

JESIELE SILVA DA DIVINCULA

**CULTIVO DE SOJA IRRIGADA COM ESGOTO DOMÉSTICO TRATADO SOB
IRRIGAÇÃO CONTÍNUA E PULSADA**

JESIELE SILVA DA DIVINCULA

RECIFE-PE
JUNHO, 2025

JESIELE SILVA DA DIVINCULA

**CULTIVO DE SOJA IRRIGADA COM ESGOTO DOMÉSTICO TRATADO SOB
IRRIGAÇÃO CONTÍNUA E PULSADA**

Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação
em Engenharia Agrícola da Universidade Federal
Rural de Pernambuco, Recife, como requisito para
obtenção do título de Doutora em Engenharia
Agrícola.

Orientador:
Prof. Doutor Ênio Farias de França e Silva

RECIFE-PE
JUNHO, 2025

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação Sistema
Integrado de Bibliotecas da UFRPE Bibliotecário(a): Suely
Manzi – CRB-4 809

D618c Divincula, Jesiele Silva da.

Cultivo de soja irrigada com esgoto doméstico tratado
sob irrigação contínua e pulsada / Jesiele Silva da
Divincula. – Recife, 2025.

62 f.; il.

Orientador(a): Ênio Farias de França e Silva.

Tese (Doutorado) – Universidade Federal Rural de
Pernambuco, Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Agrícola, Recife, BR-PE, 2025.

Inclui referências.

1. Soja . 2. Água - Reuso. 3. Irrigação . 4. Esgoto
doméstico 5. Uso da água de esgoto. I. Silva, Ênio
Farias de França e, orient. II. Título

JESIELE SILVA DA DIVINCULA
Engenheira Agrônoma

**CULTIVO DE SOJA IRRIGADA COM ESGOTO DOMÉSTICO TRATADO SOB
IRRIGAÇÃO CONTÍNUA E PULSADA**

Tese apresentada à Universidade Federal Rural de Pernambuco, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, para obtenção do Título de Doutora em Engenharia Agrícola.

DEFENDIDA E APROVADA em 08 de Agosto de 2025.

Banca Examinadora

Prof. Dr. Ênio Farias de França e Silva – DEAGRI/UFRPE
Presidente/Orientador

Prof. Dr. Breno Leonan de Carvalho Lima - DTR/UFRPE
Examinador Externo à Instituição

Prof. Dr. Cícero Gomes dos Santos
Examinador Externo à Instituição - UFAL

Prof. Dr. Márcio Aurélio Lins dos Santos
Examinador Externo à Instituição - UFAL

Prof. Dr. Manassés Mesquita da Silva
Examinador Interno à Instituição - DEAGRI/UFRPE

Aos meus pais,
Maria Giselda e José Osmar,
por me ensinarem acima de tudo a ter honestidade,
integridade e terem feito por mim o melhor que puderam
com os recursos que tinham. Mãe, obrigada por me mostrar
Jesus todos os dias através da vida da senhora.

DEDICO

Aos meus irmãos
Janiel, Jesivaldo, Jesivan e Janiele,
as minhas cunhadas,
Regina, Emily e Adriane,
e aos meus amados sobrinhos
Janine, Lis, Júlia e Heitor por serem meu alicerce sempre.

OFEREÇO

AGRADECIMENTOS

Primeiro que tudo, agradeço ao **Criador do Universo, meu Amado Jesus**, pelas inúmeras vezes que a dor e o desespero tomavam conta da minha alma e o Senhor estava lá.

Nos agradecimentos nominais, a pessoa que merece TUDO é minha mãe, Maria Giselda Silva da Divincula. Minha mãe, horas agricultoras, horas costureira, sempre MÃE. É ela a mulher que fez e faz absolutamente tudo pelos filhos. Deixem-me ser breve quanto a história dela, casou aos 19 anos, teve 6 filhos, estudou até a antiga 4ª série e sempre nos dizia que estudar era o único caminho. Quando eu tinha 23 anos, finalizei a graduação e precisava ir para Minas Gerais fazer mestrado e vi minha mãe começar chorar uma semana antes, é óbvio, ela, assim como eu, tinha tantos medos, eu nunca tinha saído de Alagoas, ainda mais sozinha, para um lugar que não conhecia ninguém. Ainda assim, essa mulher NUNCA me disse não vá, minha filha. Essa mulher cobriu e cobre minha vida com suas orações e bençãos. Mãe, a senhora é a força que pulsa em mim todos os dias.

Meu pai, José Osmar da Divincula, que apesar de ser analfabeto e não saber incentivar direito, sempre nos quis na escola. Resultado disso, hoje, eu, filha de um agricultor e uma costureira me torno doutora em Engenharia Agrícola. Mãe e Pai, o que vocês fizeram por seus filhos foi e é brilhante!

Meus irmãos, Jesiel Silva da Divincula (*in memoriam*), Janiel Silva da Divincula, Jesivaldo Silva da Divincula, Jesivan Silva da Divincula e Janiele Silva da Divincula. Sobre eles, ouvi uma frase que me tocou profundamente: “Nossos pais se vão cedo demais, nossos parceiros e filhos chegam tarde demais, nossos irmãos talvez sejam as únicas pessoas que estão conosco em toda nossa jornada”. Com todo meu amor, obrigada!

As minhas amadas cunhadas Regina, Emily e Adriane, obrigada, por serem minhas irmãs e terem me permitido sentir o amor mais o profundo por mundo por Janine, Lis, Júlia e Heitor, meus amados sobrinhos.

As minhas tias Maria e Marineide, por todo amor a mim devotado durante toda a minha vida.

Que presente é ter amigos, então agora começo agradecê-los:

Obrigada, Sirleide por mesmo antes que eu chegasse em Recife dizer: Jeeh, conte comigo para o que precisar, inclusive me acolheu na sua casa, jamais esquecerei disso.

Meus queridos amigos de grupo de estudo, como Deus foi bom colocando vocês em meu caminho: Alexandre, George, Geraldo, Kenny, Anderson, Raliuson e Ediclécio. Ao

Geraldo e Kenny faço ainda um agradecimento adicional pelo auxílio na montagem dos experimentos e pelos momentos compartilhados em Recife. Como sempre me referi a eles, justamente com Silvio, meus queridos amigos estrangeiros.

Obrigada, Giselle. Você é daquelas raras pessoas que aparece em nossa vida e, simplesmente gosta da gente. Sem interesses, sem justificativas. Essa tese só está sendo defendida porque você me ajudou quando mais precisei. Jamais me esquecerei disso.

Meus profundos agradecimentos à Mariana e Gabriel pela condução dos experimentos junto comigo. À Martha, Alfredo, Aparecido, Kézia, Flávia, Lara e Edimir pelo auxílio nas análises. Obrigada Brenna, Katia e Ivis pela prontidão em ajudar quando precisei.

A minha querida e brilhante vizinha e amiga, Telma, por ter me acolhido em tantos momentos difíceis. Amo você!

A Ana Paula Neri, secretária do PPGEA, por ser tão agradável, solícita e disponível para ajudar em qualquer necessidade. Obrigada!

A minha amiga, Liandra Luna, por tudo que vivemos em Recife. Pelas longas conversas, pelas gargalhadas.

Aos meus sempre presentes amigos da graduação Joslanny e Laylton. Obrigada por serem quem são para mim!

Meu profundo agradecimento ao professor Gerônimo pelo tempo despendido para entender e resolver os problemas que surgiram ao longo da condução dos experimentos e todas as contribuições no projeto e qualificação. Muita gratidão!

Obrigada também ao professor Amilton pela disposição em ajudar e sempre estar perguntando se ia tudo bem.

Meus queridos amigos de pós que levarei sempre comigo, José Edson, Taize, Raissa, Thayná, Marcos Vinicius, Agnes.

Aos funcionários da universidade Glauco, Edson, Clovis e demais colaboradores nem tenho palavras para agradecer tudo que fizeram por mim, lembrarei de vocês sempre com muito carinho.

Agora, não menos importante quero expressar minha eterna gratidão ao professor Ênio Farias de França e Silva, meu desejo era que todo pós-graduando pudesse ter um orientador como ele. Professor Ênio me acolheu, me entendeu e mais que isso foi humano quanto a tudo que se passava. Minha eterna gratidão, professor!

Ao professor Manassés nem sei se palavras descreveria tudo que o senhor fez por mim, desde a concepção do sistema, momentos nos quais ele, literalmente, desenhou para mim, as preocupações nas mensagens “Jesiele, tudo bem? Me dê notícias sobre o experimento”, até as palavras de encorajamento sempre que me encontrava. Sou muito grata!

A Fundação Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes), pela concessão da bolsa.

Neste momento gostaria de fazer dois agradecimentos muito especiais.

1. Ao professor Márcio Aurélio Lins dos Santos, meu orientador de graduação, ele já me acompanha há mais de uma década e sempre me disse “pequena, você consegue”. Obrigada por absolutamente TUDO!
2. Ao professor Thieres Freire, apesar de nunca ter lecionado para mim, Thieres tantas vezes me ensinou com palavras, ações, longas conversas ao telefone e assim como Márcio, sempre me disse “pequena, você consegue”. Sem ele essa tese jamais teria sido concluída. Levarei isso para toda minha vida.

Este projeto foi financiado pela Fundação de Amparo à Pesquisa de Pernambuco (FACEPE) (IBPG-1151-5.03/2019) e Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).

Muito profundo agradecimento a todos os participantes das minhas bancas ao longo do processo (defesa de projeto, qualificação e defesa de tese). Que honra tê-los como colaboradores na construção dessa pesquisa.

E aqui cito alguns versículos bíblicos que nortearam minha trajetória nesse doutorado.

*“Se não fosse o Senhor, que esteve ao nosso lado, ora, diga Israel;
Se não fosse o Senhor, que esteve ao nosso lado, quando os homens se
levantaram contra nós,
Eles então nos teriam engolido vivos, quando a sua ira se acendesse contra nós”*
(Sl 124. 1-3)

*“Mesmo quando eu andar
por um vale de trevas e morte,
não temerei perigo algum, pois **tu estás comigo**;
a tua vara e o teu cajado me protegem”* (Sl 23.4)

E por último,

*“O Senhor é o meu pastor, **nada** me faltará”* (Sl 23.1)

“Desistir? Eu já pensei seriamente
nisso, mas nunca me levei realmente a
sério”.

(Cora Coralina)

"Sem a curiosidade que me move, que
me inquieta, que me insere na busca,
não aprendo nem ensino".

(Paulo Freire)

BIOGRAFIA

Jesiele Silva da Divincula, filha de José Osmar da Divincula e Maria Giselda Silva da Divincula, nasceu na cidade de Junqueiro-AL em março de 1994, no qual permaneceu até os 15 anos, mudando-se para Teotônio Vilela - AL. Finalizou o ensino médio no ano de 2011, mesmo ano que foi aprovada no Exame Nacional do Ensino Médio para o curso de Agronomia pela Universidade Federal de Alagoas, iniciando as aulas em janeiro de 2013 e finalizando o curso em 13 de julho de 2017. Ao longo do curso foi monitora de Cálculo I e II, Experimentação Agrícola e Seminário Integrador II. Além disso, foi participante do Grupo Irriga, coordenador pelo Prof. Dr. Márcio Lins dos Santos, no qual atuou também como supervisora no período de janeiro a junho de 2017. Em agosto de 2017 ingressou no Programa de Pós-graduação em Engenharia Agrícola pela Universidade Federal de Viçosa – MG, submetendo-se a defesa e aprovação da dissertação em julho de 2019. Ainda em julho de 2019 foi aprovada no processo seletivo para o curso de Doutorado no Programa de Pós-graduação em Engenharia Agrícola pela Universidade Federal Rural de Pernambuco sob orientação do Prof. Dr. Ênio Farias de França e Silva, tratamentos com a avaliação do reúso de água na cultura da Soja (*Glycine max*), submetendo-se a defesa em agosto de 2025.

RESUMO: A produção de soja apresenta grande importância para o Brasil, figurando o país como maior produtor mundial da oleaginosa. A elevada demanda hídrica da cultura faz com que a adoção da irrigação seja necessária para a segurança da produção em regiões de baixos índices ou má distribuição pluviométrica, como é o caso de grande parte da região Nordeste. Porém, a exigência de racionalização e otimização dos recursos hídricos requer a adoção de alternativas que minimizem a quantidade de água utilizada na produção da cultura, e assim, a reutilização de água surge como alternativa ao problema de escassez e auxílio na economia de água potável. Neste sentido, é objetivo do presente o estudo do cultivo da soja submetida a irrigação contínua e pulsada utilizando frações de esgoto doméstico tratado. Foram desenvolvidos dois experimentos com a cultura da soja em ambiente protegido localizado no Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), na cidade de Recife – PE. Os experimentos foram conduzidos de maneira individualizada, sendo o primeiro em esquema fatorial $5 \times 2 + 2$, distribuídos em delineamento com blocos casualizados e quatro repetições, o qual tinha como primeiro fator, 5 níveis de diluição de esgoto doméstico tratado (EDT), sendo: N1 – 0% de EDT e 100% de água de abastecimento; N2 – 25% de EDT e 75 % de água de abastecimento; N3 – 50% de EDT e 50% de água de abastecimento, N4 – 75% de EDT e 25 % de água de abastecimento e N5 – 100% de EDT e 0% de água de abastecimento. O segundo fator referiu-se ao tipo de aplicação da irrigação, sendo: P1 – lâmina total em uma única aplicação (irrigação contínua); P2 – lâmina de irrigação dividida em 4 aplicações com intervalo de 30 minutos (quatro pulsos). Para o primeiro experimento teve-se ainda 2 tratamentos adicionais, considerados como testemunha, sendo eles: T1 – adubação mineral convencional + irrigação contínua e T2 - adubação mineral convencional + irrigação pulsada. Para o segundo experimento o esquema fatorial foi 5×2 , semelhante ao primeiro, eliminando-se os tratamentos adicionais. Os pulsos de irrigação foram espaçados com intervalo de 30 minutos entre eles. O manejo da irrigação foi feito via solo pelo princípio da lisimetria de drenagem. Foram avaliados parâmetros biométricos (altura de planta – AP (cm), diâmetro do caule – DC (cm), taxa de crescimento absoluto caulinar – TCAC (cm dia⁻¹) e taxa de crescimento absoluto da espessura do diâmetro (TCAD cm dia⁻¹), massa fresca – MF (g) e massa seca – MS (g) e massa seca dos grãos – MSG (g), como o auxílio de balança de precisão, contabilizado o número de vagens por planta – NVP (unidade), número de grãos por vagem – NGV (unidade) e o número de grãos por planta – NGP (unidade) e posteriormente foi feita a estimativa da massa de mil grãos – MMG (g) e estimativa de produtividade – EP (kg ha⁻¹), fotossíntese – A ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), condutância estomática – gs ($\mu\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), concentração interna de CO₂ – Ci (mmol m⁻² s⁻¹) e transpiração – E (mmol H₂O m⁻² s⁻¹). Os dados obtidos serão submetidos a análise estatística com o auxílio do software R. Para o experimento 1, houve efeito significativo para as variáveis DC, MF, MS, TCAD, U(A), MSG, NVP, NGV, NGP, A, gs, e E. Já para o experimento 2 foi observado efeito significativo para o DC, TCAC, MS, U(A), MFG, MSG, NVP, EP, AP, U(G) e Ci. As maiores frações do esgoto doméstico tratado proporcionaram melhor desenvolvimento para a cultura, sendo ainda mais beneficiado quando combinado a aplicação pulsada.

Palavras-chave: *Glycine max* (L.) Merr, Reuso de água, Irrigação de alta frequência.

ABSTRACT: Soybean production is very important for Brazil, as the country is the world's largest producer of this oilseed. The high water demand of this crop makes the adoption of irrigation necessary for production safety in regions with low or poorly distributed rainfall, as is the case in much of the Northeast region. However, the need for rationalization and optimization of water resources requires the adoption of alternatives that minimize the amount of water used in crop production, and thus, water reuse emerges as an alternative to the problem of scarcity and aid in saving drinking water. In this sense, the objective of this study is to study soybean cultivation subjected to continuous and pulsed irrigation using fractions of treated domestic sewage. Two experiments were developed with soybean cultivation in a protected environment located at the Department of Agricultural Engineering of the Federal Rural University of Pernambuco (UFRPE), in the city of Recife - PE. The experiments were conducted individually, the first in a 5x2+2 factorial scheme, distributed in a randomized block design with four replications, which had as the first factor, 5 levels of dilution of treated domestic sewage (EDT), being: N1 - 0% of EDT and 100% of supply water; N2 - 25% of EDT and 75% of supply water; N3 - 50% of EDT and 50% of supply water, N4 - 75% of EDT and 25% of supply water and N5 - 100% of EDT and 0% of supply water. The second factor referred to the type of irrigation application, being: P1 - total depth in a single application (continuous irrigation); P2 - irrigation depth divided into 4 applications (four pulses). For the first experiment, there were two additional treatments, considered as controls, namely: T1 - conventional mineral fertilization + continuous irrigation and T2 - conventional mineral fertilization + pulsed irrigation. For the second experiment, the factorial scheme was 5x2, similar to the first, eliminating the additional treatments. The irrigation pulses were spaced with a 30-minute interval between them. Irrigation management was carried out via the soil using the principle of drainage lysimetry. Biometric parameters were evaluated (plant height - AP (cm), stem diameter - DC (cm), absolute stem growth rate - TCAC (cm day⁻¹) and absolute growth rate of diameter thickness (TCAD cm day⁻¹), fresh mass - MF (g) and dry mass - MS (g) and dry mass of grains - MSG (g), with the aid of a precision scale, counting the number of pods per plant - NVP (unit), number of grains per pod - NGV (unit) and the number of grains per plant - NGP (unit) and subsequently the mass of a thousand grains - MMG (g) and productivity estimate - EP (kg ha⁻¹), photosynthesis - A (μmol CO₂ m⁻² s⁻¹), stomatal conductance - gs (μmol H₂O m⁻² s⁻¹), internal CO₂ concentration - Ci (mmol m⁻² s⁻¹) and transpiration - E (mmol H₂O m⁻² s⁻¹). The data obtained will be subjected to statistical analysis with the aid of R software. For experiment 1, there was a significant effect for the variables DC, MF, MS, TCAD, U(A), MSG, NVP, NGV, NGP, A, gs, and E. For experiment 2, a significant effect was observed for DC, TCAC, MS, U(A), MFG, MSG, NVP, EP, AP, U(G) and Ci. The larger fractions of treated domestic wastewater provided better development for the crop, which was further enhanced when combined with pulsed application.

Keywords: Glycine max (L.) Merr, Water reuse, High-frequency irrigation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Grupos de Maturidade Relativa predominantes em cada região do Brasil.	18
Figura 2: Produtos e subprodutos da cultura da Soja.	23
Figura 3: Participação do Agronegócio no Produto Interno Bruto (PIB) brasileiro ao longo dos anos.	24
Figura 4: Localização da área experimental na Universidade Federal de Pernambuco – UFRPE.	30
Figura 5: Bancada com unidades experimentais (A); Preenchimento dos vasos com brita (B), bidim (C) e solo (D).	32
Figura 6: Semeadura da cultura da soja nas unidades experimentais (A) e desbaste deixando apenas uma planta por vaso (B).	35
Figura 7: Níveis de diluição do esgoto doméstico tratado (A); Motobombas acopladas aos reservatórios dos níveis de diluição (B).	36
Figura 8: Composição do sistema de distribuição dos tratamentos em campo (A) e esquema (B).	37
Figura 9: Avaliação do Coeficiente de Uniformidade de Distribuição do sistema de irrigação.	38
Figura 10: Estrutura dos temporizadores para programação dos pulsos de irrigação (A); Programação diária (B).	40
Figura 11: (A) Altura de Planta (Exp.1); (B) Diâmetro do Caule (Exp.1); (C) Altura de Planta (Exp.2); (D) Diâmetro do Caule (Exp.2).	41
Figura 12: Comportamento da Umidade Relativa e Temperatura no período experimental.	43
Figura 13: Desdobramento dos níveis do fator 2 (ND) dentro do fator 1 (TA) para as variáveis diâmetro do caule – DC (cm), taxa absoluta de crescimento da espessura caular – TACD (cm), massa seca – MS (g), umidade da parte aérea – U(A) (%), massa fresca dos grãos – MFG (g), massa seca dos grãos – MSG (g), número de vagem por planta – NVP (unidade) e estimativa de produtividade – EP (kg ha^{-1}).	52
Figura 14: Comportamento da massa fresca – MF (g), umidade da parte aérea – UA (%), número de grãos por planta – NGP (unidade), número de grãos por vagem – NGV (unidade) e concentração interna de CO_2 – Ci ($\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$).	55

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Fases fenológicas da cultura da Soja.	19
Tabela 2: Coeficiente de cultivo estabelecido para as fases de desenvolvimento da cultura da Soja.	22
Tabela 3: Características químicas e físicas do solo utilizado para o preenchimento dos vasos do experimento 1, oriundo da cidade de Carpina – PE.	30
Tabela 4: Características químicas e físicas do solo utilizado para o preenchimento dos vasos do experimento 2, oriundo da cidade de Goiana – PE.	31
Tabela 5: Características físico-químicas do Esgoto Doméstico Tratado (EDT) utilizado para a irrigação da cultura da soja.	33
Tabela 6: Classificação dos sistemas de irrigação de acordo com o coeficiente de uniformidade de distribuição (CUD) proposta por Keller e Karmelli (1974).	38
Tabela 7: Resumo da análise de variância para as avaliações realizadas para a variável altura de planta (AP), diâmetro do caule (DC), taxa de crescimento absoluto caulinar (TCAC), taxa de crescimento da espessura caulinar (TCAD), massa fresca (MF), massa seca (MS), umidade parte aérea (U(A)), massa fresca dos grãos (MFG), massa seca dos grãos (MSG), umidade dos grãos (U(G)), número da vagem por planta (NVP), número de grãos por vagem (NGV), número de grãos por planta (NGP), massa de mil grãos (MMG), estimativa de produtividade (EP), fotossíntese (A), condutância estomática (gs), concentração interna de CO ₂ (Ci) e transpiração (E) para o experimento 1.	44
Tabela 8: Teste de Médias para massa fresca – MF (g), massa seca – MS (g) e estimativa de produtividade – EP (kg ha ⁻¹).	48
Tabela 9: Resumo da análise de variância para as avaliações realizadas para a variável altura de planta (AP), diâmetro do caule (DC), taxa de crescimento absoluto caulinar (TCAC), taxa de crescimento da espessura caulinar (TCAD), massa fresca (MF), massa seca (MS), umidade parte aérea (U(A)), massa fresca dos grãos (MFG), massa seca dos grãos (MSG), umidade dos grãos (U(G)), número da vagem por planta (NVP), número de grãos por vagem (NGV), número de grãos por planta (NGP), massa de mil grãos (MMG), estimativa de produtividade (EP), fotossíntese (A), condutância estomática (gs), concentração interna de CO ₂ (Ci) e transpiração (E) para o experimento 2.	51
Tabela 10: Teste de Média para a altura de planta – AP (cm).	56

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO GERAL	16
2. OBJETIVOS.....	17
2.1. OBJETIVO GERAL.....	17
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	17
3. HIPÓTESES.....	17
4. REVISÃO DE LITERATURA	17
4.1. A CULTURA DA SOJA	17
4.2. IMPORTÂNCIA ECONÔMICA DA SOJA PARA O BRASIL	23
4.3. IRRIGAÇÃO E O IMPACTO DA RESTRIÇÃO HÍDRICA SOBRE AS CULTURAS	25
4.3.1. RESTRIÇÃO HÍDRICA PARA A SOJA	26
4.4. UTILIZAÇÃO DE ÁGUAS RESIDUÁRIAS DE ESGOTO DOMÉSTICO PARA A IRRIGAÇÃO	28
5. MATERIAL E MÉTODOS	29
5.1. DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	29
5.2. COMPOSIÇÃO DOS TRATAMENTOS	32
5.3. SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO E MANEJO DA IRRIGAÇÃO.....	35
5.4. ANÁLISES REALIZADAS.....	40
6. RESULTADOS E DISCUSSÃO	42
6.1. EXPERIMENTO 1	43
6.2. EXPERIMENTO 2	50
7. CONCLUSÕES.....	56
8. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	56
9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	56

1. INTRODUÇÃO GERAL

A produção de soja (*Glycine max* [L.] Merrill) no Brasil apresenta elevada importância econômica, haja vista o país ser o maior produtor mundial da cultura e esta ter representado cerca de 32,8% do valor exportado pelo agronegócio em 2024 (AGROSTAT, 2024). A cultura apresenta considerável exigência hídrica, cerca de 850 mm ciclo⁻¹ (SEDIYAMA; SILVA; BORÉM, 2015), e por assim ser, a utilização da irrigação torna-se importante como seguradora de produção e mitigadora de problema de escassez e má distribuição hídrica, situação frequente na região Nordeste do Brasil.

Santos et al. (2015) destacam que a irrigação é uma das principais técnicas que contribui para o aumento da produtividade das culturas. Apesar disso, o setor agrícola vem frequentemente sofrendo pressão pela população e órgãos públicos no sentido de otimizar a utilização de água bem como adotar medidas que possibilitem a minimização da quantidade de água utilizada (SOUZA et al., 2016).

Neste sentido, nos últimos anos tem surgido pesquisas relacionadas a irrigação pulsada, que consiste no fracionamento da lâmina de irrigação, aplicando-a em ciclos de aplicação-reposo até que toda a lâmina seja aplicada (MENEZES et al., 2020), a qual é caracterizada por reduzir a velocidade de infiltração da água no solo e aumentar a umidade na camada superficial do mesmo (CRUZ et al., 2021). As vantagens da irrigação pulsadas associam-se ainda a redução das perdas por percolação e quantidade de água aplicada e aumento na eficiência de uso da água (ALMEIDA; LIMA; PEREIRA, 2015; ZAMORA et al., 2019). Apesar disso a disponibilidade de água de boa qualidade para o uso agrícola nem sempre ocorre, exigindo a busca por alternativas como a reutilização de água.

A reutilização de água de maneira planejada é uma opção para o suprimento hídrico das culturas e atenuante da quantidade de água utilizada na produção agrícola (CARVALHO et al., 2019). Além da economia de água potável, é importante pontuar o benefício ambiental associado ao reúso de água, seja pela não deposição do efluente em rios e lagos ou pela reciclagem de nutrientes (MENDES; BASTOS; SOUZA, 2016).

Outro importante aspecto a ser considerado sobre o reúso de água é o nutricional, uma vez que os nutrientes contidos no efluente podem suprir necessidades nutricionais das culturas e conseqüentemente diminuir a necessidade de aquisição de fertilizantes, reduzindo o custo de produção (CARVALHO et al., 2019).

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GERAL

Avaliar os efeitos da aplicação de frações de esgoto doméstico tratado via irrigação contínua e pulsada sobre os aspectos biométricos e fisiológicos da cultura da soja cultivada em dois tipos de solo.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Identificar se o gotejo pulsado proporciona melhor desenvolvimento e maiores produtividades para cultura da soja.

Determinar o melhor percentual de diluição do efluente de esgoto doméstico tratado ser utilizado no cultivo da soja.

3. HIPÓTESES

A irrigação pulsada com frações de esgoto doméstico tratado proporcionará maior produtividade para a cultura da soja.

As plantas de soja condicionadas ao tratamento com adubação convencional apresentarão comportamento agrônomo e produtivo similar as fertirrigadas com as maiores frações de esgoto doméstico tratado.

Com água de reuso e gotejamento pulsado será possível obter desenvolvimento e produtividade equivalentes ao gotejamento contínuo com água de abastecimento e adubação convencional.

4. REVISÃO DE LITERATURA

4.1. A CULTURA DA SOJA

A soja, cujo nome científico é *Glycine max* (L.) Merr, pertence à família *Fabaceae* e é uma planta de porte herbáceo e ciclo de vida variando de 70 a 200 dias, sendo as condições climáticas fatores primordiais na antecipação ou retardamento do ciclo (SILVA et al., 2022). De acordo com Sedyama; Teixeira; Barros (2009), a maioria das cultivares adaptadas as condições climáticas do Brasil tem ciclos variando de 90 a 150 dias. O ciclo de vida das cultivares de soja eram anteriores classificados em semiprecoce, precoce, médio, semitardio e

tardio, no entanto, esta é uma classificação que torna-se adequada apenas quando se trata de cultivos dentro da faixa de adaptação da cultivar, variando com deslocação para norte ou sul, e neste sentido, surgiu uma nova classificação, distribuindo as cultivares em grupos de maturação relativa (GMR), em função da sua localização (SILVA et al., 2022).

A classificação em GMRs foi inicialmente proposta pelos Estados Unidos e divide as cultivares em 14 grupos, a saber, 0000;000;00;0;1;2;3;4;5;6;7;8;9;10, sendo o 0000 o grupo com as cultivares adaptadas a regiões com dias mais longos e o 10 o grupo de cultivares mais adaptadas a regiões tropicais com fotoperíodos mais curtos. Os GMRs podem ainda ser subdivididos em escala decimal, sendo a adição de cada decimal referente a mais um dia de ciclo (PROCÓPIO et al., 2022). Na figura 1 estão apresentados os GMRs predominantes em cada região do Brasil. Quanto ao hábito de crescimento, pode ser determinado ou indeterminado, dependendo da cultivar.

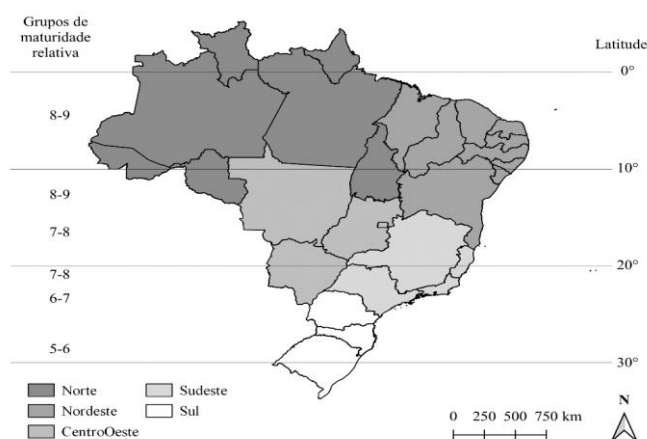
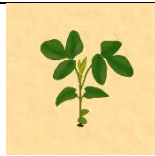
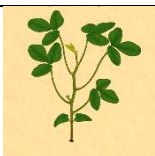


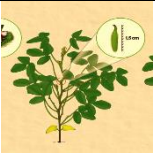
Figura 1: Grupos de Maturidade Relativa predominantes em cada região do Brasil.

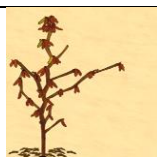
Fonte: Adaptado da Embrapa, 2011

O desenvolvimento da cultura se dá em duas fases, vegetativa (V) e reprodutiva (R) sendo a duração de cada uma determinada pelos traços genéticos e altamente influenciada pelas condições climáticas, especialmente para a fase vegetativa. A determinação de cada etapa da fase da cultura é feita por meio de observações em órgãos das plantas, como folhas, flores, vagens e sementes, conforme pode ser visto na Tabela 1 (SILVA et al., 2022).

Tabela 1: Fases fenológicas da cultura da Soja.

Fase Vegetativa		V ₁	Um par de folhas unifolioladas (um nó)
		V ₂	Primeiro trifólio completamente desenvolvido (dois nós)
		V ₃	Dois trifólios completamente desenvolvido (três nós)
		V ₄	Três trifólios completamente desenvolvido (quatro nós)
		V ₅	Quatro trifólios completamente desenvolvido (cinco nós)
		V ₆	Cinco trifólios completamente desenvolvido (Seis nós)
	...	V _n	n trifólios completamente desenvolvido (n+1 nós)
		R ₁	Uma flor aberta em quatro nó na haste principal

Fase Reprodutiva		R ₂	Uma flor aberta em um dos dois nós superiores na haste principal com folha completamente desenvolvida
		R ₃	Vagem de 0,5 a 2,0 cm em um dos quatro nós superiores na haste principal
		R ₄	Vagem completamente desenvolvida (>2,0 cm) em um dos quatro nós superiores na haste principal
		R _{5.1}	Enchimento dos grãos (<10% de granação) em um dos quatro nós superiores na haste principal
		R _{5.3}	Enchimento dos grãos (26 a 50% de granação) em um dos quatro nós superiores na haste principal
		R _{5.5}	Enchimento dos grãos (76 a 100% de granação) em um dos quatro nós superiores na haste principal
		R ₆	Grão cheio ou completo em um dos quatro nós superiores na haste principal
		R ₇	Início da maturação. Uma vagem com coloração madura na haste principal



R₈

Maturação Plena. Mais de 95% das vagens com coloração de madura

Fonte: Adaptado de Embrapa (2016)

A radiação solar é um dos principais fatores relacionando a produtividade das culturas em razão da sua associação com o processo fotossintético. Para a cultura da soja a maior eficiência do uso da radiação é especialmente importante na fase de enchimento dos grãos, e para tal, a cultura ajusta o limbo foliar deixando-o perpendicular aos raios solares, de modo que otimize a absorção dos raios solares durante todo o dia (SILVA et al., 2022). Quando emitida a radiação solar pode ser refletida, absorvida ou transmitida, e o que define o que ocorrerá no processo é densidade e disposição das folhas, sendo importante a utilização de cultivares adequadas a região de modo que o índice de área foliar (IAF) não seja afetado em função da inadequação.

O fotoperíodo é o principal fator que determina a duração de cada fase de desenvolvimento da cultura em função da sua associação ao florescimento, e assim afetar o crescimento e maturação da cultura. De acordo com Procópio et al. (2022), para a região intitulada SEALBA, referente a região de produção de Sergipe, Alagoas e Bahia, o fotoperíodo dura de 11,4 a 11,7 h na fase vegetativa. Por se tratar de uma cultura de ciclo C3, a soja necessita de uma concentração mínima de CO₂ para completar seu processo fotossintético, o chamado *ponto de compensação*, que para tal considera-se 40 ppm de CO₂ a 25 °C (SILVA et al., 2022.)

Outro importante fator de influência sob o ciclo da cultura é a disponibilidade hídrica, sendo as fases de germinação, emergência, florescimento e enchimento de grãos as mais críticas. Para a germinação, por exemplo, considera-se que a umidade do solo deva estar entre 50 e 85% da capacidade de campo (SILVA et al., 2022). A deficiência hídrica na fase reprodutiva da cultura resulta em fechamento estomático, enrolamento das folhas e abortamento de flores e vagens, impactando diretamente na produção. A necessidade hídrica da cultura varia de 450 a 800 mm, e a amplitude se dá a variação da demanda evapotranspirométrica e duração do ciclo e vida. Na Tabela 2 estão apresentados os valores de coeficiente de cultivo estabelecidos para as fases de desenvolvimento da cultura.

Tabela 2: Coeficiente de cultivo estabelecido para as fases de desenvolvimento da cultura da Soja.

Períodos de desenvolvimento	Kc
Semeadura-emergência	0,30 a 0,40
Emergência-Início do florescimento	0,70 a 0,93
Início do florescimento-Surgimento das vagens	1,10 a 1,23
Surgimento das vagens-50% das folhas amarelas	0,70 a 1,10
50% das folhas amarelas- maturação	0,40 a 0,62

Fonte: Silva et al. (2022)

Tendo em vista a vasta diversidade encontrada no Brasil, tanto de ecossistemas quanto de solo e clima, a Embrapa realizou pesquisas em todo o país com o objetivo de definir cultivares com melhores adaptações regionais (PEREIRA; KLEPKER; MOREIRA, 2011). O grupo de maturidade relativa determina a duração do ciclo da cultura, isto é, quanto mais próximo do 5 mais precoce é a cultivar ao passo que, quanto mais próximo do 10 mais tardia é a cultivar. Considerada uma planta de dias curtos, a escolha da cultivar de soja de acordo com o GMR é imprescindível para o bom desenvolvimento das plantas, a fim de que não haja retardo no ciclo (SILVA et al, 2022).

Na região nordeste, pesquisas vem demonstrando potencial para a produção da cultura, especialmente em função do calendário de cultivo, tornando a região potencialmente produtora de sementes para a região Sul e Centro-Oeste. A tabela 1 apresentam as cultivares pesquisadas pela Embrapa que apresentaram melhores desempenhos da região nordeste, caracterizadas quanto ao Grupo de Maturidade Relativa (GMR) e Hábito de Crescimento (HC) (PROCÓPIO, et al., 2022). Dentre as cultivares estudadas a FT 1192IPRO, caracterizada por ser de hábito de crescimento determinado e pertencente ao GMR 9.2, portanto uma cultivar de ciclo tardio, foi a que apresentou o melhor desempenho em 2017, tendo atingido uma produtividade de 87 sc ha⁻¹ (PROCÓPIO et al., 2019).

Quanto à temperatura, a cultura da soja apresenta boa adaptação na faixa de 0 a 30 °C, sendo esta última considera ideal para seu desenvolvimento. As altas temperaturas tendem a induzir o florescimento precoce, enquanto que temperaturas baixas tendem a prolongar a fase vegetativa da cultura. A temperatura é também importante no processo de fixação biológica de

nitrogênio, pois temperaturas muito elevadas tendem a limitar o processo, e se associadas ao estresse hídrico ocorre agravamento considerável (SILVA et al., 2022).

Quanto a sua utilização, a soja apresenta uma vasta diversidade de produtos e subprodutos utilizados tanto para alimentação humana e animal quanto na industrialização de produtos cosméticos e fármacos, por exemplo. Na figura a seguir é possível visualizar alguns dos diversos produtos originários da produção de soja (ADEALQ, 2024)

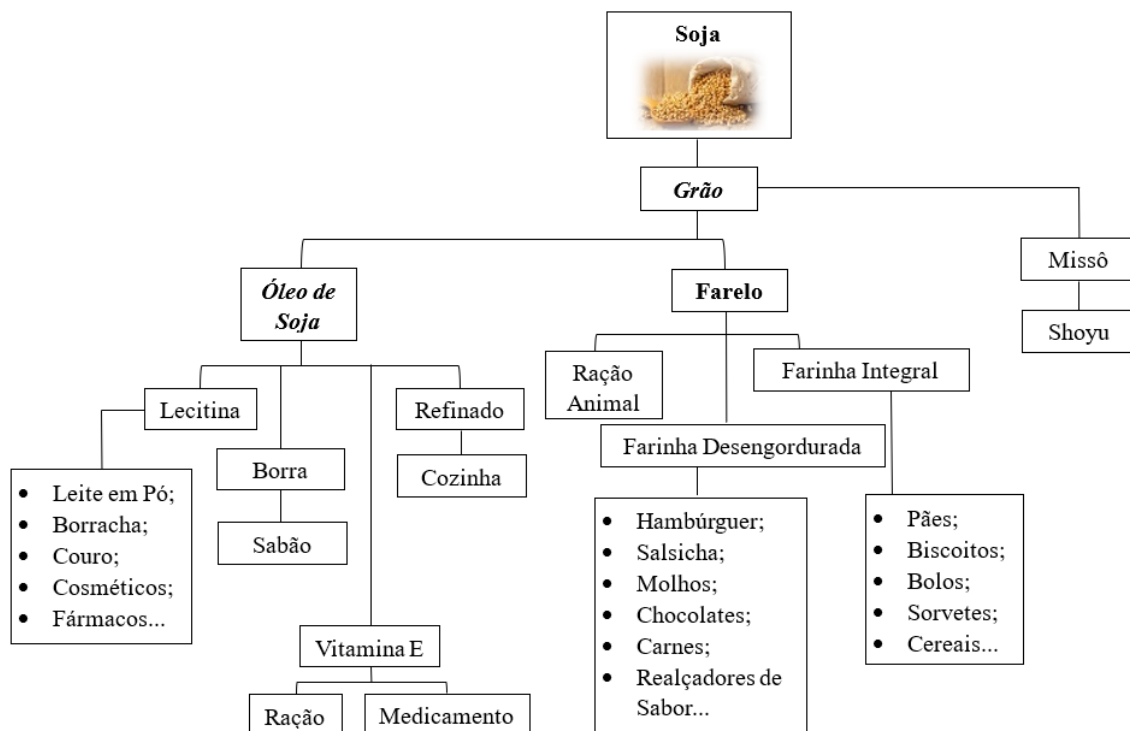


Figura 2: Produtos e subprodutos da cultura da Soja.

Fonte: Adaptado de ADEALQ, 2024.

4.2. IMPORTÂNCIA ECONÔMICA DA SOJA PARA O BRASIL

Na safra 23/24, de acordo com o Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA), foram produzidas 394,714 milhões de toneladas de soja no mundo (USDA, 2024). Permanecendo o Brasil como o maior produtor mundial do grão, com uma produção de 153 milhões de toneladas, valor este 5% inferior a produção de 162 milhões de toneladas da safra anterior. A produção brasileira correspondeu a 39% da produção mundial, seguido por 29% (113,27 milhões de toneladas) para os Estados Unidos e 12% (48,1 milhões de toneladas) para a Argentina, sendo o restante da produção dividida entre China, Índia, Paraguai, Canadá,

Rússia, Ucrânia e Bolívia. No contexto nacional, os estados de Mato Grosso, Rio Grande do Sul e Paraná se apresentam como maiores produtores, os quais foram responsáveis por 26,7%, 13,3% e 12,5 % desta produção, respectivamente.

No Brasil, o agronegócio é um setor de elevada importância econômica evidenciado pelo fato de vir constantemente apresentando aumento no seu percentual de participação no Produto Interno Bruto (PIB) brasileiro. Como pode ser visto na figura 3, dados do Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada (CEPEA) demonstram um aumento de 62% na participação entre os anos de 2013 e 2023. Em 2023, o agronegócio foi responsável por 24% de todo o valor gerado no PIB brasileiro, valor equivalente a R\$2,6 trilhões de reais (CEPEA, 2024).

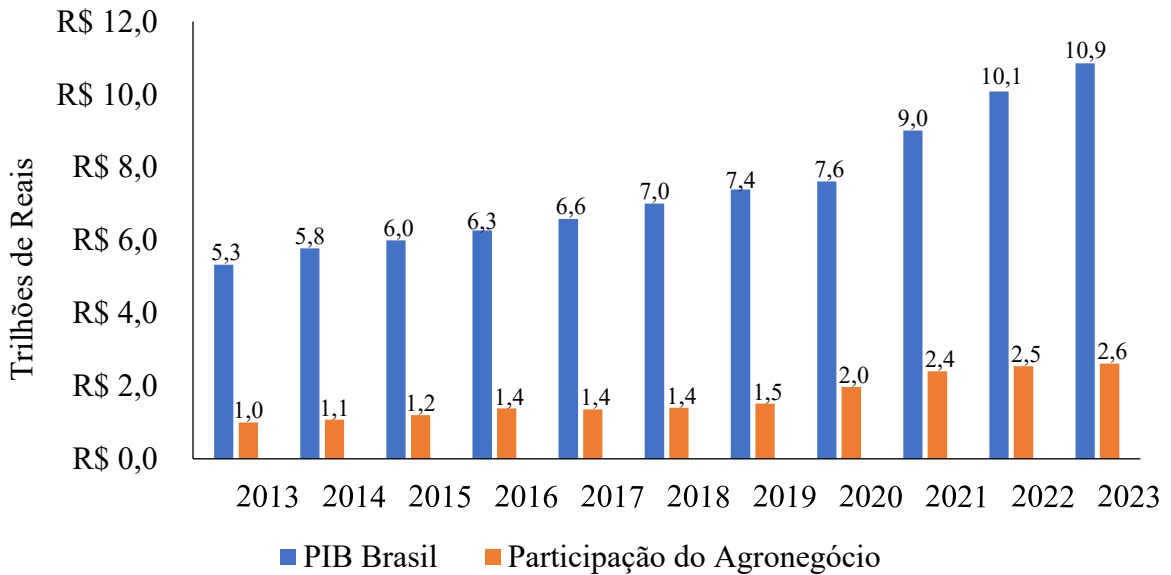


Figura 3: Participação do Agronegócio no Produto Interno Bruto (PIB) brasileiro ao longo dos anos.

anos. Fonte: (CEPEA, 2024)

Quanto a destinação da soja brasileira, é preciso entender as subdivisões do chamado Complexo Soja, haja vista que os dados de exportação se dividem em soja grão, farelo de soja, óleo de soja refinado, óleo de soja bruto e demais óleos de soja. Em 2024, valor gerado pela exportação dos produtos do complexo soja foi de US\$ 53,94 bilhões de dólares, equivalente a 32,8% de todo valor gerado exportado pelo agronegócio brasileiro, dos quais 79,6%% corresponderam a soja grão, 17,7% ao farelo de soja e 2,42% de óleo de soja. A China é o principal país importador de grãos de soja, tendo em 2024 recebido cerca de 73,33% do

quantitativo exportado; o farelo de soja tem como principal importador a Indonésia para a qual foram destinados 16,7%; o óleo de soja bruto brasileiro é em grande parte exportado pela Índia, tendo correspondido a 56,15%; (AGROSTAT, 2024).

4.3. IRRIGAÇÃO E O IMPACTO DA RESTRIÇÃO HÍDRICA SOBRE AS CULTURAS

A irrigação consiste na disponibilização, por meio artificial, de água para as plantas de modo a suprir sua necessidade hídrica. A técnica visa a disponibilização em momento e quantidade adequados. São três os métodos de disponibilização hídrica para as plantas: *Irrigação por Superfície*, *Irrigação por Aspersão* e *Irrigação Localizada* (MANTOVANI; BERNARDO; PALARETTI, 2007).

A *Irrigação por Superfície* é o método mais antigo e consiste em sistemas, em geral, sem pressurização em que a disponibilização é feita distribuída pela superfície por gravidade. O método apresenta caracteriza-se por um elevado consumo de água e baixa eficiência de aplicação quando não se tem o dimensionamento e manejo adequado. Em geral, pode ser dividida em Irrigação por Sulco, Irrigação por Faixa, Irrigação por Inundação e Subirrigação (MANTOVANI; BERNARDO; PALARETTI, 2007).

A *Irrigação por Aspersão* é um método que consiste em simular a chuva. O método em geral necessita de um sistema de bombeamento e apresenta bastante aplicabilidade em função da sua fácil adaptação aos diferentes tipos de cultura. Em geral, o sistema apresenta boa uniformidade de aplicação e pode ser dividido em sistemas do tipo: móvel (portátil e semiportátil) e fixo (MANTOVANI; BERNARDO; PALARETTI, 2007).

A *Irrigação Localizada* consiste nos métodos mais recentes de disponibilização de água, os quais objetivam a aplicação próximo a região radicular das plantas. De maneira geral, os métodos apresentam alta eficiência de aplicação e elevada eficiência do uso da água pelas plantas. Os sistemas podem ser divididos em aplicação por gotejamento, com emissores (gotejadores) localizados próximo a raiz, ou microaspersão, com emissores (microaspersores) fazendo uma simulação de chuva próximo a zona radicular (MANTOVANI; BERNARDO; PALARETTI, 2007).

A restrição hídrica pode ser definida com a condição em que existe alguma escassez hídrica, podendo ser esta em função de irregularidade pluviométrica, uso inadequado dos recursos hídricos ou mesmo pelo aumento populacional, gerando desbalanço entre a oferta e

demanda. As atividades agrícolas, de maneira geral, são responsáveis pela utilização de grandes volumes de água.

De acordo com a Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) dos 100% de água retirada das fontes superficiais e subterrâneas no Brasil em 2019, 30% correspondeu ao consumo por evaporação líquida e 70% ao consumo pelos setores usuários, dentre ele a irrigação, responsável pelo consumo de 49,8% da água, seguida por 24,3 % para consumo humano urbano, 9,7 % pelas indústrias, 8,4% para uso animal, 4,5% para as termelétricas, 1,7% para a mineração e 1,6% para o consumo humano rural (Figura 4) (ANA, 2022a).

4.3.1. RESTRIÇÃO HÍDRICA PARA A SOJA

No contexto da produção vegetal, a restrição hídrica traz diversas implicações sobre o crescimento e desenvolvimento das culturas. A água é participante de diversos processos fisiológicos das plantas, os quais ficam comprometidos em caso de ausência. A cultura da soja, de acordo com Silva et al. (2022), para as condições brasileiras tem uma exigência hídrica que varia de 450 a 800 mm por ciclo, sendo essa faixa variável em função da demanda evaporativa da atmosfera e da duração do ciclo.

O déficit hídrico afeta significativamente a produtividade da soja, influenciando características morfofisiológicas como comprimento da raiz, peso seco e relação raiz-parte aérea (MORBIDINI et al., 2024). Diferentes estratégias de irrigação, incluindo irrigação deficitária, impactam o rendimento de grãos de soja, a eficiência do uso da água e o teor de óleo e proteína nas sementes, com reduções no rendimento e na eficiência do uso da água observados em condições de água reduzida (MATOŠA KOČAR et al., 2023). Estudos realizado por Lopes et al. (2023) sobre cultivares de soja sob irrigação deficitária mostram que algumas cultivares são mais tolerantes ao déficit hídrico durante vários estágios fenológicos, com diferenças na altura da planta, número de folhas e produção de massa seca da parte aérea observadas.

Com relação aos efeitos do déficit hídrico nas variáveis morfofisiológicas da soja, (AZIEZ et al., 2023) destaca que o estresse hídrico afeta a síntese de hormônios de crescimento como auxinas, resultando em plantas mais curtas. Xu et al. (2023) por sua vez, demonstraram que, em condições de seca, variedades de soja com maior tolerância à seca apresentam estômatos menores, maior densidade estomática e menor condutância estomática, auxiliando na manutenção de um equilíbrio dinâmico entre a taxa fotossintética e a condutância estomática. Além disso, as respostas fisiológicas da soja ao déficit hídrico variam dependendo do estágio

de desenvolvimento, com as características vegetativas sendo drasticamente afetadas quando o déficit hídrico é induzido ao longo do ciclo de produção (LOPES et al., 2023).

O déficit hídrico na soja leva a adaptações morfofisiológicas que visam reduzir a perda de água. Estudos têm demonstrado que, em condições de déficit hídrico, as plantas de soja apresentam área foliar reduzida, com folhas menores e diminuição do tamanho das células estomáticas e da camada externa das folhas, mais especificamente à epiderme foliar, resultando em maiores densidades estomáticas (MANO; MADORE; MICHEKBAR, 2023). Essa redução no tamanho das folhas é mais pronunciada na soja em comparação ao milho, com a soja também desenvolvendo folhas mais grossas sob estresse severo.

Morsy et al. (2022), trabalhando com 6 genótipos de soja no Egito identificaram os genótipos H4L4 e H6I198 como mais tolerantes à disponibilidade reduzida de água durante diferentes estágios fenológicos. Essas adaptações, juntamente com variações no desenvolvimento estomático e na plasticidade anatômica das folhas, contribuem para a capacidade da planta de minimizar a transpiração e lidar com a escassez de água, demonstrando a resiliência da planta aos estresses ambientais (MORBIDINI et al., 2024). No Brasil, Cabral (2020) trabalhando com 22 cultivares de soja no Mato Grosso do Sul, em condição de estresse hídrico, observou que as que apresentaram maiores tolerâncias foram a 98R35 IPRO, RK8115 IPRO e RK8317 IPRO, ambas com GMR superiores a 8, e assim sendo, possivelmente teriam boa adaptação às condições de escassez encontradas na região nordeste.

Embora algumas cultivares possa apresentar maior tolerância ao estresse hídrico, sabe-se que o adequado suprimento é essencial para garantir boas produtividades, e neste sentido, Silva et al. (2022) destacam que a soja apresenta duas fases em que o adequado suprimento hídrico é de elevada importância, sendo elas a fase inicial de germinação-emergência, cuja presença da água é importante no processo de embebição, sendo necessária a absorção de cerca de 50% do peso da semente para ocorra uma boa germinação e para tal o solo deve estar em cerca de 85% da sua capacidade de armazenamento, não podendo chegar a menos de 50% e a fase de floração-enchimento dos grãos, em que plantas submetidas a condições de estresse tendem a fechar seus estômatos, enrolar suas folhas e abortar folhas, flores e vagens, impactando diretamente na produção.

Por outro lado, a utilização de água para a irrigação das culturas tendo sido constante motivo de preocupação, haja vista a grande quantidade, colocando em questão a possibilidade de esgotamento de fontes e ainda a necessidade de realocação de água potável para outros

setores. Sendo assim, é preciso buscar alternativas para a irrigação das culturas, sendo uma delas a utilização de águas residuárias.

4.4. UTILIZAÇÃO DE ÁGUAS RESIDUÁRIAS DE ESGOTO DOMÉSTICO PARA A IRRIGAÇÃO

A reutilização de água na agricultura não é uma prática recente, existindo indícios do reúso de esgoto doméstico na agricultura na Grécia Antiga (BARROS et al., 2015). O reúso de água pode ser feito de maneira indireta, quando, após o tratamento, o efluente é depositado no corpo hídrico para ser captada a jusante; e de maneira direta, quando, após o tratamento o efluente é levado para o local de reutilização sem a deposição em corpo hídrico, sendo este o caso do reúso para irrigação (CETESB, 2022). Com o aumento populacional e consequente maior demanda de alimentos em associação a necessidade de racionalização do recurso hídrico, a reutilização da água para irrigação das culturas de forma planejada tem sido cada vez mais alvo de pesquisa.

Diversos são os benefícios observados em trabalhos científicos vinculados ao reúso de água para a irrigação das culturas, em que de acordo com Carvalho et al. (2019), possibilita a redução da utilização de água potável pelo setor, destinando água de melhor qualidade para o consumo humano e animal. Para Santos et al. (2020), as vantagens associadas ao reúso de água vão além da redução do uso de água potável pela agricultura, impactando também na redução do uso de fertilizantes e diminuição da descarga de efluentes nos corpos hídricos.

Outras vantagens associadas ao aumento fertilidade do solo (DANTAS et al., 2020), possibilidade de implementação de cultivos em zonas desérticas (BARROS et al., 2015) e possível auxílio na diminuição do dióxido de carbono (CO_2) atmosférico em função da presença de matéria orgânica (CORRÊA et al., 2021) vem sendo abordadas na literatura.

Segundo Moura et al. (2020), no Brasil tem-se utilizado a água de reúso em diversas atividades não potáveis, a saber, agricultura, irrigação paisagística, limpeza urbana, lavagem de veículos e lavagem de vasos sanitários. No entanto, apesar dos inúmeros benefícios trazidos pelo reúso é importante que sejam observados parâmetros físicos e químicos na água, como sodicidade, salinidade, excesso de nutrientes e especialmente no que diz respeito a presença de microrganismos causadores de doenças, problema que é agravado no Brasil em virtude da escassez de legislações regulamentadoras para a reutilização da água, justificando a necessidade de pesquisas e discussões que possam auxiliar na definição de parâmetros seguros de uso. É

importante pontuar que em dezembro de 2021 foi publicada a resolução CONAMA N° 503/2021 que estabelece critérios para reutilização de água proveniente da agroindústria, demonstrando um avanço na definição dos parâmetros (CONAMA, 2021). Para fins de irrigação são comumente utilizadas águas residuárias oriundas de três setores: doméstico, agroindustrial e produção animal.

O aumento populacional tem trazido consigo uma elevação considerável da quantidade de esgoto produzida nas residências, o que se torna preocupante do ponto de vista ambiental, haja vista que, frequentemente, ocorre contaminação de corpos hídricos pela deposição do esgoto de forma inadequada, paralelo a isso, a geração de resíduos contaminados e necessidade de descarte adequado tem sido um gargalo para o setor agroindustrial e de produção animal.

As características físicas, químicas e biológicas das águas residuárias variam em função da sua origem. Esgotos domésticos, por exemplo, apresentam alta concentração de fósforo; a vinhaça, efluente oriundo da indústria suco-alcooleira, é rica em potássio; efluentes resultantes da produção animal são ricos em matéria orgânica, nitrogênio, fósforo, potássio e outros nutrientes, variando sua composição de acordo com o manejo utilizado (ANA, 2022). A norma NBR9648 de 1986 define o esgoto doméstico como sendo *despejo líquido resultante do uso da água para higiene e necessidades fisiológicas e humanas* e esgoto industrial como sendo *despejo líquido resultante dos processos industriais, respeitando os padrões de lançamento estabelecidos* (NBR 9846/86). De maneira geral, as águas residuárias apresentam em sua composição nutrientes com capacidade de serem explorados na fertilização das culturas.

5. MATERIAL E MÉTODOS

5.1. DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O estudo foi conduzido em ambiente protegido no Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal Rural de Pernambuco, na cidade de Recife – PE, localizado de acordo com as coordenadas geográficas 8° 04' 03'' S e 34° 55' 00" O, conforme pode ser observado na figura 4 e altitude média de 5 m. O ambiente protegido utilizado apresentava 7,0 x 24,0 x 3,0 m de largura, comprimento e pé direito, respectivamente, constituída de telas de nylon preta com 50% de sombreamento nas laterais e cobertura com filme de polietileno de baixa densidade (150 µm) com tratamento com ação dos raios ultravioleta.

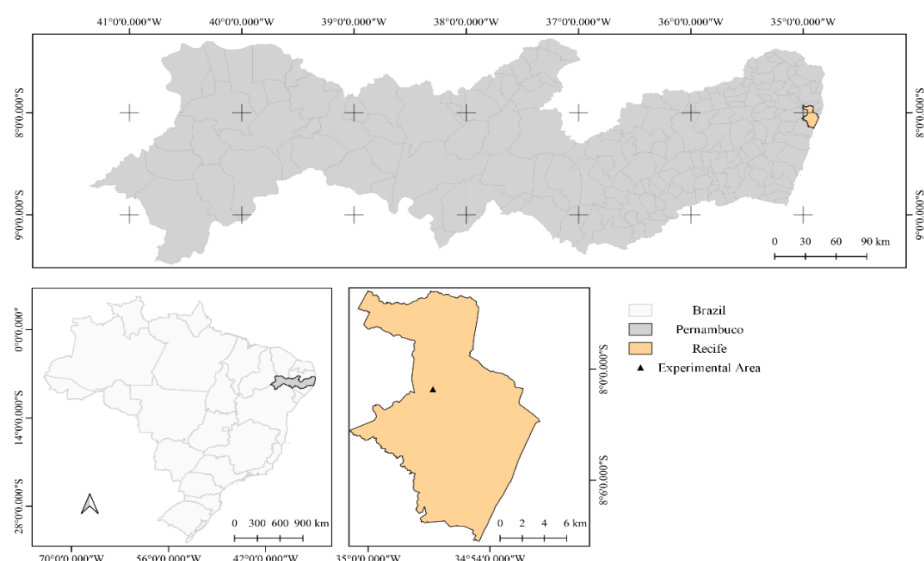


Figura 4: Localização da área experimental na Universidade Federal de Pernambuco – UFRPE.

Fonte: Autora, 2023

O cultivo da soja foi realizado em dois experimentos em diferentes épocas, sendo o primeiro desenvolvido no período de março a julho de 2023 e o segundo de maio a setembro de 2023. Os experimentos foram conduzidos em dois tipos de solos, sendo o solo 1 originário da cidade de Carpina – PE, cujas características estão apresentadas na tabela 3 e o solo 2 era oriundo da cidade de Goiana – PE e suas características físico-químicas podem ser observadas na tabela 4.

Tabela 3: Características químicas e físicas do solo utilizado para o preenchimento dos vasos do experimento 1, oriundo da cidade de Carpina – PE.

Química							
pH H ₂ O	P mg dm ⁻³	Ca ⁺²	Mg ⁺²	K ⁺	Al ⁺³	H ⁺ Al ⁺³	V (%)
4,5	8	1,60	1,00	0,18	0,55	4,33	44,27
SB	CTC	t	Cu	Fe	Mn	Zn	MO (g kg ⁻¹)
3,44	7,77	3,99	0,10	33,0	9,27	1,08	2,64
Física							
AT	S	ARG	Ds	Dp	CT		
73	9	18	1,37	2,52	Franco Arenoso		

P- fósforo; Ca – cálcio; Mg – magnésio; K – potássio; Al – alumínio; H- hidrogênio; V – saturação por base; SB – soma de bases; CTC – capacidade de troca catiônica; Cu – cobre; Fe – ferro; Mn – manganês, Zn – zinco; MO-

matéria orgânica; AT – areia total; SIL – silte; ARG – argila; Ds – densidade do solo; DP – densidade de partículas; CT – classificação textural.

Tabela 4: Características químicas e físicas do solo utilizado para o preenchimento dos vasos do experimento 2, oriundo da cidade de Goiana – PE.

Química							
pH	Cu	Fe	Mn	Zn	P		
H2O	----- mg dm ⁻³ -----						
5,49	0,00	51,20	0,20	0,10	2		
K	Na	Al	Ca	Mg	H+Al+	SB	CTC
-----cmol _c dm ⁻³ -----							
0,03	0,02	0,0	0,19	0,05	7,38	0,28	7,66
V	C		M		M.O		
----- %-----							
3,66	1,63		0,00		2,81		
Física							
AT	S	ARG	Ds	Dp	CT		
----- %-----			----- (g cm ⁻³) -----				
84,87	8,9	6,2	1,36	2,70	Areia Franca		

Cu – Cobre; Fe – Ferro; Mn – Manganês; Zn – Zinco; P – Fósforo; K – Potássio; Na – Sódio; Al – Alumínio; Ca – Cálcio; Mg – Magnésio; H – Hidrogênio; SB – Saturação por Base; CTC – Capacidade de Troca Catiônica; MO – Matéria Orgânica; AT – Areia Total; S – Silte; ARG – Argila; Ds – Densidade do Solo; Dp – Densidade de Partículas; CT – Classificação Textural.

Para a constituição das unidades experimentais foram utilizados vasos de polietileno com 0,23x0,24x0,20 m de altura, base maior e base menor, respectivamente, os quais foram colocados sobre bancadas com 0,8 m de altura, 1,25m de largura e 2 m de comprimento (figura 5A). O processo de preenchimento dos vasos foi feito com a adição de uma camada de brita 1 (figura 5B), seguida por um disco de manta geotêxtil para auxiliar no processo de drenagem (figura 5C), seguido da deposição do solo (figura 5D). É importante salientar que, tendo o sistema de manejo adotado sido a lisimetria de pesagem, todos os vasos apresentavam o mesmo peso, e assim sendo, os vasos tinham pesos final de 8,450 kg, constituídos por 1,450 Kg corresponderam a brita + bidim e 7 kg de solo.

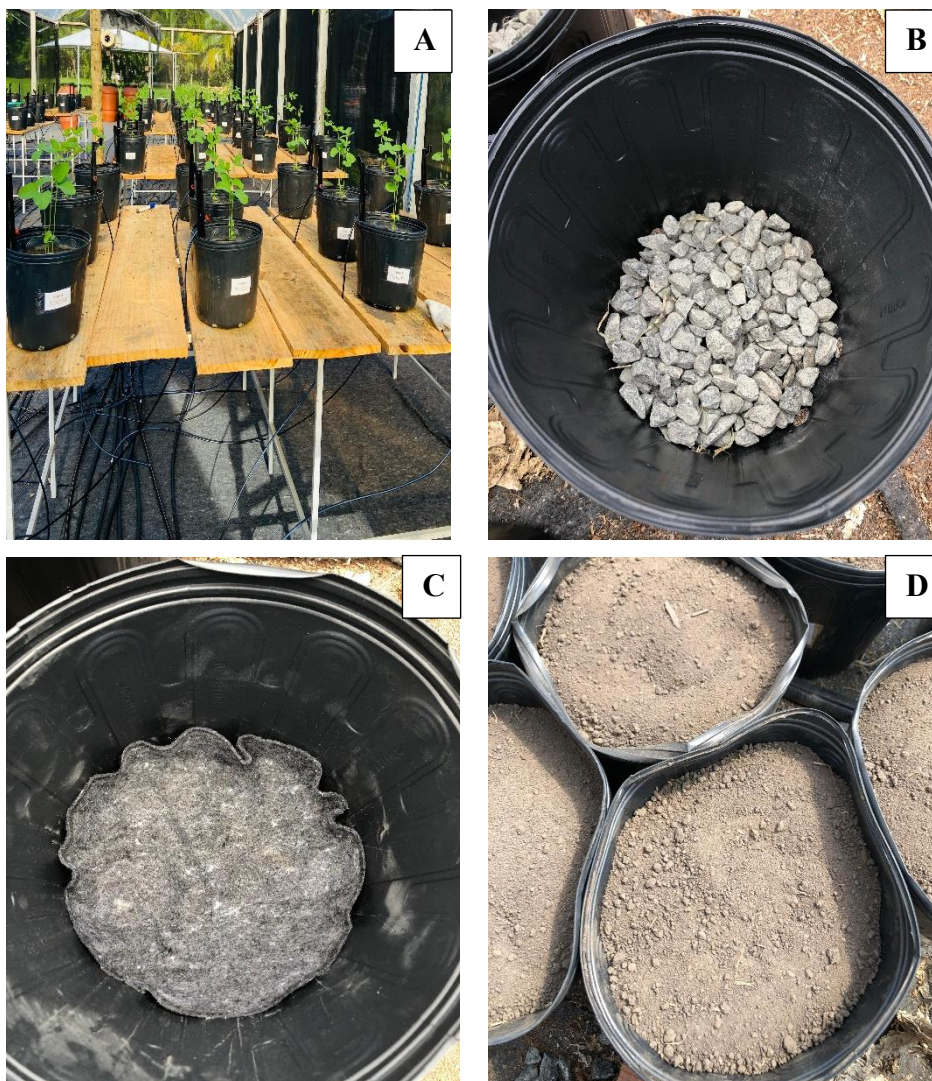


Figura 5: Bancada com unidades experimentais (A); Preenchimento dos vasos com brita (B), bidim (C) e solo (D).

Fonte: Autora, 2023

5.2. COMPOSIÇÃO DOS TRATAMENTOS

A composição dos tratamentos foi feita considerando dois fatores: fator 1 – fracionamento de esgoto doméstico tratado (EDT) e fator 2 – tipo de aplicação. O esgoto doméstico utilizado foi proveniente da Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) “Bicho Preguiça” da UFRPE, sendo composto por águas pluviais, águas utilizadas na lavagem de louça do restaurante universitário (RU) e uma pequena concentração de águas oriundas de um banheiro nas proximidades do RU, o qual foram separadas amostras a serem encaminhadas para Laboratório de Química Analítica (LQA) do Instituto de Tecnologia de Pernambuco (ITEP)

para determinação dos parâmetros físico-químicos (Tabela 5). Já a forma de aplicação se deu de forma contínua e intermitente (pulsada).

Tabela 5: Características físico-químicas do Esgoto Doméstico Tratado (EDT) utilizado para a irrigação da cultura da soja.

DQO	DBO	pH	NA	SFT	SDT	STV	CE
-----mg O ₂ L ⁻¹ ---			-----mg L ⁻¹ -----			dS m ⁻¹	
800	222,39	4,3	19,61	562,5	671	382,5	1,21
AB	AC	AH	AT	Ca	P_{total}	K	
-----mg L ⁻¹ CaCO ₃ -----				mg L ⁻¹ Ca	mg L ⁻¹ P	mg L ⁻¹ K	
0,0	0,0	0,0	0,0	25,37	9,29	52,38	

DQO – demanda química de oxigênio; DBO – demanda bioquímica de oxigênio; NA – nitrogênio amoniacal; SFT – sólidos fixos totais; SDT – sólidos dissolvidos totais; STV – sólidos totais voláteis; CE – condutividade elétrica, AB – alcalinidade de bicarbonatos; AC – alcalinidade de carbonatos; AH – alcalinidade de hidróxidos; AT – Alcalinidade total.

Fonte: Instituto de Pesquisa Pernambucano (ITEP)

O EDT, fator 1, foi aplicado em 5 níveis de diluição com água de abastecimento (AB) da universidade, a saber, N1 – 0 % EDT + 100% AB (sendo este o tratamento testemunha); N2 – 25% EDT + 75% AB; N3 – 50% EDT + 50% AB; N4 – 75% EDT + 25% AB e N5 – 100% EDT + 0% AB. Quanto à forma de aplicação, fator 2, foi feita via irrigação por gotejamento de forma contínua (P1) e dividida em 4 pulsos de irrigação espaçados com 30 minutos de intervalo entre eles (P2).

Uma ressalva precisa ser feita em relação aos experimentos. A fim de ter um tratamento considerado convencional para comparativo com o EDT ficou definida a adição de um tratamento com adubação mineral convencionalmente utilizada na cultura da soja, no entanto, este só foi possível de ser utilizado no experimento 1, com o solo de Carpina, haja vista que conforme pode ser observado na tabela 4, o solo de Goiana apresentava uma fertilidade natural muito baixa, impossibilitando o desenvolvimento das plantas dos demais tratamentos, deste modo, foi necessário uma inicial correção de todas as unidades experimentais com a adição de calcário e posterior adubação, conforme a recomendação do Instituto Agrônomo de

Pernambuco (IPA). Deste modo, para o experimento 1 a condução se deu em esquema fatorial $5 \times 2 + 2$, em delineamento em blocos casualizados com 4 repetições, totalizando 48 unidades experimentais, enquanto, que para o experimento 2 o esquema fatorial foi 5×2 com 4 repetições, totalizando 40 unidades experimentais.

Considerando que a cultura da soja é pertencente à família das leguminosas e através da associação com bactérias fixadoras de nitrogênio ocorre a chamada FBN (fixação biológica de nitrogênio), comumente não se faz a adubação nitrogenada na soja, sendo realizada a inoculação das sementes antes do plantio. Entretanto, a fim de que a inoculação não viesse a se tornar um outro fator que pudesse interferir nos resultados, a inoculação não foi realizada e como meio alternativo de suprimento do nitrogênio foi feita a adubação com base na recomendação para a cultura do feijão irrigado proposta pelo IPA (CAVALCANTI et al., 2008).

Foi utilizada a cultivar FT1192 IPRO para os experimentos haja vista que, de acordo com pesquisas realizadas por Procópio et al. (2019), no estado de Alagoas, foi a cultivar que apresentou melhor desempenho produtivo, atingindo 87 sc ha^{-1} . A FT1192 IPRO é considerada uma cultivar de ciclo tardio, com grau de maturidade 9.2, adequando-se a região de Pernambuco de acordo com o estabelecimento dos grupos anteriormente visto.

A fim de garantir a uniformidade do estande foram colocadas três sementes por vaso e realizado o desbaste 8 dias após a germinação. Para o experimento 1 a semeadura ocorreu no dia 21 de março e o desbaste no dia 29 de março de 2023, conforme pode ser visualizado na figura 6. Já para o experimento 2, a semeadura se deu no dia 12 de maio e o desbaste no dia 20 de maio de 2023.

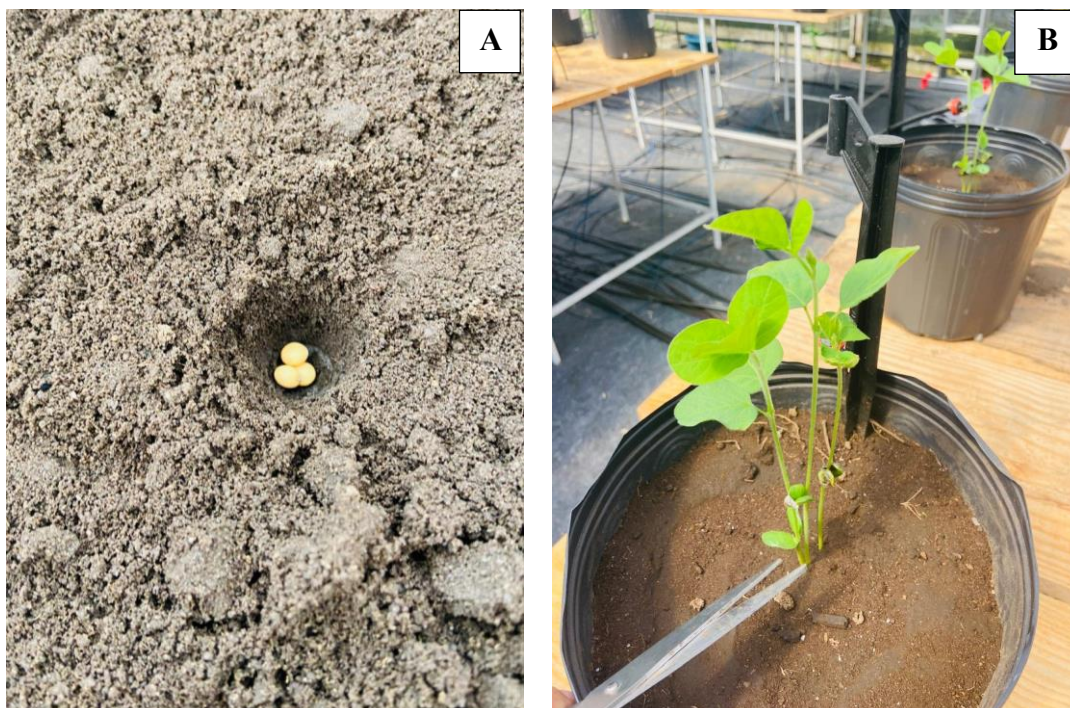


Figura 6: Semeadura da cultura da soja nas unidades experimentais (A) e desbaste deixando apenas uma planta por vaso (B).

Fonte: Autora, 2023.

5.3. SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO E MANEJO DA IRRIGAÇÃO

A distribuição dos níveis de diluições do EDT foi feita pelo método de irrigação localizado, utilizando a irrigação por gotejamento. Para a composição do sistema de distribuição tinha-se 5 reservatórios com capacidade de 200 L nos quais cada diluição foi preparada (figura 6A). Acoplada a cada reservatório tinha-se uma motobomba de 0,5 cv de potência para a distribuição dos tratamentos (figura 6B). Por se tratar de diferentes formas de aplicação em relação ao tempo, na saída de água tinha-se quatro derivações, sendo duas correspondendo a P1 (irrigação contínua) dos experimentos 1 e 2 e outras duas correspondentes a P2 (irrigação pulsada) dos experimentos 1 e 2, exceto para o N1 (100 % AB + 0% EDT), em que para atender ao tratamento adicional do experimento 1 foram adicionadas mais duas derivações. Para o controle dos pulsos de irrigação foram adicionadas válvulas solenoides controladas por temporizadores programados diariamente de acordo com a necessidade hídrica das culturas.



Figura 7: Níveis de diluição do esgoto doméstico tratado (A); Motobombas acopladas aos reservatórios dos níveis de diluição (B).

Fonte: Autora, 2023

Após as válvulas solenoides o sistema de irrigação era composto por linhas de derivação compostas por tubos de polietileno de 16 mm aos quais foram conectados microtubos e um gotejador para cada unidade experimental (Figura 7 A e B).

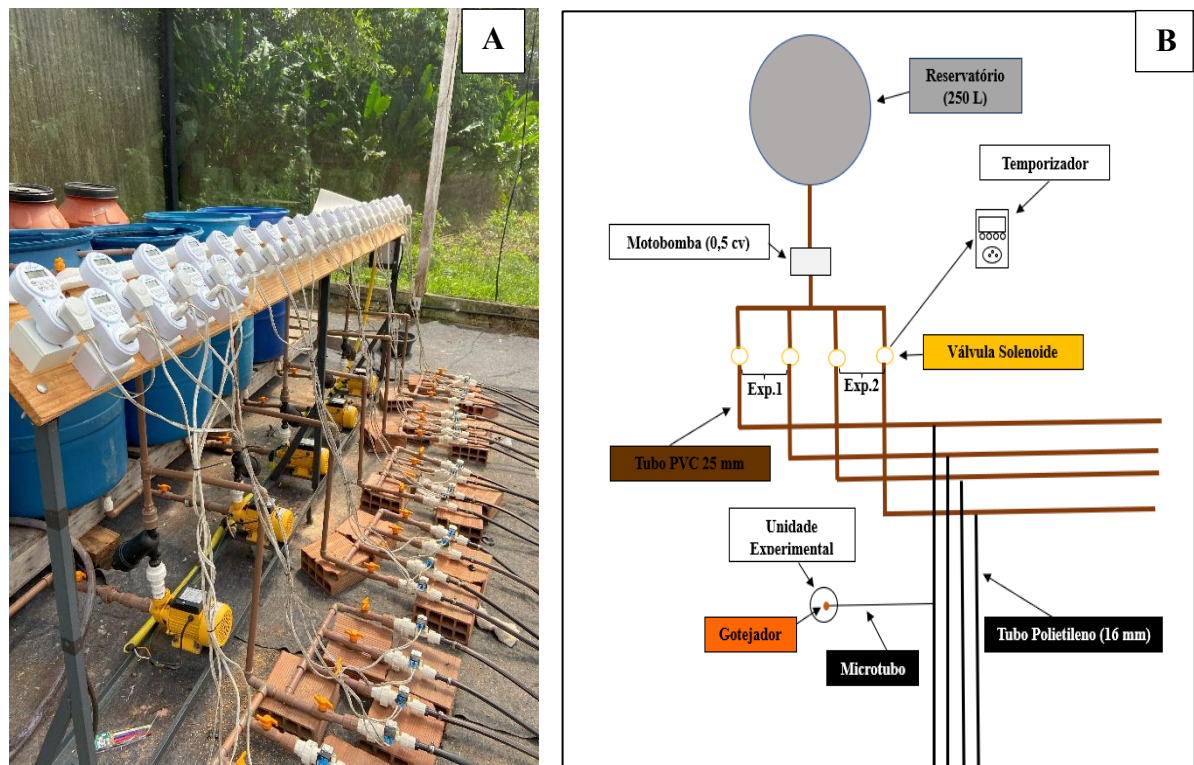


Figura 8: Composição do sistema de distribuição dos tratamentos em campo (A) e esquema (B).
Fonte: Autora, 2023

Após a montagem do sistema de distribuição das frações de esgoto doméstico tratado foi realizada a avaliação da uniformidade através coeficiente de uniformidade de distribuição (CUD), em que foram colocados copos coletores em cada emissores para armazenar o volume aplicado por 2 minutos e em seguida, com o auxílio de uma proveta graduada foi feita a aferição dos volumes, conforme figura a seguir.

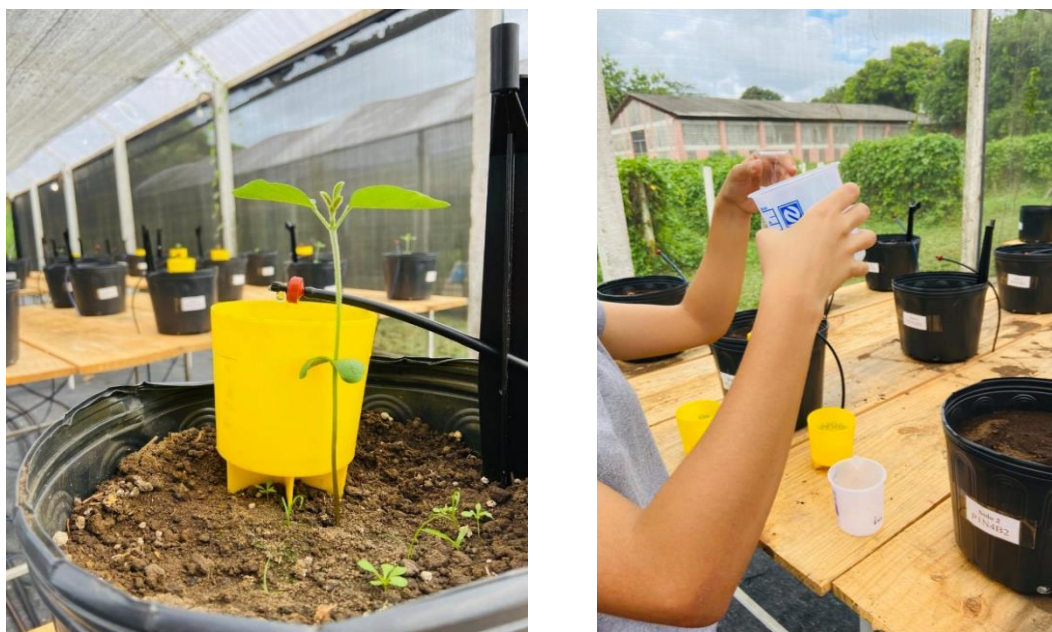


Figura 9: Avaliação do Coeficiente de Uniformidade de Distribuição do sistema de irrigação.
Fonte: Autora, 2023

Após a coleta dos volumes utilizou-se a equação proposta por Keller e Karmelli (1974) para obter o percentual de uniformidade.

$$CUD = 100x \left(\frac{q_{25\%}}{\bar{q}} \right)$$

Em que: CUD é o coeficiente de uniformidade de distribuição (%); $q_{25\%}$ é a média de 25 dos menores valores de vazão obtidos ($L h^{-1}$); e $\bar{q}$ é a média da vazão dos emissores ($L h^{-1}$).

O valor obtido para os dois sistemas de distribuição foi de 95% sendo classificado com excelente, conforme pode ser visto na tabela a seguir.

Tabela 6: Classificação dos sistemas de irrigação de acordo com o coeficiente de uniformidade de distribuição (CUD) proposta por Keller e Karmelli (1974).

Valor do CUD	Classificação
90% ou maior	Excelente
80% a 90%	Bom
70% a 80%	Regular
Menor de 70%	Ruim

Keller e Karmelli (1974).

Ao fim de cada experimento foi novamente realizada a avaliação da uniformidade de distribuição dos sistemas a fim de observar se a utilização do esgoto doméstico tratado ocasionou obstrução nos emissores. Os resultados, no entanto, não indicaram redução do CUD,

sendo superiores a 90%. Apesar do ciclo da cultura ter durado em média 110 dias, os tempos de irrigação diários eram curtos e, deste modo, a soma durante todo o ciclo foi inferior a 36 h, que de acordo com Cunha et al. (2006), seria o tempo mínimo de utilização do sistema com água residuária para ocasionar redução na uniformidade de distribuição.

A necessidade hídrica foi definida com base no peso dos vasos, para isso, seguidamente ao preenchimento dos vasos, foram separados três vasos de cada experimento os quais foram saturados e coberto para evitar perdas por evaporação e após cessada a drenagem livre pesados novamente e definido o *peso basal*, considerado como o peso da capacidade de campo e, portanto, o peso que deveria ser retornado a cada irrigação. Logo, de modo geral, a irrigação diária correspondia a diferença do *peso do dia/atual* para o *peso basal*, o qual era convertido em tempo de irrigação considerando a vazão dos emissores e definidos dos pulsos de irrigação para a programação manual.

Os emissores utilizados eram autocompensantes do tipo botão e apresentavam vazão nominal de 2,0 L hora⁻¹, e deste modo, o cálculo dos pulsos de irrigação foram feitos com o auxílio de planilha em Excel, utilizando-se as seguintes equações:

$$NI = PB - PA$$

$$TI = \frac{NI}{V}$$

Em que: NI era a necessidade de irrigação (Kg ou L); PA era o peso atual do vaso (Kg); PB era o peso basal do vaso na capacidade de campo (Kg); TI era o tempo de irrigação (h); V era a vazão do emissor (L h⁻¹).

Para os tratamentos com irrigação contínua a programação dos temporizadores era feita apenas com uma função ON e uma função OFF, ao passo que, para os com irrigação pulsada a programação era feita com 4 funções ON e 4 funções OFF. Deste modo, diariamente eram realizadas 60 programações para o experimento 1 e 50 programações para o experimento 2 caso todas as unidades experimentais apresentassem necessidade de irrigação. Na figura a seguir é possível visualizar a estrutura dos temporizadores utilizados na programação das dos pulsos de irrigação.

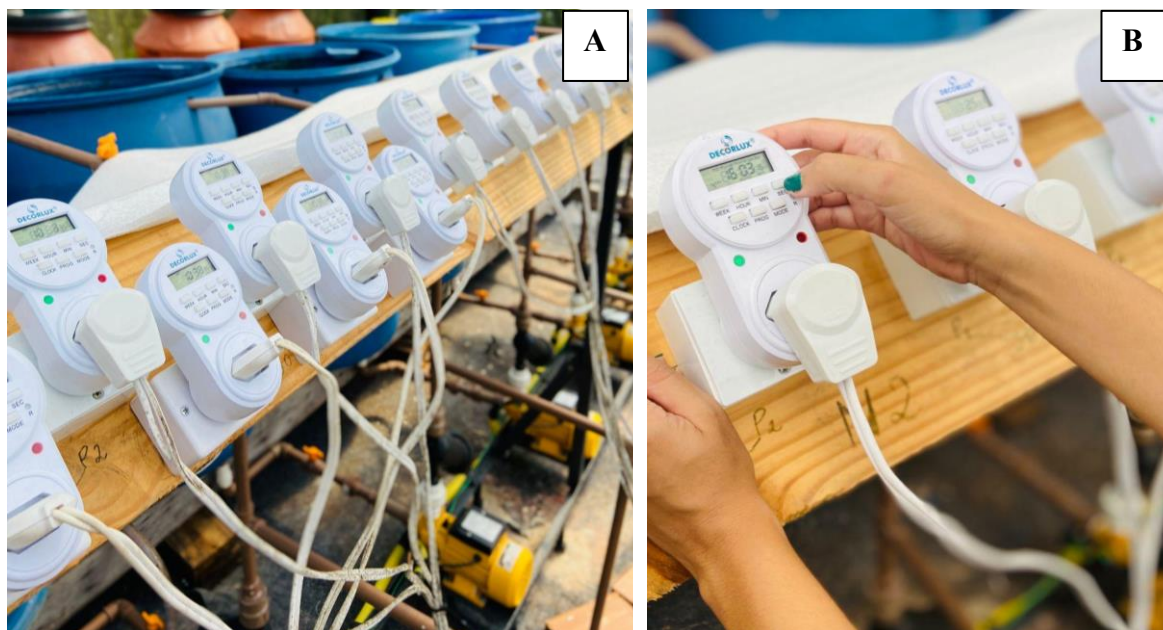


Figura 10: Estrutura dos temporizadores para programação dos pulsos de irrigação (A); Programação diária (B).
Fonte: Autora, 2023

5.4. ANÁLISES REALIZADAS

Ao longo dos ciclos experimentais foram realizadas avaliações de aspectos morfológicos, em que, semanalmente foram realizadas a medição de altura das planta – AP (cm) (figura 9A E 9C) com o auxílio de uma trena e o diâmetro do caule – DC (cm) (figura 9B E 9D) utilizando um paquímetro digital, através dos quais foi possível fazer a estimativa da taxa de crescimento absoluto caulinar – TCAC (cm dia⁻¹) e taxa de crescimento absoluto da espessura do diâmetro (TCAD cm dia⁻¹), conforme equações a seguir:

$$TCAC = \frac{AP_f - AP_i}{T_f - T_i} \text{ (cm dia}^{-1}\text{)}$$

$$TCAD = \frac{D_f - D_i}{T_f - T_i} \text{ (cm dia}^{-1}\text{)}$$

Em que: AP_i é a primeira leitura de Altura de Planta (cm) e AP_f é a última leitura de Altura de Planta (cm); D_i é a primeira leitura de Diâmetro do Caule (cm) e D_f é a última leitura de Diâmetro do Caule (cm); T_i é o tempo da primeira leitura (dias) e T_f é o tempo da última leitura (dias).

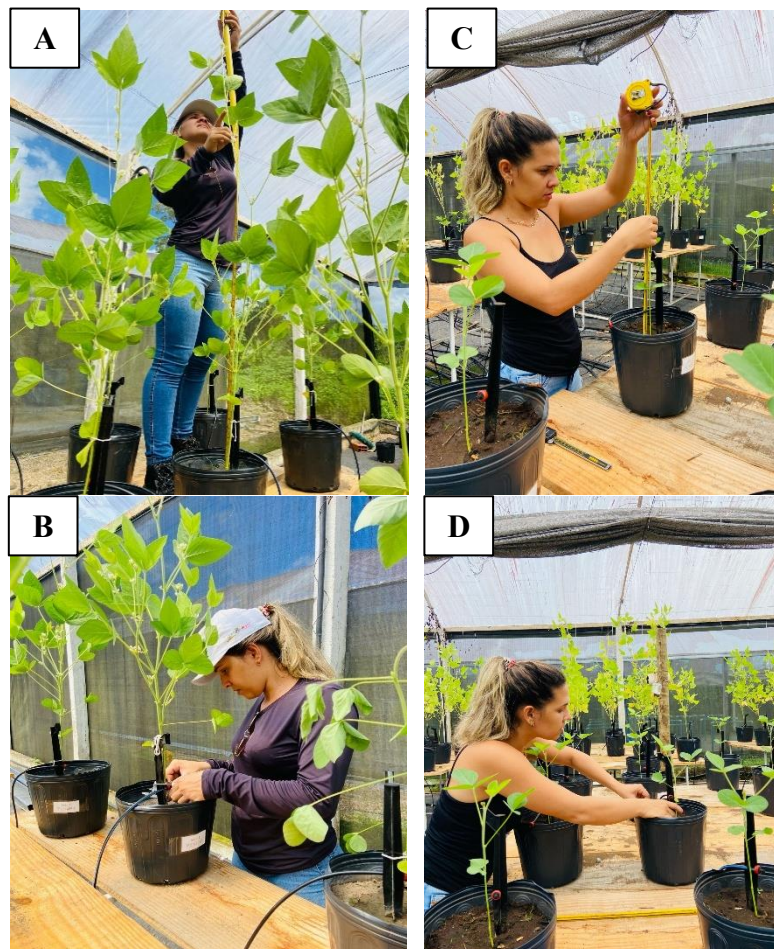


Figura 11: (A) Altura de Planta (Exp.1); (B) Diâmetro do Caule (Exp.1); (C) Altura de Planta (Exp.2); (D) Diâmetro do Caule (Exp.2).

Fonte: Autora, 2023

Foi realizada a avaliação de trocas gasosas com o auxílio do Analisador Portátil de Gás Infravermelho (IRGA), modelo LICOR Li-6400XT, obtendo-se os valores de fotossíntese – A ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), condutância estomática – g_s ($\mu\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), concentração interna de CO_2 – C_i ($\text{mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) e transpiração – E ($\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$). Em função das condições climáticas, a avaliação foi realizada em apenas um momento para cada experimento, tendo sido realizada no dia 23 de maio de 2023 para o experimento 1 e 20 de julho para o experimento 2, estando ambos em fase de florescimento pleno (R2).

Ao fim do ciclo experimental foram realizadas as avaliações finais, a saber, massa fresca – MF (g) e massa seca – MS (g) e massa seca dos grãos – MSG (g), como o auxílio de balança de precisão, contabilizado o número de vagens por planta – NVP (unidade), número de grãos por vagem – NGV (unidade) e o número de grãos por planta – NGP (unidade) e posteriormente

foi feita a estimativa da massa de mil grãos – MMG (g) e estimativa de produtividade – EP (kg ha⁻¹), para a qual utilizou-se a equação a seguir.

$$EP = \frac{PP \times NVP \times NGV \times MMG}{1000} \text{ (kg ha}^{-1}\text{)}$$

Em que: PP é a população de plantas ha⁻¹; NVP é o número de vagem por planta; NGV é o número de grãos por vagem; MMG é a massa de mil grãos (g).

Após avaliação das massas frescas, os materiais foram colocados em estufa de circulação forçada de ar por 48 horas à 65 °C, e seguidamente pesados para obtenção das massas secas, com as quais puderam ser obtidas a umidade, tanto da parte aérea quanto dos grãos.

Considerando que os experimentos foram realizados em diferentes épocas e divergência nos tratamentos, os resultados foram analisados separadamente. Para ambos, os dados foram submetidos à análise de variância, a fim de determinar se havia diferença significativa entre os dados, e no caso da existência, submetidos ao teste de Tukey a 5% de probabilidade e análise de regressão.

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A figura 10 demonstra o comportamento das médias da umidade relativa – UR (%) e temperatura – T (°C) ao longo dos experimentos. É notável que a UR esteve em maior parte do tempo entre 70 e 80 % que é percentual alto provavelmente influenciado pelo fato da área experimental ser próxima a uma área de mata, fazendo com que a umidade no período da noite chegasse próximo ao 100%. A temperatura se manteve com médias próximas as 27-31 °C na maioria dos dias, que em linhas gerais também são temperaturas médias amenas. Obviamente, durante o dia a temperatura se elevava consideravelmente chegando próximo ao 40 °C em alguns momentos.

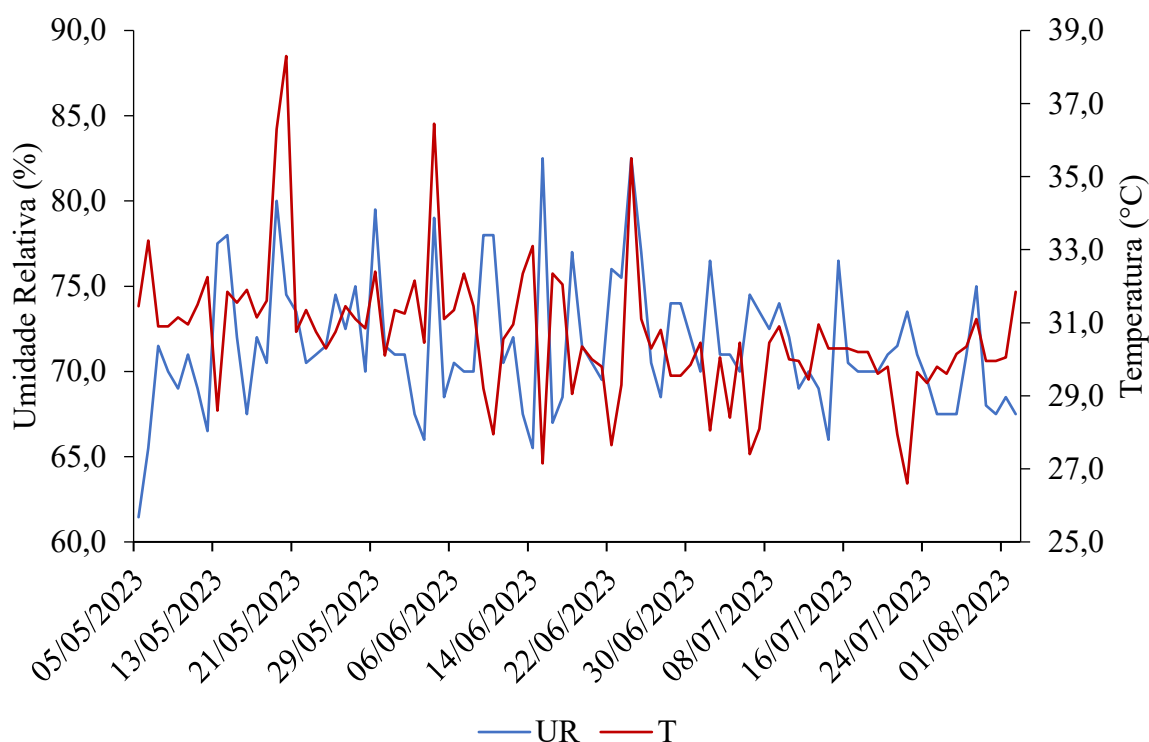


Figura 12: Comportamento da Umidade Relativa e Temperatura no período experimental.
Fonte: Autora, 2023

6.1. EXPERIMENTO 1

A seguir tem-se a tabela resumo da análise de variância (tabela 6) dos dados experimentais. Foi observado que as variáveis altura de planta – AP (cm), taxa de crescimento absoluto caulinar – TCAC (cm), umidade da parte área – U (A) (%), massa fresca dos grãos – MFG (g), massa seca dos grãos – MSG (g), umidade dos grãos – U(G) (%), número de vagem por planta – NVP (unidade), fotossíntese – A ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), e concentração interna de CO_2 – C_i ($\text{mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) não foram afetadas por nenhum dos fatores em estudo

Já as variáveis diâmetro do caule - DC (cm), massa fresca - MF (g), massa seca - MS (g), taxa de crescimento absoluto da espessura do diâmetro – TCAD (cm), condutância estomática – g_s ($\mu\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) e transpiração – E ($\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) ($P < 5\%$) foram influenciadas pelo nível de diluição do EDT isoladamente; a massa fresca – MF (g), a massa seca – MS (g) e a estimativa de produtividade – EP (kg ha^{-1}) foram afetadas pelo tipo de aplicação, e deste modo, os resultados foram apresentados e discutidos individualmente. A interação entre os fatores apresentou efeito significativos para as variáveis número de grãos por planta e estimativa de produtividade.

Tabela 7: Resumo da análise de variância para as avaliações realizadas para a variável altura de planta (AP), diâmetro do caule (DC), taxa de crescimento absoluto caulinar (TCAC), taxa de crescimento da espessura caulinar (TCAD), massa fresca (MF), massa seca (MS), umidade parte aérea (U(A)), massa fresca dos grãos (MFG), massa seca dos grãos (MSG), umidade dos grãos (U(G)), número da vagem por planta (NVP), número de grãos por vagem (NGV), número de grãos por planta (NGP), massa de mil grãos (MMG), estimativa de produtividade (EP), fotossíntese (A), condutância estomática (gs), concentração interna de CO₂ (Ci) e transpiração (E) para o experimento 1.

QUADRADO MÉDIO ⁺											
FV	GL	AP	DC	TCAC	TCAD	MF	MS	U(A)	MFG	MSG	U(G)
Tipo aplicação (TA)	1	287,83 ^{ns}	0,03 ^{ns}	0,04 ^{ns}	0,00 ^{ns}	17,10 ^{**}	10,12 ^{**}	3,47 ^{ns}	1,23 ^{ns}	0,93 ^{ns}	15,65 ^{ns}
Nível diluição (ND)	4	784,28 ^{ns}	2,07 [*]	0,02 ^{ns}	0,00 ^{**}	17,71 ^{**}	10,03 ^{**}	40,27 ^{ns}	1,15 ^{ns}	1,00 ^{ns}	1,99 ^{ns}
TAxND	4	666,68 ^{ns}	0,13 ^{ns}	0,00 ^{ns}	0,00 ^{ns}	3,41 ^{ns}	1,75 ^{ns}	15,78 ^{ns}	0,38 ^{ns}	0,29 ^{ns}	4,51 ^{ns}
Bloco	3	182,12 ^{ns}	0,46 ^{ns}	0,03 ^{ns}	0,00 ^{ns}	2,66 ^{ns}	0,76 ^{ns}	49,46 ^{ns}	1,91 ^{ns}	1,63 ^{ns}	26,31 ^{ns}
Resíduo	27	9126,05	0,18	0,02	0,00	2,74 ^{ns}	1,63	12,59	0,45 ^{ns}	0,36	7,93
CV (%)		14,49	6,14	42,69	41,30	7,64	7,20	16,04	27,06	26,94	26,11
QUADRADO MÉDIO ⁺											
FV	GL	NVP	NGV	NGP	MMG	EP	A	Gs	Ci	E	
Tipo aplicação (TA)	1	48,40 ^{ns}	0,03 ^{ns}	765,62 [*]	0,04 [*]	357.3481,00 [*]	0,06 ^{ns}	0,00 ^{ns}	708,63 ^{ns}	1,44 ^{ns}	
Nível diluição (ND)	4	145,35 ^{**}	1,29 ^{ns}	243,66 ^{ns}	0,00 ^{ns}	474.491,50 ^{ns}	5,19 ^{ns}	0,03 ^{**}	83,28 ^{ns}	10,62 [*]	
TAxND	4	17,40 ^{ns}	0,09 ^{ns}	185,44 ^{**}	0,00 [*]	756.231,60 ^{ns}	0,61 ^{ns}	0,00 ^{ns}	500,66 ^{ns}	2,79 ^{ns}	
Bloco	3	65,73 ^{ns}	0,16 ^{ns}	190,69 ^{ns}	0,00 ^{ns}	540.686,20 ^{ns}	5,93 ^{ns}	0,00 ^{ns}	2344,08 ^{ns}	2,17 ^{ns}	
Resíduo	27	12,73	0,18	66,17	0,00	340.780,50	1,04	0,00	560,61	3,31	
CV (%)		23,48	25,11	30,05	49,55	67,18	14,49	42,44	16,05	27,82	

^{**}-parâmetro significativo a 1% de probabilidade; ^{*}-parâmetro significativo a 5% de probabilidade; ^{ns}-parâmetro não significativo. ([†]Valores observados com p<5%)

FV – fonte de variação; TA – tipo de aplicação; CV - coeficiente de variância; GL – grau de liberdade; AP – altura de planta (cm); DC – diâmetro do caule (cm); TCAC – taxa de crescimento absoluto caulinar (cm); TCAD – taxa de crescimento absoluto da espessura do diâmetro (cm); MF – massa fresca da parte aérea (g); MS – massa seca da parte aérea (g); U(A) – umidade da parte aérea (%); MFG – massa fresca dos grãos (g); MSG – massa seca dos grãos (g); U(G) – umidade dos grãos (%); NVP – número de vagens por planta; NGV – número de grãos por vagem; NGP – número de grãos por planta; MMG – massa de mil grãos (g); EP – estimativa da produtividade (kg ha⁻¹); A – fotossíntese (μmol CO₂ m⁻² s⁻¹); gs – condutância estomática (μmol H₂O m⁻² s⁻¹); Ci – concentração interna de CO₂ (mmol m⁻² s⁻¹); E – transpiração (mmol H₂O m⁻² s⁻¹).

Na figura 11 para o diâmetro do caule – DC (cm) (11A), taxa de crescimento absoluto do diâmetro caulinar – TCAD (cm) (11B), massa fresca – MF (g) (11BC), massa seca - MS (g) (11D), condutância estomática g_s ($\mu\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$) (11F) e transpiração – E ($\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$) (11G) o ajuste obtido foi linear crescente. Para o número de grãos por vagem – NGV (unidade) (11E), o ajuste foi polinomial decrescente com ponto de máximo próximo ao fracionamento de 50% do esgoto doméstico tratado.

Neste contexto, a compreensão da função do EDT tanto como supridora da necessidade hídrica da soja quanto nutricional da cultura é essencial na discussão dos resultados. Para a soja, Morbidini et al. (2024) destacam que o déficit hídrico afeta na produtividade da cultura, tanto do ponto de vista da própria função na água na planta, seja ela metabólica ou constituinte (no caso da soja 70% é água (SILVA et al., 2022)), ou ela como facilitadora da absorção de nutrientes tanto da solução do solo como quanto estes estão dissolvidos na mesma, no chamado processo de fertirrigação. A disponibilização de fração de esgoto doméstico tratado trata-se nada mais do que de uma fertirrigação, partindo de um nível com 0% para um nível com 100%, sendo o último portanto, o que possuía maiores quantidades de nutrientes para serem absorvidos pelas plantas, justificando a desenvoltura das variáveis, em que os maiores valores foram obtidos na condição de melhor suprimento nutricional fornecido pelo esgoto doméstico tratado.

Aquino et al. (2023) observaram efeitos significativos no diâmetro do caule de videira fertirrigada com água residuárias de aquicultura. Do mesmo modo, Oliveira et al. (2020) trabalhando com mudas de duas cultivares de melão observaram um incremento no diâmetro do caule daquelas irrigadas com águas cinzas em comparação aquelas irrigadas com água de abastecimento. Melo et al. (2020) ao submeterem duas variedades de feijão a irrigação com água residuária em comparação a água de abastecimento, observaram efeitos significativos sobre a altura das plantas, diâmetro do caule, massa fresca e massa seca. Tais resultados encontrados reforçam que a reutilização de água é uma alternativa, não apenas à necessidade hídrica, mas também à demanda nutricional.

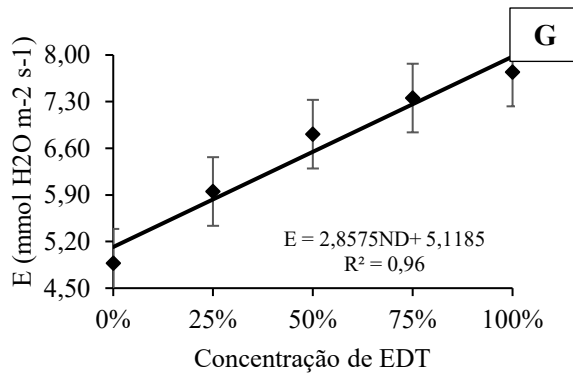
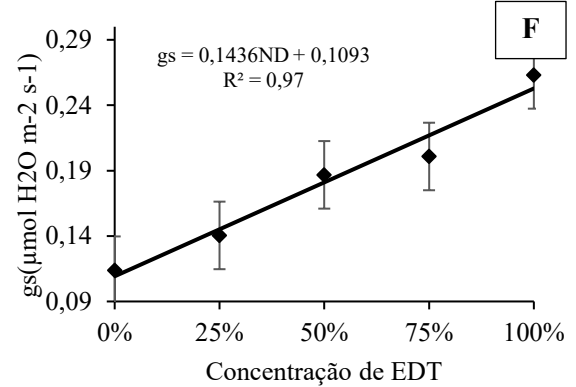
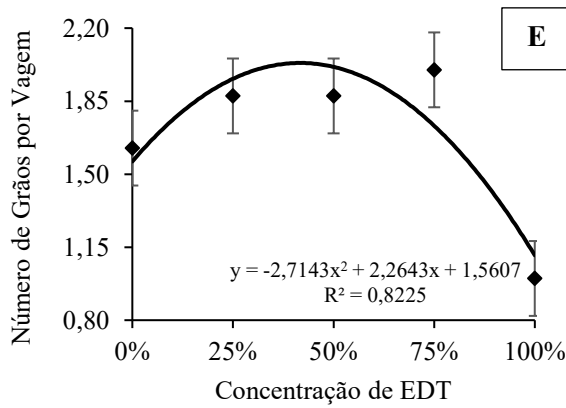
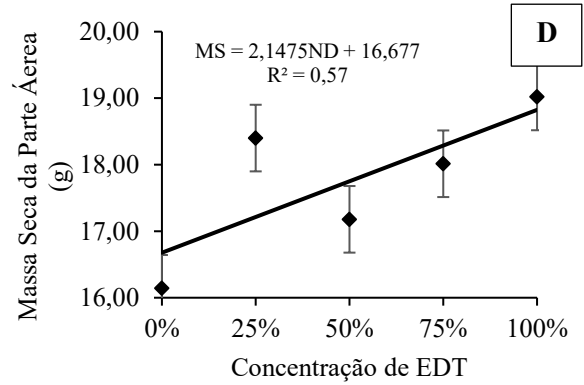
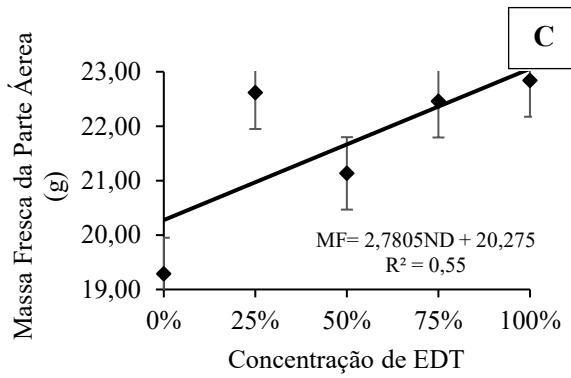
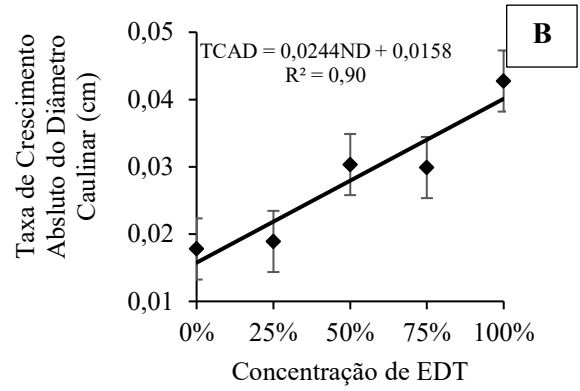
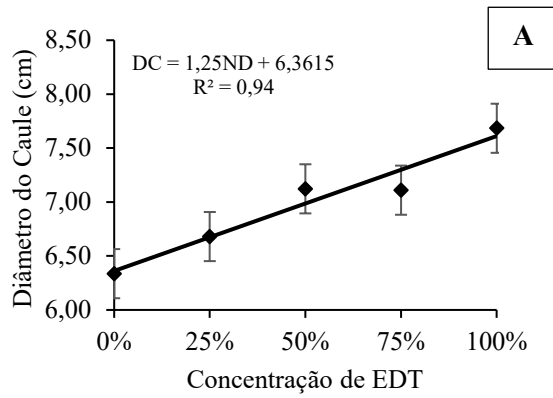


Figura 11: Ajuste de regressão para as variáveis diâmetro do caule (A), taxa de crescimento absoluto do diâmetro caulinar (B), massa fresca (C), massa seca (D), número de grãos por vagem (E), condutância estomática (F) e transpiração (G) influenciadas pelos níveis de diluição do esgoto doméstico tratado.

É importante destacar uma possível interferência na dinâmica da água/efluente no solo. Por se tratar de EDT com alto percentual de gordura, haja vista a origem, para os tratamentos que receberam maiores percentuais de esgoto foi possível notar a formação de uma camada orgânica na superfície, que após a colheita foi observado não ser apenas superficial, o que pode ter impactado no deslocamento dos fluídos, bem como na absorção dos nutrientes. Tal observação ganha força se observado que as plantas com maior fração de EDT foram as que estava com menor percentual de umidade.

A reutilização de água na agricultura, embora apresente diversas vantagens, apresenta entre as desvantagens a possibilidade de toxidez com o acúmulo de algum elemento presente na água, que se associa à salinidade, haja vista o desbalanço nutricional causado (CHAND; JHA; SHRESTHA, 2022).

Apesar do EDT utilizado não apresentar uma condutividade elétrica (CE) considerada alta ($1,21 \text{ dS m}^{-1}$), o acúmulo ao longo do experimento sobre o solo pode ter sido um dos fatores contribuintes para a formação dessa crosta na superfície do solo e porque não dizer, modificação na sua estrutura de agregação. Melo et al. (2023) observaram alterações químicas em solo irrigado com esgoto sanitário para a cultura da Moringa, os autores descrevem em seus resultados um aumento nos teores de sódio e destacam que elevadas quantidade do elemento pode diminuir a permeabilidade da água e do ar, alterando assim a infiltração da água no solo e a aeração. Apesar do sódio ser um elemento com maior preocupação do ponto de vista de malefícios para as plantas, ele não é o único. O excesso de nitrogênio, por exemplo, pode ocasionar nitrificação do solo e contaminação do lençol freático para experimentos realizados em campo.

Na tabela 7 está apresentado o teste de média para a massa fresca – MF (g), massa seca – MS (g) e estimativa de produtividade – EP (kg ha^{-1}). Tais resultados são de grande relevância para tal pesquisa, pois demonstram que a aplicação do efluente de modo fracionado proporcionou maior acúmulo de biomassa e por consequência produtividade para a cultura, servindo de indicativo de uma melhor eficiência do uso da água e dos nutrientes presentes.

Considerando que a produção do grão é a variável de maior interesse para a cultura, os resultados sugerem uma maior capacidade de aproveitamento do recurso hídrico/nutricional,

quando a disponibilização foi feita de maneira fracionada. Fator este que já vem sendo apresentado na literatura como uma das principais vantagens da irrigação por pulsos. Para Almeida Lima & Pereira (2015) e Zamora et al. (2019) as principais vantagens da irrigação pulsadas associam-se a redução das perdas por percolação e quantidade de água aplicada e aumento na eficiência de uso da água.

Tabela 8: Teste de Médias para massa fresca – MF (g), massa seca – MS (g) e estimativa de produtividade – EP (kg ha⁻¹).

Tipo de Aplicação	MF	MS	EP
P1 – Contínuo	21,01b	17,24b	478,97b
P2 – Pulsado	22,31a	18,25a	1003,97a

Valores seguidos pela mesma letra na coluna não divergem estatisticamente pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade

No que se refere as análises fisiológicas observa-se um comportamento linear crescente da condutância estomática – gs, a qual mede a facilidade com que ocorre a troca entre dióxido de carbono (CO₂) e oxigênio (O₂) através da abertura estomática. De maneira simplificada, quanto maior a condutância estomática – gs mais estômatos estão abertos e, portanto, maior a taxa fotossintética. Assim como as demais, a transpiração – E apresentou ajuste linear crescente. A E é considerada um “mal necessário” para a fotossíntese, tendo em vista que ao abrir os estômatos para absorver CO₂ as plantas perdem H₂O.

Autores como Asargew et al. 2024, destacam que existem na literatura diversas abordagens de modelagem mostrando que a condutância estomática – gs está linearmente correlacionada a fotossíntese – A.

A tabela 9 apresenta o teste de comparativo de média entre os níveis de diluição e o tratamento controle para as variáveis que apresentaram diferença estatística significativa. De maneira geral é possível observar que a AP foi superior nos tratamentos com adubação convencional, o que é um resultado esperado ao considerarmos que a adubação química é disponibilizada de forma mais rápida para as culturas e, além disso, foi feita baseada na necessidade real de fertilizante requerida pela cultura de acordo com o Instituto Agrônomo de Pernambuco – IPA. Para o diâmetro do caule – DC (cm) o comportamento foi similar, porém vale destacar que as unidades experimentais que recebem 100% de EDT apresentaram maiores valores que os da adubação convencional, apesar de estatisticamente não apresentarem diferença significativa.

Tabela 9: Teste comparativo de médias entre os níveis de diluição do esgoto doméstico tratado e o tratamento controle para as variáveis com efeito significativo.

	AP	DC	TCAD	MF	MS	U	MFG
N1	126,81b	6,33c	0,017b	2,14 ^a	1,93a	19,54b	2,14a
N2	123,74b	6,68bc	0,018b	2,63a	2,36a	22,93ab	2,63a
N3	123,39b	7,11ab	0,030ab	2,76a	2,50a	23,42ab	2,76a
N4	124,99ab	7,12ab	0,031ab	2,89a	2,62a	24,69a	2,89a
N5	135,39ab	7,68a	0,042a	2,03a	1,81a	20,00ab	2,03a
Controle	151,75b	7,51 ^a	0,027ab	0,44b	0,39b	10,70c	0,44b
	MSG	NVP	NGV	NGP	EP		
N1	1,93a	11,00cd	1,62ab	19,87bc	559,18ab		
N2	2,36a	11,75 bcd	1,87a	26,87abc	679,78ab		
N3	2,50a	14,75bc	1,87a	29,00ab	915,75ab		
N4	2,61a	17,00ab	2,00a	34,87a	1071,93a		
N5	1,81a	21,50a	1,00b	25,75abc	1118,19a		
Controle	0,39b	6,75d	1,00b	15,12c	103,07b		

*variáveis seguidas pela mesma letra na vertical não diferem estatisticamente a 5% de probabilidade.

Ao analisarmos, no entanto, as variáveis número de grãos por planta – NGP (unidade) e estimativa de produtividade – EP (kg ha⁻¹) foi observado que os valores dos tratamentos adicionais foram inferiores aos de frações de EDT. Demonstrando uma dificuldade das plantas em produzir vagens e, conseqüentemente, grãos, isto é, desempenhando um excelente papel vegetativo que não se consolidou na fase reprodutiva. Alguns pontos podem ser levados a esse respeito, como a possibilidade de lixiviação dos nutrientes ao longo do experimento, haja vista que a adubação mineral foi feita em uma única aplicação antes do semeio da soja e a irrigação diária pode ter promovido um inicial desenvolvimento vegetativo, mas na fase reprodutiva a quantidade de adubo presente no solo era baixa, prejudicando a formação das vagens e grãos.

Por outro lado, um fator capaz de comprometer a formação de vagens e granação da cultura é o excesso de nitrogênio (N), especialmente, o que proporcionaria um “luxo vegetativo” e impactaria negativamente na fase reprodutiva, tal sintoma de excesso de N é descrito por Malavolta (2006).

Tais observações foram ponderadas do ponto de vista numérico, pois ao observarmos estatisticamente as diferenças significativas foram pontuais em alguns tratamentos específicos.

6.2. EXPERIMENTO 2

A seguir é apresentada a tabela (tabela 10) de resumo da análise de variância para o experimento 2. Conforme pode ser observado, as variáveis taxa de crescimento absoluto do diâmetro caulinar – TCAD (cm), massa fresca – MF (g), massa seca – MS (g), umidade da parte aérea – U(A) (%), umidade dos grãos – U(G) (%), número de grãos por vagem – NGV (unidade), número de grãos por planta – NGP (unidade) e a concentração interna de CO₂ - (mmol m⁻² s⁻¹) apresentaram efeito significativo do nível de diluição do esgoto doméstico tratado. Já para o tipo de aplicação (contínua e pulsada) o efeito significativo foi observado sobre a variável altura de planta – AP (cm), número de grãos por vagem – NGV (unidade) e concentração interna de CO₂ - (mmol m⁻² s⁻¹).

As variáveis diâmetro do caule – DC (cm), taxa de crescimento absoluto caulinar – TCAC (cm), massa seca – MS (g), umidade da parte aérea – U(A) (%), massa fresca dos grãos – MGF (g), massa seca dos grãos – MSG (g), número de vagem por planta – NVP (unidade) e estimativa de produtividade (kg ha⁻¹), apresentaram efeito significativo da interação dos fatores em estudo e, deste modo, foi realizado o desdobramento da interação.

Para o diâmetro do caule – DC (cm) (figura 14A) e a taxa de crescimento absoluto caulinar – TCAC (cm) (figura 14B) foi obtido ajuste linear para interação dos ND tanto para a irrigação contínua quanto para a fracionada, o comportamento das variáveis foi muito parecido, com valores crescentes quanto maior o percentual de EDT. Inicialmente na irrigação contínua os valores foram superiores aos da irrigação fracionada, se diferenciando no tratamento com 100% de EDT.

Para as demais variáveis com interação significativa entre os fatores, a saber, massa seca – MS (g) (figura 14C), umidade da parte aérea – U(A) (%) (figura 14D), massa fresca dos grãos – MFG (g) (figura 14E), massa seca dos grãos – MSG (g) (figura 14F), número de vagem por planta – NVP (unidade) (figura 14G) e estimativa de produtividade – EP (kg ha⁻¹) (figura 14H), os ajustes obtidos foram quadrático, com exceção para a condição pulsada do número de vagem por plantas – NVP (unidade) que teve um comportamento linear crescente.

Tabela 9: Resumo da análise de variância para as avaliações realizadas para a variável altura de planta (AP), diâmetro do caule (DC), taxa de crescimento absoluto caulinar (TCAC), taxa de crescimento da espessura caulinar (TCAD), massa fresca (MF), massa seca (MS), umidade parte aérea (U(A)), massa fresca dos grãos (MFG), massa seca dos grãos (MSG), umidade dos grãos (U(G)), número da vagem por planta (NVP), número de grãos por vagem (NGV), número de grãos por planta (NGP), massa de mil grãos (MMG), estimativa de produtividade (EP), fotossíntese (A), condutância estomática (gs), concentração interna de CO₂ (Ci) e transpiração (E) para o experimento 2.

QUADRADO MÉDIO ⁺											
FV	GL	AP	DC	TCAC	TCAD	MF	MS	U(A)	MFG	MSG	U(G)
TA	1	211,42*	0,25 ^{ns}	0,018 ^{ns}	0,000 ^{ns}	0,049 ^{ns}	2,455**	284,41*	0,000**	0,000**	0,100 ^{ns}
ND	4	101,88 ^{ns}	2,35**	0,009 ^{ns}	0,000 ^{ns}	13,121*	4,338**	214,86**	1,058**	0,927**	49,337*
TA*ND	4	95,18 ^{ns}	0,88*	0,013*	0,000 ^{ns}	2,101 ^{ns}	1,708**	125,84*	0,375**	0,305**	40,412 ^{ns}
Bloco	3	60,62 ^{ns}	0,89 ^{ns}	0,014*	0,000 ^{ns}	3,443 ^{ns}	1,324**	175,20 ^{ns}	0,041**	0,032**	14,700 ^{ns}
Resíduo	27	39,97	0,31	0,004	0,000	1,183	0,415	45,573	0,053	0,043	17,774
CV (%)		11,0	12,37	20,93	31,27	8,46	6,06	31,54	15,10	15,48	24,3
QUADRADO MÉDIO ⁺											
FV	GL	NVP	NGV	NGP	MMG	EP	A	gs	Ci	E	
TA	1	3,6 ^{ns}	1,22**	2,67 ^{ns}	0,00 ^{ns}	115357,27**	4,36 ^{ns}	0,001 ^{ns}	565,73*	0,83 ^{ns}	
ND	4	64,65**	0,66**	149,66**	0,00 ^{ns}	144896,54**	6,79 ^{ns}	0,005 ^{ns}	691,72**	2,82 ^{ns}	
TA*ND	4	19,10*	0,11 ^{ns}	17,48 ^{ns}	0,00 ^{ns}	70282,264**	1,37 ^{ns}	0,004 ^{ns}	134,50 ^{ns}	2,65 ^{ns}	
Bloco	3	3,23 ^{ns}	0,07 ^{ns}	6,93 ^{ns}	0,00 ^{ns}	20469,56**	2,06 ^{ns}	0,007 ^{ns}	64,18 ^{ns}	6,80 ^{ns}	
Resíduo	27	4,69	0,09	11,09	0,00	6747,97	3,17	0,007	118,61	3,40	
CV (%)		23,68	17,28	23,28	25,21	16,78	37,58	35,65	7,21	26,84	

**-parâmetro significativo a 1% de probabilidade; *-parâmetro significativo a 5% de probabilidade; ^{ns}-parâmetro não significativo. (⁺Valores observados com p<5%)

FV – fonte de variação; TA – tipo de aplicação; CV - coeficiente de variância; GL – grau de liberdade; AP – altura de planta (cm); DC – diâmetro do caule (cm); TCAC – taxa de crescimento absoluto caulinar (cm); TCAD – taxa de crescimento absoluto do diâmetro (cm); MF – massa fresca da parte aérea (g); MS – massa seca da parte aérea (g); U(A) – umidade da parte aérea (%); MFG – massa fresca dos grãos (g); MSG – massa seca dos grãos (g); U(G) – umidade dos grãos (%); NVP – número de vagens por planta; NGV – número de grãos por vagem; NGP – número de grãos por planta; MMG – massa de mil grãos (g); EP – estimativa da produtividade (kg ha⁻¹); A – fotossíntese (μmol CO₂ m⁻² s⁻¹); gs – condutância estomática (μmol H₂O m⁻² s⁻¹); Ci – concentração interna de CO₂ (mmol m⁻² s⁻¹); E – transpiração (mmol H₂O m⁻² s⁻¹).

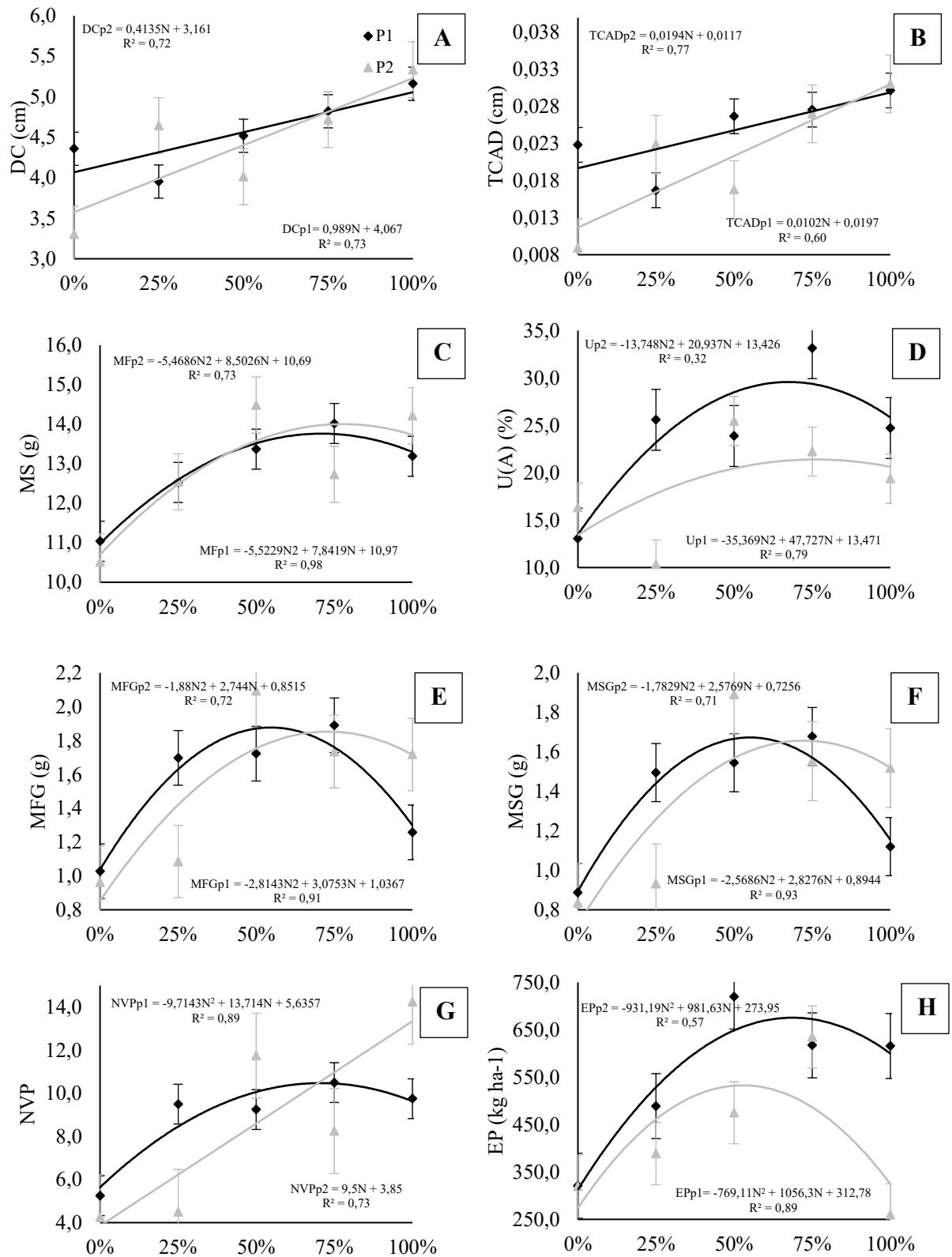


Figura 13: Desdobramento dos níveis do fator 2 (ND) dentro do fator 1 (TA) para as variáveis diâmetro do caule – DC (cm), taxa absoluta de crescimento da espessura caulinar – TACD (cm), massa seca – MS (g), umidade da parte aérea – U(A) (%), massa fresca dos grãos – MFG (g),

massa seca dos grãos – MSG (g), número de vagem por planta – NVP (unidade) e estimativa de produtividade – EP (kg ha^{-1}).

O comportamento do diâmetro do caule – DC (cm) e da taxa de crescimento absoluto caulinar – TCAC (cm) indica que à medida que a fração de esgoto doméstico era aumentada, as plantas apresentavam melhores condições de desenvolvimento, por estarem melhor nutridas e, deste modo, os maiores valores foram observados para as plantas expostas à irrigação com 100% de EDT. Tal fato ocorreu para os dois tipos de aplicação – contínuo e pulsado. Costa et al. (2014), trabalhando com a cultura do milho com frações de esgoto doméstico observaram um incremento linear do diâmetro do caule com o aumento do esgoto doméstico, corroborando com os resultados encontrados nesta pesquisa e apresentado na literatura em relação a disponibilização de nutriente pelo EDT, efeito descrito também por Freitas et al. (2012), para a cultura do girassol. Ribeiro et al. (2011), no entanto, ao submeter a mamoneira a irrigação com frações de EDT, não observaram efeito significativos sobre as variáveis de crescimento.

As variáveis com ajuste quadrático, assim como no primeiro experimento, apresentaram decréscimo entre os tratamentos de 50 e 75% de EDT, tanto para a condição de irrigação contínua quanto para a pulsada, corroborando com os resultados obtidos por Costa et al. (2014), que no caso do milho, observaram incremento do peso da espiga com e sem palha até o tratamento com 50% de EDT, seguida por um decréscimo para as frações superiores. Os valores obtidos para condição de irrigação contínua foram em sua maioria maiores que os com irrigação intermitente. Conforme anteriormente discutido, a deposição do EDT proporcionou a formação de camada de selamento na superfície do solo, a qual era evidenciada nas unidades experimentais com irrigação pulsada, o que é esperado, haja vista que o menor volume de aplicada a cada pulso resultava em uma menor infiltração para as camadas mais profundas do solo, deixando os compostos orgânicos presentes na EDT na superfície do solo.

A utilização de águas residuárias de forma indiscriminada, de acordo com Bertossi (2013), pode causar dispersão de argila e obstrução do espaço poroso, consequentemente, reduzindo a infiltração. A redução na infiltração, no entanto, pode se relacionar à fatores quanto a qualidade da água ou atributos do solo. No que se refere a qualidade da água, tem-se o teor de sais e matéria orgânica (TARCHOUNA et al. 2010), já os atributos do solo relacionam-se a densidade, porosidade e estabilidade de agregados, por exemplo (LEAL et al. 2009).

Para as variáveis cujo efeito foi apenas das frações de EDT (figura 15), isto é, massa fresca – MF (g), umidade dos grãos – U(G) (%), número de grãos por planta – NGP (unidade),

número de grãos por vagem – NGV (unidade) e concentração interna de CO_2 – C_i ($\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) os ajustes quadráticos foram similares aos da interação, com concavidade voltada para baixo, indicando um decréscimo próximo ao tratamento com 50% de EDT. Os resultados demonstram que as plantas tiveram um desempenho inicial da fase vegetativa bom, mas apresentaram dificuldades na conversão em produção. Para Freitas et al. (2018) é possível que ocorra um acúmulo de NKP com a utilização de EDT, considerando a riqueza desses elementos no mesmo, e assim, funcione como antagonismo ao desenvolvimento reprodutivo das plantas.

Apesar disso, os autores citados acima destacam que ao avaliarem o número de vagem por planta de feijão irrigada com EDT obtiveram as maiores médias para aquelas que receberam 100% do efluente. Consonante a isto, Sousa Neto et al. (2012), trabalhando com a cultura do algodão, concluíram que o EDT pode substituir completamente a adubação convencional para a cultura.

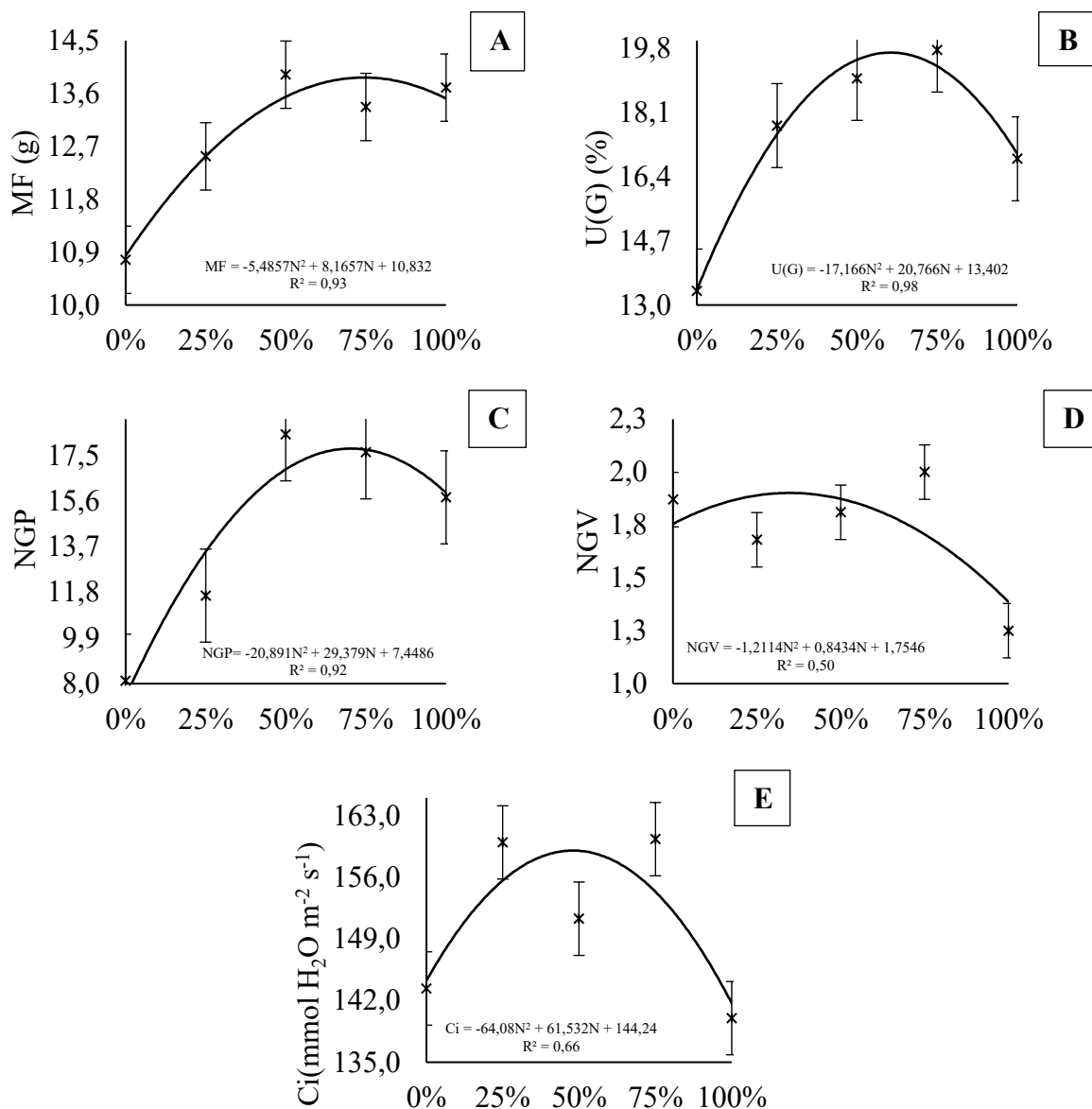


Figura 14: Comportamento da massa fresca – MF (g), umidade da parte aérea – UA (%), número de grãos por planta – NGP (unidade), número de grãos por viagem – NGV (unidade) e concentração interna de CO₂ – Ci (mmol H₂O m⁻² s⁻¹).

Para a altura de planta – AP (cm) o fator 2 (Tipo de Aplicação) apresentou efeito significativo, tendo as plantas submetidas a condição de aplicação pulsada apresentado médias estatisticamente superior àquelas irrigadas de forma contínua. O resultado evidencia o descrito por Souza et al. (2023), ao afirmar que a irrigação intermitente mantém o solo úmido por mais tempo, proporcionando melhores condições para a absorção da água e nutrientes pela planta, e consequentemente um melhor desenvolvimento.

Tabela 10: Teste de Média para a altura de planta – AP (cm).

Tipo de Aplicação	AP	NGV	Ci
P1 – Contínuo	55,20 b	1,55a	147,22b
P2 – Pulsado	59,80 a	1,90a	154,74a

*variáveis seguidas pela mesma letra na vertical não diferem estatisticamente a 5% de probabilidade.

7. CONCLUSÕES

A estimativa de produtividade da soja submetida ao gotejamento por pulsos é superior àquela obtida por gotejamento contínuo.

Os maiores níveis de concentração de esgoto doméstico tratado, em geral, proporcionaram um melhor desenvolvimento às plantas, servindo como importante indicador de suprimento, além de hídrico, nutricional para as plantas.

8. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A reutilização de água residuária na agricultura, apesar de não ser uma prática recente, ainda apresenta lacunas a serem preenchidas quanto seu uso em substituição a adubação das culturas. Associado a isso, a soja, que hoje configura como o grão mais importante nacional e mundial, sendo o Brasil o maior produtor e exportador de soja no mundo vem ganhando espaço em regiões que anteriormente não vinha sendo cultivada, como é o caso do Nordeste brasileiro.

Compreendendo isso e a escassez de pesquisa para a cultura na região, especialmente do ponto de vista de necessidade hídrica e alternativas de irrigação, o presente trabalho dá os primeiros passos no objetivo de incentivar pesquisadores da região a estudarem estratégias hídricas e nutricionais para essa cultura tão importante para a economia nacional.

9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABIOVE – Associação Brasileira das Indústrias de Óleos Vegetais. Estatísticas. Disponível em <<https://abiove.org.br/estatisticas/>> Acessado em 6 de dezembro de 2022.

ADEALQ - Associação dos Ex-Alunos da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz". Disponível em <<https://www.adealq.org.br/blog/cultura-da-soja-sua-importancia-na-atualidade-2076>>. Acessado em 23 de novembro de 2024.

ALMEIDA, W. F. de; LIMA, L. A.; PEREIRA, G. M. Drip pulses and soil mulching effect on american crisphead lettuce yield. Engenharia Agrícola, v. 35, p. 1009-1018, 2015.

ANA – Agência Nacional de Águas e Saneamento. Usos da água. Brasília: ANA, 2022. Disponível em <<https://www.gov.br/ana/pt-br/assuntos/gestao-das-aguas/usos-da-agua>>. Acessado em 15 de agosto de 2022. (a)

ANA- Agência Nacional de Águas e Saneamento. Capacitação: Unidade 1 – Reúso de Água Agrícola e Florestal. Disponível em <https://capacitacao.ana.gov.br/conhecerh/bitstream/ana/84/10/Unidade_1.pdf> Acessado em: 20 de agosto de 2022 (b).

AQUINO, C. F. et al. Morphological and yield responses of 'BRS Vitória' grapevines subjected to bio-fertigation with aquaculture wastewater. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 58, p. e02986, 2023.

ASARGEW, M. F. et al. Water stress changes the relationship between photosynthesis and stomatal conductance. *Science of The Total Environment*, v. 907, p. 167886, 2024.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9648. Estudo de Concepção de Sistemas de Esgoto Sanitário. ABNT, 1986.

AZIEZ, A. F., PRASETYO, A., PAIMAN, P. Root Growth Response of Soybean Under Water Deficit. *Journal of Biodiversity and Biotechnology*, 2023

BARROS, H. M. M. et al. Reuso de água na agricultura. *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável*, v. 10, n. 5, p. 3, 2015.

BERTOSSI, A. P. A. Influência da aplicação de águas residuárias sobre a infiltração de água no solo. *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável*, v. 8, n. 5, p. 24, 2013.

CABRAL, R. do C. et al. Índices de seleção para identificar cultivares de soja tolerantes à seca. *Research, Society and Development*, v. 9, n. 7, p. e259973812-e259973812, 2020.

CARVALHO, P. H. M. DE S. et al. Desempenho agrônômico de gérbera sob reuso de água. *Revista Brasileira de Agricultura Irrigada*, v. 12, n. 6, p. 3040-3047, 2019.

CAVALCANTI, F. J. A. et al., Recomendações de adubação para o Estado de Pernambuco. 2ª Aproximação. Recife – Instituto Agrônômico de Pernambuco – IPA, 2008. 212p.

CHAND, Jeet; JHA, Shiva; SHRESTHA, Sameer. Recycled wastewater usage: A comprehensive review for sustainability of water resources. *Recent Progress in Materials*, v. 4, n. 4, p. 1-20, 2022.

CEPEA - Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada. PIB do Agronegócio: Brasil. Disponível em:< <https://cepea.esalq.usp.br/br/pib-do-agronegocio-brasileiro.aspx>>. Acessado em: 14 de novembro de 2024.

CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. Disponível em <<https://cetesb.sp.gov.br/aguas-interiores/informacoes-basicas/tpos-de-agua/reuso-de-agua/>>. Acessado em 22 de agosto de 2022.

CONAMA, Resolução 503 de 16 de dezembro de 2021, do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA; “Define critérios e procedimentos para o reúso em sistemas de fertirrigação de efluentes provenientes de indústrias de alimentos, bebidas, laticínios, frigoríficos e graxarias”; publicada em Diário Oficial da União em 16 de dezembro de 2021, Brasília, DF.

CORRÊA, M. M. et al. Wastewater reuse in irrigation: short-term effect on soil carbon and nitrogen stocks in Brazilian semi-arid region. *Revista Ambiente & Água*, v. 16, 2021.

COSTA, Z. V. B. da et al. Efeito da aplicação de esgoto doméstico primário na produção de milho no assentamento Milagres (Apodi-RN). *Revista Ambiente & Água*, v. 9, p. 737-751, 2014.

CUNHA, F. F. et al. Uniformidade de distribuição em sistemas de irrigação por gotejamento utilizando água residuária da despolpa dos frutos do cafeeiro. *Acta Scientiarum. Agronomy*, v. 28, n. 1, p. 1-5, 2006.

CRUZ, R. I. F. et al. Productivity of irrigated peanut plants under pulse and continuous dripping irrigation with brackish water. *Revista Caatinga*, v. 34, p. 208-218, 2021.

DANTAS, D. DA C. et al. Nutrient extraction by *Helianthus annuus* L. irrigated with treated domestic sewage. *Sustainable Water Resources Management*, v. 6, n. 4, p. 1-11, 2020.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 2011. Disponível em <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/56865/1/CAT.-2-2011.pdf>>. Acessado em 15 de agosto de 2022.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 2016. Disponível em <<https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1047123/estadios-fenologicos-e-marcha-de-absorcao-de-nutrientes-da-soja>> . Acessado em: 17 de agosto de 2022.

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*, v. 16, p. 1031-1039, 2012.

FREITAS, C. A. S. de. et al. Use of treated sewage as water and a nutritional source for bean crops. *Revista Caatinga*, v. 31, n. 2, p. 487-494, 2018.

KELLER, J.; KARMELI, D. Trickle Irrigation Design , [online] , Inst. Rainbird Sprinkler Manufacturing Corporation, Departamento de Meio Ambiente, FAO, Glendora, Califórnia, p. 182, 1974.< Disponível em: <http://www.fao.org>>. Acessado em 15 de abril de 2025.

LEAL, R. M. P.; HERPIN, U.; FONSECA, A. F.; FIRME, L. P.; MONTES, C. R.; MELFI, A. J. Sodicity and salinity in a Brazilian Oxisol cultivated with sugarcane irrigated with wastewater. *Agricultural Water Management*, v. 96, p. 307-316, 2009.

LOPES, T. S. et al. Response of vegetative performance in soybean cultivars submitted to deficit irrigation. *Revista Engenharia Na Agricultura - REVENG*, 2023.

MALAVOLTA, E. Manual de nutrição mineral de plantas. Agronômica Ceres, 2006.

MANO, N. A., MADORE, B., MICKELBART, M. V. Different Leaf Anatomical Responses to Water Deficit in Maize and Soybean. *Life*, 2023.

MANTOVANI, E. C.; BERNARDO, S.; PALARETTI, L. F. Irrigação: princípios e métodos. UFV, 2007.

MAPA – Ministério de Agricultura Pecuária e Abastecimento. AGROSTAT – MAPA Indicadores. Disponíveis em <http://indicadores.agricultura.gov.br/agrostat/index.htm>>. Acesso em 16 novembro de 2022.

MATOŠA KOČAR, M. et al. Environment- and Genotype-Dependent Irrigation Effect on Soybean Grain Yield and Grain Quality. *Applied Sciences (Switzerland)*, 2023.

MELO, A. R. de et al. Alterações químicas do solo após irrigação com efluentes e adubação fosfatada cultivado com Moringa oleifera Lam. *Ciência Florestal*, v. 33, n. 3, p. e70786, 2023.

MELO, M. R. M de. et al. Água residuária como alternativa de irrigação em duas cultivares de feijão. *Revista IRRIGA-Brazilian Journal of Irrigation & Drainage*, v. 25, n. 2, 2020.

MENDES, P. E. F.; BASTOS, R. G.; SOUZA, C. F. Efluente tratado na agricultura: aspectos agrônômicos e sanitários no cultivo do rabanete. *Revista Brasileira de Agricultura Irrigada-RBAI*, v. 10, n. 1, p. 428-438, 2016.

MENEZES, S. M. DE et al. Continuous and pulse fertigation on dry matter production and nutrient accumulation in coriander. *Dyna*, v. 87, n. 212, p. 18-25, 2020.

MORBIDINI, F. et al. The state of the art on deficit irrigation in soybean. In *Irrigation and Drainage*, 2024.

MORSY, A. et al. Determination of Agro-Physiological Traits Related to Water Deficit Tolerance for some Soybean Genotypes. *Journal of Plant Production*, 2022.

MOURA, P. G. et al. Água de reúso: uma alternativa sustentável para o Brasil. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 25, p. 791-808, 2020.

OLIVEIRA, Herison Alves de et al. Growth and mineral composition of papaya and passion fruit seedlings irrigated with gray water. *Revista Caatinga*, v. 33, n. 4, p. 1037-1048, 2020.

PEREIRA, MJZ; KLEPKER, D.; MOREIRA, JUV. Cultivares de soja: regiões norte e nordeste do Brasil. Embrapa, Londrina, PR, 2011.

PROCOPIO, S. de O. et al. Estudos de cultivares de soja na região dos Tabuleiros Costeiros do Sealba. Embrapa, Aracaju, SE, 2019.

PROCÓPIO, S. de O. et al. Recomendações técnicas para a produção de soja na região agrícola do Sealba. Embrapa, Aracaju, SE, 2022.

RIBEIRO, M. C. de F. et al. Crescimento e produtividade da mamoneira irrigada com diferentes diluições de esgoto doméstico tratado. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 16, p. 639-646, 2012.

SANTOS, A. DA S. et al. Importância do reuso de água para irrigação no Semiárido. *Meio Ambiente (Brasil)*, v. 2, n. 3, 2020.

SANTOS, M. A. L. DOS et al. Avaliação da uniformidade de distribuição de um sistema de irrigação por gotejamento em inhame (*Dioscorea Cayennensis* L.). *Ciência Agrícola*, Rio Largo, v. 13, n. 1, p. 7-13, 2015.

SEDIYAMA, T; SILVA, F; BORÉM, A. Soja: do plantio à colheita. UFV, 2015.

SEDIYAMA, T; TEIXEIRA, R. C.; BARROS, H. B. Cultivares. In: Sedyama, T. (Ed). *Tecnologia de produção e usos da soja*. Londrina, PR: Mecenas, 2009.

SILVA, F. et al. Soja: do plantio à colheita. *Oficina de Textos*, 2022.

SOUSA NETO, O. N. et al. Fertigação do algodoeiro utilizando efluente doméstico tratado. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v. 16 n. 2, p. 200-208, 2012.

SOUZA, C. S. de et al. Production of green cowpea beans fertigated by continuous and pulse drip irrigation. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 59, p. e03463, 2024.

SOUZA, E. J. et al. Eficiência do uso da água pelo milho doce em diferentes lâminas de irrigação e adubação nitrogenada em cobertura. *Revista Brasileira de Agricultura Irrigada*, v. 10, n. 4, p. 750, 2016.

TARCHOUNA, L. G.; MERDY, P.; RAYNAUD, M.; PFEIFER, H. F.; LUCAS, Y. Effects of long-term irrigation with treated wastewater. Part I: Evolution of soil physico-chemical properties. *Applied Geochemistry*, v. 25, p. 1703–1710, 2010.

USDA- DEPARTAMENTO DE AGRICULTURA DOS ESTADOS UNIDOS. Anuário de Culturas Oleaginosas, USDA. Disponível em <https://www.ers.usda.gov/data-products/oil-crops-yearbook/>. Acessado em 11 de novembro de 2024.

XU, Y. et al. Physiological responses and transcriptome analysis of soybean under gradual water deficit. *Frontiers in Plant Science*, 2023.

ZAMORA, V. R. O. et al. Gotejamento por pulsos e lâminas de fertirrigação nas relações hídricas do coentro. *Horticultura Brasileira*, v. 37, n. 1, p. 22-28, 2019.