são equiparadas.

Diversas áreas do Nordeste do Brasil sofrem com problemas relacionados ao manejo da água, com baixa ocorrência de precipitação e distribuição de forma irregular no espaço e no tempo, visto que as condições climáticas e os solos predominantemente cristalinos e rasos constituem restrições para o abastecimento dos aquíferos subterrâneos, tornando a falta de água um fator limitante no desenvolvimento de atividades agrícolas (ARTICULAÇÃO SEMIÁRIDO BRASILEIRO, 2017).

Outro fator que implica a disponibilidade hídrica é o aumento da demanda de água. O Brasil teve um aumento de 80% na demanda de água nas últimas décadas, com previsão de mais 24% até 2030, condição relacionada ao desenvolvimento econômico e ao processo de urbanização do país (BRASIL, 2019). Como o aumento da demanda por água também implica em um maior volume de efluentes produzidos, o gerenciamento inadequado de águas residuais pode causar impactos cada vez mais negativos no meio ambiente (MELO *et al.*, 2020).

Grandes volumes de águas residuais domésticas são lançados no meio ambiente sem tratamento adequado, causando danos aos ecossistemas (BEZERRA; FIDELES FILHO, 2009). No Brasil, segundo dados do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS) para 2022, 56% da população brasileira tinha acesso à rede coletora de esgotos e

apenas 52,2% do volume total gerado recebeu tratamento (BRASIL, 2023). Por outro lado, as limitações hídricas existentes nessas regiões evidenciam a necessidade de buscar fontes alternativas de água (LEMOS *et al.*, 2021).

Diante da degradação ambiental observada, especialmente a poluição hídrica, muitos estudos têm sido realizados no Brasil para estabelecer uma gestão sustentável dos recursos hídricos. Como a agricultura irrigada é uma das atividades que mais consomem água e os recursos hídricos estão se tornando cada vez mais escassos, a utilização de águas residuárias na agricultura e estudos sobre definição de técnicas para o tratamento dessas águas e seu posterior uso têm sido estimulados (CUBA *et al.*, 2015).

3.2 As águas cinzas

As águas residuais urbanas são, geralmente, uma combinação de efluentes domésticos que consistem em águas negras (excrementos, urina e lodo fecal), ou seja, águas residuais de banheiros e; águas cinzas, resultado de águas residuais de cozinha, lavanderia e banho (RAPHAEL *et al.*, 2019). Estima-se que a proporção da origem das águas cinzas sejam de chuveiros e pias (15%), máquinas de lavar (10%) e banheiros (30%) (ALBALAWNEH; CHANG, 2015).

Excluindo as águas negras, as águas cinzas constituem quase 75% das águas residuais domésticas combinadas em volume. As águas cinzas podem ser ainda divididas em águas cinzas de alta carga (cozinhas) e baixa carga (ralo de banheiras, bases de chuveiro, lavatórios e máquinas de lavar) (HACHICHA *et al.*, 2022).

Águas residuais domésticas são compostas de 70% de conteúdo orgânico e 30% de conteúdo inorgânico. Os sistemas de tratamento dependem principalmente dessa parcela orgânica das águas residuais. Essa matéria orgânica consiste em um grande grupo de fibras (20,64%), seguidas por proteínas (12,38%) e açúcares (10,65%) (HUANG *et al.*, 2010).

A quantidade e a qualidade das águas cinzas exibem variações sazonais e dependem das características dos usuários (número, idade, hábitos, atividades), composição de produtos de limpeza comerciais, sistema de coleta de águas residuais, instalações da casa (por exemplo, lava-louças, máquina de lavar), tipo de área (por exemplo, urbana, rural, litorânea). Além disso, a fonte e a mistura desempenham um papel importante nos compostos que estão nas águas cinzas (GHAITIDAK; YADAV, 2013).

De acordo com Boano *et al.* (2020), as características das águas cinzas são convencionalmente avaliadas por meio de alguns parâmetros (Tabela 1). Embora a maioria dos estudos reportados na literatura foquem em apenas um subconjunto deles.

Tabela 1 — Parâmetros convencionais para caracterizar águas cinzas domésticas.

Físico		Químico	
Parâmetro	Unidades	Parâmetro	Unidades
Temperatura	°C	pH	-
Turbidez	NTU	Demanda Bioquímica de Oxigênio	mg.L ⁻¹
Sólidos totais	mg.L ⁻¹	Demanda Química de Oxigênio	mg.L ⁻¹
Sólidos Suspensos Totais	mg.L ⁻¹	Carbono Orgânico Total	mg.L ⁻¹
Sólidos Dissolvidos Totais	mg.L ⁻¹	Carbono Orgânico Dissolvido	mg.L ⁻¹
Biológico		Nitrato	mg.L ⁻¹
Coliformes totais	NMP/100 mL	Amônia	mg.L ⁻¹
Coliformes termotolerantes	NMP/100 mL	Nitrogênio oxidado	mg.L ⁻¹
<i>Escherichia coli</i>	NMP/100 mL	Nitrogênio Total	mg.L ⁻¹
Bacteriófago de RNA	NMP/100 mL	Fósforo total	mg.L ⁻¹
<i>Clostridium perfringens</i>	NMP/100 mL	Fosfato	mg.L ⁻¹
<i>Bacteroidetes</i>	NMP/100 mL	Metais pesados	mg.L ⁻¹
		Compostos orgânicos xenobióticos	mg.L ⁻¹

Fonte: Boano *et al.* (2020).

Alguns parâmetros têm intervalos semelhantes em várias partes do mundo. Por exemplo, o pH flutua em torno do valor neutro, e os valores típicos de sólidos suspensos totais (SST) estão abaixo de 500 mg.L⁻¹, com picos da ordem de 1000 mg.L⁻¹. Os valores de demanda química de oxigênio (DQO) e demanda bioquímica de oxigênio (DBO₅) são geralmente da ordem de algumas centenas de mg.L⁻¹, embora alguns valores maiores que 1000 mg.L⁻¹ tenham sido relatados em alguns países (BOANO *et al.*, 2020).

De acordo com Arden e Ma (2018), em relação aos nutrientes em águas cinzas, o nitrogênio total costuma apresentar uma concentração entre 1,1 e 7,4 mg.L⁻¹, e o fósforo total varia de 0,062 a 500 mg.L⁻¹. Nos indicadores microbiológicos, os coliformes totais variam de 3,1 a 8,8 UFC/100 mL, enquanto os níveis de *Escherichia coli*, um indicador específico de contaminação fecal, apresentam concentrações de 3,6 a 6,4 UFC/100 mL.

3.3 Tratamento de águas cinzas visando o reúso

O reúso de águas cinzas se tornou um aspecto cada vez mais importante nos esforços de muitos países para economizar água potável. As águas cinzas podem ser tratadas e reutilizadas para uma variedade de propósitos, incluindo descarga de vasos sanitários, lavanderia, limpeza e irrigação (HACHICHA *et al.*, 2022).

Para reutilizar a água cinza recuperada, ela tem que cumprir quatro critérios principais, ou seja, tolerância ambiental, segurança higiênica, viabilidade econômica e estética (GROSS *et al.*, 2015). É preciso lembrar que a qualidade necessária da água recuperada depende totalmente da finalidade da utilização, o que determina o grau de tratamento por diferentes tecnologias, que variam das mais simples às mais complexas e avançadas (BAJPAI, 2020).

O tratamento e a reutilização de águas cinzas são importantes para reduzir a demanda por água potável, mas tal processo deve garantir que nem a saúde pública nem o meio ambiente sejam ameaçados. Segundo Garzón *et al.* (2017), diversas opções têm sido desenvolvidas para tratamento biológico e biorremediação de águas residuais domésticas buscando transformar esses poluentes em poluentes menos tóxicos ou redutores de concentração que não provocam alterações nos ecossistemas. (MAGANA *et al.*, 2022).

Várias abordagens, como filtração de areia mais desinfecção, sistemas de membrana, *wetlands* construídos, e a combinação de tratamentos biológicos e físicos em processos como biorreatores de membrana estão disponíveis e foram testados. Este último, no entanto, é mais adequado para projetos de tratamento em larga escala do que para uma única casa ou pequeno vilarejo, devido aos custos significativos (HACHICHA *et al.*, 2022).

O efluente tratado pode ser utilizado para irrigação sob condições controladas, que minimizam os riscos de contaminantes patogênicos e tóxicos para as culturas agrícolas, solos, águas superficiais e subterrâneas (BAAWAIN *et al.*, 2019).

Para o uso agrícola, é essencial que o tratamento das águas cinzas seja realizado em nível secundário, garantindo a redução significativa no teor de matéria orgânica e a manutenção de uma grande quantidade de macro e micronutrientes essenciais ao desenvolvimento das culturas (SILVA *et al.*, 2012).

3.3.1 *Wetlands* construídos

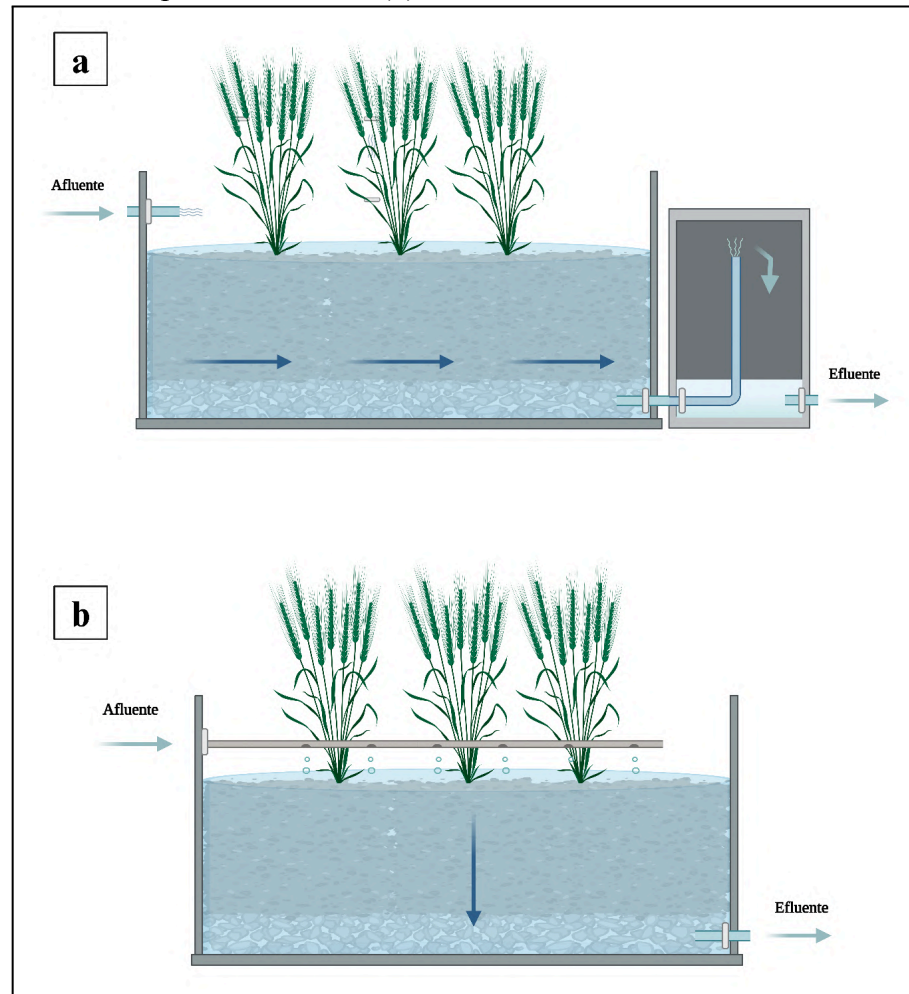
Os *wetlands* construídos (WC) são sistemas de engenharia desenvolvidos para melhorar a qualidade da água com requisitos de energia externa relativamente baixos, de fácil operação e fácil manutenção (WU *et al.*, 2015).

Os WC foram as primeiras soluções baseadas na natureza aplicadas ao tratamento de águas cinzas. A eficiência desses sistemas no tratamento deve-se a uma forte interação entre plantas, biofilmes, substrato, atmosfera e nutrientes de águas residuais. O contato entre raízes, substrato e biofilme favorece diferentes mecanismos físicos, químicos e biológicos de remoção de poluentes e patógenos (ARDEN; MA, 2018).

Tanto os *wetlands* naturais quanto os WC biodegradam ou imobilizam uma série de poluentes emergentes, incluindo certos produtos farmacêuticos, e têm melhor desempenho do que as soluções convencionais (ARDEN; MA, 2018). Os WC para tratamento de águas residuais domésticas são amplamente reconhecidos como uma tecnologia sustentável, de baixo custo e baixa manutenção, dadas as necessidades reduzidas de energia e a simplicidade da operação (MASSOUD *et al.*, 2009).

Os tipos mais comuns de WC incluem fluxo subsuperficial horizontal (FSH) e fluxo subsuperficial vertical (FSV) (Figura 1), que restringem o contato com as águas residuais e fornecem boa remoção de sólidos suspensos totais e matéria orgânica (BOANO *et al.*, 2010). Os WC também podem ser projetados como sistemas de superfície de água livre, que têm o mais alto nível de biodiversidade entre todas as configurações possíveis de *wetlands* (HSU *et al.*, 2011).

Figura 1 — Esquemas de WC de fluxo subsuperficial horizontal (a) e fluxo subsuperficial vertical (b).



Fonte: Autor (2025).

Os WC têm maiores vantagens em comparação aos tratamentos convencionais, como os destacados por Soler *et al.* (2018): são sistemas ecológicos que eliminam sólidos em suspensão, matéria orgânica, elementos eutrofizantes, microrganismos patogênicos e metais tóxicos; além disso, os custos de instalação são menores que os do tratamento convencional, e sua implementação e manutenção são simples, o que significa consumo reduzido ou isento de energia.

Os WC podem fornecer um nível secundário viável de tratamento para DQO, DBO_5 e sólidos suspensos totais (SST). Além disso, a menos que um período de retenção hidráulica mais longo e oxigenação sejam fornecidos, eles são frequentemente insuficientes para a remoção de nutrientes, favorecendo o reúso agrícola do efluente tratado (BOANO *et al.*, 2020).

O papel das macrófitas aquáticas para a remoção das variáveis supracitadas (DQO, DBO₅ e SST) em WC foi pouco considerado durante muito tempo. As plantas têm uma influência vital no crescimento microbiano nestes sistemas, devido aos seus sistemas radiculares. As raízes atuam como superfícies adequadas para a formação de biofilmes que ajudam a prolongar o tempo de retenção dos poluentes e os fornecem como alimento para os microrganismos (MOAZZEM *et al.*, 2023).

Foi relatado que as macrófitas transportam aproximadamente 90% do oxigênio disponível na rizosfera, que é usado por microrganismos (VYMAZAL, 2011), utiliza nutrientes em águas residuais (ZHANG *et al.*, 2012) e fitorremediação salina (SHELEF *et al.*, 2012). Isso promove a decomposição aeróbia da matéria orgânica e promove o crescimento de bactérias nitrificantes (SHELEF *et al.*, 2013).

O junco comum (*Phragmites australis*) é a planta mais usada em todo o mundo. Várias plantas aquáticas como nenúfares (*Nymphaea spontanea*), papiro Azolla (*Cyperus papyrus*), aguapé (*Eichhornia crassipes*) e alface d'água (*Pistia stratiotes*) têm sido usadas como plantas de *wetlands* para tratar águas residuais com bons resultados (AKINBILE; YUSOFF, 2012).

A capacidade das macrófitas, aliada à sua rápida taxa de crescimento e aos benefícios econômicos dos WC em geral, tem despertado o interesse de pesquisadores de todo o mundo (EL-DIN; ABDEL-AZIZ, 2018; JUSTIN *et al.*, 2022). Dessa forma, o reúso de águas residuais domésticas, como as águas cinzas tratadas por *wetlands* tem grande potencial na irrigação de diversas espécies vegetais (ANGELAKIS; SNYDER, 2015), como a produção de flores comerciais, que é um mercado em plena expansão no Brasil. Nesse sentido, o girassol ornamental está entre as espécies em expansão e importantes no mercado da floricultura.

3.4 Reúso de efluentes domésticos na agricultura

Rodrigues (2005) apresenta a classificação para o reúso, enfocando conforme ele é realizado, ou seja, considerando se há ou não o descarte das águas nos corpos hídricos, antes do próximo uso. Reúso indireto, que ocorre quando a água utilizada é descartada nos corpos hídricos superficiais ou subterrâneos, sendo então diluída, e depois captada para um novo uso, a jusante. E o Reúso direto, onde o uso planejado de água de reúso, que é conduzida do local de produção ao ponto de utilização, sem lançamento ou diluição prévia em corpos hídricos superficiais ou subterrâneos.

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) através NBR 13969/1997, no item 56, afirma que o reúso de água pode ser aplicado para fins não potáveis, contudo, a qualidade do efluente deve ser segura quanto ao aspecto sanitário, sendo destinada para os seguintes fins: lavagem de pisos e veículos automotivos, descarga de vasos sanitários, manutenção paisagística dos lagos, irrigação de jardins e campos agrícolas (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1997).

A Resolução CNRH nº 54 (BRASIL, 2005), estabelece as modalidades para a prática de reúso direto não potável de água em todo o território brasileiro, considerando a relevância do reúso para fins agrícolas e florestais.

Nesse sentido, observa-se que o reúso da água não é um conceito novo, mas a crescente demanda por água tornou o reúso planejado da água uma questão importante (SANTOS JUNIOR *et al.*, 2015).

O aproveitamento de efluentes domésticos na agricultura é um ponto estratégico na gestão integrada dos recursos hídricos, pois aumenta o volume de oferta para atender a demanda do setor, significa também um aporte nutricional (REBOUÇAS *et al.*, 2010), reduzindo assim o consumo de águas superficiais e a necessidade de importação de fertilizantes pelas regiões produtoras.

O potencial hídrico e nutricional das águas residuárias tem sido frequentemente investigado como uma fonte alternativa para a irrigação de culturas, especialmente em regiões afetadas pela escassez de recursos hídricos (GONÇALVES *et al.*, 2020). Na literatura observa-se, no entanto, que a irrigação com águas residuárias pode exercer efeitos tanto positivos quanto negativos sobre as culturas e as características do solo.

O uso de águas residuais domésticas na agricultura reduz a poluição dos cursos de água, economiza água de boa qualidade e diminui os custos de fertilização mineral (GONÇALVES *et al.*, 2017). As águas residuárias são uma possível fonte de macronutrientes (nitrogênio, potássio, fósforo e magnésio) e micronutrientes (ferro, manganês, boro, magnésio, cálcio e zinco) (YOUNAS; YOUNAS, 2022).

Todavia, o uso de águas residuárias apresenta potenciais desvantagens, uma vez que essa fonte de irrigação pode conter produtos químicos nocivos, substâncias tóxicas e patógenos que afetam negativamente a fertilidade do solo, o rendimento e o desempenho das plantas (DIXIT *et al.*, 2015).

Além disso, as águas subterrâneas e águas residuais de qualidade inferior, na maioria dos casos, apresentam também altos níveis de sais (CHENG *et al.*, 2021). Íons como sódio

(Na⁺), cálcio (Ca²⁺), magnésio (Mg²⁺), cloreto (Cl⁻) e carbonato (CO₂⁻³) estão entre os mais prejudiciais às plantações porque, em concentrações relativamente altas na água de irrigação, podem se acumular no solo e inibir o crescimento total das plantas (KOSTER *et al.*, 2018).

Os efeitos da aplicação de diferentes doses de NaCl na irrigação da cultivar de girassol BRS 387 foram avaliados por Marcos e Castro (2023). Os autores verificaram reduções consideráveis na produtividade da cultura para todas as variáveis analisadas, ao comparar a maior dose aplicada (20 mS.cm⁻¹) com o tratamento controle que não possuía concentração de sais. O resultado mais expressivo foi encontrado para a Área Foliar (AF) que apresentou redução em 85%.

Diante desse cenário, destaca-se que a reutilização de águas residuárias na irrigação, é particularmente benéfica em culturas não destinadas ao consumo humano, desde que seja bem planejada. O seu reaproveitamento proporciona benefícios significativos (OLIVEIRA *et al.*, 2017), podendo suprir parcial ou totalmente as necessidades nutricionais das culturas de girassol e permitir níveis de desenvolvimento e produção iguais ou superiores aos alcançados nos sistemas de produção tradicionais (COSTA *et al.*, 2018).

A maioria das culturas proporciona rendimentos potenciais mais elevados com a irrigação com águas residuais, reduzindo a necessidade de fertilizantes químicos e, em última análise, resultando em poupanças líquidas de custos para os agricultores (SHER *et al.*, 2022).

Nesse sentido, o reúso de águas residuárias domésticas tratadas para a produção de oleaginosas, como o girassol, é cada vez mais incentivada para atender tanto a gestão dos recursos hídricos (LEVY *et al.*, 2014) quanto para suprir a demanda energética por meio da biomassa de oleaginosas, pois com a utilização desse material como fonte de matéria-prima para biocombustível, praticamente não há risco de contaminação pelo desenvolvimento de parasitoses, uma vez que o produto não é consumido como na produção de frutas e hortaliças (DANTAS *et al.*, 2019).

3.5 A cultura do girassol ornamental

O girassol (*Helianthus annuus* L.) é uma planta dicotiledônea anual da família Asteraceae. O nome *Helianthus* refere-se ao movimento da flor em relação ao sol, fenômeno conhecido como heliotropismo (SOUZA *et al.*, 2012). É uma planta notável devido ao seu potencial econômico, uma vez que todas as partes desta planta podem ser utilizadas comercialmente (SOUZA *et al.*, 2013).

O girassol pode ser utilizado como alimento humano e animal, como planta ornamental e como matéria-prima para produção de biocombustíveis (LIRA *et al.*, 2011). Esse biocombustível não contém derivados de petróleo; portanto, reduz as emissões de poluentes na atmosfera. No Brasil, essa cultura está entre as principais espécies de cultivo com potencial para produção de energia renovável (SILVA *et al.*, 2013).

A cultura do girassol vem, a cada ano, ocupando novas áreas e aumentando significativamente sua produção devido às suas características peculiares de rusticidade, resistência à seca, teor e qualidade de óleo. O cultivo de girassol visando à produção de biodiesel está relacionado às características como o elevado teor de óleo, a resistência ao estresse hídrico e a boa produtividade e adaptação ao cultivo consorciado, sem que haja comprometimento da cultura principal (THOMAZ *et al.*, 2012).

As sementes do girassol contém de 40 a 50% de óleo, que é composto por ácidos graxos insaturados e vitamina E, com boa qualidade nutricional, o que a torna uma ótima opção para o consumo humano. Além disso, os valores significativos de proteína, que variam de 17 a 20%, tornam a cultura uma boa alternativa para a produção de ração animal (SINHA *et al.*, 2017).

Apesar de o girassol ser originário da América do Norte, na última década, Rússia e Ucrânia destacam-se como os líderes globais da produção da oleaginosa. A Ucrânia foi responsável por 26% da produção mundial de grãos em 2020, o que corresponde a 17,5 milhões de toneladas. O Brasil contou uma área e produção aproximadas de 42 mil hectares e 60 mil toneladas de grãos, respectivamente, estimadas para a safra 2022/2023 (BRASIL, 2023).

No Brasil, o girassol representa um cultivo que, predominantemente, é explorado após a colheita da safra normal de verão, ou seja, em sucessão a culturas como a soja e o milho. Sobre os sistemas de produção de girassol, verificam-se importantes diferenças regionais. Na Região Centro-Oeste, predominam os médios e grandes produtores da oleaginosa. Na Região Sul, predominam pequenos produtores que, ao contrário do Centro-Oeste, podem ser considerados agricultores familiares. Isso porque, além de possuírem pequenas áreas, a maior parte da mão-de-obra despendida no processo produtivo provém das próprias famílias. Quanto aos estados produtores, os destaques principais são Goiás (maior produtor de girassol do País), São Paulo, Mato Grosso do Sul, Mato Grosso, Rio Grande do Sul e Paraná (BRASIL, 2005).

O girassol ornamental pode ser cultivado em qualquer região do país, apresentando-se como uma alternativa para o setor da floricultura, pois é uma cultura versátil e rústica, de fácil manejo, ampla adaptabilidade climática, alta tolerância à seca, ao frio e ao calor, e pouco influenciada pela latitude, altitude e fotoperíodo (GONÇALVES *et al.*, 2020).

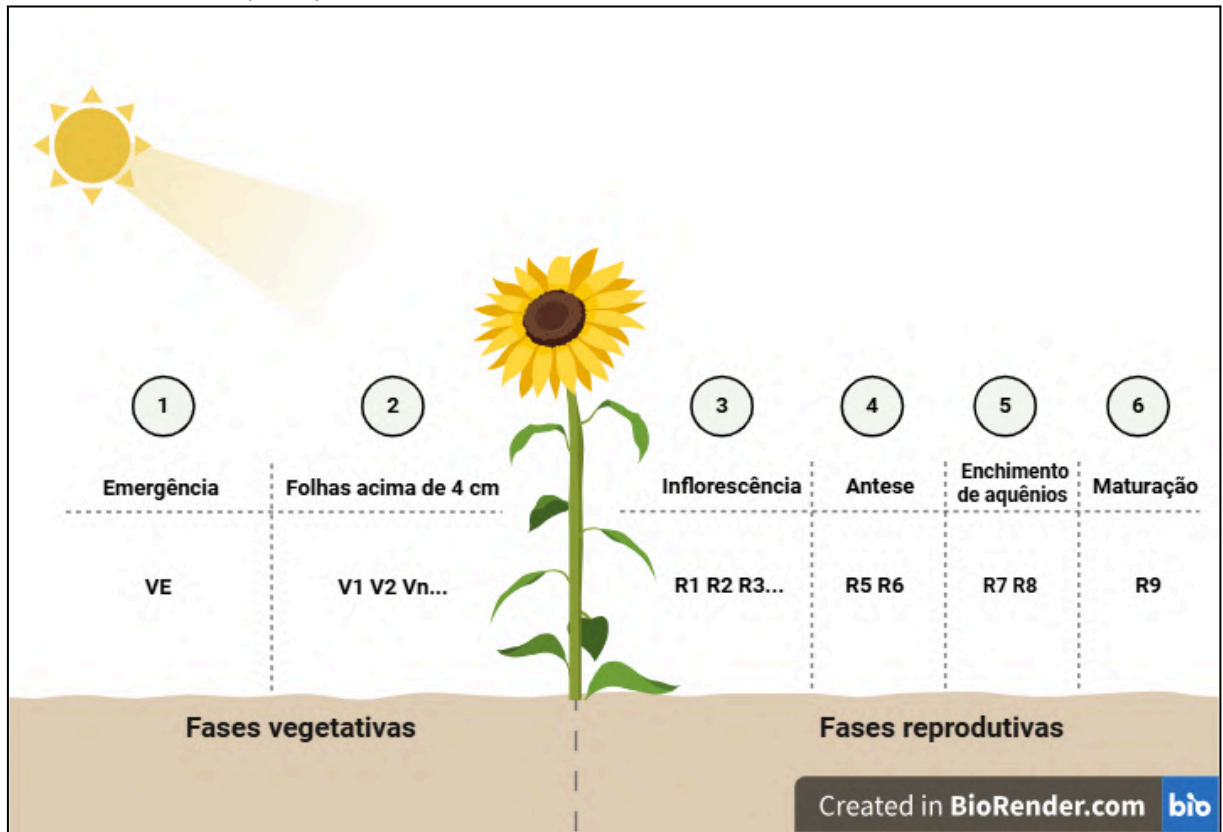
Tal adaptação deve-se ao seu sistema radicular profundo, capaz de absorver a água disponível em maiores profundidades e, assim, garantir maior tolerância a curtos períodos de déficit hídrico. Além disso, seu curto ciclo de cultivo reduz a necessidade de irrigação, o que o torna uma cultura estratégica para essas regiões (TOLK; HOWELL, 2012).

3.5.1 Estádios fenológicos do girassol

O girassol é reconhecido por ser uma cultura que possui um ciclo curto de desenvolvimento e varia de acordo com a cultivar, sendo a colheita realizada por volta de 90 a 100 dias após o plantio (LIRA *et al.*, 2011). A importância de se adotar uma escala fenológica, identificando cada etapa do desenvolvimento do girassol, facilita e adequa melhor a época das práticas culturais (SILVA, 2016).

O ciclo do girassol é dividido em fases de desenvolvimento (Figura 2). Embora existam várias escalas para descrever o desenvolvimento do girassol, uma das mais reconhecidas é a escala proposta por Schneiter e Miller (1981), em que o desenvolvimento da planta é dividido em dois subperíodos: vegetativo (V) e reprodutivo (R).

Figura 2 — Descrição esquemática das fases de desenvolvimento do girassol, segundo Schneiter e Miller (1981).



Fonte: Adaptado de Castro e Farias (2005).

A primeira fase ocorre quando o arco hipocótilo e os cotilédones emergem do solo, e as primeiras quatro folhas são menores que 4 cm. Vn é o período de aparecimento das folhas verdadeiras, com tamanho mínimo de 4 cm e é definido pelo número de folhas (SCHINEITER; MILLER, 1981).

O período reprodutivo do girassol inicia-se com o aparecimento da inflorescência e termina com a maturação da planta. É dividido em nove subfases, de acordo com as características da inflorescência, botão floral, abertura das flores e enchimento dos aquênios, até a fase R9, a qual se configura a maturação dos aquênios (SCHINEITER; MILLER, 1981). Na Tabela 2 são descritos os estágios de desenvolvimento do girassol.

Tabela 2 — Descrição das fases de desenvolvimento vegetativa (V) e reprodutiva (R) do girassol.

Fases	Subfases	Descrição
Vegetativa (V)	VE	Período em que o hipocótilo se eleva e emerge na superfície do solo juntamente com os cotilédones e ocorre o aparecimento do primeiro par de folhas verdadeiras que deve apresentar menos que 4 cm de comprimento.
	V1, V2, V3, Vn	Período referente ao aparecimento de folhas verdadeiras com o mínimo de 4 cm de comprimento. É definido pelo número de folhas, V1, V2, V3, V4, Vn.
Reprodutiva (R)	R1	A inflorescência circundada pela bráctea imatura está visível e apresenta muitas pontas.
	R2	O internódio abaixo da base do botão floral alonga-se de 0,5 a 2,0 cm acima da última folha inserida no caule.
	R3	O internódio imediatamente abaixo do botão reprodutivo continua a se alongar, a uma distância maior que 2,0 cm acima da última folha inserida no caule.
	R4	A inflorescência começa a abrir. As flores liguladas são visíveis e, frequentemente amarelas.
	R5	Caracteriza-se pelo início da antese. Este estágio pode ser dividido em sub-estádios: R5.1: 10% das flores estão abertas; R5.2: 20% das flores estão abertas; R5.3: 30% das flores estão abertas; R5.4: 40% das flores estão abertas; R5.5: 50% das flores estão abertas (floração plena).
	R6	É caracterizado pela abertura de todas as flores tubulares e as flores liguladas perderam a turgidez e estão murchando.
	R7	Fase do início do desenvolvimento dos aquênios.
	R8	Continua o desenvolvimento dos aquênios. O dorso do capítulo torna-se amarelo, porém as brácteas permanecem verdes.
	R9	Fase referente à maturação dos aquênios (maturação fisiológica).

Fonte: Adaptado de Silva (2016).

3.6 Requisitos para o desenvolvimento do girassol

Para que o cultivo do girassol possa proporcionar condições ideais ao seu pleno desenvolvimento, fatores ambientais como temperatura e tempo de exposição solar; a disponibilidade hídrica e nutricional e características físicas, químicas e biológicas do solo são alguns dos fatores críticos reportados na literatura. Resultados de pesquisas sobre irrigação na cultura do girassol mostraram a importância da disponibilidade hídrica para o seu desenvolvimento (FREITAS *et al.*, 2012).

O girassol possui metabolismo bem adaptado a regiões com baixa precipitação pluviométrica, onde normalmente é cultivado sob condições de sequeiro ou irrigação suplementar (PINHEIRO *et al.*, 2021), uma vez que dispõe de sistema radicular profundo, capaz de absorver a água disponível em maiores profundidades, garantindo maior tolerância a curtos períodos de déficit hídrico (ARAÚJO JUNIOR *et al.*, 2023). Contudo, nas zonas áridas e semiáridas, o rendimento e a produtividade dos girassóis são reduzidos pelo estresse hídrico (HUSSAIN *et al.*, 2018).

A produtividade do girassol na região Nordeste do Brasil é baixa (400 kg.ha^{-1}), o que corresponde a apenas 25,42% da produtividade média nacional (1.574 kg.ha^{-1}). Isso geralmente é atribuído a fatores como a distribuição irregular da precipitação e às condições do solo de algumas regiões do semiárido brasileiro, os quais possuem baixa disponibilidade de macronutrientes (nitrogênio, fósforo e potássio) (COSTA *et al.*, 2018).

As necessidades hídricas da cultura do girassol não estão bem definidas, podendo variar de 200 a 900 mm por ciclo (FAO, 2002), admitindo-se, comumente, uma faixa entre 500 a 700 mm de água, bem distribuída ao longo do ciclo. O aumento no suprimento de água proporciona aumento significativo das variáveis biométricas e de produção avaliadas no cultivo do girassol (OLIVEIRA *et al.*, 2017).

No cultivo de espécies ornamentais como o girassol, a nutrição é essencial para a obtenção de flores de qualidade comercial. A composição química e o acúmulo de nutrientes nas folhas e frutos do girassol são informações chave para conhecer as exigências nutricionais da espécie. Essas informações podem servir de suporte para estimar quanto de cada nutriente precisa ser fornecido às plantas por meio da fertilização (MAGANÇA *et al.*, 2022).

Um conjunto de macro e micronutrientes é essencial para a nutrição e fertilização do girassol, desempenhando diferentes funções fisiológicas na planta. Dentre os macronutrientes primários, o nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K) destacam-se como os elementos mais

críticos. O nitrogênio é o nutriente mais limitante, sendo o mais absorvido e exportado pelos grãos do girassol, seguido pelo potássio, que está associado à resistência da planta à seca e a doenças. O fósforo, por sua vez, influencia significativamente o desenvolvimento radicular e o enchimento dos grãos. Em relação aos micronutrientes, a aplicação de boro (B) é crucial, pois sua deficiência está associada a várias deformações nas folhas e capítulos do girassol (COELHO *et al.*, 2018).

A deficiência de P pode reduzir tanto a respiração celular quanto a fotossíntese, interferindo na síntese de ácidos nucleicos e proteínas e induzindo o acúmulo de compostos nitrogenados solúveis no tecido (DANTAS *et al.*, 2019).

O alto nível de pH do solo também é reportado como um fator importante na cultura do girassol, pois está associado à redução da produção de biomassa. Sousa *et al.* (2017) ao avaliarem as mudanças que ocorrem nos sais solúveis e frações da matéria orgânica do solo e no crescimento de plantas da cultivar BRS 321 do girassol cultivada em solo de textura arenosa e irrigada com água residuária obtida da extração do petróleo tratada por filtração e osmose reversa, observaram que os valores de pH no solo variaram de 8,02 a 8,44. Os autores verificaram o efeito negativo da alcalinidade do solo sob a cultura, uma vez que afetou significativamente a produção de biomassa seca das raízes, caules e folhas.

O girassol apresenta tolerância moderada à salinidade e pode ser cultivada em solos com salinidade de até $4,8 \text{ mS.cm}^{-1}$, sem impacto significativo em seu rendimento (MA *et al.*, 2021). No entanto, o estresse salino pode inibir seu crescimento em estágios de desenvolvimento mais vulneráveis, resultando em danos fisiológicos irreversíveis e diminuição da produtividade (JIMÉNEZ-BECKER; RAMÍREZ; PLAZA, 2019).

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Local de instalação dos experimentos

O estudo foi realizado em jardim experimental situado na reitoria do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE), no município de Fortaleza - CE (3°45'01.6"S e 38°32'17.7"W, altitude de 20 m) em três experimentos, realizados em períodos distintos, os quais compreenderam os meses de março a maio, julho a agosto e outubro a dezembro de 2024, englobando, dessa forma, o período chuvoso e seco do município.

De acordo com a classificação climática de Köppen, a região apresenta um clima do tipo Aw' (tropical chuvoso), com temperatura média de 27°C e precipitação pluviométrica anual média de 1402,6 mm. Os dados de precipitação diária durante os experimentos foram fornecidos pela estação meteorológica do IFCE/*Campus* de Fortaleza.

4.2 Período chuvoso (experimento I)

4.2.1 Delineamento experimental

O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado (DIC), com oito tratamentos, resultado de duas fontes de irrigação (efluentes tratados) e um tratamento controle com água de poço; havendo quatro repetições, totalizando nove tratamentos e 36 unidades experimentais.

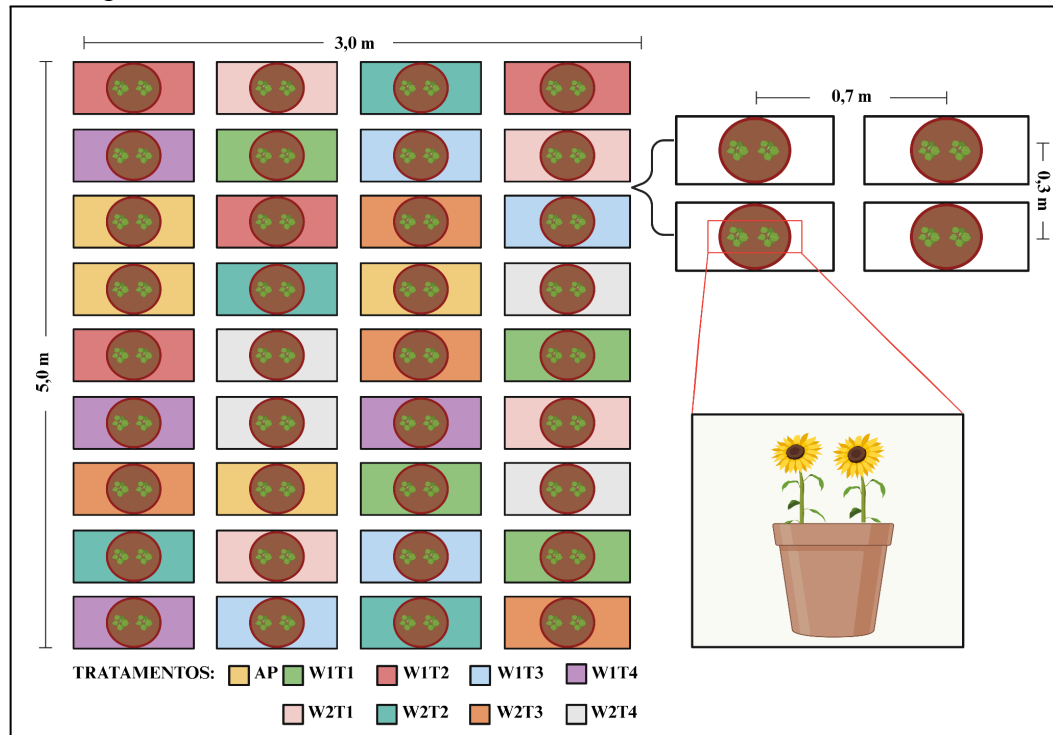
Os tratamentos foram compostos por quatro diluições de efluente tratado (25, 50, 75 e 100%) advindas de dois sistemas *wetlands* construídos plantas com as macrófitas aquáticas *Echinodorus subalatus* (W1) e *Typha domingensis* (W2), misturadas com água de poço artesiano local (Tabela 3). Para a condução do experimento, utilizou-se a cultivar de girassol ornamental Anão de Jardim.

Tabela 3 — Descrição dos tratamentos aplicados no experimento I.

Tratamento	Composição
AP (Controle)	100% de água de poço
W1T1	25% de água cinza sintética W1 + 75% água de poço
W1T2	50% de água cinza sintética W1 + 50% de água de poço
W1T3	75% de água cinza sintética W1 + 25% água de poço
W1T4	100% de água cinza sintética W1
W2T1	25% de água cinza sintética W2 + 75% água de poço
W2T2	50% de água cinza sintética W2 + 50% de água de poço
W2T3	75% de água cinza sintética W2 + 25% água de poço
W2T4	100% de água cinza sintética W2

A área total ocupada pelo experimento foi de 15 m² (5,0 m x 3,0 m), composta por quatro linhas, com nove unidades experimentais (vasos) em cada uma. O espaçamento entre as linhas foi de 0,7 m e entre as unidades experimentais foi de 0,3 m. Na Figura 3 apresenta-se croqui com o detalhamento do experimento de campo. O experimento foi realizado entre os meses de março e maio de 2024.

Figura 3 — Croqui ilustrando as dimensões, detalhes e distribuição dos tratamentos em campo, de acordo com o delineamento inteiramente casualizado realizado.



Fonte: Autor (2025).

As unidades experimentais foram compostas por vasos de polietileno com capacidade de 6 L. Na base inferior de cada vaso havia 9 furos com aproximadamente 150 mm de diâmetro, visando o escoamento do volume drenado. O sistema de drenagem dos vasos compreendeu ainda uma camada de 0,6 kg de brita número um, coberta com manta bidim geotêxtil (Figura 4).

Figura 4 — Vaso de polietileno com capacidade de 6 L utilizado no estudo e detalhes do sistema de drenagem.



Fonte: Autor (2025).

Sobre a manta, os vasos foram então preenchidos com 5 kg de terra vegetal comercial (Sollo Fértil). De acordo com o fabricante, o substrato era adequado para cultivo de plantas ornamentais e era composto por areia, serragem de madeira e esterco bovino. As características químicas do substrato foram determinadas no Laboratório de Solos e Água para Irrigação do IFCE/*Campus* Sobral (Tabela 4).

Tabela 4 – Características químicas da terra vegetal comercial utilizada no experimento I.

Análise química do solo: Terra vegetal comercial	
Variáveis	Concentração
pH (H ₂ O)	4,89
Condutividade elétrica (dS. m ⁻¹)	0,76
Carbono orgânico (dag.kg ⁻¹ de solo)	7,35
Matéria orgânica (dag.kg ⁻¹ de solo)	12,68
Fósforo assimilável (mg. kg ⁻¹ de solo)	28,26
Alumínio (cmolc.kg ⁻¹ de solo)	1,33
Hidrogênio + Alumínio (cmolc.kg ⁻¹ de solo)	28,55

4.2.2 Características das fontes de irrigação utilizadas

Semanalmente, dois sistemas de *wetlands* construídos verticais com as macrófitas *Echinodorus subalatus* (W1) e *Typha domingensis* (W2) (Figura 5) foram alimentados com a água cinza sintética e operados em fluxo do tipo de *tidal flow* (3 dias cheios e 4 dias vazios), fornecendo efluente tratado a cada sete dias.

Os efluentes tratados obtidos dos sistemas W1 e W2 possuíam água cinza sintética afluente preparada de acordo com metodologia de Abed e Scholz (2016), adaptada por Bermúdez (2022), sendo composto por água de poço com a adição dos seguintes constituintes (g/L): surfactante (0,024), amido solúvel (0,0832), bicarbonato de sódio (0,1), celulose microcristalina (0,016), acetato de amônio (0,36), cloreto de cálcio (0,016), cloreto de magnésio (0,016), cloreto de sódio (0,0832), extrato de levedura (0,1), fosfato de potássio (0,261) sacarose (0,8332), corante vermelho ponceau (0,008). Além disso, adicionou-se água cinza *in natura* na proporção de 1:100 litros, em relação à água de poço.

Figura 5 — Sistemas *wetlands* construídos para tratamento do efluente sintético utilizado no estudo.



Fonte: Autor (2025).

O volume de água cinza tratada necessário a suprir a demanda semanal de irrigação dos vasos era coletado em garrafas plásticas com capacidade de 5 L e mantidas sob refrigeração à temperatura de $\pm 4^{\circ}\text{C}$. O monitoramento das características físico-químicas e microbiológicas do efluente tratado era realizado semanalmente.

A água de poço era coletada diariamente em poço artesiano na reitoria do IFCE e foi caracterizada ao iniciar o experimento.

Todas as análises das fontes de irrigação foram realizadas no Laboratório de Tecnologia Ambiental (LATAM), no IFCE/*Campus* de Fortaleza.

As características das águas utilizadas no presente estudo foram analisadas a partir da determinação dos parâmetros descritos na Tabela 5.

Tabela 5 – Variáveis analisadas na caracterização das fontes de irrigação do girassol.

Variável	Unidade	Método	Referência
pH	-		
Condutividade elétrica	$\mu\text{S.cm}^{-1}$	Multiparamétrico	
Demanda química de oxigênio		Digestão com dicromato de potássio	APHA (2012)
Fósforo total		Ácido ascórbico	
Amônia	mg.L^{-1}	Nesslerização direta	
Nitrato		Salicilato de sódio	RODIER (1990)
Coliformes totais e <i>Escherichia Coli</i>	NMP/100mL	Tubos múltiplos	APHA (2012)

Fonte: Autor (2025).

4.2.3 Condução do experimento e análises realizadas

Inicialmente, os substratos de todas as unidades experimentais foram saturados utilizando água de seus respectivos tratamentos, até que ocorresse a drenagem. Os vasos

foram em seguida cobertos por sacos plásticos, visando evitar a perda de água por evaporação (Figura 6).

Após a drenagem da água, considerou-se que o solo se encontrava na capacidade de campo (CC), assim, foram plantadas seis sementes por vaso, em 18 de março de 2024.

Figura 6 — Vasos vedados com sacos plásticos para teste da capacidade de campo (CC).



Fonte: Autor (2025).

As sementes de girassol (*Helianthus annuus* L.) cv. Anão de Jardim, foram fornecidas pela Empresa “ISLA Sementes”. De acordo com o fabricante, as sementes utilizadas no experimento possuíam potencial germinativo de 85% e validade até março de 2025. Essa cultivar é indicada para o cultivo em vaso e é considerada de pequeno porte, pois sua altura comercial atinge média entre 40 e 50 cm, possui inflorescências de cor amarela e um ciclo de no máximo 60 dias no verão (OLIVEIRA, 2015).

Todas as unidades experimentais foram irrigadas desde a CC com água dos seus respectivos tratamentos. O manejo da irrigação se deu a partir do método da pesagem dos vasos, conforme descrito por Gonçalves *et al.* (2020). Os vasos eram pesados diariamente com auxílio de balança digital e seus pesos eram comparados com os pesos de referência dos vasos em CC, com o intuito de verificar o volume de evapotranspiração em 24 h. A partir da diferença de pesos dos vasos, calculava-se os volumes diários de irrigação.

Dessa forma, o turno de rega foi diário, com a irrigação ocorrendo no período de 8h - 9h da manhã. As lâminas de irrigação foram preparadas com a utilização de proveta graduada e o método de irrigação foi manual, a partir de regadores.

Durante o período de emergência das sementes, o qual conforme o fabricante e o observado em campo, compreendeu os primeiros dez dias após a semeadura (DAS), foram avaliados a Percentual de Emergência (PE) e o Índice de Velocidade de Emergência (IVE), conforme descrito por Barros (2013).

A variável PE foi analisada determinando o número de sementes emergidas (NSE) em relação ao número de sementes semeadas (NSS) 10 dias após o plantio (Equação 01).

$$PE (\%) = (NSE \div NSS) \times 100 \quad (1)$$

Quanto ao IVE, este foi analisado a partir da observação do dia de emergência e o número de plântulas emergidas, como mostra a Equação 02.

$$IVE(plântulas.dia - 1) = (\Sigma NPE1/N1) + (\Sigma NPE2/N2) + ... + (\Sigma NPEn/Nn) \quad (2)$$

em que:

NPE1, NPE2, ... NPEn – Representam os números de plântulas emergidas, computadas na primeira, segunda e “n” contagem, respectivamente;

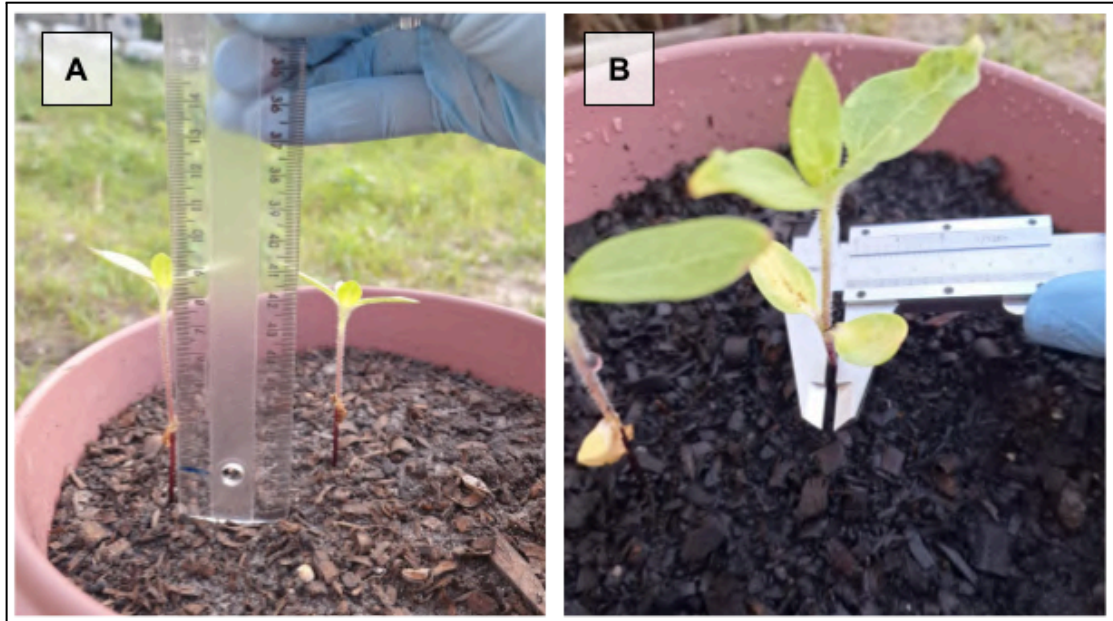
N1, N2, ... Nn – São os números de dias da semeadura à primeira, segunda e “n” contagem, respectivamente.

Quinze dias após a semeadura foi realizado o procedimento de desbaste, permanecendo apenas as duas plantas mais vigorosas em cada vaso.

A partir da realização do desbaste (15 DAS), iniciou-se a medição das variáveis biométricas: altura de plantas (ADP), diâmetro do caule (DC) e número de folhas (NF). O mesmo ocorreu aos 30 e 45 DAS.

A altura da planta foi determinada pela medida da distância entre o colo da planta e o ponto superior da parte aérea (Figura 7a); o DC foi obtido com o auxílio de um paquímetro analógico, sendo o ponto de medição 3 cm acima do solo (Figura 7b). Para a contagem do número de folhas, foram consideradas aquelas totalmente expandidas, com comprimento mínimo de 2 cm.

Figura 7 — Medidas da altura (A) e diâmetro do caule (B) de plantas de girassol.

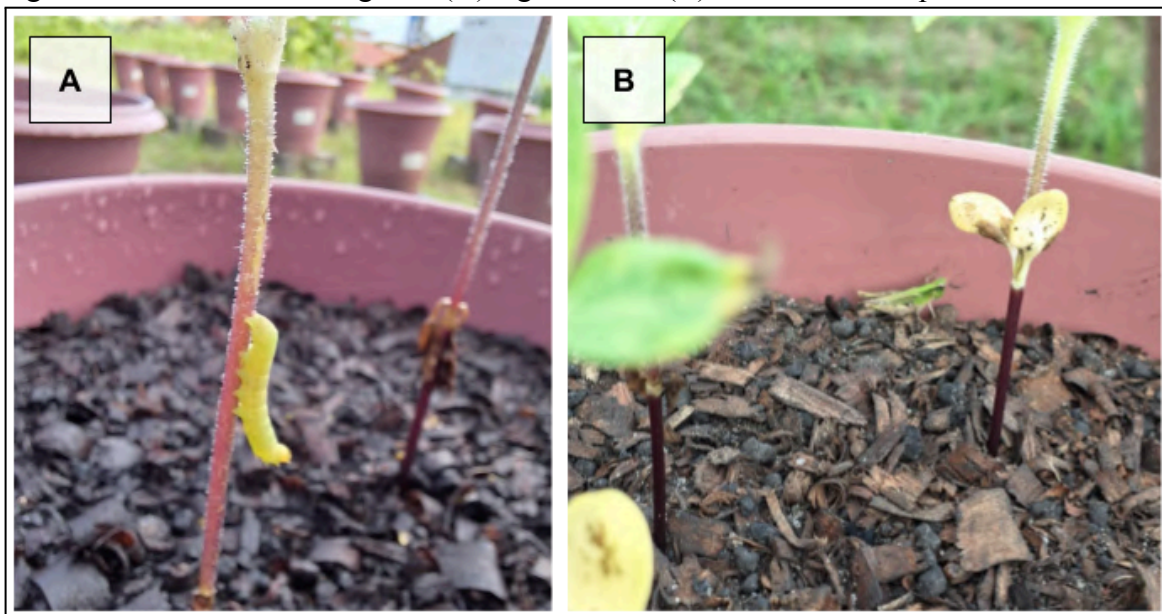


Fonte: Autor (2025).

4.2.4 Controle de pragas e doenças

Foi observada a incidência de lagartas e gafanhotos (Figuras 8a e 8b) a partir de 15 DAS, efetuando-se a retirada manual dos insetos. Além disso, a partir de 25 DAS, procedeu-se com controle fitossanitário, a partir da aplicação de defensivo natural extrato de castanhas a 5%. Todavia, não foi possível o controle antes que estes causassem danos às plantas.

Figura 8 — Incidência de lagartas (A) e gafanhotos (B) nas unidades experimentais.



Fonte: Autor (2025).

4.2.5 Análise estatística

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e, verificando-se efeito significativo, as médias dos tratamentos foram comparadas pelo teste de Tukey ao nível de 1% e 5% de significância. Para as variáveis significativas, procedeu-se com análise de regressão a partir do teste de modelos que melhor se ajustaram às tendências verificadas. As análises estatísticas foram realizadas com o programa SISVAR, versão 5.8 (FERREIRA, 2011).

4.3 Período seco (experimentos II e III)

Com o intuito de comparar o desenvolvimento do girassol Anão de Jardim irrigado com efluente tratado em diferentes períodos do ano, os experimentos II e III foram realizados no período seco e sob condições otimizadas quanto às características do substrato e sementes utilizadas, diferentemente do experimento I (período chuvoso).

4.3.1 Delineamento experimental

O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado (DIC). Buscando minimizar problemas com pragas observadas no experimento I, a montagem dos experimentos no período seco foi realizada na calçada do jardim experimental. Dada a área

disponível ser reduzida, o cultivo do girassol no período seco foi realizado em dois experimentos distintos, visando representar todos os tratamentos aplicados no experimento realizado no período chuvoso, em campo aberto.

O experimento II (julho a agosto de 2024) contou com 4 tratamentos provenientes de uma fonte de irrigação (efluente tratado) e 1 tratamento controle com água de poço; havendo 4 repetições, totalizando 5 tratamentos e 20 unidades experimentais.

Os tratamentos foram compostos por quatro diluições de efluente tratado (25, 50, 75 e 100%) oriundas do sistema *wetland* construído W1 misturado com água de poço artesiano local.

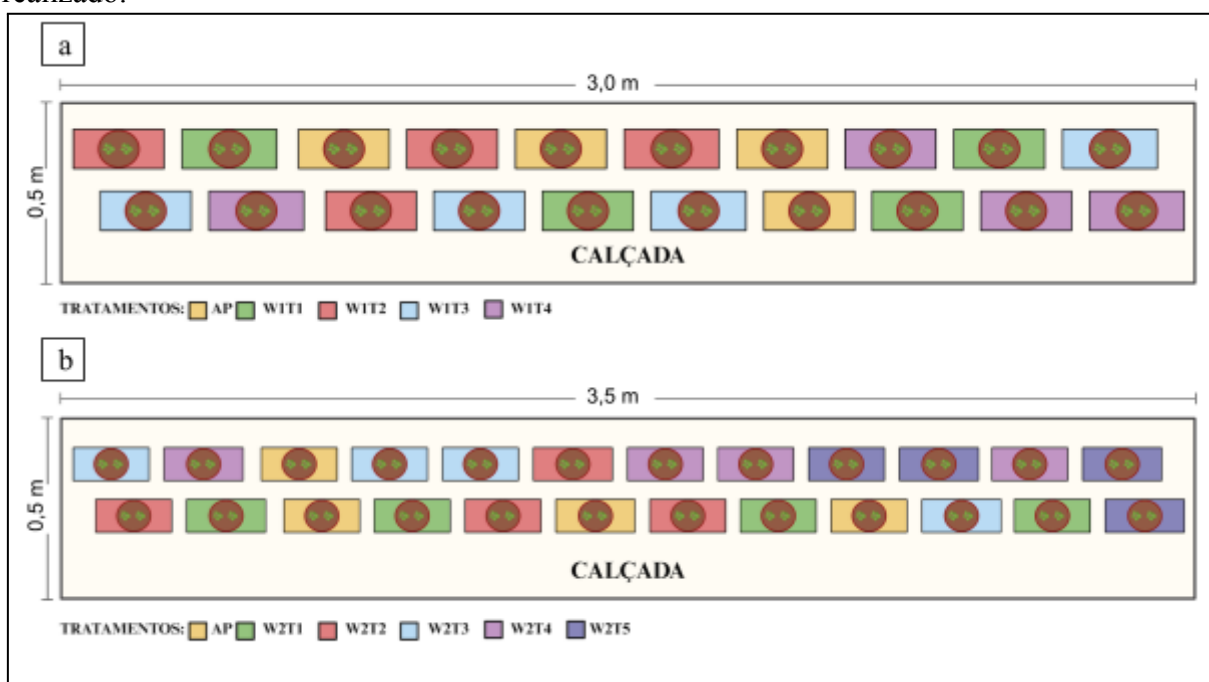
O experimento III (outubro a dezembro de 2024), possuiu quatro tratamentos, compostos por quatro diluições de efluente tratado pelo sistema *wetland* construído W2 em água de poço artesiano local (25, 50, 75 e 100%); um tratamento controle com a água de poço e um tratamento adicional com 100% de efluente do W2 e substrato com areia grossa; havendo dessa forma seis tratamentos com quatro repetições cada, totalizando 24 unidades experimentais. A descrição dos tratamentos aplicados nos dois experimentos está descrita na Tabela 6.

Tabela 6 — Descrição dos tratamentos aplicados nos experimentos II e III.

Experimento	Tratamento	Composição
II	AP (Controle)	100% de água de poço
	W1T1	25% de água cinza sintética W1 + 75% água de poço
	W1T2	50% de água cinza sintética W1 + 50% de água de poço
	W1T3	75% de água cinza sintética W1 + 25% água de poço
	W1T4	100% de água cinza sintética W1
III	AP (Controle)	100% de água de poço
	W2T1	25% de água cinza sintética W2 + 75% água de poço
	W2T2	50% de água cinza sintética W2 + 50% de água de poço
	W2T3	75% de água cinza sintética W2 + 25% água de poço
	W2T4	100 % de água cinza sintética W2
	W2T5	100% de água cinza sintética W2 + substrato com areia grossa

A área total ocupada pelo experimento II foi de $1,5 \text{ m}^2$ ($3,0 \text{ m} \times 0,5 \text{ m}$), composta por 2 linhas, com 10 unidades experimentais (vasos) em cada uma. O experimento III, por sua vez, contou com uma área total de $1,75 \text{ m}^2$ ($3,5 \text{ m} \times 0,5 \text{ m}$), composta por 2 linhas, com 12 unidades experimentais em cada uma. Na Figura 9 apresenta-se croqui com o detalhamento dos dois experimentos.

Figura 9 — Croqui ilustrando as dimensões, detalhes e distribuição dos tratamentos dos experimentos II (a) e III (b), de acordo com o delineamento inteiramente casualizado realizado.



Fonte: Autor (2025).

Assim como no experimento I, nos experimentos II e III as unidades experimentais foram compostas por vasos de polietileno com capacidade de 6 L. Na parte inferior de cada vaso havia nove furos com aproximadamente 150 mm de diâmetro, visando o escoamento do volume drenado. O sistema de drenagem dos vasos compreendeu ainda uma camada de 0,6 kg de brita número um, coberta com manta bidim geotêxtil.

Sobre a manta, os vasos foram preenchidos com 5 kg de substrato composto por areia fina e terra vegetal comercial de mesma origem do experimento I (Sollo Fértil), na proporção de 70:30, respectivamente, o que correspondeu a aproximadamente 3,5 kg de areia e 1,5 kg de terra. Acima da manta foram adicionados 3 kg de areia e os 0,5 kg restantes foram misturados com os 1,5 kg de terra vegetal e adicionados na camada superior. As características da terra

vegetal comercial foram descritas anteriormente no item 4.2.1 desta metodologia. A adição de areia ao substrato visou reduzir a compactação do solo observada no experimento I.

Para o experimento III, o mesmo procedimento foi realizado com um tratamento adicional (W2T5) com a utilização de areia grossa, visando fornecer maior aeração ao solo e investigar o efeito sob a cultura. As características físicas das areias utilizadas foram determinadas no Laboratório de Solos e Água para Irrigação do IFCE/*Campus* Sobral (Tabela 7).

Tabela 7 – Características físicas das areias utilizadas nos experimentos II e III.

Características físicas	Areia fina	Areia grossa
Teor de areia total (g.kg ⁻¹ de solo)	968,89	947,14
Teor de silte (g.kg ⁻¹ de solo)	4,84	18,35
Teor de argila (g.kg ⁻¹ de solo)	26,26	34,51
Classificação Textural	Areia	Areia
Teor de argila dispersa em água (g.kg ⁻¹ de solo)	7,92	11,35
Grau de floculação (%)	69,16	67,01
Densidade do solo (g.cm ⁻³ de solo)	1,52	1,40
Densidade de partículas (g.cm ⁻³ de solo)	2,60	2,60
Porosidade total (m ³ .m ⁻³ de solo)	0,41	0,46

4.3.2 Características das fontes de água utilizadas na irrigação

A operação dos sistemas *wetlands* construídos W1 e W2, a coleta e preservação de amostras dos efluentes tratados e as análises laboratoriais ocorreram conforme descrição no item 4.2.2.

A constituição da água sintética afluenta também possuiu a mesma constituição do experimento I, à exceção do corante. Em decorrência da indisponibilidade do corante e da observação de que os sistemas WC promoveram a completa remoção da cor, este constituinte não foi adicionado durante os experimentos II e III.

4.3.3 Condução do experimento e análises realizadas

A condução dos experimentos II e III ocorreu conforme previamente descrito no item 4.2.3. As sementes de girassol *Helianthus annuus* L. cv. Anão de Jardim foram fornecidas pela Empresa “ISLA Sementes”. No experimento II foram utilizadas as mesmas sementes do experimento I (potencial germinativo de 85% e validade até março de 2025). Visando

otimizar a germinação, no experimento III foram adquiridas novas sementes. De acordo com o fabricante, as sementes utilizadas no experimento III possuíam potencial germinativo de 93% e validade até outubro de 2026.

Quanto às análises realizadas, foram avaliados o Percentual de Emergência (PE) e o Índice de Velocidade de Emergência (IVE), conforme descrito no item 4.2.3.

A partir da realização do desbaste (15 DAS), iniciou-se a medição das variáveis biométricas: altura de plantas (ADP), diâmetro do caule (DC), número de folhas (NF) e área foliar (AF). O mesmo ocorreu aos 30, 45 e 60 DAS.

A altura da planta foi determinada pela medida da distância entre o colo da planta e inserção do capítulo (Figura 10a); o DC foi obtido com o auxílio de um paquímetro digital, sendo o ponto de medição 3 cm acima do solo (Figura 10b). Para NF e AF, foram consideradas as folhas totalmente expandidas com comprimento mínimo de 2 cm (Figura 10c).

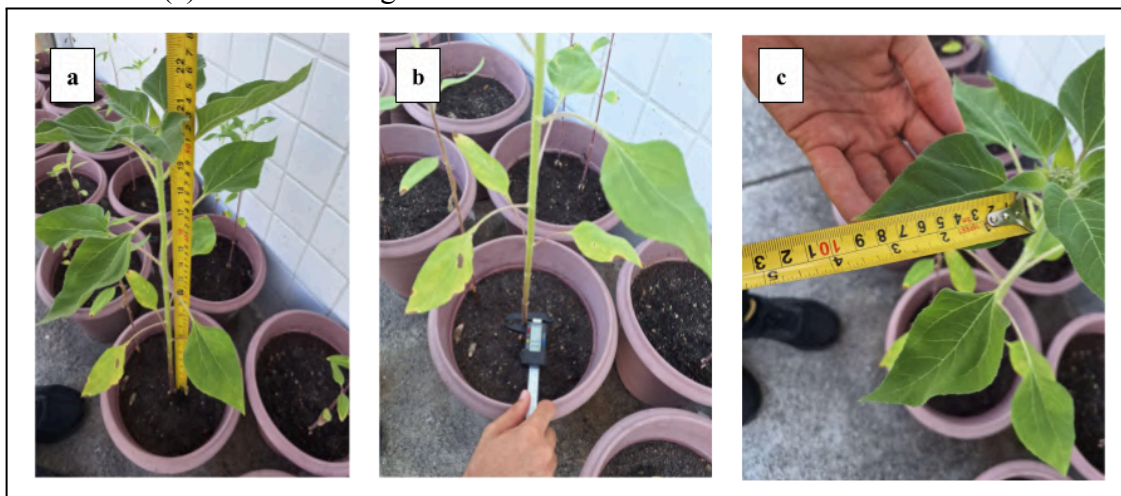
Para a medição de AF foi utilizada uma trena, medindo a nervura central de todas as folhas. Para o cálculo da área foliar seguiu-se a metodologia proposta por Maldaner *et al.* (2009).

$$AF = \sum 0,1328 \times C^{2,5569} \quad (3)$$

em que:

C = comprimento da nervura central da folha, sendo que o somatório final das áreas por folha fornece o valor da área foliar total da planta (cm²).

Figura 10 — Medidas da altura da planta (a); diâmetro do caule (b); número de folhas e área foliar (c) da cultura do girassol.

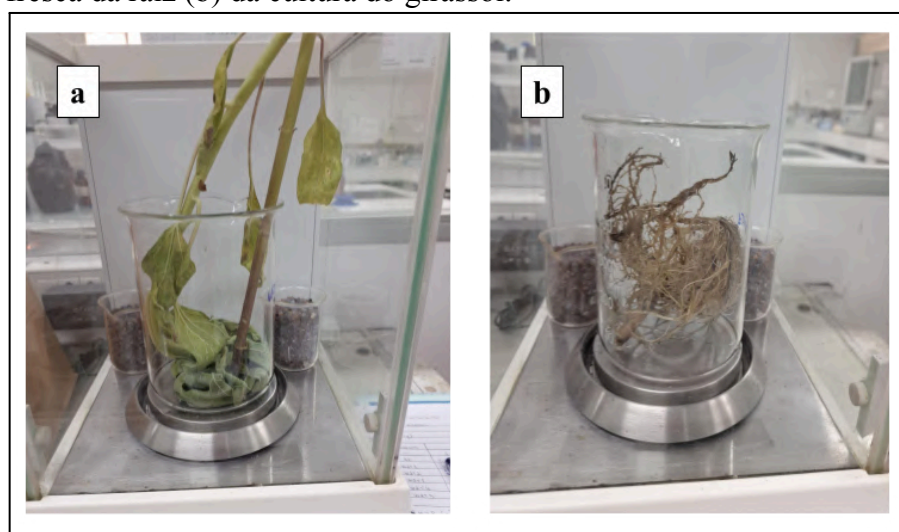


Fonte: Autor (2025).

Após finalizados os experimentos II e III, as plantas foram retiradas e encaminhadas para o Laboratório de Tecnologia Ambiental (LATAM) para a determinação das variáveis fitomassa fresca da parte aérea (FFPA); fitomassa seca da parte aérea (FSPA); fitomassa fresca da raiz (FFR) e fitomassa seca da raiz (FSR).

A FFPA e FFR foram obtidas logo ao final dos experimentos (60 DAS) a partir de pesagem em balança digital (Figura 11a e 11b), sendo após submetidas à secagem em estufa de circulação forçada de ar, à 65 °C, durante 72 horas até atingirem peso constante e pesado em balança digital eletrônica, para obtenção da FSPA e FSR (MELO, 2018).

Figura 11 — Medidas da fitomassa fresca da parte aérea (a) e fitomassa fresca da raiz (b) da cultura do girassol.



Fonte: Autor (2025).

Após o início da fase reprodutiva do girassol, foram também avaliadas as variáveis emissão do botão floral (EBF), início da floração (IF) e abertura total do capítulo (ATC). Para estas variáveis, foram consideradas as recomendações de Castiglioni *et al.* (1997), onde o aparecimento de botões é visto no estágio R1, observando a planta de cima e a ocorrência do broto floral semelhante a uma estrela, porém, com vários ápices. A fase do início da floração ocorre no estágio R4, que é caracterizado pelo aparecimento das primeiras flores liguladas, que geralmente possuem cor amarela. A fase de abertura total do capítulo (ATC) ocorre no estágio R5, em que todas as flores liguladas encontram-se totalmente abertas.

Destaca-se que a avaliação da variável biométrica AF, bem como as variáveis de produção de fitomassa, EBF, IF e ATC, não foram realizadas no experimento I em decorrência da perda total de alguns tratamentos e condições empregadas, que inviabilizaram que a cultura alcançasse seu estágio final de desenvolvimento.

4.3.4 Análise estatística

As análises estatísticas foram realizadas conforme descrito no item 4.2.5 desta metodologia. Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e, verificando-se efeito significativo, as médias dos tratamentos foram comparadas pelo teste de Tukey ao nível de 1% e 5% de significância. Para as variáveis significativas, procedeu-se com análise de regressão a partir do teste de modelos que melhor se ajustaram às tendências verificadas. As análises estatísticas foram realizadas com o programa SISVAR, versão 5.8 (FERREIRA, 2011).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Período chuvoso (experimento I)

5.1.1 Caracterização das fontes de irrigação

Na Tabela 8 estão descritos os resultados da caracterização inicial da água cinza sintética afluyente para as variáveis físico-químicas e microbiológicas, bem como das fontes de irrigação aplicadas no experimento I: águas cinzas tratadas pelos 2 sistemas de *wetlands* construídos (W1 e W2) e a caracterização da água de poço (AP).

Tabela 8 – Caracterização físico-química e microbiológica da água cinza sintética afluyente e das fontes de irrigação do girassol no experimento I

Variáveis	Afluyente	Fontes de irrigação			
		W1	W2	AP	VR
pH	6,71 ± 0,01	6,54 ± 0,20	6,56 ± 0,15	6,91	6 - 8,5 ¹
Condutividade elétrica (mS.cm ⁻¹)	1,73 ± 0,31	1,81 ± 0,25	1,78 ± 0,25	0,69	3 ¹
Demanda química de oxigênio (mg.L ⁻¹)	1207,91 ± 125,76	175,68 ± 41,63	172,96 ± 60,90	30,67	200 ¹
Amônia (mg.L ⁻¹)	59,72 ± 9,88	16,48 ± 6,93	19,9 ± 7,07	0,0	≥ 5 ²
Nitrato (mg.L ⁻¹)	0,58 ± 0,28	0,0 ± 0	0,0 ± 0	0,0	≥ 10 ²
Fósforo total (mg.L ⁻¹)	50,46 ± 4,96	25,85 ± 4,86	20,89 ± 3,40	0,0	≥ 2 ²
Coliformes totais (NMP/100mL)	-	1,1x10 ³	780	9,2	-
<i>E.Coli</i> (NMP/100mL)	-	673,33	780	Ausente	-

AP = água de poço; W1 = *wetland* plantado com *Echinodorus subalatus*; W2 = *wetland* plantado com *Typha domingensis*; VR = valores de referência; ¹ COEMA n° 02/2017; ² Almeida (2010).

Fonte: Autor (2025).

O pH é uma variável importante na avaliação de efluentes domésticos e industriais. Observou-se pH de 6,91 na água de poço (AP). Para as águas cinzas tratadas por W1 e W2, obteve-se os valores de 6,54 ± 0,20 e 6,56 ± 0,15, respectivamente. Nesse sentido é possível observar que houve pouca variação na faixa de pH durante o período, bem como entre os dois sistemas.

Os valores referentes ao pH mantiveram-se dentro da faixa de 5 a 9 estabelecidas pela resolução do CONAMA n° 430/2011 para lançamento de água cinza tratada em corpos hídricos, e entre a faixa de 6 a 8,5 da resolução estadual do COEMA n° 02/2017, em se

tratando de reúso externo de efluentes sanitários para fins agrícolas e florestais. Costa *et al.* (2018), cultivando girassol com efluente doméstico tratado por sistema decanto-digestor de uma comunidade rural, verificaram valor de pH de 6,82. Bem próximos aos valores obtidos nesta pesquisa.

A condutividade elétrica é outro parâmetro essencial na análise desse tipo de efluente tratado, visando o reúso agrícola, pois o mesmo pode apontar o teor de salinidade e presença de poluentes. Os valores de condutividade encontrados foram de $1,81 \pm 0,25 \text{ mS.cm}^{-1}$ para o W1 e $1,79 \pm 0,25 \text{ mS.cm}^{-1}$ para o W2, sendo bem superiores ao valor de condutividade em AP ($0,69 \text{ mS.cm}^{-1}$).

A partir dos valores de condutividade encontrados, verifica-se que para os critérios propostos para a classificação das águas para irrigação do *United States Salinity Laboratory – USSL*, a água de poço utilizada se encontra abaixo de $0,7 \text{ mS.cm}^{-1}$, não apresentando, dessa forma, restrição de uso na irrigação quanto ao teor de sais presentes. Quanto aos efluentes dos dois sistemas, estes se encontraram na faixa entre $0,7 - 3,0 \text{ mS.cm}^{-1}$, possuindo grau de restrição de uso moderado.

Destaca-se que a resolução COEMA nº02/2017 estabelece o limite de até 3 mS.cm^{-1} para a água de reúso, sendo bem superior aos valores encontrados nesta pesquisa.

Santos Júnior *et al.* (2016) analisaram girassóis ornamentais cultivados em hidroponia sob diferentes níveis de salinidade. Os autores chegaram à conclusão de que os girassóis mantiveram a qualidade quando submetidos a soluções salinas entre $1,7$ e $4,3 \text{ mS.cm}^{-1}$, o que indica uma faixa abrangente para esse tipo de cultivo.

Para matéria orgânica, utilizou-se como parâmetro a demanda química de oxigênio (DQO), onde os valores encontrados para os efluentes tratados foram $175,68 \pm 41,63 \text{ mg.L}^{-1}$ para W1; $172,96 \pm 60,90 \text{ mg.L}^{-1}$ para W2 e $30,67 \text{ mg.L}^{-1}$ para AP. A resolução COEMA nº02/2017 não estabelece limites de DQO para o reúso, todavia, observa-se que os valores médios de DQO dos efluentes mantiveram-se dentro dos padrões de lançamento em corpos receptores, ainda que próximos ao limite de 200 mg.L^{-1} .

Os valores de DQO observados foram semelhantes aos obtidos por Melo *et al.* (2018). Ao avaliar a água cinza tratada por tanque séptico seguido de Reator Anaeróbio de Fluxo Ascendente (UASB), visando o reúso no cultivo de girassol ornamental, a DQO do efluente foi de 160 mg.L^{-1} . As concentrações significativas de DQO, como as obtidas nessa pesquisa, podem ser benéficas para fins de reúso em agricultura irrigada, visto que a matéria orgânica

no solo exerce uma série de efeitos sobre suas propriedades físicas, químicas e biológicas, em geral, positivos do ponto de vista de fertilidade (PEREIRA *et al.*, 2009).

Destaca-se que o substrato comercial utilizado neste experimento, anteriormente ao início da irrigação com os efluentes, já possuía teor de carbono orgânico de $7,35 \text{ dag.kg}^{-1}$ e matéria orgânica de $12,68 \text{ dag.kg}^{-1}$, valores superiores aos observados na literatura, como os trabalhados por West (2018), ao cultivar o girassol Anão de Jardim irrigado com efluente, o solo natural utilizado continha teor inicial de matéria orgânica de 6 dag.kg^{-1} .

As concentrações de amônia e fósforo total no efluente do W1 foram de $16,48 \pm 6,93 \text{ mg.L}^{-1}$ e $25,85 \pm 4,86 \text{ mg.L}^{-1}$ e para o W2, $19,9 \pm 7,07 \text{ mg.L}^{-1}$ e $20,89 \pm 3,40 \text{ mg.L}^{-1}$, respectivamente. Não foram detectadas a presença de nitrato nos efluentes tratados. Quanto à AP, não houve concentrações de amônia, fósforo e nitrato dentro dos limites de detecção.

Almeida (2010), estabelece os intervalos usuais de nutrientes na água de irrigação, sendo de 0 - 2 mg.L^{-1} para fósforo; 0 – 5 mg.L^{-1} para amônia e 0 - 10 mg.L^{-1} para nitrato. Nesse sentido, com exceção do nitrato, os efluentes tratados apresentaram concentrações de nutrientes superiores aos intervalos usuais para a irrigação, em especial quanto ao fósforo. Os valores elevados obtidos são justificados pela presença de fontes de nutrientes em quantidades significativas na composição da água cinza sintética.

Os *wetlands* construídos, como sistemas de tratamento secundário, são reconhecidos pelas baixas eficiências de remoção de nutrientes. De acordo com Sperling (2005), as eficiências de remoção de fósforo em WC não são superiores a 35%. Esta afirmação foi comprovada por Magaña *et al.* (2022), que ao utilizarem *wetlands* construídos para o tratamento de efluentes domésticos para o cultivo de girassol, obtiveram eficiências de remoção de fósforo inferiores a 35%.

A maior presença de fósforo nos efluentes de W1 e W2 é positiva, uma vez que a disponibilidade do fósforo é fator interveniente no cultivo agrícola. Segundo Almeida Júnior *et al.* (2009), em estudo com mamoneira, notaram que diferentes doses desse nutriente favorecem o crescimento e desenvolvimento inicial da cultura, proporcionando maior produtividade. Deve-se considerar também, que a terra vegetal comercial utilizada já contava com teor considerável de fósforo assimilável ($28,26 \text{ mg.kg}^{-1}$), conforme destacado anteriormente, na Tabela 4.

Quanto às características microbiológicas do efluente, verificou-se que os sistemas de WC não foram capazes de fornecer uma água cinza tratada livre de organismos patogênicos, contudo, com bons resultados. O número mais provável (NMP)/100mL de coliformes totais

foi de $1,1 \times 10^3$ e 673,33 para o W1 e W2, respectivamente. Quanto a *E. coli*, o NMP/100mL foi de 780 para ambos os efluentes. Para a AP, o NMP/100mL foi 9,2 para coliformes totais e não foi detectada a presença de *E. coli*.

A preocupação com a presença de coliformes é observada em diversas legislações que buscam estabelecer diretrizes para o reúso ao redor do mundo.

A nível global, a Organização Mundial da Saúde (OMS), com base em estudos de risco, definiu alguns parâmetros de qualidade da água para reúso com fins agrícolas. Para coliformes termotolerantes, recomendou-se o limite de 1000 NMP/100mL (OMS, 2006). Contudo, cada país possui a autonomia para estabelecer limites mais rígidos e adaptados às condições locais. Nos EUA, por exemplo, as recomendações para a qualidade da água para reúso são mais rígidas e é sugerido pela Agência de Proteção Ambiental (EPA) um limite de 200 NMP/100mL (EPA, 2012).

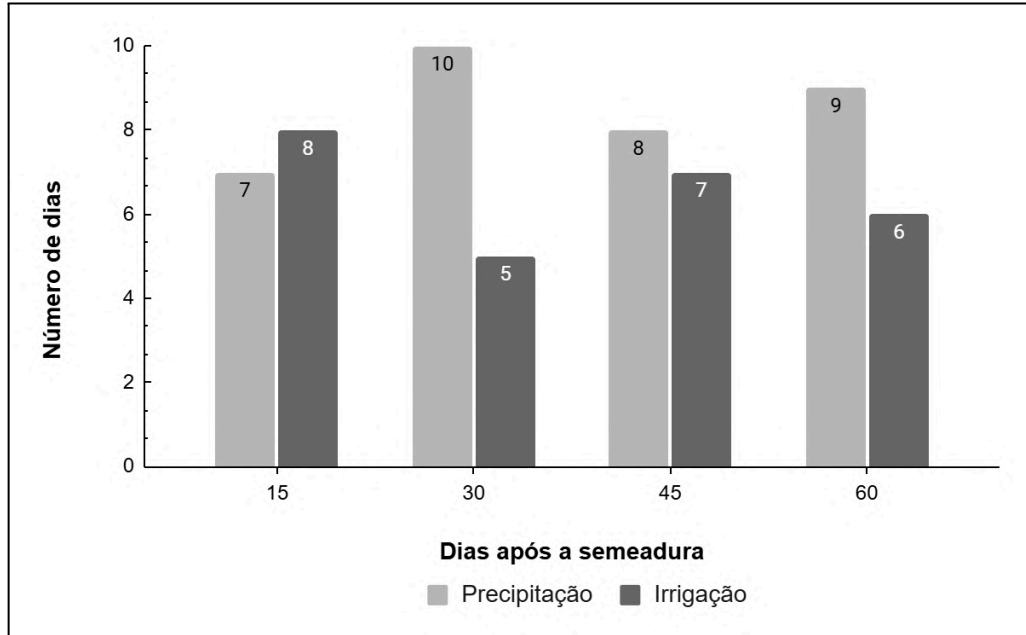
No Brasil, a resolução estadual do Ceará, COEMA nº02/2017, estabelece que os coliformes termotolerantes não devem ser detectados, em caso de irrigação de culturas consumidas cruas. Para as demais culturas, como o caso do girassol, também é adotado o limite de 1000 NMP/100mL.

Ainda que não tenha sido determinado neste estudo todo o grupo dos coliformes termotolerantes, avaliou-se as enterobactérias de origem fecal (*Escherichia coli*) como um importante indicador de contaminação. Observou-se que os efluentes tratados por W1 e W2 atenderam aos padrões internacionais da OMS e a nível regional, da resolução estadual COEMA nº02/2017.

5.1.2 Irrigação da cultura

Durante o período chuvoso, a irrigação da cultura foi predominantemente proveniente da precipitação pluviométrica, sendo muitas vezes desnecessária a irrigação com os tratamentos estudados, durante o período do experimento. No período entre 0 e 15 DAS, que compreendeu a germinação e desenvolvimento inicial do girassol, houve maior número de dias de irrigação com os efluentes tratados, em relação à precipitação pluviométrica (Figura 12).

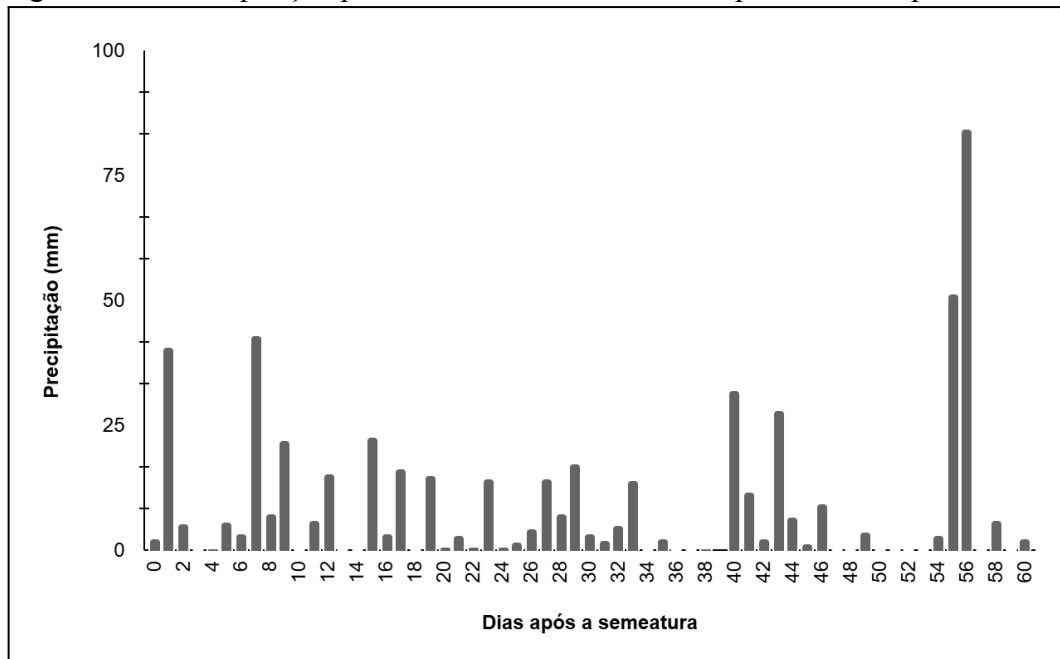
Figura 12 — Suprimento da demanda hídrica por irrigação e precipitação pluviométrica.



Fonte: Autor (2025).

A presença de precipitação pluviométrica foi constante durante o período do experimento, com volumes consideráveis (Figura 13). O total acumulado de precipitação fornecida à cultura foi de 539,4 mm.

Figura 13 — Precipitação pluviométrica diária durante o período do experimento.



Fonte: Autor (2025).

Não há um consenso na literatura a respeito da lâmina ideal de irrigação para o girassol e as exigências podem ser consideravelmente variáveis entre diferentes cultivares. Em geral, de acordo com Silva (2012), os relatos apontam o intervalo de 200 a 900 mm por ciclo, sendo que as maiores produtividades são alcançadas na faixa de 500 a 700 mm. Destaca-se, todavia, a necessidade de uma boa distribuição ao longo do ciclo cultural.

Na presente pesquisa, por se tratar de experimento em campo aberto, a precipitação forneceu água às plantas de maneira uniforme, influenciando na concentração de nutrientes aplicados no solo pela irrigação com efluentes e também nas lâminas aplicadas, trazendo consequências para o desenvolvimento da cultura.

O excesso de precipitação pluviométrica observado no estudo, acarreta uma má distribuição da irrigação ao longo do ciclo, uma vez que em determinados períodos, a lâmina de água fornecida pela precipitação foi bem superior à demanda hídrica para manter as unidades experimentais na capacidade de campo. Além disso, ainda que os efluentes investigados possuíssem concentrações consideráveis de nutrientes essenciais, deve-se considerar o impacto da precipitação sobre os nutrientes fornecidos ao solo e à cultura.

O girassol requer uma fertilidade adequada para a obtenção de um bom rendimento. Prado e Leal (2007) observaram que a deficiência de nutrientes, em especial o fósforo, afetou os atributos que refletem o crescimento vegetativo, como a diminuição do número de folhas, altura da planta, diâmetro do caule e área foliar.

5.1.3 Percentual de emergência (PE) e índice de velocidade de emergência (IVE)

Não foram verificados efeitos significativos ($p > 0,05$) da aplicação de diferentes diluições das águas cinzas tratadas para as variáveis PE e IVE (Tabela 9).

Observou-se que a cv. de girassol Anão de Jardim, estudada neste experimento, apresentou média de 0,85 plântulas emergidas por dia e um percentual de emergência de 66,68% quando irrigada apenas com AP.

Para os tratamentos irrigados com água cinza tratada, obteve-se melhores resultados no tratamento W1T2 (50% de água cinza W1 + 50% de água de poço), com IVE médio de 1,20 plântulas emergidas por dia e PE de 91,65 %.

Quanto aos vasos irrigados com efluente do sistema W2, os valores mais elevados foram observados no tratamento W2T2 (50% de água cinza W2 + 50% de água de poço), com IVE médio de 1,01 plântulas emergidas por dia e PE de 79,15 %.

Apesar de não haver diferenças significativas para as variáveis entre os tratamentos avaliados, observa-se um acréscimo na emergência quando da irrigação com os efluentes em comparação às culturas irrigadas com AP. O desempenho identificado demonstra que as sementes desta cultivar possuem um bom poder germinativo sendo irrigado com efluente tratado.

Tabela 9 – ANOVA e médias do percentual de emergência (PE) e do índice de velocidade de emergência (IVE) das plântulas de girassol aos 10 dias após o plantio.

FV	Quadrado médio		
	GL	PE	IVE
Tratamento	8	603,939 ^{ns}	0,070 ^{ns}
Repetições	3	144,239	0,081
Resíduo	24	438,996	0,092
CV (%)		28,29	31,61
Média		PE (%)	IVE
AP		66,68	0,85
W1T1		49,98	0,80
W1T2		91,65	1,20
W1T3		83,33	1,00
W1T4		83,33	1,07
W2T1		66,65	0,80
W2T2		79,15	1,01
W2T3		70,83	0,97
W2T4		75,00	0,94

FV = fonte de variação; GL = grau de liberdade; CV = coeficiente de variação; ns = não significativo.

Fonte: Autor (2025).

Barros (2013) ao avaliar o cultivo do girassol variedade Catissol 01, irrigado com efluente doméstico, observou padrões semelhantes aos observados neste experimento. Apesar da emergência do girassol não ter apresentado diferenças significativas entre os tratamentos, o autor verificou valores mais elevados para as variáveis quando a cultura foi irrigada com efluente, em comparação com a água de abastecimento.

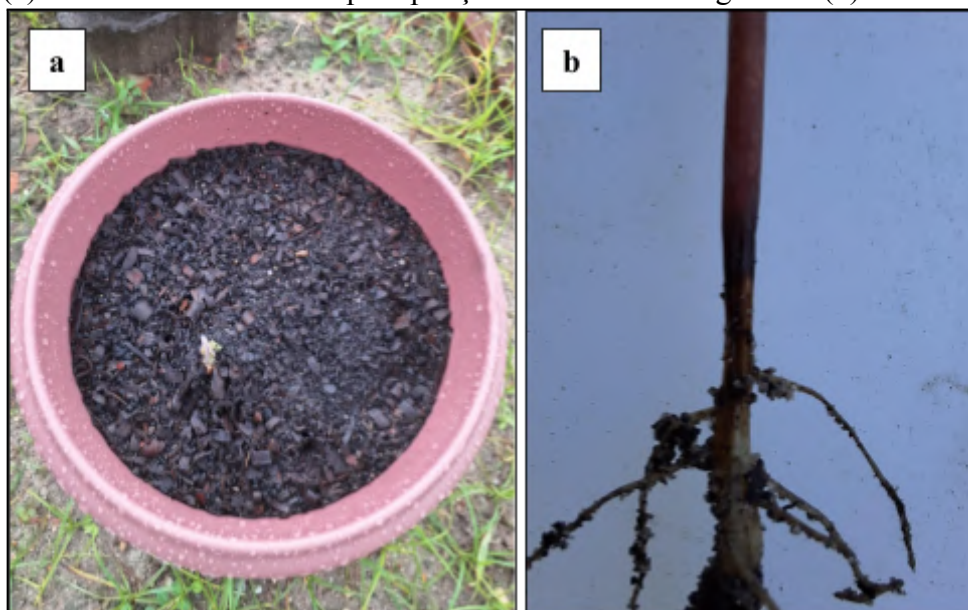
5.1.4 Análises biométricas do girassol

A cultivar de girassol ornamental Anão de Jardim possui um ciclo de aproximadamente 60 dias. Destaca-se que a partir de 15 DAS, a cultura passou a sofrer maior

influência do excesso de precipitação pluviométrica, além da presença de pragas, o que ocasionou a perda total de repetições para alguns tratamentos (Figuras 14a e 14b).

Nesse sentido, a partir de 30 DAS, o desenvolvimento do girassol foi avaliado por meio de duas repetições por tratamento, sendo que na última medição, aos 60 DAS, houve a perda total para alguns tratamentos, inviabilizando a investigação do desenvolvimento da cultura em seu estágio final.

Figura 14 – Comprometimento de repetição de tratamento por ataque de pragas (a) e efeitos do excesso de precipitação sobre o colo do girassol (b).



Fonte: Autor (2025).

5.4.1.1 Altura da planta (ADP)

Os resultados da ANOVA relativos à variável ADP (Tabela 10) indicaram efeito significativo ($p < 0,05$) aos 30 e 45 DAS. Aos 30 DAS, as plantas mais desenvolvidas eram as irrigadas com AP, com altura média de 17,75 cm. Na avaliação realizada aos 45 DAS, no tratamento W1T3 (75% de água cinza sintética W1 + 25% água de poço) as plantas apresentaram mesma altura às irrigadas apenas com AP, com média de 20,75 cm.

Tabela 10 – ANOVA para a variável altura da planta (ADP) do girassol irrigado com diferentes diluições de água cinza sintética tratada em água de poço.

FV	Quadrado médio			
	Altura da planta (cm)			
	GL	15 DAS	30 DAS**	45 DAS**
Tratamento	8	2,934 ^{ns}	11,977*	10,454*
Repetições	3; 1**	0,631	6,480	4,753
Resíduo	24	2,637	1,955	1,808
CV (%)		20,71	9,86	7,50
Média		15 DAS	30 DAS**	45 DAS**
AP		8,44	17,75	20,75
W1T1		6,50	12,75	18,75
W1T2		8,38	14,85	19,13
W1T3		8,31	16,23	20,75
W1T4		7,00	12,33	16,25
W2T1		7,25	9,60	13,63
W2T2		8,56	15,93	17,38
W2T3		8,94	14,83	18,25
W2T4		7,19	13,40	16,50

FV = fonte de variação; GL = grau de liberdade; CV = coeficiente de variação; ns = não significativo; * = significativo a 0,05 de probabilidade; ** = medições realizadas em duas repetições por tratamento.

Fonte: Autor (2025).

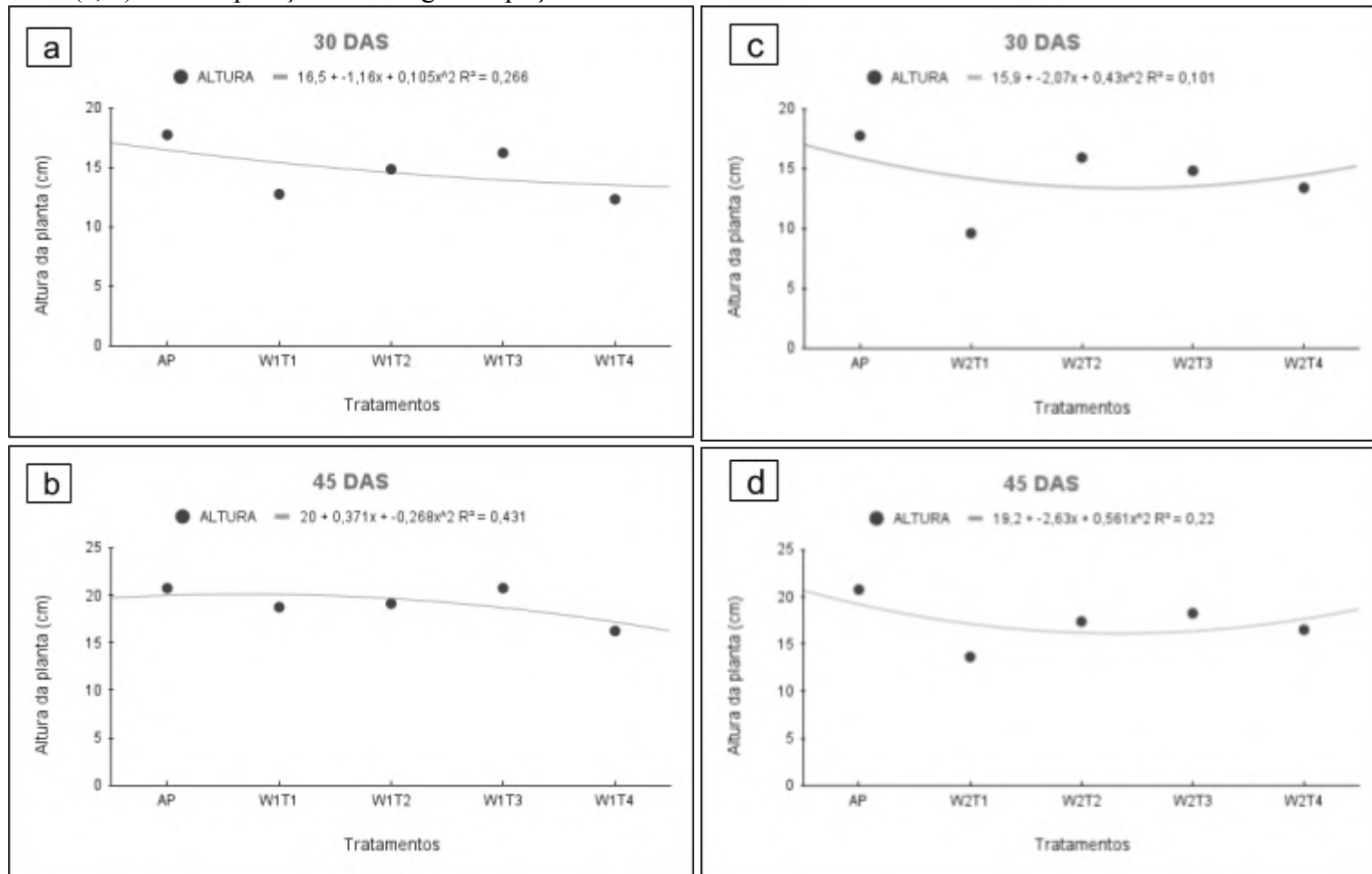
West (2018), avaliando o uso de efluentes domésticos tratados na irrigação do girassol Anão de Jardim em experimento em campo aberto, verificou que a altura da planta entre as primeiras análises (30 e 45 DAS) não demonstram diferenças significativas entre os tratamentos. O autor justificou este fato à precipitação elevada, que garantiu lâminas de irrigação semelhantes em todas as unidades experimentais nos primeiros períodos de análise. Entretanto, nas análises seguintes (55 e 70 DAS) já foi possível observar diferenças de altura, em razão da menor incidência de precipitação, e maior aplicação dos tratamentos com efluente.

No presente estudo, ainda que a irrigação somente com AP tenha proporcionado maior crescimento do girassol, o que pode ser decorrente da condutividade elétrica do efluente ser mais elevada, destaca-se que em razão da precipitação pluviométrica constante, não verificou-se uma clara tendência entre a aplicação de diferentes diluições dos efluentes e o

efeito sobre a altura das plantas. Não podendo-se, nesse sentido, afirmar que o acréscimo nas concentrações dos efluentes foram prejudiciais ao crescimento da planta.

Isto pode ser observado nas Figuras 15a, 15b, 15c e 15d, que mostram os resultados da análise de regressão. Foram avaliadas as tendências para as diferentes diluições dos efluentes, em comparação com a água de poço, nas duas medições que apresentaram diferenças significativas (30 e 40 DAS). A equação de ajuste mais adequada foi a polinomial de segundo grau. Nota-se baixos coeficientes de determinação das equações, o que indica que as médias não apresentaram boa correlação.

Figura 15 — Regressão polinomial da altura da planta em relação às diferentes diluições aplicadas do efluente do W1 (a, b) e W2 (c, d) em comparação com a água de poço.



Fonte: Autor (2025).

Além do baixo coeficiente de determinação observado na análise de regressão, as condições ambientais podem ter impactado significativamente o crescimento esperado da cultura para os estágios de desenvolvimento avaliados. A média máxima de 20,75 cm obtida neste experimento aos 45 DAS, é semelhante ao obtido por West (2018), em igual período (25,51 cm) em experimento em campo aberto.

Oliveira (2015) cultivou o girassol ornamental cv. Anão de Jardim em vasos, sendo irrigado com combinações de água residuária proveniente de estação de tratamento municipal e de água de abastecimento, em casa de vegetação. A autora observou que não houve diferenças significativas entre os tratamentos quanto à altura da planta, todavia, aos 40 dias após o desbaste (equivalente a 48 DAS), o girassol apresentou altura média de 51,66 cm, bem superior ao obtido nesta pesquisa em período de avaliação semelhante.

As maiores alturas obtidas no estudo supracitado podem ter sido decorrentes das condições controladas, as quais foram submetidas às culturas, diferentes quantidades de nutrientes fornecidos pelo efluente, principalmente o nitrogênio ($21,85 \text{ mg.L}^{-1}$) incluindo a adubação do solo, que não foi realizada neste experimento. Além disso, a água residuária possuía teor de condutividade elétrica de 1 dS.cm^{-1} , inferior aos encontrados nos efluentes aplicados na presente pesquisa.

5.4.1.2 Número de folhas (NF)

A Tabela 11 apresenta o resumo dos resultados da ANOVA para a variável número de folhas (NF). Nesta pode ser observado que não houve efeito significativo, a 5 %, da aplicação das diferentes diluições das águas cinza, em nenhum dos períodos em que foram realizadas as avaliações.

Tabela 11 — ANOVA para a variável número de folhas (NF) do girassol irrigado com diferentes diluições de água cinza sintética tratada em água de poço.

FV	Quadrado médio			
	Número de folhas			
	GL	15 DAS	30 DAS*	45 DAS*
Tratamento	8	0,569 ^{ns}	0,368 ^{ns}	0,040 ^{ns}
Repetições	3; 1*	0,507	0,500	0,002
Resíduo	24	0,757	0,125	0,090
CV (%)		34,61	14,46	11,02
Média		15 DAS	30 DAS*	45 DAS*
AP		2,88	2,75	5,50
W1T1		2,38	2,50	4,75
W1T2		3,13	3,00	5,50
W1T3		3,00	2,75	3,50
W1T4		2,38	2,00	5,00
W2T1		2,25	1,75	3,75
W2T2		2,25	2,00	3,50
W2T3		2,13	2,50	2,25
W2T4		2,25	2,75	4,00

FV = fonte de variação; GL = grau de liberdade; CV = coeficiente de variação; ns = não significativo; * = medições realizadas em duas repetições por tratamento.

Fonte: Autor (2025).

Quanto às médias para cada tratamento, verificou-se que houve uma tendência de aumento no número de folhas para todos os tratamentos ao longo do período avaliado, sendo que as culturas irrigadas com 100% de AP e às com tratamento W1T2 (50% de água cinza W1 + 50% de água de poço) obtiveram o maior valor médio de NF, com 5,50, aos 45 DAS.

Gonçalves *et al.* (2019), avaliando diferentes diluições de efluente doméstico tratado em água de abastecimento, também não encontrou diferenças significativas entre os tratamentos, para o número de folhas da cultivar de girassol Anão de Jardim. Os autores destacaram que embora o melhor desempenho tenha sido observado em plantas submetidas a 100% de água de abastecimento (15,75 folhas) em comparação àquelas irrigadas com diluições, o tratamento com 100% efluente obteve desempenho similar (15,50), podendo ser utilizado sem danos à cultura. O resultado obtido provavelmente se deve à maior disponibilidade de nutrientes para as plantas no efluente, considerando ainda que o tratamento

com 100 % efluente foi suplementado com 50% da recomendação de nitrogênio e potássio e 100 % da recomendação de fósforo, o que não foi realizado nesta pesquisa.

Silva e Nascimento (2020), ao testarem fontes de irrigação com diferentes níveis de salinidade (água da chuva, água de poço, efluente de fossa e água salobra) notaram que o número de folhas do girassol Anão de Jardim irrigado com efluente de fossa variou de 12,67 a 27,17 unidades, estatisticamente maior que os demais tratamentos. Estes valores são bem superiores aos encontrados nesta pesquisa, o que justifica-se pela elevada concentração de NPK (224; 14,47 e 85,35 mg.L⁻¹, respectivamente) no efluente.

Os autores verificaram também que o aumento da salinidade da água de irrigação, ainda que não tenha provocado alterações no desenvolvimento das folhas, afetou os parâmetros relativos à fitomassa e ocasionou a salinização do solo. Contudo, Oliveira *et al.* (2017) observaram que o número de folhas de girassol diminuiu linearmente com o aumento da salinidade da água de irrigação.

Na presente pesquisa, a diferença considerável da variável NF na avaliação final, aos 45 DAS, em comparação com o observado na literatura, se justifica pela ocorrência de fitopatologias ter se mostrado mais expressiva a partir deste período. Observou-se a presença de pragas, em especial a lagarta preta e o gafanhoto, causando danos expressivos às folhas.

5.4.1.3 Diâmetro do caule (DC)

A Tabela 12 apresenta o resumo da ANOVA para a variável diâmetro do caule (DC) das plantas de girassol para os tratamentos avaliados. Verificou-se que não houve diferenças significativas na aplicação das diluições da água cinza.

Foi possível constatar que a irrigação com água cinza tratada proporcionou um acréscimo nos valores médios de DC em relação à AP em todas as épocas de avaliação. Para a última avaliação, aos 45 DAS, o DC médio mais elevado foi de 3,05 mm no tratamento W2T3 (75% de água cinza W2 + 25% água de poço) para 2,93 mm no tratamento com 100% de AP.

Tabela 12 — ANOVA para a variável diâmetro do caule (DC) do girassol irrigado com diferentes diluições de água cinza sintética tratada em água de poço.

FV	Quadrado médio			
	Diâmetro do caule (mm)			
	GL	15 DAS	30 DAS*	45 DAS*
Tratamento	8	0,242 ^{ns}	0,395 ^{ns}	0,042 ^{ns}
Repetições	3; 1*	0,006	0,002	0,016
Resíduo	24	0,023	0,090	0,024
CV (%)		5,91	11,02	5,52
Média		15 DAS	30 DAS*	45 DAS*
AP		2,57	2,93	2,93
W1T1		2,46	2,68	2,65
W1T2		2,56	2,64	2,75
W1T3		2,58	2,70	2,77
W1T4		2,44	2,55	2,78
W2T1		2,63	2,65	2,67
W2T2		2,48	2,70	3,02
W2T3		2,65	2,70	3,05
W2T4		2,48	2,99	2,75

FV = fonte de variação; GL = grau de liberdade; CV = coeficiente de variação; ns = não significativo; * = medições realizadas em duas repetições por tratamento.

Fonte: Autor (2025).

Barros (2013) ao avaliar o cultivo do girassol variedade Catissol 01, irrigado com efluente doméstico tratado, também constatou que não houve efeitos significativos, sendo que a irrigação com água residuária tratada proporcionou um acréscimo nos valores médios de DC em relação à irrigação com água de abastecimento em todas as épocas de avaliação.

Os valores de DC obtidos nesta pesquisa diferem dos observados na literatura. Andrade *et al.* (2012) ao estudarem os genótipos Sol Noturno, Sol Vermelho e o Debilis Creme, encontraram a maior média de DC em seus girassóis de 8,20 mm. Para a cultivar Anão de Jardim, são observados valores ainda superiores em seu estágio final de desenvolvimento, como 13,02 mm (WEST, 2018) e 14,1 mm (COVA *et al.*, 2021).

Ainda que esta cultivar de girassol tenha como característica um maior diâmetro do caule, é observado nos trabalhos citados um desenvolvimento lento no estágio inicial da cultura e um incremento de até 75% nos valores de DC após os 30 DAS.

Na presente pesquisa, a ocorrência de precipitação mais acentuada durante este período pode ter influenciado a concentração de nutrientes, além contribuir para problemas decorrentes da compactação do solo. De acordo com Oliveira *et al.* (2005), a compactação

reduz a capacidade exploratória do solo pelo sistema radicular, podendo impactar diretamente no desenvolvimento do caule.

Nesse sentido, ainda que os efluentes de W1 e W2 possuíssem faixa de pH próxima à neutralidade e tenham proporcionado incremento no DC em relação ao tratamento com AP, a presença de precipitação expressiva ao longo do experimento pode ter se consistido no fator que mais contribuiu para os valores reduzidos de DC em comparação aos observados na literatura.

5.2 Período seco (experimentos II e III)

5.2.1 Caracterização das fontes de irrigação

Na Tabela 13 estão descritos os resultados da caracterização inicial das águas cinzas sintéticas afluentes para as variáveis físico-químicas e microbiológicas, bem como das fontes de irrigação aplicadas nos experimentos II e III: águas cinzas tratadas pelos 2 sistemas de *wetlands* construídos W1 e W2, respectivamente, e a caracterização da água de poço (AP).

Tabela 13 – Caracterização físico-química e microbiológica da água cinza sintética afluente e das fontes de irrigação do girassol nos experimentos II e III.

Variáveis	Experimento II			Experimento III			
	Afluente	Fontes de irrigação		Afluente	Fontes de irrigação		
		W1	AP		W2	AP	VR
pH	6,80 ± 0,11	6,67	6,95	6,73 ± 0,19	6,64 ± 0,12	6,93	6 - 8,5 ¹
Condutividade elétrica (mS.cm ⁻¹)	1,79 ± 0,11	1,77 ± 0,27	0,58	1,79 ± 0,30	2,12 ± 0,22	0,69	3 ¹
Demanda química de oxigênio (mg.L ⁻¹)	1130,7 ± 27,81	97,70 ± 1,89	8,3 ± 2,36	663,56 ± 8,98	112,35 ± 8,34	38,5 ± 3,54	200 ¹
Amônia (mg.L ⁻¹)	67,16 ± 0,94	18,74 ± 0,48	0,0 ± 0	72,33 ± 1,09	20,46 ± 0,78	1,51 ± 0,19	≥ 5 ²
Nitrato (mg.L ⁻¹)	0,44 ± 0,01	0,0 ± 0	0,0 ± 0	0,19 ± 0,02	0,0 ± 0	0,0 ± 0	≥ 10 ²
Fósforo total (mg.L ⁻¹)	50,69 ± 1,28	33,97 ± 0,87	0	48,11 ± 1,73	34,99 ± 1,48	0	≥ 2 ²
Coliformes totais (NMP/100mL)	-	885	9,2	-	1100	9,2	-
<i>E.coli</i> (NMP/100mL)	-	725	Ausente	-	844	Ausente	-

AP = água de poço; W1 = *wetland* plantado com *Echinodorus subalatus*; W2 = *wetland* plantado com *Typha domingensis*; VR = valores de referência ¹ COEMA n° 02/2017; ² Almeida (2010).

Fonte: Autor (2025).

Para a variável pH, observou-se padrão semelhante ao experimento I, com AP apresentando faixa de pH bem próxima à neutralidade, sendo 6,95 no experimento II e 6,93 no experimento III. Para as águas cinzas tratadas por W1 (experimento II) e W2 (experimento III), observou-se valores de 6,67 e $6,64 \pm 0,12$, respectivamente. Nesse sentido é possível observar que houve baixa variação de pH entre os efluentes dos sistemas operados nos dois experimentos.

Assim como no experimento I, os valores referentes ao pH nos experimentos II e III mantiveram-se dentro da faixa de 5 a 9 estabelecidas pela resolução do CONAMA nº 430/2011 para lançamento de água residuária tratada em corpos hídricos, e entre a faixa de 6 a 8,5 da resolução estadual do COEMA nº 02/2017, em se tratando de reúso externo de efluentes sanitários para fins agrícolas e florestais.

Quanto aos efeitos à cultura, Ungaro (2000) destaca que o girassol é resistente à alcalinidade dos solos, mas não se desenvolve bem em pH ácido (abaixo de 5,0). Considerando que o pH inicial do substrato comercial utilizado nos experimentos era ácido (4,89), a irrigação com AP e os efluentes tratados utilizados nos experimentos II e III, os quais se encontraram próximos à neutralidade, podem ter contribuído para o alcance de faixa de pH mais adequada para o cultivo do girassol, uma vez que o substrato foi ainda misturado com areia.

A condutividade elétrica é outro parâmetro essencial na análise desse tipo de efluente tratado visando o reúso agrícola, pois o mesmo pode apontar o teor de salinidade e presença de poluentes. Os valores de condutividade encontrados no experimento II foram de 0,58 para AP e $1,77 \pm 0,27 \text{ mS.cm}^{-1}$ para W1. No experimento III, os valores foram ligeiramente superiores, com 0,69 mS.cm^{-1} na AP e $2,12 \pm 0,22 \text{ mS.cm}^{-1}$ para o W2.

A partir dos valores de condutividade encontrados, verifica-se que para os critérios propostos para a classificação das águas para irrigação do *United States Salinity Laboratory* – USSL, a água de poço utilizada se encontra abaixo de 0,7 mS.cm^{-1} , não apresentando, dessa forma, restrição de uso na irrigação quanto ao teor de salinidade. Quanto aos efluentes dos dois experimentos, estes se encontraram na faixa entre 0,7 – 3,0 mS.cm^{-1} , possuindo grau de restrição de uso moderado, o que representa que plantas com moderada tolerância aos sais, como o caso do girassol, podem ser cultivadas, na maioria dos casos, sem práticas especiais de controle da salinidade.

Destaca-se que a resolução COEMA n° 02/2017 estabelece o limite de até 3 mS.cm⁻¹ para a água de reúso, sendo superior aos valores encontrados em ambos os experimentos.

De acordo com Rhoades e Loveday (1992), poucas águas de uso generalizado em irrigação excedem cerca de 2 mS.m⁻¹ de condutividade elétrica. Para Pizarro (1985) uma água de irrigação de boa qualidade deve apresentar uma condutividade de, aproximadamente, 0,75 mS.cm⁻¹. Contudo, como já destacado neste trabalho, a cultura do girassol pode suportar fontes de irrigação com níveis de condutividade superiores, sem perdas consideráveis em sua produtividade.

Morais *et al.* (2011) avaliaram a influência da irrigação com água salina no crescimento e na produção de girassol (híbrido H251). Verificou-se que a cultura do girassol se mostrou tolerante à salinidade da água de irrigação, indicando que ela pode ser irrigada com água de condutividade elétrica de até 3,53 mS.cm⁻¹ durante todo o ciclo.

Resultados semelhantes foram obtidos por Silva e Nascimento (2020), ao avaliarem os impactos da salinidade de águas de diferentes qualidades no desenvolvimento do girassol Anão de Jardim e no solo. O melhor desenvolvimento da cultura para os parâmetros de crescimento, consumo e eficiência do uso da água foi obtido com a aplicação de água residuária, com condutividade de 3,50 mS.cm⁻¹.

O incremento da condutividade para 5,00 mS.cm⁻¹ com o uso de água salobra reduziu a maioria dos parâmetros de crescimento do girassol. Os autores alertaram, no entanto, que até mesmo o tratamento com água residuária já foi capaz de promover aumento na condutividade elétrica, no teor e na porcentagem de sódio trocável dos solos, sendo recomendada a lixiviação do excesso de sais após o fim do ciclo da cultura.

Para matéria orgânica, em termos de DQO, os valores encontrados no experimento II foram de $8,3 \pm 2,36$ mg.L⁻¹ para AP e $97,70 \pm 1,89$ mg.L⁻¹ para W1. No experimento III, os valores foram $112,35 \pm 8,3$ mg.L⁻¹ para o W2 e $38,5 \pm 3,5$ mg.L⁻¹ na AP. A resolução COEMA n° 02/2017 não estabelece limites de DQO para o reúso, todavia, observa-se que os valores médios de DQO dos efluentes mantiveram-se dentro dos padrões de lançamento em corpos receptores, abaixo do limite de 200 mg.L⁻¹, assim como observado no experimento I.

Como destacado anteriormente, uma concentração significativa de DQO na água de irrigação pode exercer efeitos positivos sobre a cultura. Dantas *et al.* (2019) avaliaram a produção da cultivar de girassol Helio 250, irrigado com esgotos domésticos tratados por diferentes processos. Os autores concluíram que o uso de água residuária doméstica tratada proporcionou ganhos significativos em todas as variáveis avaliadas quando comparada à

irrigação com água de abastecimento, destacando-se que um dos tratamentos com efluente que proporcionaram maiores rendimentos de aquênio e óleo, continha a maior concentração de matéria orgânica em termos de DQO ($694,9 \text{ mg.L}^{-1}$).

Melo *et al.* (2020) estudaram a irrigação de girassóis ornamentais (Bonito de Outono Sortido e Sol Vermelho) com efluente de água cinza tratada em diferentes diluições. Os autores concluíram que o uso de até 55% de água cinza tratada misturada à água potável não comprometeu o crescimento das plantas nem a qualidade das flores. Destaca-se que a água cinza tratada utilizada no estudo apresentou uma DQO de 160 mg.L^{-1} , abaixo do limite de 200 mg.L^{-1} da resolução COEMA nº 02/2017, semelhante aos valores trabalhados neste estudo. Os autores reforçaram o potencial da água cinza utilizada na irrigação ornamental para reduzir o consumo de água potável e minimizar impactos ambientais.

As concentrações de amônia e fósforo no experimento II foram de $18,74 \pm 0,48 \text{ mg.L}^{-1}$ e $33,97 \pm 0,8 \text{ mg.L}^{-1}$ respectivamente, para W1. Quanto ao experimento II, as concentrações encontradas para as mesmas variáveis foram de $20,46 \pm 0,78 \text{ mg.L}^{-1}$ e $34,99 \pm 1,48 \text{ mg.L}^{-1}$, respectivamente, para o W2. Não foram detectadas a presença de nitrato nos efluentes tratados nos experimentos II e III. Quanto à AP, não houve concentrações de amônia, fósforo e nitrato dentro dos limites de detecção, para ambos os experimentos.

Nesse sentido, assim como observado no experimento I, à exceção do nitrato, os efluentes tratados apresentaram concentrações de nutrientes superiores aos intervalos usuais para a irrigação, em especial quanto ao fósforo, ao que se comparar com os intervalos usuais de nutrientes na água de irrigação estabelecidos por Almeida (2010) ($0 - 2 \text{ mg.L}^{-1}$ para fósforo; $0 - 5 \text{ mg.L}^{-1}$ para amônia e $0 - 10 \text{ mg.L}^{-1}$ para nitrato). Os valores elevados obtidos são justificados pela presença de fontes de nutrientes em quantidades significativas na composição da água cinza sintética.

A presença de nutrientes no efluente, principalmente fontes de nitrogênio, são essenciais para o desenvolvimento adequado do girassol. Para Sanzonowicz e Amabile (2001) a deficiência de nitrogênio na cultura afeta o crescimento e desenvolvimento das plantas, o tamanho dos aquênios, o teor de proteína e óleo nas sementes.

Quanto às características microbiológicas das águas de irrigação, verificou-se que no experimento II o NMP/100mL de coliformes totais foi de 885 e 9,2 para o W1 e AP, respectivamente. Para o experimento III, o NMP/100mL de coliformes totais foi de $1,1 \times 10^3$ para W2 e 9,2 para AP.

Para *E. coli*, o NMP/100mL foi de 725 em W1 e 844 em W2. Para a AP, em ambos os experimentos não foi detectada a presença de *E. coli*.

Ainda que não tenha sido determinado neste estudo todo o grupo dos coliformes termotolerantes, avaliou-se as enterobactérias de origem fecal *E.coli*, como um importante indicador de contaminação. Observou-se, assim como no experimento I, que os efluentes tratados por W1 (experimento II) e W2 (experimento III) atenderam aos padrões internacionais da OMS (1000 NMP/100mL para coliformes termotolerantes) e a nível regional, da resolução estadual COEMA nº 02/2017, que estabelece que os coliformes termotolerantes não devem ser detectados, em caso de irrigação de culturas consumidas cruas. Para as demais culturas, como o caso do girassol, também é adotado o limite de 1000 NMP/100mL.

Apesar de haver legislações que abordam padrões microbiológicos de efluentes visando o reúso agrícola, ainda há grande limitação de normativas que considerem as individualidades de cada cultura quanto aos riscos à saúde humana da irrigação com efluentes.

Nesse sentido, Barros (2013) destaca que a utilização da água de reúso para a produção de culturas que podem ser destinadas a biocombustíveis, minimiza as possíveis contaminações humanas e contribui para a promoção de uma agricultura cada vez mais sustentável.

5.2.3 Percentual de emergência (PE) e índice de velocidade de emergência (IVE)

De acordo com a ANOVA realizada (Tabela 14), não foram verificados efeitos significativos ($p > 0,05$) da aplicação de diferentes diluições das águas cinzas tratadas para as variáveis PE e IVE nos experimentos II e III.

No experimento II observou-se que a cv. de girassol Anão de Jardim estudada, obteve uma média de 1,09 plântulas emergidas por dia e um percentual de emergência de 70,83 % quando irrigada apenas com AP.

Para os tratamentos com água cinza tratada por W1, obteve-se melhores resultados no tratamento W1T4 (100% de água cinza W1), com IVE médio de 1,04 plântulas emergidas por dia e IG de 75 %.

Para o experimento III, obteve uma média de 1,19 plântulas emergidas por dia e um percentual de emergência de 83,33 % quando irrigada apenas com AP.

Para os tratamentos com água cinza tratada por W2, obteve-se melhores resultados no tratamento W2T5 (100% de água cinza W2 + substrato com areia grossa), com IVE médio de 1,34 plântulas emergidas por dia e PE de 100 %.

Apesar de não haver diferenças significativas para as variáveis entre os tratamentos avaliados, observa-se um acréscimo na emergência quando da irrigação com os efluentes em comparação às culturas irrigadas com AP. O desempenho identificado corrobora com o obtido no experimento I e demonstra que as sementes desta cultivar possuem um bom poder germinativo sendo irrigado com efluente tratado.

Tabela 14 – ANOVA e médias do percentual de emergência (PE) e do índice de velocidade de emergência (IVE) das plântulas de girassol nos experimentos II e III.

FV	Quadrado médio					
	Experimento II			Experimento III		
	GL	PE	IVE	GL	PE	IVE
Tratamento	4	124,502 ^{ns}	0,054 ^{ns}	5	129,70 ^{ns}	0,01 ^{ns}
Repetições	3	980,297	0,302	3	169,32	0,07
Resíduo	12	1.003,815	0,302	15	178,84	0,04
CV (%)		46,37	55,30		14,81	15,21
Média		PE (%)	IVE	Média	PE (%)	IVE
AP		70,83	1,09	AP	83,33	1,19
W1T1		70,80	1,09	W2T1	91,68	1,30
W1T2		62,50	0,93	W2T2	87,50	1,26
W1T3		62,53	0,82	W2T3	91,65	1,24
W1T4		75,00	1,04	W2T4	87,50	1,27
				W2T5	100,00	1,34

FV = fonte de variação; GL = grau de liberdade; CV = coeficiente de variação; ns = não significativo.

Fonte: Autor (2025).

O desempenho observado no experimento III foi superior ao experimento II em todos os tratamentos estudados. Destaca-se também que nenhum tratamento nos experimentos I e II obtiveram média de 100 % das sementes germinadas, como em W2T5.

Os resultados superiores alcançados no experimento III devem ser decorrentes das condições otimizadas empregadas, como o substrato com areia grossa em W2T5, que favorece a aeração e drenagem do excesso de irrigação. Destaca-se também a qualidade superior das sementes utilizadas neste experimento, em virtude do potencial de germinação ser maior (93%) se comparado com as sementes empregadas nos experimentos I e II cujo

potencial germinativo foi de 85%. Além disso, uma adequada disponibilidade de água durante o período da germinação à emergência é necessária para a obtenção de uma boa uniformidade na população de plantas Castro (1999).

Os estádios fenológicos do girassol se distinguem quanto à demanda de água, revelando assim a importância do adequado suprimento hídrico durante a fase vegetativa para a efetivação de um vigoroso crescimento por parte das plantas, refletido em elevadas produções de fitomassa (SILVA, 2012).

Neste sentido, o excesso de irrigação no experimento I, realizado no período chuvoso, pode ter contribuído para a redução do PE e IVE em comparação ao observado no experimento III, que ocorreu em período seco, com pouca interferência da precipitação pluviométrica.

A pouca interferência da precipitação possibilita melhor avaliar o efeito positivo da aplicação do efluente sobre a cultura. Barros (2013) observou, em experimento em ambiente protegido, que tanto para PE quanto para IVE, o comportamento das plantas de girassol teve uma superioridade quando irrigadas com água residuária em relação às irrigadas com água de abastecimento. A variedade Catissol 01 irrigada com água residuária obtiveram 16,23 e 12,81% de acréscimo em relação às irrigadas com água de abastecimento nestas variáveis citadas anteriormente, respectivamente.

5.2.4 Análises biométricas do girassol

5.2.4.1 Altura da planta (ADP)

Os resultados da ANOVA relativos à variável ADP (Tabela 15) não indicaram efeito significativo dos diferentes tratamentos aplicados ($p < 0,05$) em nenhuma das medições realizadas no experimento II. Aos 60 DAS, as plantas com maior altura eram as irrigadas com AP, com altura média de 35,00 cm.

Dentre os tratamentos com o efluente tratado por W1, destacaram-se o tratamento W1T3 (75% de água cinza sintética W1 + 25% AP) e W1T4 (100% de água cinza sintética W1) que obtiveram altura média similar à AP, com 32,00 e 33,00 cm, respectivamente.

Ainda que no experimento I não tenha sido avaliada a ADP em 60 DAS, observa-se que em 45 DAS os valores de ADP obtidos eram inferiores aos encontrados no experimento II para todos os tratamentos avaliados, o que pode ser decorrente da maior disponibilidade de

radiação solar, uniformidade da lâmina de irrigação aplicada e menor compactação do solo durante o experimento II.

No experimento III, a ANOVA indicou diferenças significativas entre os tratamentos ($p < 0,01$) para ADP em 30, 45 e 60 DAS. As plantas com maior ADP foram provenientes do tratamento W2T5 (100 % de água cinza sintética W2 + substrato com areia grossa), com média de 51,88 cm, seguidas pelo tratamento W2T2 (50 % de água cinza sintética W2 + 50 % AP), com ADP média de 48,63 cm, em 60 DAS, sendo bem superiores aos valores médios obtidos nos experimentos I e II.

Ambos os tratamentos W2T2 e W2T5 apresentaram diferença significativa em relação às plantas irrigadas com AP em 45 e 60 DAS. A ADP média obtida para AP foi de 22,75 cm em 60 DAS, o que representou uma redução de 56,15 % e 46,78 % em comparação com os valores obtidos por W2T5 e W2T2, respectivamente, para o mesmo período de avaliação.

Considerando os tratamentos com maior média de ADP, os valores supracitados, observados no experimento III, representaram um acréscimo de 41,95% quanto ao experimento I (45 DAS) e 37,37% em comparação ao experimento II (60 DAS).

Tabela 15 – ANOVA para a variável altura da planta (ADP) do girassol irrigado com diferentes diluições de água cinza sintética tratada em água de poço nos experimentos II e III.

FV	Quadrado médio									
	Altura da planta (cm)									
	Experimento II					Experimento III				
	GL	15 DAS	30 DAS	45 DAS	60 DAS	GL	15 DAS	30 DAS	45 DAS	60 DAS
Tratamento	4	2,39 ^{ns}	7,67 ^{ns}	14,90 ^{ns}	58,40 ^{ns}	5	3,10 ^{ns}	23,06 *	151,44 *	448,47 *
Repetições	3	5,25	30,25	92,92	235,23	3	0,92	1,37	2,01	5,01
Resíduo	12	3,95	13,07	22,44	27,73	15	2,12	5,30	13,08	41,64
CV (%)		19,35	18,33	18,91	17,58		16,17	12,99	12,67	15,66
Média		15 DAS	30 DAS	45 DAS	60 DAS	Média	15 DAS	30 DAS	45 DAS	60 DAS
AP		10,00	21,13	28,00	35,00	AP	8,00	14,00 a	18,25 a	22,75 a
W1T1		11,38	18,00	25,75	28,50	W2T1	8,50	17,25 a,b	25,75 a,b	35,50 a,b
W1T2		10,50	19,50	21,50	21,75	W2T2	8,75	18,25 a,b	32,50 b	48,63 b
W1T3		9,25	18,88	23,00	32,00	W2T3	9,50	18,50 a,b	31,25 b	44,25 b
W1T4		10,25	21,13	27,00	33,00	W2T4	8,75	17,00 a,b	27,75 a,b	44,25 b
						W2T5	10,50	21,38 b	35,75 b	51,88 b

FV = fonte de variação; GL = grau de liberdade; CV = coeficiente de variação; ns = não significativo. * = significativo a 0,01 de probabilidade. a; b = médias com letras diferentes na mesma coluna possuem diferenças significativas entre si.

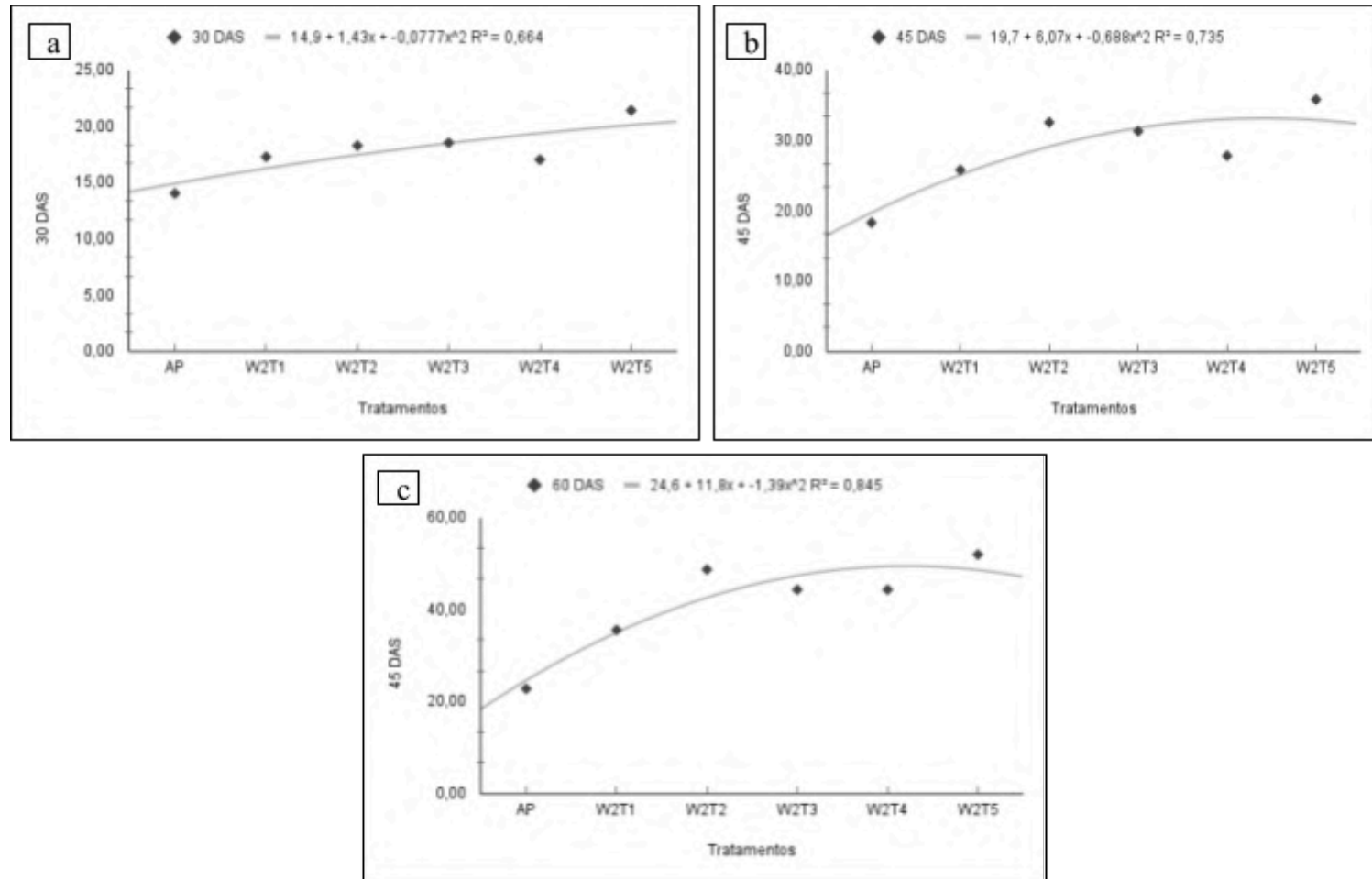
Fonte: Autor (2025).

No experimento III, é possível observar o efeito da aplicação dos diferentes tratamentos sobre a altura das plantas. Todos os tratamentos com efluente foram superiores ao tratamento com AP, sendo que o acréscimo nas concentrações dos efluentes com mesmo tipo de substrato (terra vegetal + areia fina) proporcionaram acréscimo na ADP até certo ponto, em que começou a decair, sendo W2T2 a condição de maior desempenho na ADP.

Logo após o decaimento, a ADP volta a aumentar em W2T5 com a adição de areia grossa ao substrato. Tal fato pode ser observado na Figura 16a, 16b e 16c, que mostra os resultados da análise de regressão. Foram avaliadas as tendências para as diferentes diluições dos efluentes, em comparação com a água de poço. A equação de ajuste mais adequada foi a polinomial. Nota-se a partir dos coeficientes de determinação das equações, que as médias apresentaram boa correlação.

Apesar do decaimento observado nos tratamentos W2T3 e W2T4 em comparação com W2T2, estes ainda possuíram desempenhos de ADP superiores ao tratamento com menor dose de efluente (W1T1) e ao tratamento com AP. Ainda que os tratamentos W2T3 e W2T4 possuísem maiores níveis de nutrientes, uma vez que estavam mais concentrados, também possuíam maior condutividade elétrica, pois a CE no efluente era de $2,12 \pm 0,22 \text{ mS.cm}^{-1}$ e em AP era de apenas $0,69 \text{ mS.cm}^{-1}$, o que pode ter contribuído para a redução da ADP observada nestes tratamentos.

Figura 16 — Regressão polinomial da altura da planta em relação às diferentes diluições aplicadas do efluente do W2 em comparação com a água de poço no experimento III, em 30 (a), 45 (b) e 60 DAS (c).



Fonte: Autor (2025).

Silva e Nascimento (2020), ao testarem fontes de irrigação com diferentes níveis de salinidade (água da chuva, água de poço, efluente de fossa e água salobra) notaram que a altura média do girassol Anão de Jardim cultivado em campo aberto e irrigado com efluente de fossa (condutividade de $3,50 \text{ mS.cm}^{-1}$) foi de 48,70 cm, estatisticamente maior que os demais tratamentos, em 50 DAS. As plantas irrigadas com água de poço ($1,50 \text{ mS.cm}^{-1}$) obtiveram 23,93 cm em igual período. Destaca-se que a pesquisa foi realizada na região Nordeste, durante os meses de julho a novembro, período caracterizado por poucas chuvas na região.

A disponibilidade de radiação solar e uniformidade da lâmina de irrigação complementar proporcionada pela ausência de precipitação, são algumas das justificativas para os resultados obtidos pelos autores serem superiores aos observados no experimento I desta pesquisa, o qual ocorreu em período chuvoso. Quando se compara com os experimentos II e III, realizados em período seco, observa-se que no experimento III em 60 DAS foram alcançados resultados superiores de ADP irrigado com efluente do W2T5 (51,88 cm).

Ainda que os valores de condutividade nos tratamentos com efluente no experimento III sejam inferiores ($2,12 \text{ mS.cm}^{-1}$), deve-se destacar os bons resultados obtidos para ADP neste estudo, uma vez que os autores supracitados trabalharam com elevada concentração de NPK (224; 14,47 e $85,35 \text{ mg.L}^{-1}$, respectivamente) no efluente.

West (2018) também estudou a cultivar de girassol Anão de Jardim irrigada com efluentes em experimento em campo aberto, porém em período chuvoso. A maior ADP média observada pelo autor foi de 35,85 cm aos 70 DAS, em tratamento com efluente tratado por filtro orgânico. Nesse sentido, os resultados alcançados foram bem inferiores aos observados no experimento III deste estudo, em período de tempo de avaliação menor. Evidenciando, dessa forma, os efeitos das condições ambientais na cultura do girassol, em experimentos sob condições não controladas.

Deve-se salientar que ainda que o experimento III tenham proporcionado melhor desempenho para ADP tanto em comparação ao experimento I, em período chuvoso, quanto ao experimento II em período seco, considerando-se que os sistemas *wetlands* W1 e W2 proporcionaram efluentes tratados com condições semelhantes, não pode-se atribuir, completamente, os melhores resultados de ADP no experimento III ao efluente do W2 em detrimento de W1, e sim às condições otimizadas aplicadas à cultura, como a adição de areia ao substrato, visando reduzir a compactação do solo e, possivelmente, ao uso de sementes com maior potencial germinativo e prazo de validade superior.

5.2.4.2 Número de folhas (NF)

Os resultados da ANOVA relativos à variável NF (Tabela 16) não indicaram efeito significativo ($p < 0,05$) em nenhuma das medições realizadas no experimento II. Aos 60 DAS, as plantas com maior NF eram as irrigadas com tratamento W1T4 (100% água cinza sintética W1), com média de 11 folhas. O tratamento com AP, por sua vez, apresentou média de 7,50 folhas em igual período. Nesse sentido, as plantas irrigadas com W1T4 obtiveram um acréscimo de ADP de 31,82 % em comparação com AP.

Ainda que no experimento I não tenha sido avaliada a NF em 60 DAS, observa-se que em 45 DAS os valores de NF obtidos eram inferiores aos encontrados no experimento II para todos os tratamentos avaliados, em igual período. Destaca-se o tratamento W1T4, que apresentou incremento de 58,82 % em NF no experimento II em comparação ao experimento I.

No experimento III, a ANOVA indicou diferenças significativas entre os tratamentos ($p < 0,05$) para NF em 15, 30 e 45 DAS. As plantas com maior NF foram provenientes dos tratamentos W2T2 (50 % de água cinza sintética W2 + 50 % AP) e W2T3 (75 % de água cinza sintética W2 + 25 % AP), com média de 10,75 folhas, em 45 DAS. A maior média de NF para AP, ocorreu em 60 DAS, com 5,50 folhas, 48,83 % a menos que os tratamentos com diluição de efluente do W2 supracitados.

Tabela 16 — ANOVA para a variável número de folhas (NF) do girassol irrigado com diferentes diluições de água cinza sintética tratada em água de poço nos experimentos II e III.

FV	Quadrado médio									
	Número de folhas									
	Experimento II					Experimento III				
	GL	15 DAS	30 DAS	45 DAS	60 DAS	GL	15 DAS	30 DAS	45 DAS	60 DAS
Tratamento	4	0,95 ^{ns}	0,88 ^{ns}	2,00 ^{ns}	16,10 ^{ns}	5	2,27 *	5,74 *	18,38 *	12,34 ^{ns}
Repetições	3	1,25	1,92	2,50	36,10	3	0,67	0,04	7,38	8,04
Resíduo	12	0,75	1,04	0,50	4,10	15	0,67	1,08	3,04	7,81
CV (%)		25,85	19,44	9,43	28,52		25,78	17,40	20,82	30,91
Média	15 DAS	30 DAS	45 DAS	60 DAS	Média	15 DAS	30 DAS	45 DAS	60 DAS	
AP	4,00	5,25	7,00	7,50	AP	3,00 a,b	3,75 a	5,00 a	5,50	
W1T1	3,00	4,75	8,00	7,00	W2T1	2,00 a	6,50 b	7,25 a,b	9,50	
W1T2	3,50	5,00	6,00	3,00	W2T2	4,00 b	6,75 b	10,75 b	9,75	
W1T3	2,75	5,25	8,00	7,00	W2T3	3,00 a,b	6,25 b	10,75 b	10,25	
W1T4	3,50	6,00	8,50	11,00	W2T4	3,00 a,b	5,50 a,b	7,75 a,b	9,50	
					W2T5	4,00 b	7,00 b	10,25 b	9,75	

GL = grau de liberdade; CV = coeficiente de variação; ns = não significativo. * = significativo a 0,05 de probabilidade. a; b = médias com letras diferentes na mesma coluna possuem diferenças significativas entre si.

Fonte: Autor (2025).

No experimento III, apesar de haver diferença estatisticamente significativa entre os tratamentos, não foi possível observar tendência entre a aplicação dos diferentes tratamentos e o efeito sobre a variável NF em 15 DAS, em que AP foi superior ao tratamento W2T1 (25 % de água cinza sintética W2 + 75 % AP).

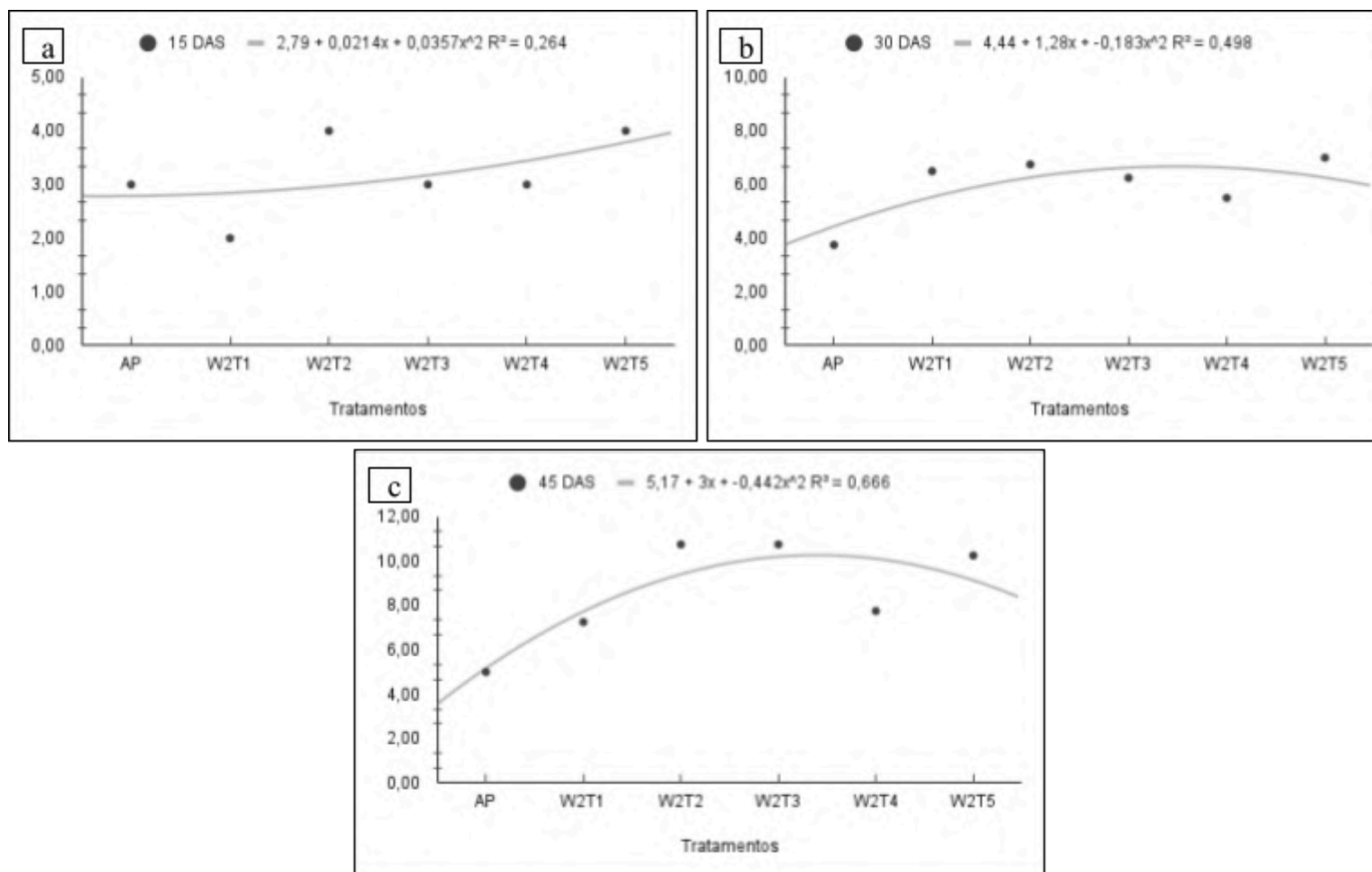
Contudo, os melhores resultados observados nos tratamentos com aplicação de efluente do W2 em relação à AP foram estatisticamente significativos, em 30 e 45 DAS, em que todos os tratamentos com efluente foram superiores para NF.

Em 30 e 45 DAS observou-se tendência semelhante ao verificado na variável ADP, em que o acréscimo nas concentrações dos efluentes com mesmo tipo de substrato proporcionaram acréscimo no NF até certo ponto, em que começou a decair, sendo W2T2 a condição de maior desempenho no NF. Logo após o decaimento, a variável NF volta a aumentar com a mudança do substrato para areia grossa, em W2T5.

Tal fato pode ser observado na Figura 17 (a, b e c), que mostra os resultados da análise de regressão. Foram avaliadas as tendências para as diferentes diluições dos efluentes, em comparação com a água de poço. A equação de ajuste mais adequada foi a polinomial.

Todavia, nota-se a partir dos coeficientes de determinação das equações, que as médias não apresentaram adequada correlação.

Figura 17 — Regressão polinomial do número de folhas em relação às diferentes diluições aplicadas do efluente do W2 em comparação com a água de poço no experimento III, em cada um dos períodos de avaliação.



Fonte: Autor (2025).

Freitas *et al.* (2012), avaliaram o desenvolvimento vegetativo do girassol cultivar Multissol, irrigado com diferentes lâminas de esgoto doméstico tratado e água de poço freático, sob diferentes doses de nitrogênio. Os autores obtiveram maiores médias de número de folhas por planta com valor de aproximadamente 25 folhas, com o uso de água de esgoto na irrigação, diferenciando-se estatisticamente dos resultados obtidos com água de poço cujos valores médios se situaram em torno de 22 folhas por planta.

Apesar dos melhores resultados com a aplicação do efluente em comparação com a água de poço, fato que também foi observado nos experimento II e III deste estudo, os autores supracitados não verificaram significância da adubação nitrogenada, indicando que outros nutrientes presentes na água de reúso podem ter atuado em prol do melhor resultado do número de folhas, sobretudo a presença de macronutrientes (N, P, K) e micronutrientes. Nesse sentido, bons resultados podem ser obtidos apenas com a aplicação do efluente, desde que condições adequadas sejam garantidas à cultura.

Quanto às médias de NF obtidas no experimento III para a cultivar de girassol Anão de Jardim, destaca-se que foram relativamente semelhantes ao relatado na literatura. Oliveira (2017) obteve média de 13,75 folhas aos 40 DAS, pouco superior ao encontrado nos tratamentos W2T2 e W2T3, aos 45 DAS, considerando-se que a autora cultivou o girassol sob condições controladas, em casa de vegetação, diferentemente deste estudo.

5.2.4.3 Diâmetro do caule (DC)

De acordo com a ANOVA realizada (Tabela 17), não foram verificados efeitos significativos ($p > 0,05$) da aplicação dos diferentes tratamentos para a variável DC nos experimentos II e III.

No experimento II observou-se que a cv. de girassol Anão de Jardim estudada obteve a maior média de DC de 4,40 mm para o tratamento com AP. Contudo, destaca-se que para os tratamentos com efluente tratado por W1, em W1T4 (100 % de água cinza sintética W1) foi obtido DC médio bem semelhante, com 3,90 mm.

Os resultados obtidos para DC no experimento II foram superiores aos observados no experimento I para todos os tratamentos avaliados, em 45 DAS, com destaque ao tratamento W1T4, que teve um incremento de 37,46 % no DC no experimento II.

No experimento III, a ANOVA também não indicou diferenças significativas entre os tratamentos ($p < 0,05$) para DC. As plantas com maior DC foram provenientes dos tratamentos W2T5 (100 % de água cinza sintética W2 + substrato com areia grossa) e W2T2 (50 % de

água cinza sintética W2 + 50 % AP), com média de 5,58 mm e 5,53 mm, respectivamente, em 60 DAS. A maior média de DC para AP, também ocorreu em 60 DAS, com 3,60 mm, 35,48 % a menos que os tratamentos com diluição de efluente do W2. A partir destes resultados, é importante destacar que as condições aplicadas no experimento III proporcionaram maior DC para todos os tratamentos com efluente W2, em comparação ao experimento II, em 60 DAS.

A obtenção do maior valor de DC no tratamento W2T5 pode ter sido influenciado positivamente pela adição de areia grossa ao substrato. Conforme apresentado anteriormente na Tabela 7, a areia grossa apresentou maior teor de silte (18,35 g.kg⁻¹) e argila (34,51 g.kg⁻¹), maior porosidade total (0,46 m³.m⁻³) e menor densidade do solo (1,40 g.cm⁻³) em comparação com a areia fina aplicada nos demais tratamentos dos experimentos II e III, o que pode ter favorecido a infiltração de água e a aeração do solo, proporcionando melhores condições de crescimento radicular.

Tabela 17 — ANOVA para a variável diâmetro do caule (DC) do girassol irrigado com diferentes diluições de água cinza sintética tratada em água de poço nos experimentos II e III.

FV	Quadrado médio									
	Diâmetro do caule (mm)									
	Experimento II					Experimento III				
	GL	15 DAS	30 DAS	45 DAS	60 DAS	GL	15 DAS	30 DAS	45 DAS	60 DAS
Tratamento	4	0,09 ^{ns}	0,16 ^{ns}	0,72 ^{ns}	0,59 ^{ns}	5	0,28 ^{ns}	0,40 ^{ns}	2,67 ^{ns}	2,63 ^{ns}
Repetições	3	0,05	0,48	0,20	1,76	3	0,10	0,12	0,20	0,48
Resíduo	12	0,08	0,35	0,86	0,81	15	0,25	0,38	1,01	0,98
CV (%)		9,77	16,90	27,21	25,06		15,57	17,84	22,68	21,58
Média		15 DAS	30 DAS	45 DAS	60 DAS	Média	15 DAS	30 DAS	45 DAS	60 DAS
AP		2,85	3,58	4,45	4,40	AP	2,88	3,05	3,25	3,60
W1T1		2,88	3,45	3,15	3,10	W2T1	3,28	3,65	3,83	3,98
W1T2		2,65	3,78	3,25	3,40	W2T2	2,93	3,48	5,30	5,53
W1T3		2,85	3,30	2,95	3,20	W2T3	3,20	3,30	4,33	4,30
W1T4		3,06	3,30	3,20	3,90	W2T4	3,50	3,28	4,50	4,55
						W2T5	3,48	3,95	5,33	5,58

FV = Fonte de variação GL = grau de liberdade; CV = coeficiente de variação; ns = não significativo.

Fonte: Autor (2025).

Barros (2013) ao avaliar o cultivo do girassol variedade Catissol 01 irrigado com efluente doméstico tratado, o autor constatou que não houve efeitos significativos, sendo que a irrigação com água residuária tratada também proporcionou um acréscimo nos valores

médios de DC em relação à irrigação com água de abastecimento em todas as épocas de avaliação, como também observado no experimento III, deste estudo.

Os valores de DC obtidos nesta pesquisa diferem dos observados na literatura. Para a cultivar Anão de Jardim irrigada com efluente, Silva e Nascimento (2020), ao testarem fontes de irrigação com diferentes níveis de salinidade (água da chuva, água de poço, efluente de fossa e água salobra) notaram que DC médio do girassol Anão de Jardim cultivado em campo aberto e irrigado com efluente de fossa (condutividade de $3,50 \text{ mS.cm}^{-1}$; 224 mg L^{-1} de nitrogênio; $85,35 \text{ mg L}^{-1}$ de potássio e $14,47 \text{ mg L}^{-1}$ de fósforo) foi de 11,88 mm.

Os resultados foram bem parecidos aos obtidos por Oliveira (2015), que cultivou o girassol Anão de Jardim em vasos, sendo irrigado com combinações de água residuária proveniente de estação de tratamento municipal e de água de abastecimento, em casa de vegetação. A autora observou que não houve diferenças significativas entre os tratamentos quanto à altura da planta, todavia, aos 40 dias após o desbaste (48 DAS), o girassol apresentou DC médio de 11,41 mm. A autora utilizou adubação do solo com esterco bovino curtido e efluente com $21,85 \text{ mg L}^{-1}$ de nitrogênio e $29,32 \text{ mg L}^{-1}$ de potássio.

De acordo com West (2018), um DC mais elevado é importante para a sustentação da planta, sendo também muito relevante comercialmente.

Neste estudo, o menor diâmetro do caule observado foi influenciado pela considerável variação entre repetições de um mesmo tratamento. Ainda que a maior média geral tenha sido de 5,53 mm. O maior DC observado foi de 8,50 mm em repetição do tratamento W2T2, sendo mais próximo ao observado na literatura. Destaca-se ainda, que os trabalhos relatados na literatura possuíam maiores concentrações de nutrientes, principalmente nitrogênio e potássio, além de adubação do solo, que não foi realizada neste estudo.

Zobiole *et al.* (2010) estudaram o acúmulo de macronutrientes no cultivo do girassol, obtendo a quantidade absorvida de elementos como nitrogênio, fósforo e potássio e a relação entre eles. Ficou evidenciado que a cultura tem demanda elevada de nitrogênio, potássio e cálcio, sendo que as maiores concentrações de potássio foram observadas nos pecíolos e no caule.

5.2.4.4 Área foliar (AF)

Os resultados da ANOVA relativos à variável AF (Tabela 18) não indicaram efeito significativo ($p < 0,05$) em nenhuma das medições realizadas nos experimentos II e III. No experimento II, as plantas com maior média de AF foram as irrigadas com 100 % de efluente

proveniente do sistema W1, com 29,53 cm², aos 45 DAS. O tratamento com AP obteve resultado ligeiramente inferior, com 28,45 cm², em igual período de avaliação.

Para o experimento III, a maior AF foi obtida no tratamento W2T2, o qual obteve 175,04 cm², seguido pelo W2T5, com média de 75,85 cm², em 60 DAS.

Os valores para a variável AF obtidos no experimento III nos tratamentos com efluente supracitados, foram superiores ao obtido no tratamento com AP em igual período de avaliação, que foi de apenas 9,90 cm², representando um aumento percentual de 94,34 %.

Os resultados de AF no experimento III também foram superiores aos observados no experimento II, aos 60 DAS. Ao comparar os tratamentos com maior média dos dois experimentos, observa-se que o tratamento com W2T2 teve um incremento de 84,77 % em relação ao obtido em W1T4.

Tabela 18 — ANOVA para a variável área foliar (AF) do girassol irrigado com diferentes diluições de água cinza sintética tratada em água de poço nos experimentos II e III.

FV	Quadrado médio									
	Área foliar (cm ²)									
	Experimento II					Experimento III				
	GL	15 DAS	30 DAS	45 DAS	60 DAS	GL	15 DAS	30 DAS	45 DAS	60 DAS
Tratamento	4	3,99 ^{ns}	35,03 ^{ns}	150,60 ^{ns}	278,22 ^{ns}	5	12,62 ^{ns}	415,12 ^{ns}	7.007,99 ^{ns}	12.529,05 ^{ns}
Repetições	3	41,83	384,72	496,78	1.085,57	3	20,13	136,63	5.395,60	10.271,42
Resíduo	12	7,00	35,11	100,54	242,84	15	14,39	202,33	4.174,18	11.037,62
CV (%)		29,57	28,98	43,02	106,97		36,77	48,55	120,87	149,87
Média		15 DAS	30 DAS	45 DAS	60 DAS	Média	15 DAS	30 DAS	45 DAS	60 DAS
AP		9,68	24,50	28,45	16,30	AP	9,50	13,68	14,05	9,90
W1T1		7,63	17,40	19,65	6,95	W2T1	7,30	31,08	27,28	43,55
W1T2		9,08	20,73	14,85	6,36	W2T2	12,13	44,60	131,55	175,04
W1T3		8,30	17,75	24,08	16,58	W2T3	10,80	28,63	51,10	58,46
W1T4		10,08	21,85	29,53	26,65	W2T4	10,28	24,63	34,85	57,81
						W2T5	11,90	33,20	61,90	75,85

FV = Fonte de variação GL = grau de liberdade; CV = coeficiente de variação; ns = não significativo.

Fonte: Autor (2025).

Barros (2013) ao avaliar o cultivo do girassol variedade Catissol 01 irrigado com efluente doméstico, observou padrões semelhantes aos observados neste estudo, no experimento III. Para a variável AF, na avaliação aos 15 dias após o plantio, verificou que a variedade Catissol 01 obteve melhor desempenho quando irrigada com água residuária, com

310,83 cm², em comparação com água de abastecimento que foi de 267,08 cm². (BARROS, 2013).

Melo *et al.* (2018) ao avaliar o crescimento, a produção e a qualidade das cultivares de girassol Bonito de outono e Sol vermelho quando fertirrigadas com água cinza diluída em água de abastecimento em diferentes proporções; tratada por tanque séptico seguido de UASB, observaram a partir dos 45 DAT, que a área foliar aumentou com a estratégia de aplicação 75% efluente + 25% água de abastecimento obtendo assim, melhores resultados quando comparado às demais estratégias, com média de 55,23 cm², abaixo do observado no experimento III deste estudo, para a cultivar Anão de Jardim, em todos os tratamentos com efluente, exceto W2T1.

De acordo com Merrien (1992), para assegurar a produção de um aquênio é preciso no mínimo 1,8 a 2,0 cm² de área foliar. Contudo Oliveira (1995) destaca que o aumento da área foliar implica num aumento da superfície fotossintetizadora, na elevação da superfície assimiladora e, conseqüentemente, no rendimento da planta.

Nesse sentido, ressalta-se que a AF, apesar de ser variável entre diferentes cultivares de girassol, desde que se forneça condições ideais para a cultura, é influenciada positivamente pela presença de nutrientes advindos da aplicação de efluentes, como destacado na literatura e observado também neste estudo.

5.2.4.5 Fitomassas

A Tabela 19 apresenta os resultados da ANOVA das variáveis fitomassa fresca da raiz (FFR), fitomassa seca da raiz (FSR), fitomassa fresca da parte aérea (FFPA) e fitomassa seca da parte aérea (FSPA) para a cultivar de girassol Anão de Jardim, nos experimentos II e III.

Não foram encontradas diferenças significativas ($p < 0,05$) entre os diferentes tratamentos em nenhuma das variáveis relativas à fitomassa nos dois experimentos.

Tabela 19 — ANOVA para as variáveis FFR, FSR, FFPA e FSPA do girassol irrigado com diferentes diluições de água cinza sintética tratada em água de poço nos experimentos II e III.

FV	Quadrado médio									
	Fitomassas (g)									
	Experimento II					Experimento III				
	GL	FFR	FSR	FFPA	FSPA	GL	FFR	FSR	FFPA	FSPA
Tratamento	4	0,22 ^{ns}	0,00 ^{ns}	1,51 ^{ns}	0,02 ^{ns}	5	8,41 ^{ns}	0,09 ^{ns}	41,29 ^{ns}	1,72 ^{ns}
Repetições	3	0,84	0,01	3,15	0,13	3	5,43	0,14	36,19	1,37
Resíduo	12	0,28	0,01	1,33	0,04	15	6,77	0,07	27,38	1,24
CV (%)		63,86	87,10	51,10	43,11		174,35	159,62	123,85	132,05
Média		FFR	FSR	FFPA	FSPA	Média	FFR	FSR	FFPA	FSPA
AP		1,28	0,16	3,09	0,60	AP	0,41	0,04	0,74	0,17
W1T1		0,58	0,05	1,53	0,32	W2T1	1,35	0,15	2,61	0,46
W1T2		0,45	0,05	1,29	0,43	W2T2	4,36	0,45	10,05	1,93
W1T3		0,87	0,08	2,21	0,48	W2T3	0,77	0,07	3,36	0,57
W1T4		0,98	0,11	3,19	0,47	W2T4	0,77	0,09	3,25	0,62
						W2T5	1,30	0,16	5,35	1,33

FV = Fonte de variação GL = grau de liberdade; CV = coeficiente de variação; ns = não significativo.

Fonte: Autor (2025).

De forma similar ao observado neste estudo, Oliveira, (2015) verificou, ao cultivar o girassol Anão de Jardim em vasos, sendo irrigado com combinações de água residuária, que as variáveis relativas à fitomassa não apresentaram significância. Assim como, os valores obtidos por Nascimento *et al.* (2013), ao avaliar os efeitos de águas residuária tratada, de abastecimento e doses de adubo proveniente de composto de resíduos sólidos na produção de flores do girassol Embrapa 122/V20, para as variáveis peso fresco e seco total da planta, também não tiveram efeito significativo.

No experimento II, os maiores valores médios de FFR e FSR foram observados no tratamento com AP, com 1,28 g e 0,16 g, respectivamente. Contudo, os valores obtidos no tratamento com 100 % de efluente advindo do sistema W1 (W1T4) obteve valores similares, com 0,98 g e 0,11 g, para FFR e FSR, respectivamente.

Para a FFPA e FSPA, as tendências observadas foram semelhantes, com os melhores resultados em AP e W1T4. Na FFPA, obteve-se 3,19 g e 3,09 g, respectivamente, para W1T4 e AP, já em FSPA, 0,60 g e 0,47 g, respectivamente, para AP e W1T4.

Para o experimento III, as tendências observadas foram diferentes, com todos os tratamentos com fitomassa apresentando desempenho bem superior que o tratamento com AP,

em todas as variáveis relativas à fitomassa. Os maiores valores médios para todas as variáveis foram alcançados no tratamento W2T2 (50 % de água cinza sintética + 50 % de AP).

Para FFR e FSR, obteve-se em W2T2, 4,36 g e 0,45 g, respectivamente. Para FFPA e FSPA, os valores médios para este tratamento foram de 10,05 g e 1,91 g, respectivamente.

Os valores obtidos no experimento III foram também consideravelmente superiores aos encontrados no experimento III, sendo encontradas diferenças expressivas, como a encontrada para a variável FFPA, que teve um incremento na ordem de 315 %.

Oliveira *et al.* (2012), ao avaliar a fitomassa e a produção do girassol cv. ‘Hélio 251’ em função da irrigação com diferentes níveis de reposição hídrica e adubação potássica, observou melhores resultados utilizando 100% efluente de esgoto tratado, o qual registrou aumento na área foliar, número de folhas e altura de planta em relação à testemunha (água de abastecimento), corroborando com os resultados encontrados nesta pesquisa, utilizando as mesmas condições ambientais e, o substrato de fibra de coco como meio de crescimento.

Malavolta *et al.* (1997) afirmam que o fato de plantas irrigadas com água residuária potencialmente apresentarem maiores fitomassas avaliadas, como observado de forma mais evidente no experimento III deste estudo, deve-se, provavelmente, aos níveis de fósforo presentes, pois tal nutriente tem como função o desenvolvimento do sistema radicular.

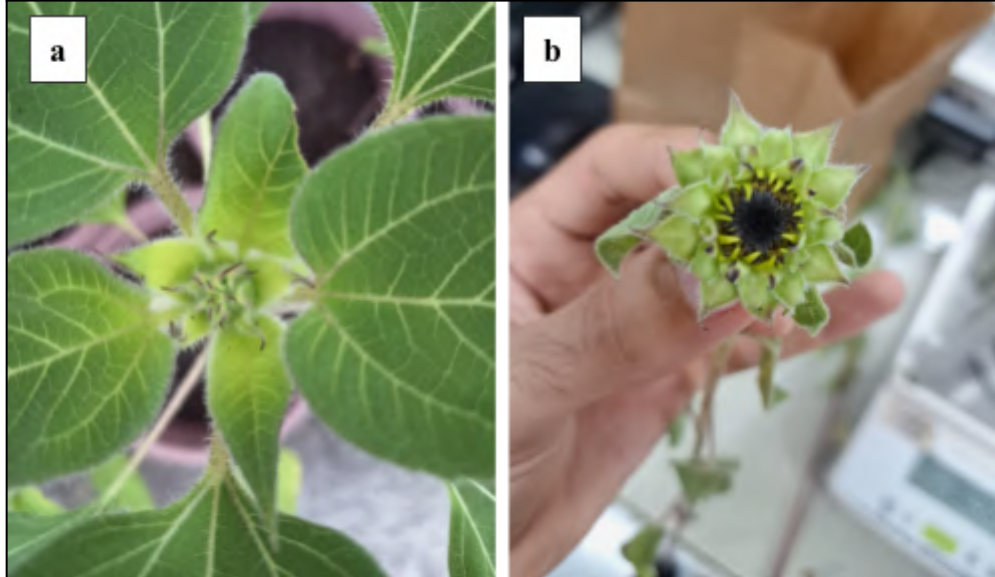
Travassos *et al.* (2011), também ressaltou que as características dos efluentes tratados podem promover alterações na fitomassa girassol, em especial a FFR e FSR. Em seu estudo com níveis de condutividade elétrica em águas para irrigação, ficou evidenciado que a condutividade elétrica provocou um decréscimo de 18,37% da FSR, sendo considerado um fator negativo para o desenvolvimento da cultura. Nesta pesquisa este não foi fator preponderante, uma vez que os tratamentos com efluente tratado possuíam níveis mais elevados de condutividade em comparação com AP.

5.2.4.6 Emissão do botão floral (EBF), início da floração (IF) e abertura total do capítulo (ATC)

Durante o experimento III, a cultivar de girassol Anão de jardim teve a emissão de botão floral (EBF), aproximadamente aos 54 DAS e o início da floração (IF) ocorreu, em média, aos 60 DAS. O tempo médio entre EBF e IF foi de 6 dias. Na Figura 18 são ilustrados exemplares da cultura em ambos os estágios de desenvolvimento. Destacam-se que estas variáveis foram analisadas apenas no experimento III, pois as condições aplicadas nos

experimentos I e II não propiciaram à cultura alcançar estes estágios de desenvolvimento até o último período de acompanhamento (60 DAS).

Figura 18 — Aparecimento do botão floral (a) e início da floração (b) da cultura do girassol no experimento III.



Fonte: Autor (2025).

Para a variável de produção ATC (Figura 19), observou-se que não foi possível observar este estágio de desenvolvimento dentro do ciclo usual da cultivar, de 60 DAS, sendo alcançado aos 66 DAS. O tempo médio entre o estágio IF e o ATC foi de 6 dias.

Figura 19 — Abertura total do capítulo (ATC) do girassol durante o experimento III.



Fonte: Autor (2025).

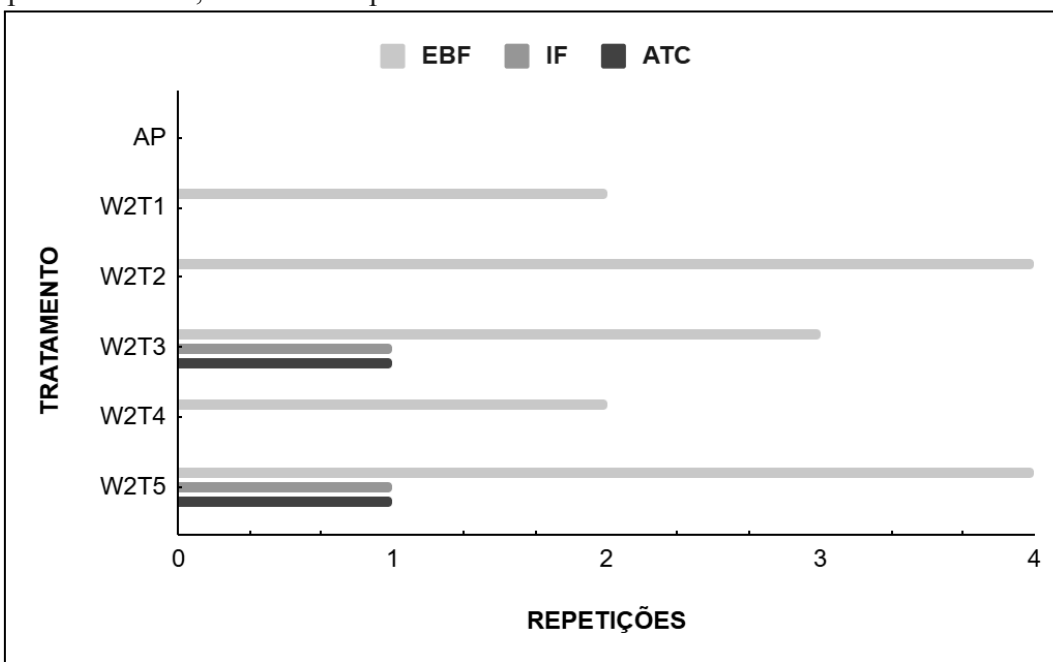
Oliveira (2015) cultivando o girassol Anão de Jardim em vasos, sendo irrigado com combinações de água residuária proveniente de estação de tratamento municipal e de água de abastecimento, em casa de vegetação, observou que a cultivar de girassol Anão de jardim teve a emissão de botão floral (EBF), aproximadamente aos 38 DAS e o início da floração (IF) ocorreu, em média, aos 57 DAS. A abertura total do capítulo (ATC) ocorreu, aproximadamente, aos 60 DAS. Estas variações de dias encontram-se dentro dos padrões do desenvolvimento da cultivar.

Os resultados obtidos neste experimento foram semelhantes aos observados pela autora supracitada para a variável IF. O alcance do nível R5 pela autora dentro do período esperado, pode ter sido influenciado positivamente pelas condições controladas em casa de vegetação as quais foram submetidas às culturas, e a adubação do solo, que não foi realizada neste experimento.

Os tratamentos que alcançaram mais rápido o estágio de EBF no experimento III desta pesquisa foram os tratamentos com efluente W2T3 (75 % de água cinza sintética W2 + 25 % AP) e W2T5 (100 % de água cinza sintética W2 + substrato com areia grossa), aos 51 DAS. Para o IF e ATC, estes estágios foram alcançados somente em duas unidades experimentais (repetições), também nos tratamentos W2T3 e W2T5, aos 60 DAS para IF e 66 DAS para ATC.

Na Figura 20, observa-se que nem todos os tratamentos alcançaram o estágio de desenvolvimento R1 da cultura. Para o tratamento com AP, nenhuma das repetições alcançou os estágios de EBF, IF e ATC, restringindo-se aos tratamentos com efluente de W2.

Figura 20 — Número de repetições que alcançaram os estágios EBF, IF e ATC por tratamento, durante o experimento III.



Fonte: Autor (2025).

Apesar da cultura não ter alcançado o estágio de abertura do capítulo dentro do período esperado, ressalta-se os bons resultados encontrados para as condições analisadas com a aplicação de efluentes em comparação com o tratamento com AP no experimento III, principalmente quanto aos tratamentos W2T3 e W2T5, para as variáveis EBF e IF, corroborando com os padrões observados para as variáveis biométricas investigadas.

Uchôa *et al.* (2011), ao avaliarem os componentes de produção de três cultivares de girassol submetidas a diferentes doses de cobertura de potássio, encontraram grande influência do potássio nas características ligadas à produção dos cultivares. O aumento nas doses desse elemento no solo proporciona a melhoria na produtividade de aquênios e na qualidade dos mesmos. A observação de que as variáveis de produção investigadas não foram alcançadas no tratamento com AP, pode ser um indicativo que a adição de fonte de potássio na água cinza sintética pode ter influenciado positivamente a produtividade da cultura irrigada com efluente tratado por W2.

6 CONCLUSÕES

Os efluentes tratados pelos dois sistemas de *wetlands* construídos cultivados com *Echinodorus subalatus* (W1) e *Typha domingensis* (W2) apresentaram características similares quanto às variáveis físico-químicas e microbiológicas analisadas, mostrando pouca variação durante os experimentos em período chuvoso e seco.

Os sistemas *wetlands* proporcionaram um efluente para reúso com bom teor de matéria orgânica em termos de DQO e nutrientes, em especial fósforo e nitrogênio amoniacal, além de padrões microbiológicos, para *Escherichia coli*.

A utilização das águas cinzas tratadas ou da combinação destas com água de poço na irrigação da cultivar de girassol ornamental cv. Anão de Jardim não interferiram no desenvolvimento inicial e nas variáveis biométricas diâmetro do caule e número de folhas, durante o experimento em período chuvoso.

Plantas de girassol ornamental cv. Anão de Jardim proporcionaram melhor desenvolvimento quando cultivadas no período seco do ano, sendo as condições empregadas no experimento III, em especial as condições ambientais, do substrato e das sementes, as que propiciaram resultados superiores.

No experimento III, as plantas de girassol irrigadas com 100% água de poço apresentaram menor crescimento. O tratamento W2T2 (50% água cinza sintética W2 + 50% AP), apresentou resultados semelhantes ao tratamento com 100 % de efluente e aplicação de substrato com areia grossa (W2T5), apresentando diferenças significativas, para as variáveis altura da planta e número de folhas.

A aplicação de efluente do *wetland* W2 sob as condições investigadas no experimento III, em período seco, foram as mais adequadas para o cultivo do girassol Anão de Jardim, podendo substituir a aplicação de fontes de irrigação usuais, como a água de poço, proporcionando economia de recursos hídricos e desenvolvimento superior das plantas.

6 RECOMENDAÇÕES

- Considerando-se os resultados semelhantes obtidos no experimento III, entre os tratamentos W2T2 (50% de água cinza sintética W2 + 50% de água de poço) e W2T5 (100% de água cinza sintética W2 + substrato com areia grossa), a investigação da aplicação de substrato com areia grossa sob às condições empregadas em W2T2 é recomendada;
- A adubação do solo pode fornecer melhores resultados, conforme relatado na literatura, podendo favorecer para o aumento da produção do girassol dentro do período de ciclo esperado para a cultura. Nesse sentido, para as condições aplicadas em W2T2 e W2T5, pode-se investigar os efeitos da adubação orgânica ou a aplicação de doses crescentes de NPK, conforme recomendações técnicas, porém sempre priorizando a economia de fertilizantes com a utilização do efluente;
- Investigar o aumento da salinidade e o acúmulo de nutrientes no solo após uso prolongado dos efluentes tratados;
- Trabalhos futuros podem avaliar os custos e benefícios econômicos do reúso de efluentes de *wetlands* construídos para cultivo do girassol Anão de Jardim, considerando o investimento inicial, a operação e as potenciais economias com fertilizantes comerciais.

REFERÊNCIAS

- ADELEKE, B. S.; BABALOLA, O. O. Oilseed crop sunflower (*Helianthus annuus*) as a source of food: nutritional and health benefits. **Food Science & Nutrition**, [S.L.], v. 8, n. 9, p. 4666-4684, 31 jul. 2020. Wiley.
- AKINBILE, C. O.; YUSOFF, M. S. Assessing water hyacinth (*Eichhornia crassipes*) and lettuce (*Pistia stratiotes*) effectiveness in aquaculture wastewater treatment. **International Journal Of Phytoremediation**, [S.L.], v. 14, n. 3, p. 201-211, mar. 2012.
- ALBALAWNEH, A.; CHANG, T. K. Review of the greywater and proposed greywater recycling scheme for agricultural irrigation reuses. **International Journal of Research -Granthaalayah**, [S.L.], v. 3, n. 12, p. 16-35, 31 dez. 2015. Granthaalayah Publications and Printers. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/307866723_REVIEW_OF_THE_GREYWATER_AND_PROPOSED_GREYWATER_RECYCLING_SCHEME_FOR_AGRICULTURAL_IRRIGATION_REUSES. Acesso em: 15 ago. 2024.
- ALMEIDA, O. A. de. *et al.* **Qualidade da água de irrigação**. Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura, 2010. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/875385/1/livroqualidadeagua.pdf>. Acesso em: 12 fev. 2025.
- ALMEIDA JÚNIOR, A. B. A. *et al.* Efeito de doses de fósforo no desenvolvimento inicial da mamoneira. **Revista Caatinga**, v. 22, n. 1, p. 217-221, 2009. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/373652942_REVISTA_CAATINGA_-ISSN_0100-316X_EFEITO_DE_DOSES_DE_FOSFORO_NO_DESENVOLVIMENTO_INICIAL_DA_MAMONEIRA_EFFECTS_OF_PHOSPHORUS_DOSES_IN_INITIAL_DEVELOPMENT_OF_THE_CASTOR_BEAN. Acesso em: 12 fev. 2025.
- ANDRADE, D. J. *et al.* Incidence and diversity of arbuscular mycorrhizal fungi and successor herbaceous plants in an agro-system irrigated with produced water. **Symbiosis**, [S.L.], v. 71, n. 3, p. 223-232, 11 jun. 2016.
- ANGELAKIS, A.; SNYDER, S. Wastewater Treatment and Reuse: past, present, and future. **Water**, [S.L.], v. 7, n. 9, p. 4887-4895, 9 set. 2015. MDPI AG. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2073-4441/7/9/4887>. Acesso em: 10 ago. 2024.
- ANZONOWICZ, C.; AMABILE, R. F. **Adubação nitrogenada do girassol, no período chuvoso e na safrinha na Região do Cerrado Planaltina**. Embrapa Cerrado, 2001. 2 p. (Recomendação Técnica, 30). Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/handle/doc/566091>. Acesso em: 10 jan. 2025.
- ARAÚJO JÚNIOR, G. do N. *et al.* Use of Lower Quality Water in Irrigated Agriculture and Effects on Forages with Productive Potential in Semiarid Regions: a review. **Environmental Processes**, [S.L.], v. 10, n. 3, p. 327-355, set. 2023.
- ARDEN, S.; MA, X. Constructed wetlands for greywater recycle and reuse: a review. **Science Of The Total Environment**, [S.L.], v. 630, p. 587-599, jul. 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.02.218>. Disponível em:

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7362998/>. Acesso em: 13 ago. 2024.

ARTICULAÇÃO SEMIÁRIDO BRASILEIRO. **É no semiárido que a vida pulsa**. 2017. Disponível em: < <http://www.asabrazil.org.br/semiarido>> Acesso em: 15 ago. 2024.

BAAWAIN, M. *et al.* Sustainable reuse options of treated effluents: a case study from muscat, oman. **Journal Of Environmental Engineering And Science**, [S.L.], v. 14, n. 4, p. 195-202, 1 dez. 2019.

BAJPAI, M.; KATOCH, S. S.; CHATURVEDI, N. K. Comparative study on decentralized treatment technologies for sewage and graywater reuse – a review. **Water Science And Technology**, [S.L.], v. 80, n. 11, p. 2091-2106, 1 dez. 2019.

BAKARI, Z. *et al.* 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, abr. 2022.

BARROS, H. M. M. **Cultivo do girassol irrigado com efluente doméstico tratado e adubações orgânica e inorgânica**. 2013. 151 f. Tese (Doutorado) - Curso de Doutorado em Engenharia Agrícola, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2013. Disponível em: <http://dspace.sti.ufcg.edu.br:8080/jspui/bitstream/riufcg/28015/1/HELDER%20MORAIS%20MENDES%20BARROS%20-%20TESE%20PPGEA%20CTR%202013.pdf>. Acesso em: 01 ago. 2024.

BERMÚDEZ, V. M. S. **Sistema de wetland construído com macrófita nativa Echinodorus subalatus para tratamento de águas cinzas**. 2022. 113 f. Tese (Doutorado) - Curso de Doutorado em Ecologia e Recursos Naturais, Departamento de Biologia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2022. Disponível em: <https://repositorio.ufc.br/handle/riufc/69601>. Acesso em: 02 ago. 2024.

BEZERRA, B. G.; FIDELES FILHO, J. Análise de crescimento da cultura do algodoeiro irrigada com águas residuárias. **Revista Ciência Agronômica**, v. 3, n. 40, p. 339-345, 02 jun. 2009. Trimestral. Disponível em: <https://www.redalyc.org/pdf/1953/195317389003.pdf>. Acesso em: 11 ago. 2024.

BRASIL. Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil**: 2023. Brasília, DF, 2024. Disponível em: <https://www.snirh.gov.br/portal/centrais-de-conteudos/conjuntura-dos-recursos-hidricos/conjunturainforme2023.pdf>. Acesso em: 11 ago. 2024.

BRASIL. Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. **Manual de Usos Consuntivos da Água no Brasil**. Brasília: DF, 2019. Disponível em: https://www.snirh.gov.br/portal/snirh/centrais-de-conteudos/central-de-publicacoes/ana_manual_de_usos_consuntivos_da_agua_no_brasil.pdf/view. Acesso em: 15 ago. 2024.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução nº 430, de 13 de maio de 2011**. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução no 357, de 17 de março de 2005. Brasília, DF, 2011. Disponível em: <https://conama.mma.gov.br/images/conteudo/LibroConama.pdf>. Acesso em: 11 ago. 2024.

BRASIL. Conselho Nacional de Recursos Hídricos. **Resolução nº 54, de 28 de novembro de 2005**. Estabelece modalidades, diretrizes e critérios gerais para a prática de reúso direto não potável de água, e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, DF, seção 1, 9 mar. 2006. Disponível em:

<http://www.aesa.pb.gov.br/aesa-website/wp-content/uploads/2018/02/Resolu%C3%A7%C3%A3o-n%C2%BA-54-de-28-de-Novembro-de-2005-CNRH.pdf>. Acesso em: 05 ago. 2024.

BRASIL. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Girassol no Brasil**. Londrina, PR. Embrapa Soja, 2005, 641 p. Disponível

em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/468161/girassol-no-brasil>. Acesso em: 10 ago. 2024.

BRASIL. Sistema Nacional de Informações Sobre Saneamento. **Esgotamento Sanitário 2022**. Brasília, DF. SNIS, 2023. Disponível em:

<https://www.gov.br/cidades/pt-br/aceso-a-informacao/acoes-e-programas/saneamento/snis/painel/es>. Acesso em: 11 set. 2024.

BOANO, F. *et al.* A review of nature-based solutions for greywater treatment: applications, hydraulic design, and environmental benefits. **Science Of The Total Environment**, [S.L.], v. 711, p. 134731, abr. 2020.

CASTIGLIONI, V. B. R. *et al.* **Fases de desenvolvimento da planta de girassol**. 1. ed. Londrina: EMBRAPA-CNPS, 26 p, 1997.

CASTRO, C. de. **Boro e estresse hídrico na nutrição e produção do girassol em casa-de-vegetação**. 1999. Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1999. Disponível em: <https://teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11140/tde-20191220-142007/>. Acesso em: 11 jan. 2025.

CEARÁ. Conselho Estadual do Meio Ambiente do Ceará. **Resolução nº 2, de 2 de fevereiro de 2017**. Dispõe sobre padrões e condições para lançamento de efluentes líquidos gerados por fontes poluidoras, revoga as Portarias SEMACE no 154, de 22 de julho de 2002 e no 111, de 5 de abril de 2011, e altera a Portaria SEMACE no 151, de 25 de novembro de 2002, Fortaleza, CE, 2017. Disponível em: <https://www.semace.ce.gov.br/documentos-2/>. Acesso em: 11 ago. 2024.

CHENG, M. *et al.* Crop yield and water productivity under salty water irrigation: a global meta-analysis. **Agricultural Water Management**, [S.L.], v. 256, p. 107105, out. 2021.

COELHO, D. da C. L. *et al.* Fertigation of sunflower crops using landfill leachate. **Revista Caatinga**, [S.L.], v. 31, n. 4, p. 944-953, dez. 2018.

COLLIVIGNARELLI, M. C. *et al.* Reduction of pathogens in greywater with biological and sustainable treatments selected through a multicriteria approach. **Environmental Science And Pollution Research**, [S.L.], v. 30, n. 13, p. 38239-38254, 29 dez. 2022.

COSTA, F. G. B. *et al.* Productive and morphogenetic characteristics of sunflower irrigated with domestic treated wastewater on northeast semiarid area. **Australian Journal Of Crop Science**, [S.L.], v. 12, n. 07, p. 1184-1190, 20 jul. 2018. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/>. Acesso em: 28 jul. 2024.

- CUBA, R. *et al.* Potencial de efluente de esgoto doméstico tratado como fonte de água e nutrientes no cultivo hidropônico de alface. **Ambiente e Agua - An Interdisciplinary Journal Of Applied Science**, [S.L.], v. 10, n. 3, p. 0-1, 3 jul. 2015. Instituto de Pesquisas Ambientais em Bacias Hidrograficas (IPABHi). <http://dx.doi.org/10.4136/ambi-agua.1575>. Disponível em: <https://www.mendeley.com/catalogue/f1db2996-16f6-3088-b721-8d769a0a795c/>. Acesso em: 12 fev. 2025.
- DANTAS, D. da C. *et al.* Production components of sunflower plants irrigated with treated domestic wastewater and drinking water in semiarid region. **Revista Ceres**, [S.L.], v. 66, n. 1, p. 34-40, fev. 2019. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rceres/a/SrFTYH6hgXFBfXNRVmQ8wyj/?lang=en>. Acesso em: 28 jul. 2024.
- DIXIT, S. *et al.* Toxic hazards of leather industry and technologies to combat threat: a review. **Journal Of Cleaner Production**, [S.L.], v. 87, p. 39-49, jan. 2015.
- EBRAHIMIAN, E. *et al.* Seed yield and oil quality of sunflower, safflower, and sesame under different levels of irrigation water availability. **Agricultural Water Management**, [S.L.], v. 218, p. 149-157, jun. 2019.
- EPA. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **Manual guidelines for water reuse**. EPA/625/R-04/108, Set. 2004. Disponível em: <http://www.epa.gov/ORD/NRMRL/>. Acesso em: 05 ago. 2024.
- FAO. FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION. **Crop Water Management: Sunflower**. Rome, 2002. Disponível em: <http://www.fao.org/ag/agl/aglw/cropwater/sunflower.stm>. Acesso em: 12 ago. 2024.
- FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, [S.L.], v. 35, n. 6, p. 1039-1042, dez. 2011. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cagro/a/yjKLJXN9KysfmX6rvL93TSh/?lang=en>. Acesso em: 25 jul. 2024.
- FREITAS, C. A. S. de. *et al.* Crescimento da cultura do girassol irrigado com diferentes tipos de água e adubação nitrogenada. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, [S.L.], v. 16, n. 10, p. 1031-1039, out. 2012. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/PGvdKrxwJkyb3DmzzpY3vwr/>. Acesso em: 13 ago. 2024.
- GAO, H. Method of improving the conversion of Cadmium-containing plant biomass energy under the background of soil pollution. **Energy Reports**, [S.L.], v. 8, p. 10803-10811, nov. 2022.
- GARZÓN, J. M.; MIRANDA, J. P. R.; GÓMEZ, C. H. Aporte de la biorremediación para solucionar problemas de contaminación y su relación con el desarrollo sostenible. **Universidad y Salud**, [S.L.], v. 19, n. 2, p. 309, 30 ago. 2017. Disponível em: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0124-71072017000200309&lng=es&nrm=iss&tlng=es. Acesso em: 11 ago. 2024.
- GHAITIDAK, D. M.; YADAV, K. D. Characteristics and treatment of greywater—a review. **Environmental Science and Pollution Research**, [S.L.], v. 20, n. 5, p. 2795-2809, 10 fev.

2013.

GONÇALVES, I. Z. *et al.* Water relations and productivity of sugarcane irrigated with domestic wastewater by subsurface drip. **Agricultural Water Management**, [S.L.], v. 185, p. 105-115, maio 2017.

GONÇALVES, K. S. *et al.* Growth and production of ornamental sunflower irrigated with dilutions of treated domestic sewage. **Bioscience Journal**, [S.L.], v. 36, n. 5, p. 1535-1543, 4 jun. 2020. Disponível em: <https://seer.ufu.br/index.php/biosciencejournal/article/view/39563>. Acesso em: 13 ago. 2024.

GROSS, A. *et al.* **Greywater Reuse**. Boca Raton: Crc Press, 2015. 301 p.

HACHICHA, R. *et al.* Graywater Treatment with Two Planted Vertical Constructed Wetlands in Series: a pilot study. **Clean – Soil, Air, Water**, [S.L.], v. 50, n. 9, p. 210011-8, 25 jul. 2022.

HESPANHOL, I. A inexorabilidade do reúso potável direto. **Revista DAE**, [S.L.], v. 63, n. 198, p. 63-82, 2015. Disponível em: <https://doi.editoracubo.com.br/10.4322/dae.2014.141>. Acesso em: 21 ago. 2024.

HUANG, M.; LI, Y. M.; GU, G. W. Chemical composition of organic matters in domestic wastewater. **Desalination**, [S.L.], v. 262, n. 1-3, p. 36-42, nov. 2010.

HUSSAIN, M. *et al.* Drought stress in sunflower: physiological effects and its management through breeding and agronomic alternatives. **Agricultural Water Management**, [S.L.], v. 201, n. 3, p. 152-166, mar. 2018.

JIMÉNEZ-BECKER, S.; RAMÍREZ, M.; PLAZA, B. M. The influence of salinity on the vegetative growth, osmolytes and chloride concentration of four halophytic species. **Journal Of Plant Nutrition**, [S.L.], v. 42, n. 15, p. 1838-1849, 5 ago. 2019.

KÖSTER, P. *et al.* The battle of two ions: Ca^{2+} signalling against Na^{+} stress. **Plant Biology**, [S.L.], v. 21, n. 1, p. 39-48, 8 mar. 2018.

LEMOS, M. de. *et al.* The effect of domestic sewage effluent and planting density on growth and yield of prickly pear cactus in the semiarid region of Brazil. **Journal Of Arid Environments**, [S.L.], v. 185, p. 104372-372, fev. 2021.

LIRA, M. A. **Avaliação das potencialidades da cultura do girassol, como alternativa de cultivo no semiárido nordestino**. Revisado por Maria de Fátima Pinto Barreto. Natal: EMPARN, 2011. 40 p.

MAGAÑA, J. D. C. D. L. C. *et al.* Nutrient balance in a constructed wetland system using treated domestic wastewater on ornamental sunflower crops. **Australian Journal Of Crop Science**, [S.L.], v. 16, n. 4, p. 479-487, 1 abr. 2022. Disponível em: https://www.cropj.com/sandri_16_4_2022_479_487.pdf. Acesso em: 03 ago. 2024.

MAINARDIS, M. *et al.* Wastewater fertigation in agriculture: issues and opportunities for improved water management and circular economy. **Environmental Pollution**, [S.L.], v. 296, n. 1, p. 1-118755, mar. 2022.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2. Ed. Piracicaba: Potafos, 1997. 319 p.

MASSOUD, M. A. *et al.* Decentralized approaches to wastewater treatment and management: applicability in developing countries. **Journal Of Environmental Management**, [S.L.], v. 90, n. 1, p. 652-659, jan. 2009. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2008.07.001>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/asoc/a/qn7khwn57XZDgYVpPhTDcfN/>. Acesso em: 12 fev. 2025.

MELO, M. R. de S. *et al.* Strategies for applying gray water effluent on ornamental sunflower crops. **Environmental Science And Pollution Research**, [S.L.], v. 27, n. 31, p. 38537-38544, 4 jul. 2020.

MERRIEN, A. **Physiologie du tournesol**. Paris: CETION, 1992. 66 p.

MOAZZEM, S. *et al.* Microbiome Wetlands in Nutrient and Contaminant Removal. **Current Pollution Reports**, [S.L.], v. 9, n. 4, p. 694-709, 18 set. 2023.

MORAIS, F. A. de. *et al.* Influência da irrigação com água salina na cultura do girassol. **Revista Ciência Agronômica**, [S.L.], v. 42, n. 2, p. 327-336, jun. 2011. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1806-66902011000200010>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rca/a/s4JyxPDjyHvfJwHt5zpt9Wj/>. Acesso em: 09 jan. 2025.

MULPURI, S. A novel strategy to develop powdery mildew resistant phenotypes and diagnose reaction to Golovinomyces latissporus in sunflower (*Helianthus annuus* L.). **Physiological And Molecular Plant Pathology**, [S.L.], v. 131, n. 3, p. 102266-266, maio 2024.

NASCIMENTO, N. V. *et al.* Efeito residual da adubação orgânica no crescimento do girassol. **Revista Verde**, v. 8, n. 2, p. 04-12, abril-junho, (Nota Técnica Científica). 2013. Disponível em: <https://www.semanticscholar.org/paper/Efeito-residual-da-aduba%C3%A7%C3%A3o-org%C3%A2nica-no-crescimento-Nascimento-Lima/9da0dd1b95ae02bf35142b94b9d41918891ff800> Acesso em: 17 jan. 2025.

NORTON-BRANDÃO, D.; SCHERRENBURG, S. M.; VAN LIER, J. B. Reclamation of used urban waters for irrigation purposes – A review of treatment technologies. **Journal of Environmental Management**, [S.L.], v. 122, p. 85-98, jun. 2013.

OLIVEIRA, M. L. A. *et al.* Crescimento e produção de girassol ornamental irrigado com diferentes lâminas e diluições de água residuária. **Irriga**, [S.L.], v. 22, n. 2, p. 204-219, 20 jul. 2017.

OLIVEIRA, M. L. A. **Uso de água residuária para a produção de girassol ornamental**. 2015. 65 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestrado em Engenharia Agrícola, Centro de Ciências Agrárias, Ambientais e Biológicas, Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Cruz das Almas, 2015. Disponível em: <https://www1.ufrb.edu.br/pgea/images/Teses/MARIANA-LAYS-ANDRADE-OLIVEIRA.pdf> . Acesso em: 20 jul. 2024.

PENSERINI, L. *et al.* Tackling climate change through wastewater reuse in agriculture: a prioritization methodology. **Science of the Total Environment**, [S.L.], v. 914, n. 1, p. 1-169862, mar. 2024.

PERULLI, G. D. Beneficial effect of secondary treated wastewater irrigation on nectarine tree

physiology. **Agricultural Water Management**, [S.L.], v. 221, n. 1, p. 120-130, jul. 2019.

PINHEIRO, A. G. *et al.* Lacunas de produtividades e estratégias de cultivo na melhoria da produção de forragem para a região semiárida brasileira - Revisão. **Revista Brasileira de Geografia Física**, [S.L.], v. 14, n. 4, p. 2403-2426, 23 ago. 2021.

PRADO, R. de M.; LEAL, R. M. Desordens nutricionais por deficiência em girassol var. catissol-01. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 3, n. 36, p. 187-193, 24 out. 2007. Disponível em: <https://revistas.ufg.br/pat/article/view/2046>. Acesso em: 15 ago. 2024.

RAD, Shiva Aliyari. *et al.* Mitochondrial Respiration and Energy Production Under Some Abiotic Stresses. **Journal Of Plant Growth Regulation**, [S.L.], v. 41, n. 8, p. 3285-3299, 17 out. 2021.

RAPHAEL, O. D. *et al.* Comparison of the performance of horizontal and vertical flow constructed wetland planted with *Rhynchospora corymbosa*. **International Journal of Phytoremediation**, [S.L.], v. 21, n. 2, p. 152-159, 18 jan. 2019.

REBOUÇAS, L. *et al.* Crescimento do feijão-caupi irrigado com água residuária de esgoto doméstico tratado. **Revista Caatinga**, v. 23, n. 1, p. 97-102, 2010.

RHOADES, J. D.; LOVEDAY, J. **Salinity in irrigated agriculture**. In: STEWART, B. A.; NIELSEN, D. R. Irrigation of agricultural crops. Madison: American Society of Agriculture, 1992. p. 1091-1142 (Agronomy Series, 30).

RODRIGUES, R. dos S. **As dimensões legais e institucionais do reúso de água no Brasil: proposta de regulamentação do reúso no Brasil**. Dissertação (Mestrado). EPUSP-PHD - São Paulo, 2005. 177 p.

PIZARRO, F. **Drenaje agrícola y recuperacion de suelos salinos**. Madrid: Editorial Española, 1985. 542 p.

SANTOS JÚNIOR, J. A. *et al.* Crescimento de girassóis ornamentais sob estresse salino em hidroponia de baixo custo. **Irriga**, [S.L.], v. 21, n. 3, p. 591, 18 jun. 2018. Brazilian Journal of Irrigation and Drainage - IRRIGA. <http://dx.doi.org/10.15809/irriga.2016v21n3p591-604>. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/310660323_CRESCIMENTO_DE_GIRASSOIS_O_RNAMENTAIS_SOB_ESTRESSE_SALINO_EM_HIDROPONIA_DE_BAIXO_CUSTO. Acesso em: 12 fev. 2025.

SANTOS JÚNIOR, J. A. *et al.* Interação urina e efluente doméstico na produção do milho cultivado em solos do semiárido paraibano. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, [S.L.], v. 19, n. 5, p. 456-463, maio 2015. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/9FHn49wGLPx8fXjhwYNJBYf/>. Acesso em: 03 ago. 2024.

SHELEF, O.; GROSS, A; RACHMILEVITCH, S. Role of Plants in a Constructed Wetland: current and new perspectives. **Water**, [S.L.], v. 5, n. 2, p. 405-419, 8 abr. 2013.

SHER, Ahmad. *et al.* Achene yield and oil quality of diverse sunflower (*Helianthus annuus* L.) hybrids are affected by different irrigation sources. **Journal of King Saud University - Science**, [S.L.], v. 34, n. 4, p. 102016, jun. 2022.

SCHNEITER, A. A.; MILLER, J. F. Description of Sunflower Growth Stages1. **Crop Science**, [S.L.], v. 21, n. 6, p. 901-903, nov. 1981. Wiley.
<http://dx.doi.org/10.2135/cropsci1981.0011183x002100060024x>.

SILVA, A. R. A. da. **Irrigação plena e com déficit em diferentes estádios fenológicos da cultura do girassol no semiárido cearense**. 2012. 173 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestrado em Engenharia Agrícola, Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2012. Disponível em:
<https://repositorio.ufc.br/handle/riufc/17398>. Acesso em: 20 ago. 2024.

SILVA, C. J. C. da. **Cultivo do girassol sob diferentes laminas de irrigação com água salobra**. 2016. 73 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestrado em Agronomia, Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2016. Disponível em:
<https://repositorio.ufc.br/handle/riufc/24468?locale=en>. Acesso em: 20 ago. 2024.

SILVA, P. V. S. R.; NASCIMENTO, P. dos S. Sunflower biometrics and chemical salinity attributes of soil irrigated with waters of different qualities. **Ambiente e Agua - An Interdisciplinary Journal Of Applied Science**, [S.L.], v. 15, n. 4, p. 1, 13 jul. 2020. Disponível em:
<https://www.scielo.br/j/ambiagua/a/RsGMRpHWXqCBQ4ZxSNSp9TL/?lang=en>. Acesso em: 10 jan. 2025.. Acesso em: 10 jan. 2025.

SILVA, Y. G. F. da. *et al.* Qualidade de óleo de girassol irrigado com esgoto doméstico tratado. **Química: Ciência, Tecnologia e Sociedade**, [S. L.], v. 2, n. 2, p. 46-56, nov. 2013. Disponível em: <https://periodicos.apps.uern.br/index.php/QCTS/article/view/1423/1360>. Acesso em: 15 ago. 2024.

SILVA, S. D. P. da. **Cultivo de girassol ornamental para corte em condições semiáridas**. 2017. 70 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestrado em Agronomia - Produção Vegetal., Ciências Agrárias, Universidade Federal do Vale do São Francisco, Petrolina, 2017. Disponível em: <http://www.producaovegetal.univasf.edu.br/Arquivos/sheila.pdf>. Acesso em: 03 ago. 2024.

SINHA, I.; BUTTAR, G.S.; BRAR, A.S. Drip irrigation and fertigation improve economics, water and energy productivity of spring sunflower (*Helianthus annuus* L.) in Indian Punjab. **Agricultural Water Management**, [S.L.], v. 185, p. 58-64, maio 2017.

SOLER, C. *et al.* Evaluación de humedales artificiales de flujo libre superficial con macrófitas acuáticas flotantes. **Ingeniería del Agua**, [S.L.], v. 22, n. 2, p. 69, 27 abr. 2018. Disponível em: <https://polipapers.upv.es/index.php/IA/article/view/8596>. Acesso em: 03 ago. 2024.

SOLER, C. Performance evaluation of artificial wetlands with floating macrophytes (Lemnas) in the treatment of urban effluents. **International Journal of Hydrology**, [S.L.], v. 3, n. 2, p. 129-136, 03 abr. 2019. Disponível em:
<https://medcraveonline.com/IJH/performance-evaluation-of-artificial-wetlands-with-floating-macrophytes-lemnas-in-the-treatment-of-urban-effluents.html>. Acesso em: 03 ago. 2024.

SOUSA, A. F. *et al.* Changes in soil soluble salts and plant growth in a sandy soil irrigated with treated water from oil extraction. **Agricultural Water Management**, [S.L.], v. 193, p. 13-21, nov. 2017.

- SOUSA, J. R. M. de. *et al.* Germinação de sementes de girassol cv. BRS 324 submetidas a estresse salino simulado por NaCl. **Agropecuária Científica no Semiárido**, v. 3, n. 8, p. 123-127, set. 2012. Trimestral. Disponível em: <https://acsa.revistas.ufcg.edu.br/acsa/index.php/ACSA/article/view/466/pdf>. Acesso em: 29 jul. 2024.
- SOUZA, C. F. *et al.* Potencial de efluente de esgoto doméstico tratado como fonte de água e nutrientes no cultivo hidropônico de alface. **Ambiente e Água - An Interdisciplinary Journal of Applied Science**, [S.L.], v. 10, n. 3, p. 574-586, 3 jul. 2015. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ambiagua/a/WZJppVKzFyZT7gmFj7wWyny/abstract/?lang=pt>. Acesso em: 03 ago. 2024.
- THOMAZ, G. L. *et al.* Produção do girassol e teor de óleo nas sementes em diferentes épocas de semeadura no Centro-Sul do Paraná. **Ciência Rural**, [S.L.], v. 42, n. 2, p. 203-208, 14 fev. 2012. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cr/a/gZrSPCTGWGHzdvtQL4L8LmB/?lang=pt>. Acesso em: 04 ago. 2024.
- TOLK, J. A.; HOWELL, T. A. Sunflower water productivity in four Great Plains soils. **Field Crops Research**, [S.L.], v. 127, p. 120-128, fev. 2012.
- TRAVASSOS, K.D. *et al.* Crescimento e produção de flores de girassol irrigado com água salobra. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**. Fortaleza, v. 5, n. 2, p. 123-133, 2011.
- UCHÔA, S. C. P. *et al.* Adubação de potássio em cobertura nos componentes de produção de cultivares de girassol. **Revista Ciência Agronômica**, [S.L.], v. 42, n. 1, p. 8-15, mar. 2011. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1806-66902011000100002>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rca/a/8Sy8mfjNmmWTJPYQygvLzkG/>. Acesso em: 06 fev. 2025.
- UNICEF. UNITED NATIONS CHILDREN 'S FUND. **Water Security for All report**. 2021. Disponível em: <https://www.unicef.org/media/95241/>le/water-security-for-all.pdf. Acesso em: 11 ago. 2024.
- VITORELLO, V. A. *et al.* Recent advances in aluminum toxicity and resistance in higher plants. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, v. 17, n. 1, p.129-143, 2005.
- VYMAZAL, J. Plants used in constructed wetlands with horizontal subsurface flow: a review. **Hydrobiologia**, [S.L.], v. 674, n. 1, p. 133-156, 17 maio 2011.
- WEST, L. G. M. **Uso de efluentes domésticos tratados na cultura do girassol (*Helianthus annuus* L.)**. 2018. 115 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental, Departamento de Tecnologia, Universidade Estadual de Feira de Santana, Feira de Santana, 2018. Cap. 1. Disponível em: https://bdtd.ibict.br/vufind/Record/UEFS_3cea2c5cca31af80fb533ac086e8725f. Acesso em: 20 jul. 2024.
- WU, S. Treatment of industrial effluents in constructed wetlands: challenges, operational strategies and overall performance. **Environmental Pollution**, [S.L.], v. 201, p. 107-120, jun. 2015.
- WU, Z. *et al.* Evaluation of irrigation water saving and salinity control practices of maize and sunflower in the upper Yellow River basin with an agro-hydrological model based method.

Agricultural Water Management, [S.L.], v. 278, p. 108157, mar. 2023.

YASUOR, H.; YERMIYAHU, U.; BEN-GAL, A. Consequences of irrigation and fertigation of vegetable crops with variable quality water: Israel as a case study. **Agricultural Water Management**, [S.L.], v. 242, p. 106-362, dez. 2020.

ZHANG, D. Q. *et al.* Nutrient removal in tropical subsurface flow constructed wetlands under batch and continuous flow conditions. **Journal of Environmental Management**, [S.L.], v. 96, n. 1, p. 1-6, abr. 2012.

ZOBIOLE, L. H. S. *et al.* Marcha de absorção de macronutrientes na cultura do girassol.

Revista Brasileira de Ciência do Solo, [S.L.], v. 34, n. 2, p. 425-434, abr. 2010.

FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-06832010000200016>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbcs/a/6md7Hr7F8YxsztwmL3Gw9qR/?lang=pt>. Acesso em: 05 fev. 2025.