



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

TAYSA DAYANA FREIRE DE LIMA

**GERMINAÇÃO E DESENVOLVIMENTO DO *Carthamus tinctorius* L.
IRRIGADO COM DILUIÇÕES DE ÁGUA PRODUZIDA DE PETRÓLEO**

MOSSORÓ/RN

2023

TAYSA DAYANA FREIRE DE LIMA

**GERMINAÇÃO E DESENVOLVIMENTO DO *Carthamus tinctorius* L.
IRRIGADO COM DILUIÇÕES DE ÁGUA PRODUZIDA DE PETRÓLEO**

Dissertação apresentada ao Mestrado em Manejo de Solo e Água do Programa de Pós-Graduação em Manejo de Solo e Água da Universidade Federal Rural do Semi-Árido – UFERSA, como parte dos requisitos para obtenção do título de “Mestre em Manejo de Solo e Água”.

Linha de Pesquisa: Modelagem Ambiental e Manejo de Solo.

Orientador: Prof. Dr. Luis César de Aquino Lemos Filho

Coorientador: Prof. Dr. Rafael Oliveira Batista

MOSSORÓ/RN

2023

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tomar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

LT247 Lima, Taysa Dayana Freire de.
g GERMINAÇÃO E DESENVOLVIMENTO DO *Carthamus tinctorius* L. IRRIGADO COM DILUIÇÕES DE ÁGUA PRODUZIDA DE PETRÓLEO / Taysa Dayana Freire de Lima. - 2023.
81 f. : il.

Orientador: Luis César de Aquino Lemos Filho.
Coorientador: Rafael Oliveira Batista.
Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal Rural do Semi-árido, Programa de Pós-graduação em Manejo de Solo e Água, 2023.

1. Cártamo. 2. Reuso de efluente. 3. Parâmetros morfológicos. 4. Crescimento de plântulas. I. Lemos Filho, Luis César de Aquino, orient. II. Batista, Rafael Oliveira, co-orient. III. Título.

Ficha catalográfica elaborada por sistema gerador automático em conformidade com AACR2 e os dados fornecidos pelo autor(a).

Biblioteca Campus Mossoró / Setor de Informação e Referência

Bibliotecária: Keina Cristina Santos Sousa e Silva

CRB: 15/120

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

**GERMINAÇÃO E DESENVOLVIMENTO DO *Carthamus tinctorius* l.
IRRIGADO COM DILUIÇÕES DE ÁGUA PRODUZIDA DE PETRÓLEO**

Dissertação apresentada ao Mestrado em Manejo de Solo e Água do Programa de Pós-Graduação em Manejo de Solo e Água da Universidade Federal Rural do Semi-Árido – UFERSA, como parte dos requisitos para obtenção do título de “Mestre em Manejo de Solo e Água”.

Linha de pesquisa: Modelagem Ambiental e Manejo de Solo.

Defendida em: 30/10/2023

BANCA EXAMINADORA

Luis César de Aquino Lemos Filho, Prof. Dr. (UFERSA)
Presidente

Rafael Oliveira Batista, Prof. Dr. (UFERSA)
Membro Examinador

Juliana Espada Lichston, Profa. Dra. (UFRN)
Membra Examinadora

Fabírcia Gratyelli Bezerra Costa, Dra.
Membra Examinadora

Ao meu avô paterno, **Pedro Oliveira da Silva** (*in memoriam*), pela inspiração de homem trabalhador e honesto que foi, um agricultor sertanejo que preparava a terra, plantava e tinha o prazer de colher no período chuvoso, que guardava as sementes pra próxima safra e no mês de junho fazia fogueiras agradecendo sua colheita a Santo Antônio, São João e São Pedro. Agradeço por me cuidar aí do plano espiritual. Como a neta mais velha, procuro honrar seu zelo e, em sua homenagem, serei a primeira da família a obter o título de mestre. Seu exemplo de suor e resistência vive em mim.

DEDICO

Aos meus pais, **Antonio Lima** e **Maria Carla**, à minha irmã, **Tasyely Freire**, aos meus avós **Maria Aniece**, **Luiza Freire** e **Assis Freire**, e ao meu namorado, **Leandro Nascimento**, pelo apoio, paciência e amor incondicionais.

OFEREÇO

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Jesus Cristo e a toda espiritualidade amiga e benfeitora que me acompanha, pela misericórdia, amparo e por me guiarem nesta e outras futuras fases da vida.

Agradeço à Universidade Federal Rural do Semi-Árido pela oportunidade de concluir um curso de pós-graduação em nível de mestrado.

Agradeço a concessão da bolsa de estudos, por meio da ANP, PRH-55.1 (Estratégias Sustentáveis na Indústria do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis), bem como a todos os colaboradores vinculados que trabalham em prol desta causa.

Agradeço ao corpo docente do PPGMSA, que tanto contribuiu para meu crescimento profissional, pelo suporte interdisciplinar e por toda a solicitude que encontrei todas as vezes que precisei de ajuda.

Agradeço a todos os colaboradores do LASAPSA e LASAP, que mantêm os mecanismos da Universidade funcionais para que possamos executar nossas pesquisas.

Agradeço profundamente aos professores Luis César A. Lemos e Rafael Oliveira Batista, que atuaram, respectivamente, como meu orientador e coorientador. Agradeço a parceria, a relação de cuidado, por acreditarem no meu potencial e por serem os guias acadêmicos que me lapidaram e tornaram possível esta pesquisa tão desafiadora.

Agradeço a contribuição da professora Juliana Espada Lichston, do Departamento de Botânica, Ecologia e Zoologia da UFRN, pela doação das sementes das três cultivares de cártamo utilizadas no trabalho e pelas diversas trocas de experiências em relação ao trato da cultura do cártamo.

Agradeço pelo tempo e cooperação da banca avaliadora para o melhoramento deste trabalho.

Agradeço a amizade e companheirismo que encontrei em muitos queridos que circulam pelos ambientes que mencionei nas linhas anteriores, especialmente os que frequentam o Laboratório de Microbiologia e Matéria Orgânica, pessoas com quem forjei laços de carinho e confiança muito valiosos, pessoas que me ampararam em tantos momentos que não há palavras que possam expressar inteiramente o quanto me sinto abençoada.

A todos os que contribuíram de alguma forma para esta pesquisa, meus sinceros agradecimentos e votos de prosperidade.

Prece de Cáritas

Deus, nosso pai, que sois todo poder e bondade, dai força àquele que passa pela provação, dai luz àquele que procura a verdade; ponde no coração do homem a compaixão e a caridade!

Deus, dai ao viajor a estrela guia, ao aflito a consolação e ao doente o repouso.

Pai, dai ao culpado o arrependimento, ao espírito a verdade, à criança o guia e ao órfão o pai!

Senhor, que a vossa bondade se estenda sobre tudo o que criastes. Piedade, Senhor, para aquele que vos não conhecem, esperança para aquele que sofre. Que a vossa bondade permita aos espíritos consoladores derramarem por toda a parte, a paz, a esperança e a fé.

Deus! Um raio, uma faísca do vosso amor podem abrasar a terra; deixai-nos beber nas fontes dessa bondade fecunda e infinita, e todas as lágrimas secarão, todas as dores se acalmarão.

E um só coração, um só pensamento subirá até vós, como um grito de reconhecimento e de amor.

Como Moisés sobre a montanha, nós vos esperamos com os braços abertos. Oh poder! Oh bondade! Oh beleza! Oh perfeição! E queremos de alguma sorte merecer a vossa misericórdia.

Deus, dai-nos a força para ajudar o progresso, afim de subirmos até vós; dai-nos a caridade pura, dai-nos a fé e a razão; dai-nos a simplicidade que fará de nossas almas o espelho onde se refletirá a vossa divina e santa Imagem.

Assim seja.

RESUMO

Com uma proposta inovadora, este trabalho estudou a utilização da água produzida de petróleo para a produção de cártamo, visando à geração de biocombustíveis, muito relevante sob a ótica ambiental. O objetivo foi estudar a produção da cultura do cártamo (*Carthamus Tinctorius* L.) irrigado com diluições de água produzida de petróleo real (não produzida em laboratório), do estágio inicial de germinação à floração. O experimento foi executado em casa de vegetação com cinco tratamentos por diluições de água de abastecimento (AA) em água produzida de petróleo (AP): T1 - 100% AA e 0% AP; T2 - 75% AA e 25% AP; T3 - 50% AA e 50% AP; T4 - 25% AA e 75% AP e T5 - 0% AA e 100% AP. As diluições foram analisadas em parâmetros de qualidade de água para irrigação. O delineamento experimental foi o de blocos inteiramente casualizados em arranjo fatorial 3x5, com três cultivares (IMAMT1470, IMAMT894 e S525), cinco repetições por tratamento. Foi utilizado o método de capacidade de campo para determinação da necessidade hídrica da cultura. As variáveis analisadas foram as de estudo da germinação e as análises destrutivas e não destrutivas da morfologia da planta. Os resultados foram submetidos à análise de variância e teste de comparação de média, Tukey a 5 % de probabilidade, utilizando o *software* SISVAR. O ranking de resultados de melhor desempenho foi: tratamento T4, nas sequências das cultivares IMAMT894, S525 e IMAMT1470. A maioria dos resultados encontrados foi superior aos resultados do tratamento testemunha T1, ou seja, a água produzida de petróleo em sua menor diluição testada apontou perspectivas muito favoráveis ao desempenho agrônômico da planta.

Palavras-chave: Cártamo. Reuso de efluente. Parâmetros morfológicos. Crescimento de plântulas.

ABSTRACT

With an innovative proposal, this work studied the use of petroleum produced water for the production of safflower, aiming to generate biofuels, which is very relevant from an environmental perspective. The objective was to study the production of safflower (*Carthamus Tinctorius* L.) culture irrigated with dilutions of real petroleum produced water (not produced in the laboratory), from the initial stage of germination to flowering. The experiment was carried out in a greenhouse with five treatments involving dilutions of supply water (SW) in petroleum produced water (PW): T1 - 100% SW and 0% PW; T2 - 75% SW and 25% PW; T3 - 50% SW and 50% PW; T4 - 25% SW and 75% PW and T5 - 0% SW and 100% PW. Dilutions were analyzed using irrigation water quality parameters. The experimental design was completely randomized blocks in a 3x5 factorial arrangement, with three cultivars (IMAMT1470, IMAMT894 and S525), five replications per treatment. The field capacity method was used to determine the water requirement of the crop. The variables analyzed were germination studies and destructive and non-destructive analyzes of plant morphology. The results were subjected to analysis of variance and mean comparison test, Tukey at 5% probability, using SISVAR software. The ranking of best performing results was: T4 treatment, in the sequences of the cultivars IMAMT894, S525 and IMAMT1470. Most results found were superior to the results of the T1 control treatment, that is, the petroleum produced water in its lowest dilution tested showed very favorable perspectives for the plant's agronomic performance.

Keywords: Safflower. Effluent reuse. Morphological parameters. Seedling growth.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Plântula do cártamo, onde: A) Em idade de 66 dias B) Capítulo no início da inflorescência e C) Sementes em desenvolvimento dentro do capítulo.	23
Figura 2. Esquema de acumulação de petróleo entorno da Formação Açu.	26
Figura 3. Locação da casa de vegetação no lado leste da UFERSA - Mossoró/RN.	29
Figura 4. Casa de vegetação, onde: A) Vista superior do experimento locado na casa de vegetação; B) Vista aproximada (organização dos elementos que compunham o experimento).	30
Figura 5. Fornecimento de água produzida para o experimento, onde: A) Caixa d'água de 1000 L utilizada para reservar a água produzida de petróleo locada em frente à casa de vegetação; B) Logística de distribuição do efluente, transporte da empresa.	31
Figura 6. Unidades experimentais, onde: A) Vasos antes do cultivo e B) Vasos depois do cultivo.	33
Figura 7. Aspectos morfológicos da semente de <i>Carthamus tinctorius</i> L., onde demonstra: A) região basal, em evidência o hilo; B) região apical, em evidência a micropila; C) região ventral; D) região dorsal; E) borda esquerda; F) borda direita.	34
Figura 8. Sementes das cultivares utilizadas no experimento, onde: A) Sementes da cultivar IMAMT1470; B) Sementes da cultivar IMAMT894 e C) Sementes da cultivar S525.	34
Figura 9. Componentes da estação meteorológica e extras, onde: A) Base receptora – vista 1; B) Base receptora – vista 2 e C) Monitor e termo-higrômetro extra.	36
Figura 10. Preparação para análises não destrutivas, onde: A) Enovelamento das raízes e B) Recipiente com resíduo de substrato após lavagem das raízes.	40
Figura 11. Métodos de aferição, onde: A) Exemplo de plântula ao lado de um escalímetro; B) Bancada de trabalho contendo bandeja com amostras, trena, paquímetro digital, balança digital, tesoura de poda e envelopes de papel pardo; C) Zoom do aparelho medidor de área foliar; D) Vista completa do aparelho medidor de área foliar; E) Estufa de circulação de ar fechada e F) Estufa de circulação de ar com os envelopes contendo as amostras para desidratação.	41

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Máximas e mínimas temperatura interna e externa.....	37
Gráfico 2. Máximas e mínimas umidade interna e externa.	37
Gráfico 3. Porcentagem de germinação (G).	44
Gráfico 4. Índice de Velocidade de Emergência (IVE).....	45
Gráfico 5. Tempo Médio de Germinação (TMG).	47
Gráfico 6. Morfologia da planta: comprimento da raiz (CR).....	48
Gráfico 7. Morfologia da planta: Comprimento do Caule (CC).....	50
Gráfico 8. Morfologia da planta: Diâmetro do Caule (DC).	51
Gráfico 9. Morfologia da planta: Número de Folhas (NF).....	53
Gráfico 10. Morfologia da planta: Área Foliar (AF).....	54
Gráfico 11. Morfologia da planta: Massa Fresca da Raiz (MFR) e Massa Seca da Raiz (MSR).....	56
Gráfico 12. Morfologia da planta: Massa Fresca do Caule (MFC) e Massa Seca do Caule (MSC).....	58
Gráfico 13. Morfologia da planta: Massa Fresca Foliar (MFF) e Massa Seca Foliar (MSF).	60

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Média das análises dos tratamentos.....	32
Tabela 2. Porcentagem de Germinação (G).....	43
Tabela 3. Índice de Velocidade de Emergência (IVE).	44
Tabela 4. Tempo Médio de Germinação (TMG).....	46
Tabela 5. Morfologia da planta: Comprimento da Raiz (CR).	47
Tabela 6. Morfologia da planta: Comprimento do Caule (CC).....	49
Tabela 7. Morfologia da planta: Diâmetro do Caule (DC).....	50
Tabela 8. Morfologia da planta: Número de Folhas (NF).	52
Tabela 9. Morfologia da planta: Área Foliar (AF).	53
Tabela 10. Morfologia da planta: Massa Fresca da Raiz (MFR) e Massa Seca da Raiz (MSR).	55
Tabela 11. Morfologia da planta: Massa Fresca do Caule (MFC) e Massa Seca do Caule (MSC).	57
Tabela 12. Morfologia da planta: Massa Fresca Foliar (MFF) e Massa Seca Foliar (MSF).	59
Tabela 13. Comparativos - Morfologia da planta: número de folhas. Amurim (2022)..	62
Tabela 14. Comparativos - Morfologia da planta: comprimento do caule semelhante à altura de planta. Botucatu (2015).	62
Tabela 15. Comparativos - Morfologia da planta: número de folhas. Botucatu (2015).	63
Tabela 16. Comparativos - Morfologia da planta: massa fresca das folhas. Botucatu (2015).	63
Tabela 17. Comparativos - Morfologia da planta: massa fresca da raiz. Botucatu (2015).	64
Tabela 18. Comparativos - Morfologia da planta: comprimento do caule semelhante à altura de planta. Montiel et al. (2019).	65
Tabela 19. Comparativos - Morfologia da planta: diâmetro do caule. Montiel et al. (2019).	65
Tabela 20. Comparativos - Morfologia da planta: comprimento de raiz. Montiel et al. (2019).	66
Tabela 21. Comparativos - Morfologia da planta: massa fresca da raiz. Montiel et al. (2019).	66

Tabela 22. Comparativos - Morfologia da planta: massa seca da raiz. Montiel et al. (2019).	66
Tabela 23. Comparativos - Porcentagem de germinação. Menegaes et al. (2017).....	67
Tabela 24. Comparativos - Índice de Velocidade de Germinação. Menegaes et al. (2017).	68
Tabela 25. Comparativos - Tempo Médio de Germinação. Menegaes et al. (2017).....	68
Tabela 26. Comparativos - Morfologia da planta: comprimento do caule semelhante à altura de planta. Costa (2018) e Santos (2022).....	69
Tabela 27. Comparativos - Morfologia da planta: número de folhas. Costa (2018) e Santos (2022).....	69

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANP	Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Bicomustível
AA	Água de Abastecimento
AP	Água Produzida de Petróleo
APT	Água Residuária do Petróleo Tratada
ANA	Agência Nacional das Águas
AF	Área Foliar
Boed	Barris de Óleo Equivalente
b/d	Barris por Dia
HCO ₃ ⁻	Bicarbonato
Ca ²⁺	Cálcio
CO ₃ ²⁻	Carbonato
CEPEA	Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada
Cl ⁻	Cloro
Kc	Coefficiente de Cultivo
UCCC	Comitê dos Consultores da Universidade da Califórnia
CAERN	Companhia de Águas e Esgotos do Rio Grande do Norte
CR	Comprimento da Raiz
CC	Comprimento do Caule
CE	Condutividade Elétrica
DC	Diâmetro do Caule
dS/m.	Decisiemens/Metro
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
EUA	Estados Unidos da América
ET0	Evapotranspiração de Referência
IVE	Índice de Velocidade de Emergência
IFRN	Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte
kg/há	Quilograma/Hectare
LASAP	Laboratório de Análise de Solo, Água e Planta
ETc	Lâmina Bruta de Irrigação para a Cultura
Mg ²⁺	Magnésio

MAPA	Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento
MFC	Massa Fresca Caule
MFF	Massa Fresca Foliar
MFR	Massa Fresca Raiz
MSC	Massa Seca Caule
MSF	Massa Seca Foliar
MSR	Massa Seca Raiz
m ³	Metros Cúbicos
m ² /d	Metros Cúbicos por Dia
Mm	Milímetros
ONU	Organização das Nações Unidas
FAO	Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura
RenovaBio	Política Nacional de Biocombustíveis
G	Porcentagem de Germinação
K ⁺	Potássio
pH	Potencial Hidrogeniônico
RAS	Relação de Adsorção de Sódio
RN	Rio Grande do Norte
SISVAR	Sistemas para Análises de Variância
Na ⁺	Sódio
TMG	Tempo Médio de Germinação
UFRN	Universidade Federal do Rio Grande do Norte
UFERSA	Universidade Federal Rural do Semi-Árido

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	17
2 REVISÃO DE LITERATURA	20
2.1 CULTURA DO CÁRTAMO	20
2.1.1 Aspectos morfológicos	22
2.1.2 Inflorescência	23
2.2 GERAÇÃO DA ÁGUA PRODUZIDA NO BRASIL E NO NORDESTE.....	24
2.3 LEGISLAÇÃO VIGENTE	27
2.4 REUSO DE ÁGUA PRODUZIDA NA AGRICULTURA EM CONDIÇÕES SEMIÁRIDAS	27
3 MATERIAL E MÉTODOS	29
3.1 LOCALIZAÇÃO, CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA EXPERIMENTAL E CLASSIFICAÇÃO CLIMÁTICA	29
3.2 ORIGEM E TRATAMENTO DO EFLUENTE E DA ÁGUA DE ABASTECIMENTO	30
3.3 CARACTERIZAÇÃO DA ÁGUA DE ABASTECIMENTO E DILUIÇÕES	31
3.5 MANEJO DA IRRIGAÇÃO E REGISTRO DE DADOS METEOROLÓGICOS	34
3.6 VARIÁVEIS ANALISADAS E MÉTODO DE AFERIÇÃO	38
3.6.1 Estudo de germinação	39
3.6.2 Análises não destrutivas	40
3.6.3 Análises destrutivas.....	41
3.7 ANÁLISE ESTATÍSTICA	42
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	43
4.1 VARIÁVEIS DE ESTUDO DE GERMINAÇÃO	43
4.1.1 Porcentagem de Germinação (G)	43
4.1.2 Índice de Velocidade de Emergência (IVE)	44

4.1.3 Tempo Médio de Germinação (TMG)	46
4.2 VARIÁVEIS PARA ANÁLISES NÃO DESTRUTIVAS	47
4.2.1 Comprimento da Raiz (CR)	47
4.2.2 Comprimento do Caule (CC)	49
4.2.3 Diâmetro do Caule (DC)	50
4.2.4 Número de folhas (NF)	52
4.2.5 Área foliar (AF)	53
4.3 VARIÁVEIS PARA ANÁLISES DESTRUTIVAS	55
4.3.1 Massa Fresca Raiz (MFR) e Massa Seca Raiz (MSR)	55
4.3.2 Massa Fresca Caule (MFC) e Massa Seca Caule (MSC)	57
4.3.3 Massa Fresca Foliar (MFF) e Massa Seca Foliar (MSF)	59
Para as variáveis de estudo de germinação, Porcentagem de Germinação (G) e Índice de Velocidade de Emergência (IVE), a cultivar IMAMT1470 se destacou entre os tratamentos T4 e T5, considerando G de 96,00% em T4, IVE de 14,076 em T5. Para variável de germinação Tempo Médio de Germinação (TMG), a cultivar S525 se destacou com 2,80 dias de TMG em T2.	70
REFERÊNCIAS	72

1 INTRODUÇÃO

Um tema persistentemente pautado na contemporaneidade é o de que a maioria das nações pretende transicionar dos combustíveis fósseis para fontes energéticas mais limpas, como é o caso dos biocombustíveis. No Brasil, está implantada a Política Nacional de Biocombustíveis (RenovaBio), estabelecida pela Lei nº 13.576, de 26 de dezembro de 2017, que busca contribuir para o cumprimento dos compromissos implicados ao Brasil no Acordo de Paris, lavrado em 2015, e expandir, regularizar, garantir a eficiência e comercialização da matriz energética dos biocombustíveis e redução de gases poluidores (BRASIL, 2017).

A 72ª edição da revisão estatística do Instituto de Energia mostra que no ano de 2022, em esfera mundial, as produções de petróleo e gás natural foram, respectivamente, 93,848 milhões de barris por dia (b/d) e 4.043,80 bilhões de metros cúbicos (m³) (EI, 2023). No quadro global, o Brasil ocupa as posições de 9º maior produtor de petróleo do mundo e 8º maior consumidor, tendo ainda o 9º maior parque de refino (IPB, 2023). No Brasil em 2022, as produções de petróleo e gás natural foram, respectivamente, 3,021 milhões de b/d e 138 milhões de metros cúbicos por dia (m³/d) (ANP, 2023a), e em agosto de 2023 foram produzidos, a partir de petróleo e gás natural, 4,392 milhões de barris de óleo equivalente (boed) (ANP, 2023b).

Considerando que para a agricultura irrigada são utilizados 49,80% de 93 trilhões de litros de água advindos de fontes de água doce (ANA, 2019), o reuso da água produzida de petróleo, um dos resíduos gerados na cadeia produtiva do petróleo, pode trazer a desobrigação de uso de águas mais nobres para produção de biocombustíveis.

Os campos petrolíferos *onshore* da bacia potiguar são majoritariamente maduros, e neste perfil a água produzida extraída pode atingir de 75,00 a 90,00 % do volume extraído do poço, onde poços com status de vida produtiva terminal chegam a 100,00 % (Cotovicz *et al.*, 2009). O volume mundial de água produzida pode chegar até 70,00 bilhões de barris anualmente (Al-Ghouti *et al.*, 2019), e depois de tratada pelas empresas exploradoras de petróleo essa água é considerada adequada para irrigação.

Inteligência (2023) apresenta em seu relatório as perspectivas para do mercado de cártamo no período dos anos de 2023 a 2028:

O consumo global de óleo de cártamo está crescendo rapidamente, principalmente como resultado da crescente consciência de saúde entre os consumidores em todo o mundo. Cazaquistão, Índia, Estados Unidos da

América, México, Argentina e Austrália são os principais produtores de sementes de cártamo, principalmente para culturas rotativas de extração de óleo, juntamente com arroz, trigo e milho. O Cazaquistão produziu sementes de cártamo de 214.149,00 toneladas em 2018, contra 167.243,00 toneladas em 2016. A produção de sementes de cártamo no Cazaquistão superou três vezes os números registrados pelo segundo maior produtor, os EUA (107.220,00 toneladas, 2018). A Califórnia é o principal produtor de sementes de cártamo nos Estados Unidos, respondendo por 50,00 % da produção.

A semente de cártamo é uma oleaginosa tolerante à seca, com insumos de menor produção, fácil adaptabilidade a vários tipos de solo, eficaz na rotação de culturas, controle eficaz de ervas daninhas e doenças, menor risco de produção, facilidade de colheita e armazenamento são alguns dos fatores que impulsionam a demanda por sementes de cártamo em todo o mundo.

O óleo de cártamo, que é um estado monoinsaturado e poli-insaturado, é usado em fórmulas infantis, cosméticos e óleos de salada e de cozinha. Ambos os tipos de óleo são considerados óleo comestível de alta qualidade, e a conscientização do público sobre seus benefícios para a saúde tornou o cártamo uma cultura essencial para o óleo vegetal. O óleo de cártamo linoleico contém quase 75,00 % de ácido linoleico e é usado principalmente para produtos de óleo comestíveis, como óleos de salada e margarina macia.

A farinha de cártamo, subproduto após a extração do óleo, tem cerca de 24,00 % de proteína e é rica em fibras e é usada como suplemento proteico para ração de gado e aves.

A Rússia é um produtor significativo de sementes de cártamo, além de ser o principal exportador do mesmo. O país exportou sementes de cártamo no valor de US\$ 16,30 milhões com 52.539,00 toneladas. Alguns dos principais países exportadores são Turquia, Bélgica, Polônia, Holanda e outros. Em 2019, a cultura do cártamo é cultivada no território da Federação Russa, principalmente no Distrito Federal do Sul, no Distrito Federal do Volga e na República da Calmúquia.

Em 2018, o projeto nacional Exportação de Produtos Agrícolas do governo da Federação Russa consolidou a indústria de petróleo e gordura (à qual o cártamo também pertence) como um dos fatores-chave para o crescimento do volume de negócios total do comércio até 2024. Como parte desse projeto, está previsto um aumento de quase três vezes nas exportações de derivados de petróleo e gordura até 2024. As sementes de cártamo são uma cultura popular na região e são usadas principalmente para extração de óleo de cártamo, além de serem usadas para alimentação de aves e também em cosméticos.

Benefícios do óleo de cártamo, como redução dos níveis de colesterol, controle do açúcar no sangue, auxílio na perda de peso, melhora do cabelo e da saúde da pele contribuem para sua crescente popularidade, que por sua vez está auxiliando as exportações da região.

Queiroga *et al.* (2021) apontam a cultura do cártamo como uma grande novidade a ser explorada, desempenhando teor de óleo de 37 a 41%. Semelhantemente às culturas do algodão e do girassol, o cártamo se adapta muito bem às microrregiões secas do semiárido, apresentando características agrônômicas cruciais, como grande tolerância ao déficit hídrico, temperaturas elevadas, ventos vigorosos e quentes, baixa umidade relativa do ar e solos degradados.

O mundo busca implantar a matriz energética limpa na intenção de não se autodestruir num colapso climático. Nesse dilema, os biocombustíveis se apresentam

como uma janela de solução viável, mas que deve ser racionalizada para não piorar a lamentável conjuntura de insegurança alimentar, degradar áreas propícias para agricultura e nem exaurir ainda mais as fontes de água doce. O reuso da água produzida de petróleo em irrigação de culturas oleaginosas para promoção de biocombustíveis pode ser a chave para amenizar o impacto ambiental que a exploração gigantesca de petróleo promove. A cultura oleaginosa do cártamo está em proeminente ascensão, é promessa de sucesso produtivo em regiões semiáridas e pode despontar como resposta a todas estas problemáticas.

Esta pesquisa foi motivada pela falta de estudos específicos nesse nicho, assumindo a tarefa desafiadora, bem como todos os riscos e complexidades impostas pela inovação científica. O objetivo foi estudar a produção da cultura do cártamo (*Carthamus Tinctorius* L.) irrigado com diluições de água produzida de petróleo real (não produzida em laboratório), do estágio inicial de germinação à floração.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 CULTURA DO CÁRTAMO

O cártamo (*Carthamus tinctorius l.*) é popular desde a antiga Roma, inicialmente cultivado no Egito, Marrocos, China e Índia, datando do século XIX no último país citado, sendo seu uso primário como fonte de corantes, a cartamina (pigmento vermelho) e carthamidina (pigmento amarelo), que são extraídos de suas flores, além de ser empregado para colorir roupas, alimentos e bebidas, assim como pode ter função medicinal, onde as folhas e flores podem ser usadas para remediação de doenças vasculares, cardíacas, hipertensão, colesterol, doenças respiratórias, dentre outras (PINTO, 2021; MACEDO, 2018).

Em 1930, o cártamo foi mais difundido para outras regiões como espécime oleaginosa e mais recentemente tem seu potencial para produção de biocombustíveis mais bem examinado (SÁNCHEZ *et al.*, 2023). No presente, o país com maior produtividade é o Cazaquistão, com 224.809 toneladas em 2017, sendo também cultivado em 21 outros países, dentre eles Argentina, Austrália, China, Etiópia, Índia, Irã, Quirguistão, México, Rússia, Espanha, Turquia, Tanzânia, Estados Unidos e Uzbequistão (FAO, 2019; SILVA, 2019).

O Anuário Estatístico Brasileiro do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis, da Agência Nacional de Petróleo (ANP), apresenta a evolução do setor com dados de 2013 a 2022, divulgado em 2023, informando que:

- A) A produção de etanol anidro e hidratado registrou alta de 2,50 % em 2022, totalizando 30.74 milhões m³. A região sudeste comporta 49,20 % da produção brasileira, com 15.107,32 mil m³, a região sul com 1.087,56 mil m³, a região centro-oeste com 12.516,40 mil m³, a norte com 269,80 mil m³ e a nordeste com 1.765,28 mil m³, destacando o estado do RN com 91,81 mil m³. O Brasil exportou 2,40 milhões m³ de etanol em 2022.
- B) A produção de biodiesel B100 por região foi de: norte com 162.801,00 m³; sudeste com 448.200,00 m³; sul com 2.653.318,00 m³; centro-oeste com 2.358.826,00 m³ e nordeste com 631.590,00 m³, destacando o estado do RN, no ano de 2015, com 1.799 m³. 6,25 milhões de m³ no total para o país. Desde janeiro de 2022, a comercialização do biodiesel se dá com as distribuidoras comprando diretamente dos produtores.

C) Quanto às matérias-primas utilizadas na produção de biodiesel B100, estão dispostos 4.225.399,00 m³ de óleo de soja, 231.471,00 m³ de outros óleos vegetais, dentre estes óleos estão os de algodão, canola, girassol, macaúba, milho, palma e palmiste, 778.170,00 m³ de gordura animal, incluindo gordura bovina, de frango e porco, 1.190.091,00 m³ de outros óleos, incluindo óleo de fritura usado e outros materiais graxos (ANP, 2023c).

Ainda que em 2022 a soja tenha sido responsável por 8,915 milhões de reais na produção de biodiesel dentro do PIB brasileiro (CEPEA, 2023) e, mesmo amparada pelo agronegócio, ela ainda tem alguns aspectos inconvenientes, tais como baixo teor de óleo de sementes e baixa produtividade, podendo ser considerada uma oleaginosa desvantajosa se observarmos outras matérias primas, como o girassol e o próprio cártamo (Vieira *et al.*, 2019).

Afunilando o diálogo para a região semiárida, nordeste do Brasil, o panorama mundial de demanda energética e colapso ambiental se replica, trazendo a produção dos biocombustíveis como uma porta de progresso socioeconômico e alternativa de matriz energética. Dessa forma, é possível proporcionar fortalecimento regional, principalmente para a agricultura familiar organizada em cooperativas, tanto para inserção do produto no mercado quanto para organização política. Dentre as culturas oleaginosas mais tradicionais para biocombustível na região semiárida está o girassol, pertencente à família Asteraceae, mesma família do cártamo.

O cártamo é altamente compatível com as especificidades edafoclimáticas do semiárido, como a vegetação nativa caatinga hiperxerófila, possuindo características xeromórficas, não vigora classificado em geadas, excesso de umidade no solo ou atmosfera, logo é resistente a estresse hídrico e salino, temperaturas elevadas, baixa umidade relativa do ar e baixo índice de precipitação, e seu ciclo pode encurtar de 140 dias para 75 dias devido a estas condições (SOUSA *et al.*, 2019; ROBLES, 1991). O manejo do cártamo não requer maquinário específico, pois com adaptações acessíveis é possível aproveitar os aparatos de plantio e colheita de outras culturas (SILVA, 2013), como o arroz.

Apesar do cultivo do cártamo no Brasil ainda ser tímido, promovido principalmente por estudos em universidades e institutos de pesquisa (ZOZ, 2015), as previsões são de representatividade e visibilidade para a cultura, especialmente cotada como matriz para biodiesel no Nordeste (MAPA, 2019). Um exemplo foi o estudo de Silva (2020), que avaliou três variedades de cártamo (IMAMT1750, IMAMT 946 e

IMAMT 894) em relação à germinação, desenvolvimento e produtividade, sendo o cultivo empreendido nas instalações do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte (IFRN), campus Apodi/RN. A autora também avaliou a aceitação do cultivo de oleaginosas, como o cártamo, por um grupo de agricultoras da comunidade rural Córrego da cidade de Apodi/RN, inseridas na agricultura familiar, tendo a cultivar IMAMT894 apresentado melhor desempenho em condições de semiárido, com bom rendimento das sementes, 1.064,81 kg/ha, e teor de óleo (34,00 %) e composição química deste óleo para biocombustíveis.

2.1.1 Aspectos morfológicos

O cártamo em geral chega a 150 cm de altura em seu estágio final do ciclo de vida, raiz profunda podendo alcançar 3,50 m, raiz central pivotante com ramificações, capacidade que torna a planta mais eficiente na absorção de água, se desenvolvendo bem em regime de sequeiro e produzindo em baixas condições de fertilidade (LICHSTON, 2019; MENEGAES *et al.*, 2021; ROBLES, 1991). A herbácea (arbustiva anual) ostenta caule forte, galbro e ramificado, folhas alternas, sésseis, ovado-lanceoladas, podendo ter ou não espinho nas margens. A cor das flores pode ser amarela ou laranja, os capítulos apresentam diâmetro de oito a dez centímetros (SILVA, 2019). A planta se protege da perda hídrica por transpiração por meio do fechamento de seus estômatos, ajustando suas aberturas para controlar a perda de água e limitando a difusão de CO₂ (SERVANI *et al.*, 2014; SILVA *et al.*, 2023).

A fase de desenvolvimento vegetativo do cártamo ocorre entre 42 e 48 dias após germinação, obtendo alongação do caule e suas ramificações; por sua vez, o florescimento começa entre 60 e 100 dias depois de emergir, sendo uma fase de extrema importância, pois é quando os componentes de sua produção são determinados, e seu estágio de maturação fisiológica ocorre entre 102 e 108 dias após emergência, com translocação de fotoassimilados do caule e das folhas para o grão (MONTROYA, 2010).

O ponto ideal para sua colheita é em cerca de 117 a 169 dias após emergência, sendo uma época caracterizada por plantas senescentes completamente, com coloração marrom em suas folhas e capítulos e sementes com umidade em torno de 10% (OLIVEIRA, 2021).

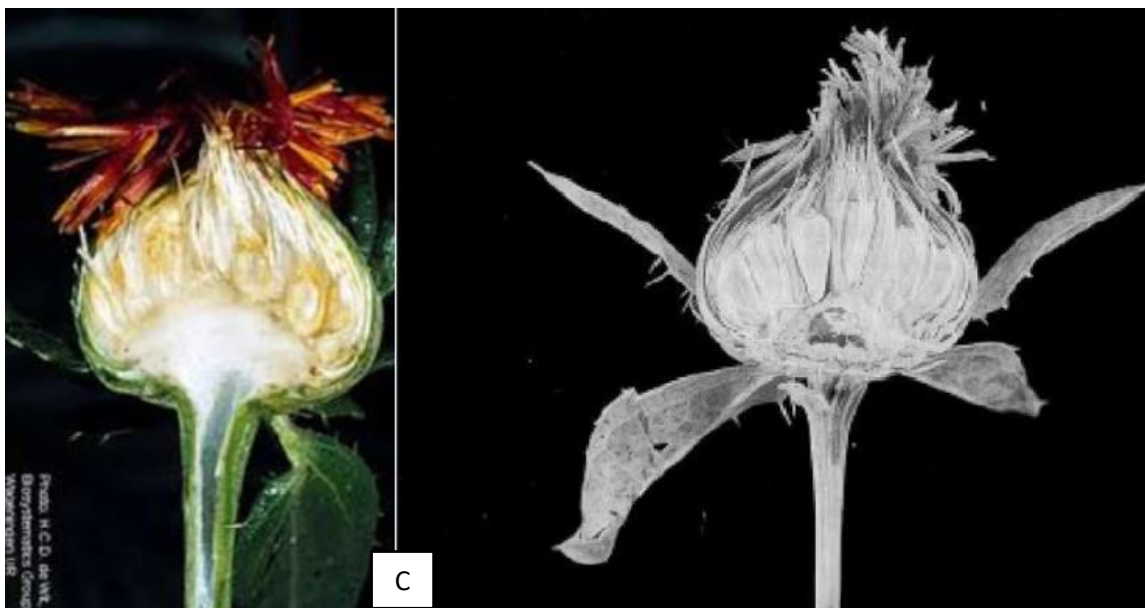
É uma planta de alta plasticidade em relação à velocidade de avanço nas fases de desenvolvimento, dependendo das condições ambientais.

2.1.2 Inflorescência

A inflorescência da planta do cártamo é um capítulo, estrutura onde se agrupam as flores, geralmente comportando de 20 a 250 floretes; muitas vezes envolvidos em brácteas verdes espinhosas, os capítulos podem ter formatos plano, côncavo ou convexo, ter escamas ou pelos entre as flores, e os aquênios (sementes) são tipicamente esbranquiçados e brilhantes, com média de 0,030 a 0,045 g, o peso de 100 aquênios é de 54 g, com recomendação para extração do óleo da semente a frio e de primeira prensagem, sem refino, para assegurar a excelência do óleo (QUEIROGA *et al.*, 2021). Sempre ratificando a plasticidade da planta em relação ao ambiente envolvido.

Figura 1. Plântula do cártamo, onde: A) Em idade de 66 dias B) Capítulo no início da inflorescência e C) Sementes em desenvolvimento dentro do capítulo.





Fonte: A e B, Autoria Própria (2023); C (QUEIROGA *et al.*, 2021).

2.2 GERAÇÃO DA ÁGUA PRODUZIDA NO BRASIL E NO NORDESTE

A água produzida é o efluente resultante dos processos de separação existentes nas estações coletoras e de tratamento na produção de petróleo, e sua problemática consiste na dificuldade de degradação de todos os compostos presentes na água produzida até um nível adequado que permita o descarte seguro desta água no meio ambiente, sendo esse efluente até o presente momento um dos grandes problemas da indústria petrolífera, uma vez que contém vários componentes orgânicos e inorgânicos em sua composição, os quais, se dispostos sem tratamento ou de forma que infrinja as normativas ambientais, podem causar graves danos ao meio ambiente, como poluição de águas superficiais, subterrâneas e do solo (FAKHRU'L-RAZI *et al.*, 2009).

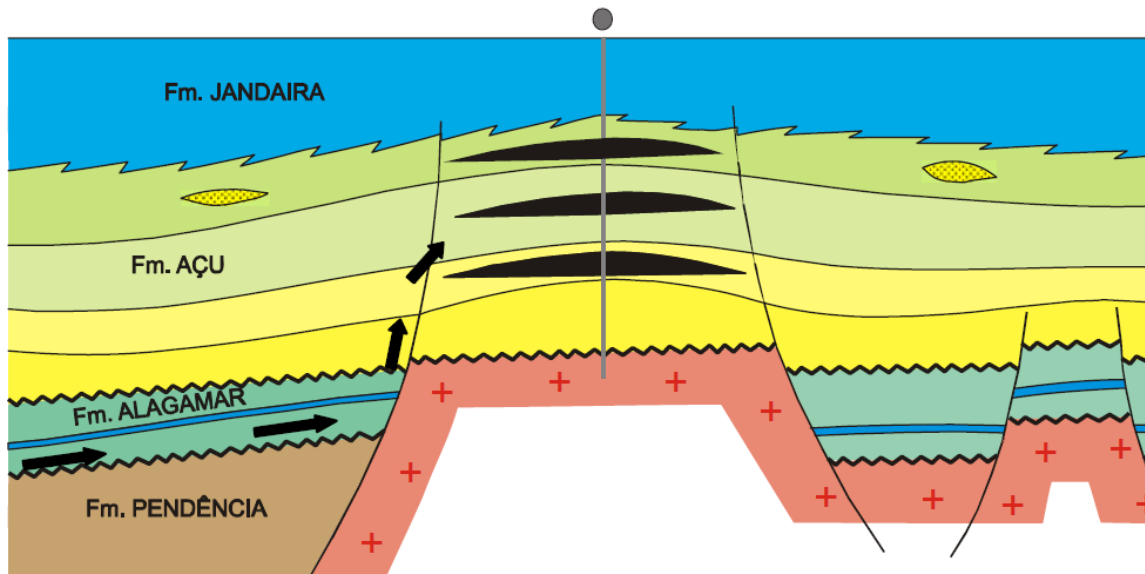
Não existe tratamento genérico para água produzida, agregando-se tratamentos de acordo com cada poluente a ser removido e no aproveitamento final da água, utilizando métodos que buscam a remoção de óleo e graxas, sólidos suspensos, orgânicos solúveis, gás dissolvido, material radioativo, sais dissolvidos e metais pesados, desinfecção e diminuição da dureza, podendo ser métodos: elétrico, biológico, físicos, flotação, membranas de filtração, ultrafiltração, centrifugação por hidrociclones; e químicos, floculação e uso de tensoativo. À medida que o tempo passa, cada vez mais jazidas se tornam maduras e geradoras do resíduo água produzida de petróleo (OFORI, 2021; AL-KAABI *et al.*, 2021).

Parente *et al.* (2005) relatam que a maior área sedimentar da América do Sul é localizada no Brasil, atingindo cerca de 6.420 km² de bacias sedimentares, sendo 4.880,00 km² em terra, tipo *onshore*, e 1.550,00 km² em plataformas continentais, tipo *offshore*. A bacia potiguar se localiza no extremo leste da Margem Equatorial Brasileira, com segmento tanto emerso quanto submerso, com distribuição no Rio Grande do Norte e no Ceará, sendo limitado ao sul, leste e oeste geologicamente pelo embasamento cristalino e se estendendo para norte até a isóbata de 2.000,00 m, sendo a bacia potiguar representante de uma das inúmeras bacias posicionadas na margem continental do Brasil, com sua origem relacionada à separação da América do Sul e África (ASMUS; PORTO, 1972 *apud* PARENTE, 2006).

Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Bicomustível (ANP), na 5ª rodada de licitações (2003), infere que a área total da Bacia Potiguar é de cerca de 119.300,00 km², sendo 33.200,00 km² emersos e 86.100,00 km² submersos. Pérez (2003) discorre que a formação açu é uma unidade litoestratigráfica da Bacia Potiguar, com ocorrência em toda a bacia, com parte dos reservatórios portadores de água de baixa salinidade, muito explorados para consumo humano e irrigação de plantações, chegando a ser considerado o aquífero mais importante da região.

A bacia potiguar é composta por arenitos médios ou grossos, intercalados com folhelhos, argilitos e siltitos, com rochas ocorrendo na base da forma discordante e erosiva com o embasamento ou com a Formação Alagamar e raramente com a Formação Pendências, na área superior ocorre contato com a sequência carbonática da formação Jandaíra (PÉREZ, 2003). A maior parte do petróleo explorado nessa área provém de reservatórios localizados na Bacia Potiguar (Sena, 2011).

Figura 2. Esquema de acumulação de petróleo entorno da Formação Açú.



Fonte: Preda *et al.* (2008).

São estocados grandes volumes de água produzida de petróleo em reservatórios das empresas exploradoras de petróleo, e os possíveis destinos para esta água são o despejo em solo, rios, mar ou subsolo, injeção para recuperação secundária e geração de vapor para injeção, este último para o caso de poços de complexa recuperação e alta viscosidade, gerando contaminação de solo, aquíferos e salinização de solos decorrente de descarte irresponsável (SENA, 2011). Existe um limite recomendado pela Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura (FAO) das concentrações de sais, íons alcalinos e metais pesados na água produzida de petróleo que a caracterizam como apta para fins de irrigação (ALLEY *et al.*, 2011).

Segundo Echchelh *et al.* (2018), apenas 8,40% são naturalmente aptos para irrigação, porém já existem exemplos impressionantes de uso do efluente natural, como é o exemplo do condado de Kern, Vale de San Joaquin, sétima na lista das 10 formações produtoras de petróleo na Califórnia (EUA), onde já por mais de duas décadas são cultivadas nozes, frutas cítricas e tubérculos para consumo humano. Para esse fim, são realizadas análises recorrentes da qualidade dessa água a fim de evitar risco à saúde humana (KONDASH, 2020).

Com relação ao uso do efluente tratado para irrigação na agricultura, temos os exemplos de estudos relatados no 183º Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), avaliando:

Aporte de metais pesados na produção das oleíferas girassóis (*Helianthus annuus L*) e mamona (*Ricinus communis L*) e do abacaxizeiro ornamental *Ananas comosus var. erectifolius*) irrigados com dois tipos de água produzida: filtrada (APF) e tratada por osmose reversa (APO) em comparação à água do subsolo, captada do aquífero Açu (ACA). As concentrações dos metais Ba, Cd, Co, Cr, Ni, Pb e Zn foram avaliadas no solo e nas plantas antes e após a irrigação por três ciclos de girassol, dois ciclos de mamona e um ciclo do abacaxizeiro. A irrigação continuada das culturas por cerca de um ano, independentemente da fonte hídrica, propiciou aumento nas concentrações de Ba, Cr, Ni, Pb e Zn do solo superficial, sendo os níveis ainda considerados toleráveis, segundo a Resolução Conama nº 420 e Cetesb 2005. Houve migração vertical dos metais Ba, Cr, Ni, Pb e Zn no perfil do solo, na seguinte ordem: ACA>APO>APF. As plantas cultivadas em áreas irrigadas com água produzida são capazes de absorver metais pesados. O abacaxizeiro ornamental absorve e acumula nas raízes Ba, Cd, Co, Cr, Ni, Pb e Zn; as plantas de girassol acumulam nas raízes Ba, Cd, Cr, Ni, Pb e Zn, e a mamoneira Ba, Pb e Zn. Portanto, recomenda-se o monitoramento de metais em águas residuais de campos de petróleo destinadas à irrigação de culturas agrônômicas (EMBRAPA, p. 6-7, 2018).

Considerando que a produção de petróleo de 2022 no Brasil foi de 480.300,618 m³/dia (ANP, 2023) e que em média para cada m³/dia de petróleo produzido são gerados três a quatro m³/dia de água, há campos maduros em que este número se eleva a sete ou mais (THOMAS, 2004), conseguimos ter uma estimativa do quão alta é a geração de água produzida.

2.3 LEGISLAÇÃO VIGENTE

Dentro da jurisdição das leis federais estão incluídas aquelas relativas à indústria do petróleo e à gestão e descarte da água produzida, remetendo à Portaria 422/2011 do Ministério do Meio Ambiente e Resoluções CONAMA 357/2005, 430/2011 e 393/2007 (GOMES, 2014). Também se tem a Resolução COEMA Nº 2 DE 02/02/2017 pontuando os padrões e condicionamento para lançamento de efluentes líquidos gerados por fontes poluidoras (MOREIRA *et al.*, 2023). Uma resolução mais recentemente implantada é a CONAMA 503/2021, que define critérios e procedimentos para o reuso em sistemas de fertirrigação de efluentes provenientes de indústrias de alimentos, bebidas, laticínios, frigoríficos e graxarias.

2.4 REUSO DE ÁGUA PRODUZIDA NA AGRICULTURA EM CONDIÇÕES SEMIÁRIDAS

Silva (2018) avaliou os efeitos de diluições de água residuária do petróleo tratada sobre o número de folhas, diâmetro de caule, diâmetro do capítulo, altura de plantas e produção do girassol H-360 no semiárido potiguar, onde os tratamentos aplicados foram por diluições de água residuária do petróleo tratada (APT) em água de abastecimento (AA) e, em sua maior parte, a diluição T2 (75% AA e 25% de APT) mostrou os melhores resultados para cultivar o girassol, sob os parâmetros de diâmetro de capítulo, diâmetro de caule e número de folhas. Seus resultados evidenciaram que a água produzida tratada não interferiu no desempenho agrônômico do girassol, apontando-se como alternativa viável para finalidade de reuso do agrícola e florestal no semiárido potiguar.

Costa (2018) analisou os efeitos da água produzida tratada no sistema produtivo da cultura do girassol, produtividade, características agrônômicas, composição química das folhas, fatores de translocação e bioacumulação, onde os tratamentos aplicados foram por diluições de água residuária do petróleo tratada (AP) em água de abastecimento (AA), e as diluições foram caracterizadas físico-quimicamente mensalmente durante o período do experimento.

A caracterização físico-química do solo analisado por Costa (2018) apresentou que os teores de Mg^{2+} foram elevados, assim como o conteúdo de Na^+ e Cl^- , fatores que podem restringir a utilização dessa água para a irrigação devido a riscos de sodificação do solo e fitotoxicidade à cultura, porém as diluições não interferiram no fornecimento e disponibilidade de nutrientes para as plantas, e os valores de pH superiores a 7,50 na água produzida tratada e de 8,0 no solo minimizam os riscos ambientais dos metais pesados, logo o diâmetro do capítulo elevou-se, e o girassol foi capaz de translocar Na e bioacumular Mn, Zn, Cr, Ni e Pb.

Santos (2022) estudou os efeitos da aplicação de diluições de água produzida tratada nas características produtivas, morfométricas, nutricionais e fitoextratoras do girassol e nas características químicas do solo, com água produzida submetida previamente a tratamento por floculação e decantação, e os tratamentos aplicados foram por diluições de água residuária do petróleo tratada (APT) em água de abastecimento (AS). Os tratamentos do autor foram analisados em características agrônômicas, composição química da parte aérea (capítulo, caule e folhas) e das raízes, fatores de translocação e bioacumulação, evidenciando que a melhor diluição que se adequa ao semiárido nordestino é a de 100% de água produzida, pois teve menor aporte de Na no

solo e não atingiu negativamente as características agronômicas e morfométricas do girassol.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 LOCALIZAÇÃO, CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA EXPERIMENTAL E CLASSIFICAÇÃO CLIMÁTICA

O experimento foi executado em casa de vegetação, Figura 3, localizada no lado leste da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), Mossoró/RN, especificamente nas coordenadas geográficas $5^{\circ}12'11.63''S$ e $37^{\circ}19'26.39''O$, altitude de 15 m em relação ao nível do mar.

Caracterização da casa de vegetação: possui formato de túnel, cobertura em arco com manta de polietileno, pé direito de três metros, largura de sete metros, e comprimento de 18 metros, totalizando 126 m^2 de área útil; estruturada em aço galvanizado e rodeada com tela antiafídeos, sombreamento de 50 % e rodapé de concreto armado na altura de 0,30 m.

Figura 3. Localização da casa de vegetação no lado leste da UFERSA - Mossoró/RN.

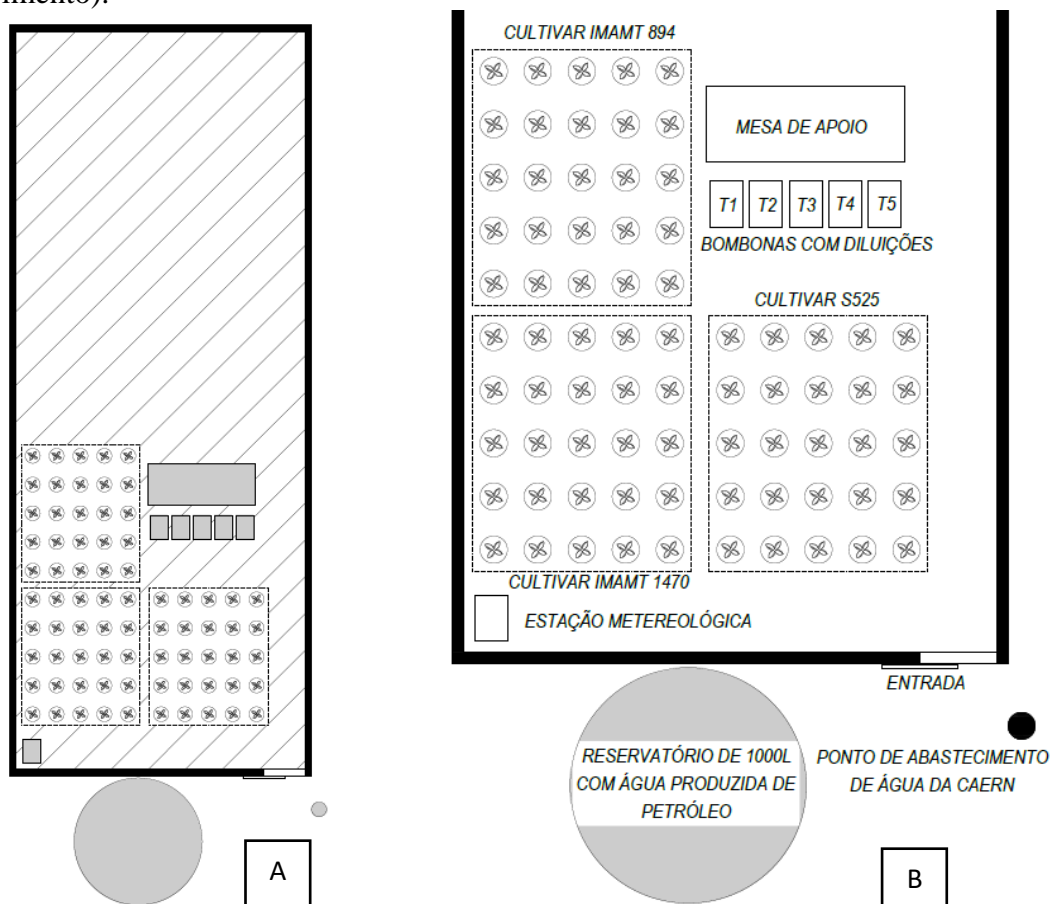


Fonte: Autoria Própria (2023), com auxílio do *software* Google Earth.

Dentro da casa de vegetação, o experimento contou com os aparatos demonstrados na Figura 4, reservatório de 1000 L com água produzida de petróleo,

ponto de abastecimento de água da concessionária, estação meteorológica, organização das cultivares dentro da estufa, mesa de apoio e bombonas de reserva para diluições, os quais serão comentados detalhadamente nos próximos tópicos.

Figura 4. Casa de vegetação, onde: A) Vista superior do experimento locado na casa de vegetação; B) Vista aproximada (organização dos elementos que compunham o experimento).



Fonte: Autoria Própria (2023), confeccionado com auxílio do *software* AutoCad.

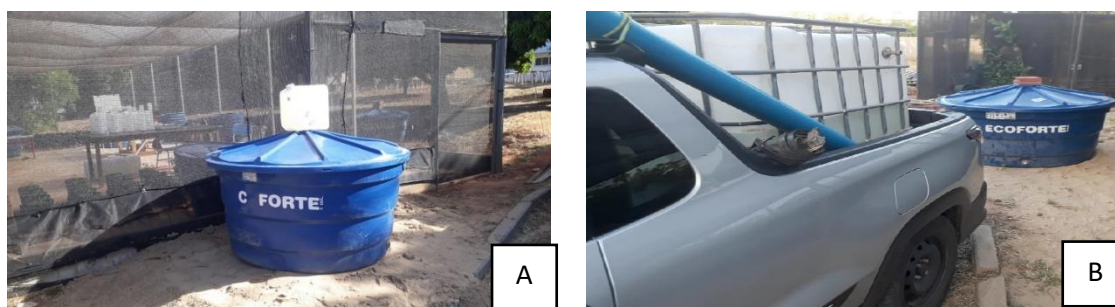
Conforme o mapa de classificação climática de Köppen para o Brasil, observado durante 30 anos, o clima da região onde o experimento foi desenvolvido é categorizado como BSh', conferindo as seguintes características: quente e seco, precipitação pluviométrica irregular, com médias anuais de 794,00 mm, média de temperatura de 26,50 °C, média de umidade relativa do ar de 68,90 %, média diária de insolação de 7,83 horas e média anual de 2.771,27 horas, média de velocidade do vento de 0,84 m/s (ÁLVARES *et al.*, 2013).

3.2 ORIGEM E TRATAMENTO DO EFLUENTE E DA ÁGUA DE ABASTECIMENTO

O experimento utilizou água produzida de petróleo real, proveniente da estação de tratamento de uma empresa exploradora de petróleo em regime *onshore* operante na Bacia Potiguar Formação Açu. O efluente foi tratado e classificado como apto para irrigação pela empresa doadora. Utilizou-se caixa d'água de 1000 L para reservar a água produzida de petróleo, externa à casa de vegetação. Periodicamente e conforme necessidade do experimento, a empresa repunha o volume do efluente; a Figura 5 demonstra a logística.

A água de abastecimento foi fornecida pela Companhia de Águas e Esgotos do Rio Grande do Norte (CAERN) em ponto de distribuição externo à casa de vegetação, proveniente de instalação de água fria comum.

Figura 5. Fornecimento de água produzida para o experimento, onde: A) Caixa d'água de 1000 L utilizada para reservar a água produzida de petróleo locada em frente à casa de vegetação; B) Logística de distribuição do efluente, transporte da empresa.



Fonte: Autoria Própria (2023).

3.3 CARACTERIZAÇÃO DA ÁGUA DE ABASTECIMENTO E DILUIÇÕES

Com base no trabalho de Costa (2018), foram estabelecidos cinco tratamentos por diluições de água de abastecimento (AA) em água produzida de petróleo (AP): T1 - 100% AA e 0% AP; T2 - 75% AA e 25% AP; T3 - 50% AA e 50% AP; T4 - 25% AA e 75% AP e T5 - 0% AA e 100% AP.

A caracterização química das diluições foi fundamentada na análise de qualidade de água para irrigação, realizada conforme recomendações da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) (SILVA, 2009), no Laboratório de Análise de Solo, Água e Planta (LASAP), UFRPA lado leste, e esta caracterização foi feita duas vezes ao longo do experimento. A Tabela 1 expõe os parâmetros médios analisados: potencial hidrogeniônico (pH); condutividade elétrica (CE); cátions e ânions, que são cloro (Cl^-), sódio (Na^+), cálcio (Ca^{2+}), magnésio (Mg^{2+}), potássio (K^+), carbonato

(CO_3^{2-}) e bicarbonato (HCO_3^-). A classificação de dureza se baseou em Nakayama e Bucks (1986) e para estimar o valor de Relação de Adsorção De Sódio (RAS) utilizou-se o método de Richards (1954), aplicando os valores de Na^+ , Ca^{2+} e Mg^{2+} na Equação 1:

$$\text{RAS} = \frac{\text{Na}^+}{\sqrt{\frac{\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}}{2}}}$$

Onde,

RAS - Razão de adsorção de sódio, mmolc^{-1} ;

Na^+ - Concentração de sódio, mmolc^{-1} ;

CO_3^{2-} - Concentração de cálcio, mmolc^{-1} e

Mg^{2+} - Concentração de magnésio, mmolc^{-1} .

Tabela 1. Média das análises dos tratamentos.

Tratamento	pH	CE	K^+	Na^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Cl^-	CO_3^{2-}	HCO_3^-	RAS	Dureza	Cátions	Ânions
		dS/m									mg/L		mmolc/L
T1	9,20	0,45	1,65	0,53	0,47	0,41	2,90	0,80	2,77	0,85	43,75	3,05	6,47
T2	9,72	0,45	2,18	2,16	0,22	0,79	2,60	1,33	2,22	3,73	50,25	5,35	6,15
T3	9,60	0,44	2,48	2,13	0,44	0,96	2,90	1,45	2,18	2,47	69,75	6,01	6,53
T4	9,26	0,44	0,64	3,85	0,70	1,33	2,40	1,25	2,59	3,82	101,50	6,52	6,23
T5	7,83	0,50	0,78	2,88	1,44	1,63	3,20	0,50	3,22	2,33	153,25	6,73	6,92
Médias gerais	9,12	0,46	1,55	2,31	0,65	1,02	2,80	1,06	2,59	2,64	83,70	5,53	6,46

Fonte: Autoria Própria (2023).

A classificação da qualidade de água para irrigação seguiu os critérios do Comitê dos Consultores da Universidade da Califórnia (UCCC) (1974). Em relação à salinidade, o grau de restrição, baseado na média geral de CE, foi classificado como nenhum, pois é menor que 0,70 dS/m. A salinidade afeta a disponibilidade de água para as plantas. Em relação ao nível de infiltração de água no solo, o grau de restrição de uso, baseado na correlação entre os valores médios gerais de RAS e CE, foi classificado como ligeiramente moderado, pontuando que a infiltração aumenta à medida que aumenta a salinidade. Em relação à toxicidade pelos íons de sódio (Na), cloreto (Cl^-) e bicarbonato (HCO_3^-), o grau de restrição, baseado na média geral de RAS, foi classificado como ligeiramente moderado e recomenda irrigação por aspersão convencional.

3.4 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL, MONTAGEM E CONDUÇÃO DO EXPERIMENTO EM CASA DE VEGETAÇÃO

O delineamento experimental foi em blocos inteiramente casualizados, disposto num arranjo fatorial 3x5, com três cultivares de cártamo (*Carthamus tinctorius L.*), IMAMT1470, IMAMT894 e S525, cinco tratamentos e cinco repetições por tratamento, contabilizando 25 unidades experimentais para cada cultivar, totalizando 75 unidades experimentais, dispostas em vasos plásticos de oito litros, preenchidos com substrato Carolina Soil classe LXXV, composto por turfa, vermiculita e calcário, pH 5,50 e CE 0,0004 dS/m.

Para Abud *et al.* (2009), fatores que influenciam na produção de mudas de qualidade são: semente, substrato e recipiente utilizado, e no fator germinação o substrato influencia na aeração, estrutura, capacidade de retenção de água e grau de infestação de patógenos. O experimento foi implantado no dia seis de janeiro e foi encerrado no dia 13 de março de 2023, compondo então 66 dias. A Figura 6 expõe a disposição na casa de vegetação.

Figura 6. Unidades experimentais, onde: A) Vasos antes do cultivo e B) Vasos depois do cultivo.



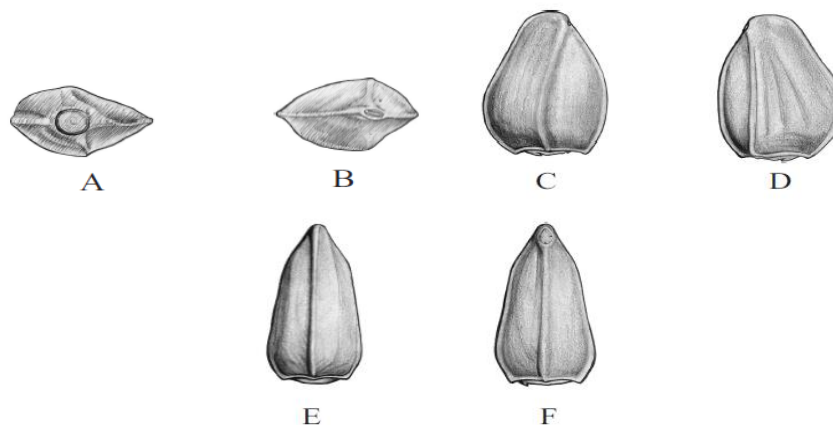
Fonte: Aatoria Própria (2023).



As sementes das cultivares foram disponibilizadas pela professora PhD Juliana Espada Lichston, do Departamento de Botânica, Ecologia e Zoologia da Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN). Os estudos de Abud *et al.* (2010) apontam as características externas da semente do cártamo, sendo ela perispérmica, de ápices achatados e base arredondada, alternando o estilo entre ovoide, oblonga e elíptica, a cor

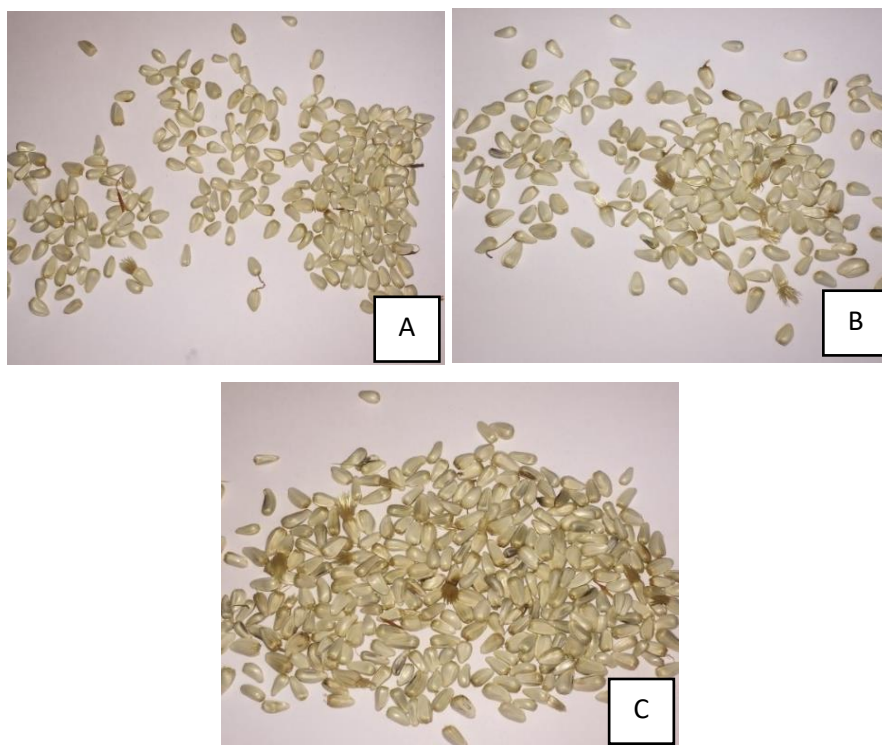
quando seca é branco amarelado. A Figura 7 demonstra os aspectos morfológicos da semente e a Figura 8 demonstra as sementes utilizadas no experimento:

Figura 7. Aspectos morfológicos da semente de *Carthamus tinctorius* L., onde demonstra: A) região basal, em evidência o hilo; B) região apical, em evidência a micropila; C) região ventral; D) região dorsal; E) borda esquerda; F) borda direita.



Fonte: Adaptado de Abud *et al.* (2010).

Figura 8. Sementes das cultivares utilizadas no experimento, onde: A) Sementes da cultivar IMAMT1470; B) Sementes da cultivar IMAMT894 e C) Sementes da cultivar S525.



Fonte: Autoria Própria (2023).

3.5 MANEJO DA IRRIGAÇÃO E REGISTRO DE DADOS METEOROLÓGICOS

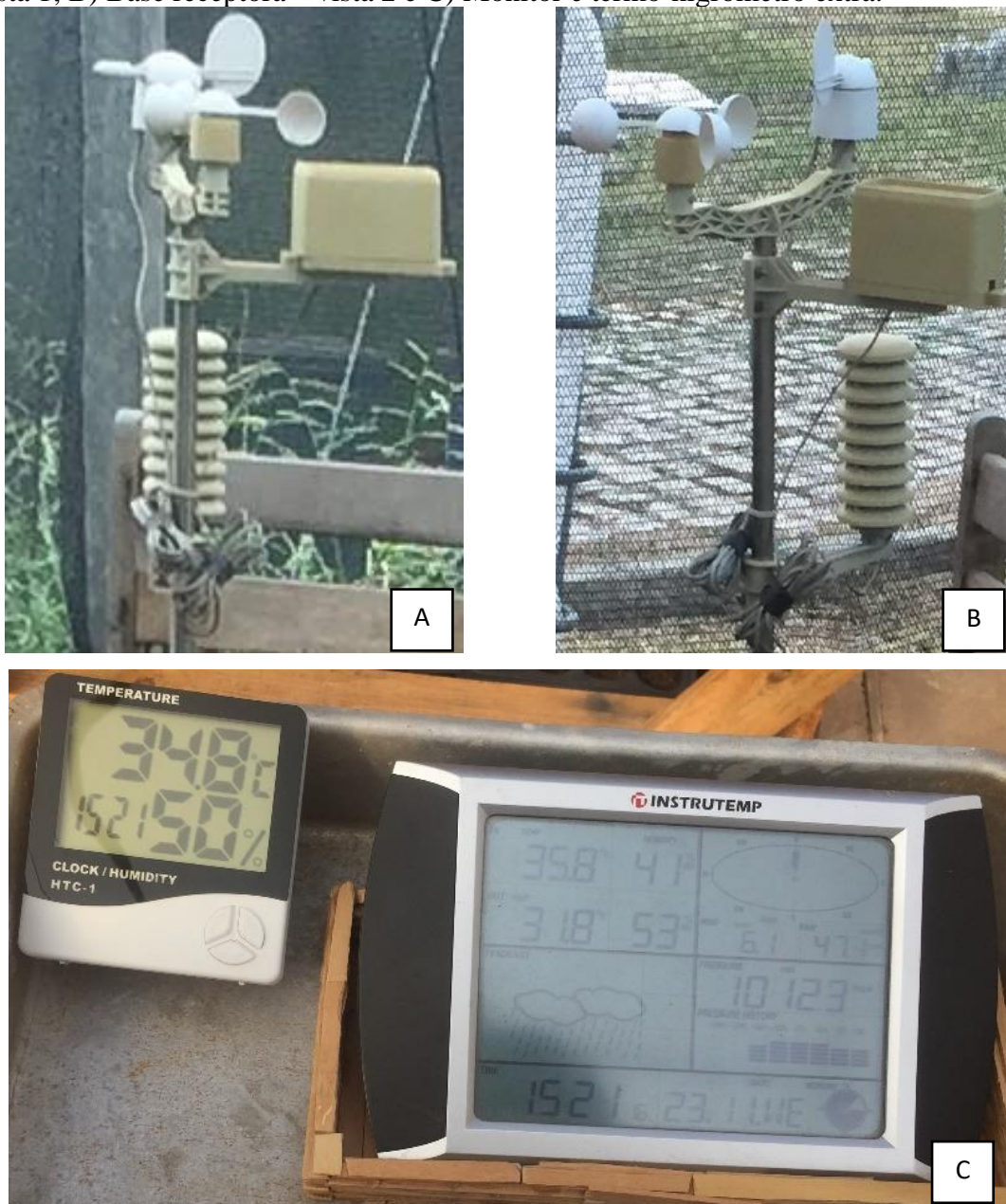
Geralmente é aplicado o cálculo da lâmina bruta de irrigação para a cultura (ETc) a partir da relação entre coeficiente de cultivo (Kc) e a evapotranspiração de referência (ET0) (ALLEN *et al.*, 2006), no entanto, em virtude do estudo da cultura do cártamo ser recente, ainda não existe a determinação do Kc para a região semiárida brasileira. Por isso, foi utilizado o método de capacidade de campo ou capacidade de vaso, trata-se de um teste de retenção de água (REICHARDT; TIMM, 2004), fazendo uso de um becker de 1000 ml para incorporar água ao vaso, manualmente, aos poucos na base da planta, e em movimentos de aspersão.

O volume de água lixiviado foi aferido e diminuído do valor inicial de 1000 ml, desta forma chegando à média de 800 ml por vaso por dia ao longo da execução de todo o experimento. Conhecido o volume necessário para a irrigação diária, por motivos de agilidade, a irrigação começou a ser feita com regador manual plástico de 5 L. Para esta pesquisa, foram utilizados 3.960,00 litros de diluição.

Aos 31 dias do experimento, surgiram sinais patológicos de déficit nutritivo, tendo sido necessário reverter o quadro com a aplicação da solução nutritiva recomendada por Hoagland e Arnon (1950), que proporciona a alimentação das plântulas com macro e micronutrientes. Considerando que o aporte nutricional do substrato comercial e a própria reserva nutritiva da semente já não se mostravam suficientes para manter o bom desenvolvimento do cultivo, foram diluídos 500 ml da solução em 14,50 L de água de abastecimento, totalizando 15 L de mistura, que foi fracionada para os 75 vasos em 200 ml para cada. A fertirrigação foi repetida três vezes em intervalos de sete dias, apresentando resultados satisfatórios.

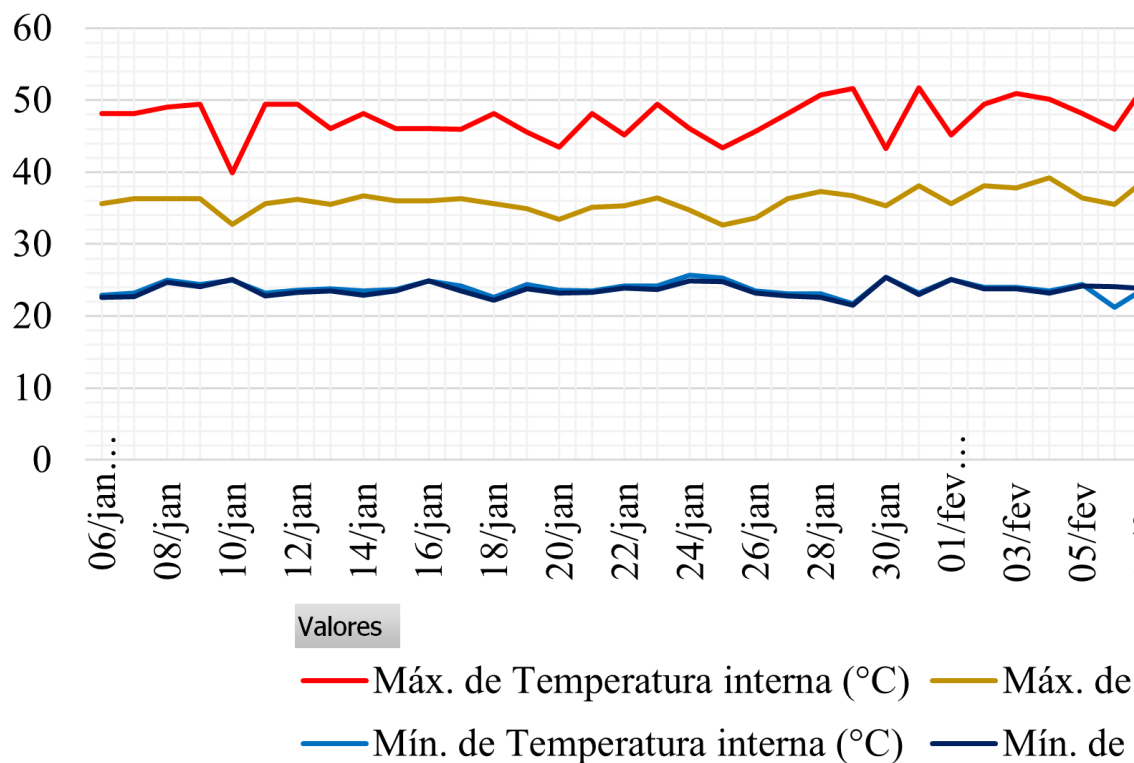
Para registro dos dados meteorológicos, foi utilizada uma estação modelo INSTRUTEMP - ITWH1080, Figura 9, dividida em duas estruturas fundamentais. Inclui uma estação base receptora, que consiste em sensor de direção do vento, sensor de velocidade do vento, pluviômetro, sensor termohigro, além de um monitor *touch screen* que permite a exibição dos dados registrados. Deste monitor, foram extraídos os dados de memória, em seguida foram produzidos os Gráficos 1 e 2. Também foi utilizado um termo-higrômetro extra para comparar os dados de temperatura e umidade do ar com os da estação.

Figura 9. Componentes da estação meteorológica e extras, onde: A) Base receptora – vista 1; B) Base receptora – vista 2 e C) Monitor e termo-higrômetro extra.



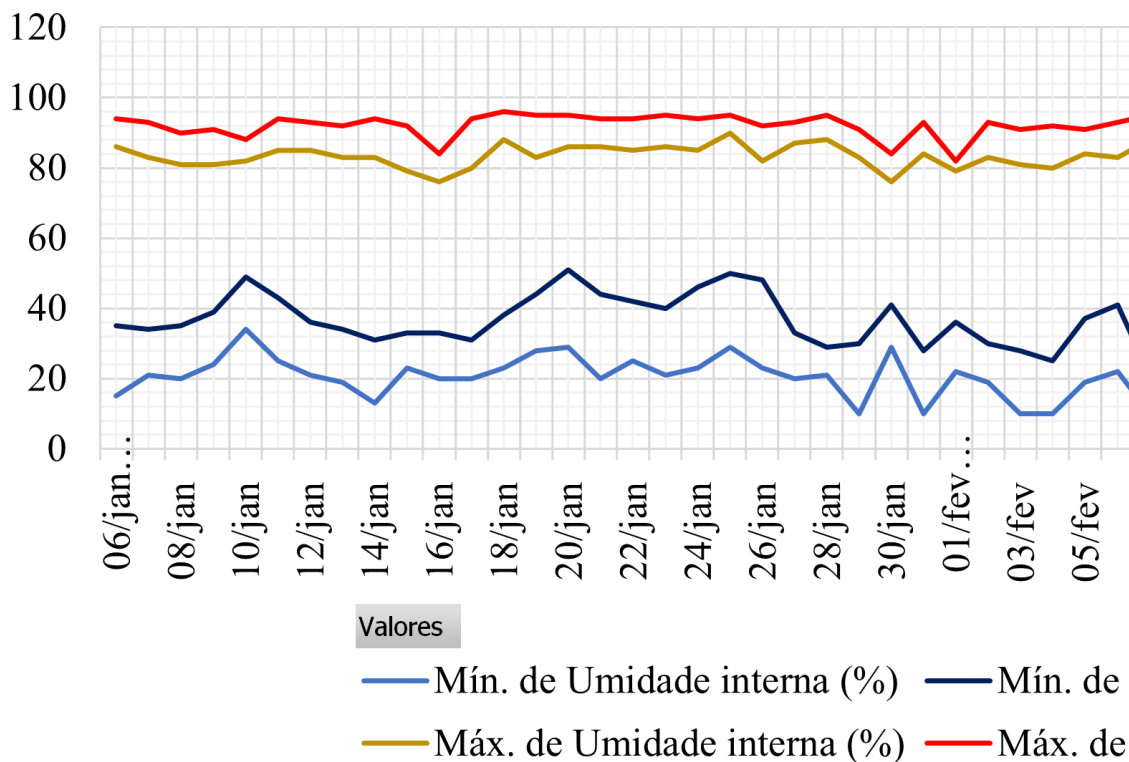
Fonte: Autoria Própria (2023).

Gráfico 1. Máximas e mínimas temperatura interna e externa.



Fonte: Autoria Própria (2023), com auxílio do *software* Excel.

Gráfico 2. Máximas e mínimas umidade interna e externa.



Fonte: Autoria Própria (2023), com auxílio do *software* Excel.

O Gráfico 1 aponta máximas de temperatura interna nos dias 31/01/2023 às 13h28 e 07/02/2023 às 13h12, registrando, respectivamente, 51,70 °C e 52,60 °C, mínimas de temperatura interna nos dias 29/01/2023 às 05h48 e 06/02/2023 às 22h02, registrando, respectivamente, 21,70 °C e 21,20 °C, médias nos meses de janeiro e fevereiro, respectivamente, de 31,34 °C e 31,80 °C, e média geral de 31,57 °C; máximas de temperatura externa nos dias 31/01/2023 às 13h28 e 04/02/2023 às 13h58, registrando, respectivamente, 38,10 °C e 39,20 °C, mínimas de temperatura externa nos dias 29/01/2023 às 05h38 e 08/02/2023 às 06h02, registrando, respectivamente, 21,50 °C e 22,10 °C, média nos meses de janeiro e fevereiro, respectivamente, de 28,57 °C e 29,35 °C, e média geral de 28,97 °C.

O Gráfico 2 aponta máximas de umidade interna nos dias 25/01/2023 às 03h13 e 24/02/2023 às 06h10, registrando, respectivamente, 90% e 92%, mínimas de umidade interna nos dias 29/01/2023 às 13h08 e 11/02/2023 às 11h52min34s, registrando em ambos 10%, média nos meses de janeiro e fevereiro, respectivamente, de 60,98% e 59,34%, e média geral de 60,15%; máximas de umidade externa nos dias 18/01/2023 às 06h13 e 23/02/2023 às 06h20, registrando, respectivamente, 96% e 97%; mínimas de umidade externa nos dias 31/01/2023 às 13h08 e 07/02/2023 às 15h32, registrando, respectivamente, 28% e 21%, médias nos meses de janeiro e fevereiro, respectivamente, de 69,99% e 67,18%, e média geral de 68,56 %.

3.6 VARIÁVEIS ANALISADAS E MÉTODO DE AFERIÇÃO

As variáveis de estudo de germinação foram num total de três: Porcentagem de Germinação (G); Índice de Velocidade de Emergência (IVE) e Tempo Médio de Germinação (TMG).

A colheita para análises destrutivas e não destrutivas da morfologia da planta ocorreu ao fim do experimento na casa de vegetação, as variáveis diagnosticadas foram num total de 11: Comprimento da Raiz (CR); Comprimento do Caule (CC); Diâmetro do Caule (DC); Número de Folhas; Área Foliar (AF); Massa Fresca Raiz (MFR); Massa Fresca Caule (MFC); Massa Fresca Foliar (MFF); Massa Seca Raiz (MSR); Massa Seca Caule (MSC); Massa Seca Foliar (MSF).

A semeadura foi de cinco sementes por vaso, a depender do tratamento não houve germinação de todas as sementes. Para as variáveis de morfologia, foram consideradas as duas plântulas com desempenho mais satisfatório, e em comunhão com

as demais repetições do tratamento. Efetuou-se a média dos valores aferidos para então aplicar a análise estatística, portanto de 75 vasos foram aferidas o total de 150 plântulas.

3.6.1 Estudo de germinação

Segundo método proposto por Maguire (1962), a porcentagem de germinação (G) adveio da fração entre o número de sementes germinadas, após estabilização do processo germinativo no décimo sexto dia, e o número de sementes cultivadas. O índice de velocidade de emergência (IVE) foi de acordo com a observação diária da eclosão de novas plântulas, no período de 21 dias, calculado pela Equação 2:

$$IVE = \sum \left[\left(\frac{E1}{N1} \right) + \left(\frac{E2}{N2} \right) + \left(\frac{E2}{N2} \right) + \dots + \left(\frac{En}{Nn} \right) \right]$$

Onde,

IVE - Índice de Velocidade de Emergência;

E1, E2, E3... En – Número de plântulas eclodidas a cada dia;

N1, N2, N3 ... Nn – Número de dias de semeadura.

Por sua vez, para determinação da variável tempo médio de germinação (TMG) foi utilizado o método de Labouriau *et al.* (1976), expresso na Equação 3:

$$TMG = \frac{\sum Sn \times Tn}{\sum En}$$

Onde,

TMG - Tempo Médio de Germinação, expresso em dias;

Sn – Número de sementes germinadas a cada dia;

Tn – Tempo decorrido para germinação, expresso em dias;

En - Tempo decorrido entre o início da germinação e a i-ésima contagem, expresso em dias.

3.6.2 Análises não destrutivas

O processo de remoção das plântulas dos vasos foi feito à noite, horário mais ameno, a fim de evitar que as plântulas perdessem turgidez e água em seus tecidos, devido às altas temperaturas registradas de dia na casa de vegetação.

A remoção foi desempenhada com bastante delicadeza para não danificar as três partes da plântula, raiz, caule e folhas, especialmente a raiz. Por se tratar de uma plântula de raiz radicular profunda, ocorreu enovelamento, dado que a profundidade do vaso jamais poderá proporcionar a mesma amplitude para o espalhamento confortável das raízes, como num cultivo em campo aberto, por exemplo. Apesar deste contratempo, foi possível ter amostras valoráveis para as análises de raiz. Para remoção do substrato que naturalmente envolve as raízes, foi substancial a sua lavagem, fazendo mergulhos muito suaves em um recipiente com água. A Figura 10 expõe bem o enovelamento e lavagem.

Por último, as plântulas foram colocadas em sacos plásticos de tamanho satisfatório e reservadas em caixa térmica para subseqüentes análises.

Figura 10. Preparação para análises não destrutivas, onde: A) Enovelamento das raízes e B) Recipiente com resíduo de substrato após lavagem das raízes.



Fonte: Autoria Própria (2023).

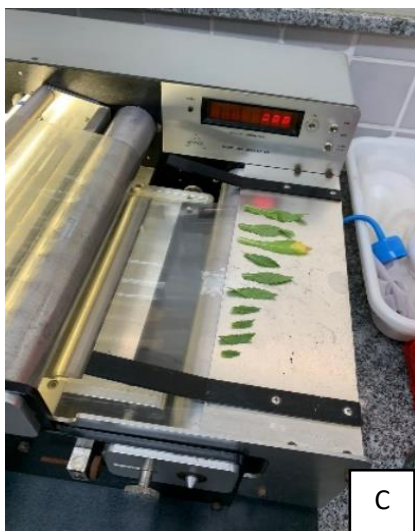
A estima das variáveis não destrutivas transcorreu assim: comprimento da raiz (CR) e o comprimento do caule (CC) foram aferidos com trena métrica de aço, a unidade utilizada foi o cm; o diâmetro do caule (DC) foi aferido com paquímetro digital, a unidade utilizada foi o mm. O número de folhas foi contado. A Figura 11 demonstra o processo.

3.6.3 Análises destrutivas

As três partes da plântula, raiz, caule e folhas, foram cortadas com uma tesoura de poda, separadas e pesadas em balança digital, para definir as variáveis massa fresca raiz (MFR), massa fresca caule (MFC) e massa fresca foliar (MFF), a unidade utilizada foi o grama. Para a área foliar (AF), foi utilizado um aparelho medidor de área modelo LI-3100 (LI-COR Biosciences), a unidade utilizada foi o cm^2 . As partes foram colocadas em sacos de papel pardo e postas para desidratação por 72 horas numa estufa de circulação de ar quente; terminado o prazo, as partes foram pesadas em balança digital pra aferir as variáveis massa seca raiz (MSR), massa seca caule (MSC) e massa seca foliar (MSF), a unidade utilizada foi a grama. A Figura 11 a seguir demonstra o processo.

Figura 11. Métodos de aferição, onde: A) Exemplo de plântula ao lado de um escalímetro; B) Bancada de trabalho contendo bandeja com amostras, trena, paquímetro digital, balança digital, tesoura de poda e envelopes de papel pardo; C) Zoom do aparelho medidor de área foliar; D) Vista completa do aparelho medidor de área foliar; E) Estufa de circulação de ar fechada e F) Estufa de circulação de ar com os envelopes contendo as amostras para desidratação.





Fonte: Aatoria Própria (2023).

3.7 ANÁLISE ESTATÍSTICA

As 14 variáveis foram submetidas à análise de variância (ANOVA) e teste de comparação de média, Tukey a 5 % de probabilidade, utilizando o *software* Sistemas para Análises de Variância (SISVAR), concebido por Ferreira (2011).

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 VARIÁVEIS DE ESTUDO DE GERMINAÇÃO

4.1.1 Porcentagem de Germinação (G)

Tabela 2. Porcentagem de Germinação (G).

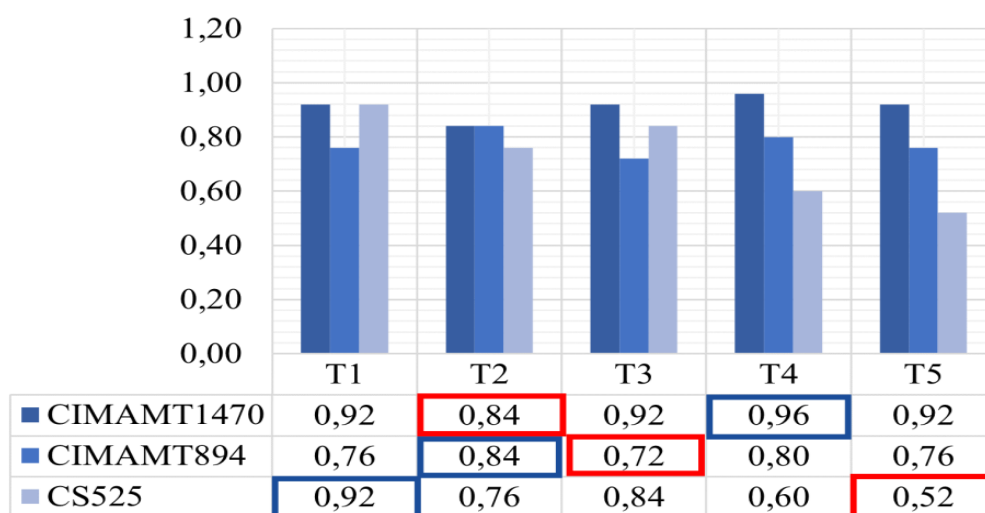
Fontes de variação	Porcentagem de Germinação (G) - %						
Probabilidade do fator diluições (T)	0,5409						
Probabilidade do fator cultivar (C)	0,0114						
Probabilidade da interação T e C	0,2698						
CV %	26,92						
Média geral	0,81						
Cultivares (Teste Tukey $p < 0,05$)							
Tratamentos	IMAMT1470		IMAMT894		S525		
T1	92,00	a A	76,00	a A	92,00	b A	
T2	84,00	a A	84,00	a A	76,00	ab A	
T3	92,00	a A	72,00	a A	84,00	ab A	
T4	94,00	a B	80,00	a AB	60,00	ab A	
T5	92,00	a B	76,00	a AB	52,00	a A	
Erro padrão:	0,0969						

Nota: Médias seguidas da mesma letra minúscula nas linhas não diferem estatisticamente ($p < 0,05$), ao passo que médias seguidas da mesma letra maiúscula nas colunas não diferem estatisticamente ($p < 0,05$).

Fonte: Aatoria Própria (2023).

Estatisticamente, para a variável porcentagem de Germinação (G), baseados na Tabela 2, dentro dos resultados obtidos para cultivares entre os tratamentos, no tratamento T1 a cultivar S525 apresenta diferença significativa em relação às outras duas cultivares com 92,00% de G, e não houve diferença significativa nos demais tratamentos. Para os resultados obtidos de tratamento entre as cultivares, na cultivar IMAMT1470 os tratamentos T4 e T5 apresentaram diferença significativa, com valores respectivos de G de 96,00% e 92,00%, e não houve diferença significativa nas demais cultivares.

Gráfico 3. Porcentagem de germinação (G).



Fonte: Baseado na Tabela 02 em anexo, autoria própria com auxílio do *software* Excel, 2023.

Numericamente, para a variável porcentagem de Germinação (G), baseados no Gráfico 3, os resultados de melhor desempenho foram apresentados de acordo com o tratamento e cultivar, em ordem decrescente: T4 - CIMAMT1470, 96,00 %; T1 - CS525, 92,00% e T2 - CIMAMT894, 84%, destacando-se como melhor o T4, cultivar CIMAMT1470, com 96,00% de G. Os resultados de pior desempenho foram apresentados de acordo com o tratamento e cultivar, em ordem crescente: T5 - CS525, 52,00 %; T3 - CIMAMT894, 72,00 % e T2 - CIMAMT1470, 84,00%, destacando-se como pior o T5, cultivar CS525, com 52,00 % de G.

4.1.2 Índice de Velocidade de Emergência (IVE)

Tabela 3. Índice de Velocidade de Emergência (IVE).

Fontes de variação	Índice de Velocidade de Emergência (IVE)
Probabilidade do fator diluições (T)	0,2585
Probabilidade do fator cultivar (C)	0
Probabilidade da interação T e C	0,4668
CV %	30,04
Média geral	9,913
Cultivares (Teste Tukey $p < 0,05$)	
Tratamentos	IMAMT1470 IMAMT894 S525

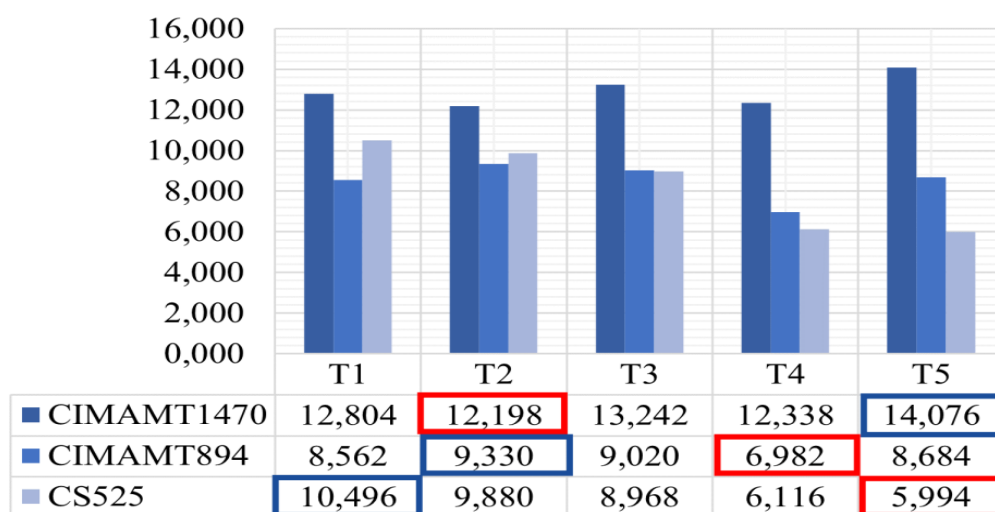
T1	12,804	a A	8,562	a A	10,496	a A
T2	12,198	a A	9,330	a A	9,880	a A
T3	13,242	a A	9,020	a A	8,968	a A
T4	12,338	a B	6,982	a A	6,116	a A
T5	14,076	a B	8,684	a A	5,994	a A
Erro padrão:	1,3317					

Nota: Médias seguidas da mesma letra minúscula nas linhas não diferem estatisticamente ($p < 0,05$), ao passo que médias seguidas da mesma letra maiúscula nas colunas não diferem estatisticamente ($p < 0,05$).

Fonte: Autoria Própria (2023).

Estatisticamente, para a variável Índice de Velocidade de Emergência (IVE), baseados na Tabela 3, dentro dos resultados obtidos para as cultivares entre os tratamentos, não houve diferença significativa. Para os resultados obtidos de tratamento entre as cultivares, na cultivar IMAMT1470 os tratamentos T4 e T5 apresentaram diferença significativa, com valores respectivos de IVE de 12,338 e 14,076, e não houve diferença significativa nas demais cultivares.

Gráfico 4. Índice de Velocidade de Emergência (IVE).



Fonte: Baseado na Tabela 03 em anexo, autoria própria com auxílio do *software* Excel, 2023.

Numericamente, para a variável Índice de Velocidade de Emergência (IVE), baseados no Gráfico 4, os resultados de melhor desempenho foram apresentados de acordo com o tratamento e cultivar, em ordem decrescente: T5 - CIMAMT1470, 14,076; T1 - CS525, 10,496 e T2 - CIMAMT894, 9,330, destacando-se como melhor o T5, cultivar CIMAMT1470, com 14,076 de IVE. Os resultados de pior desempenho

foram apresentados de acordo com o tratamento e cultivar, em ordem crescente: T5 – CS525, 5,994; T4 – CIMAMT894, 6,982 e T2 – CIMAMT1470, 12,198, destacando-se como pior o T5, cultivar CS525, com 5,994 de IVE.

4.1.3 Tempo Médio de Germinação (TMG)

Tabela 4. Tempo Médio de Germinação (TMG).

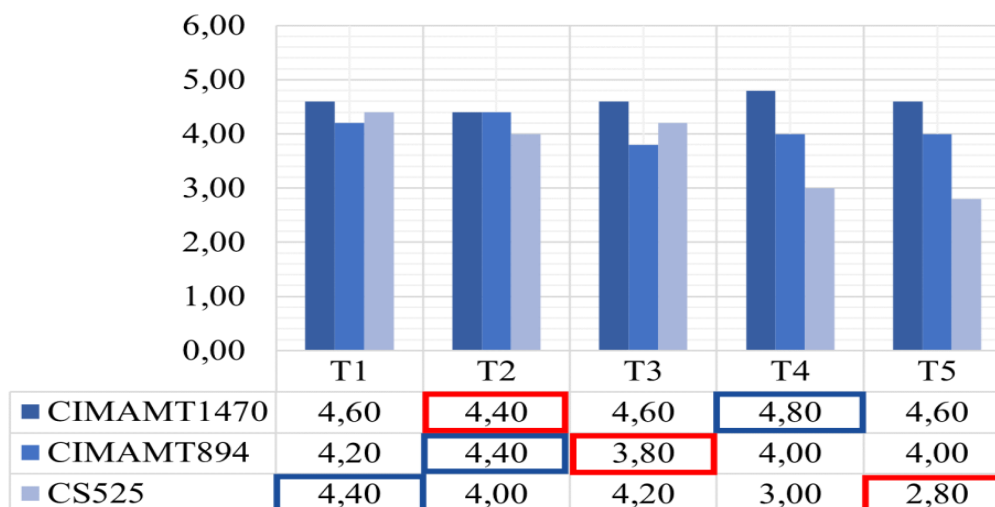
Fontes de variação	Tempo Médio de Germinação (TMG)						
Probabilidade do fator diluições (T)	0,4885						
Probabilidade do fator cultivar (C)	0,0096						
Probabilidade da interação T e C	0,4451						
CV %	24,89						
Média geral	4,12						
	Cultivares (Teste Tukey $p < 0,05$)						
Tratamentos	IMAMT1470		IMAMT894		S525		
T1	4,60	a A	4,20	a A	4,40	a A	
T2	4,40	a A	4,40	a A	4,00	a A	
T3	4,60	a A	3,80	a A	4,20	a A	
T4	4,80	a B	4,00	a AB	3,00	a A	
T5	4,60	a B	4,00	a AB	2,80	a A	
Erro padrão:	0,4586						

Nota: Médias seguidas da mesma letra minúscula nas linhas não diferem estatisticamente ($p < 0,05$), ao passo que médias seguidas da mesma letra maiúscula nas colunas não diferem estatisticamente ($p < 0,05$).

Fonte: Autoria Própria (2023).

Estatisticamente, para a variável Tempo Médio de Germinação (TMG), baseados na Tabela 4, dentro dos resultados obtidos para as cultivares entre os tratamentos, não houve diferença significativa. Para os resultados obtidos de tratamento entre as cultivares, na cultivar IMAMT1470 os tratamentos T4 e T5 apresentaram diferença significativa, com valores respectivos de TMG de 4,80 e 4,60 dias, e não houve diferença significativa nas demais cultivares.

Gráfico 5. Tempo Médio de Germinação (TMG).



Fonte: Baseado na Tabela 04 em anexo, autoria própria com auxílio do *software* Excel, 2023.

Numericamente, para a variável Tempo Médio de Germinação (TMG), baseados no Gráfico 5, os resultados de melhor desempenho foram apresentados de acordo com o tratamento e cultivar, em ordem crescente: T5 - CS525, 2,80; T3 - CIMAMT894, 3,80 e T2 - CIMAMT1470, 4,40, destacando-se como o melhor T2, cultivar CS525, com 2,80 dias de TMG. Os resultados de pior desempenho foram apresentados de acordo com o tratamento e cultivar, em ordem decrescente: T4 - CIMAMT1470, 4,80; T2 - CIMAMT894, 4,40 e T1 - CS525, 4,40, destacando-se como pior o T4, cultivar CIMAMT1470, com 4,80 dias de TMG.

4.2 VARIÁVEIS PARA ANÁLISES NÃO DESTRUTIVAS

4.2.1 Comprimento da Raiz (CR)

Tabela 5. Morfologia da planta: Comprimento da Raiz (CR).

Fontes de variação	Comprimento da Raiz (CR) - cm
Probabilidade do fator diluições (T)	0,0136
Probabilidade do fator cultivar (C)	0,8330
Probabilidade da interação T e C	0,4053

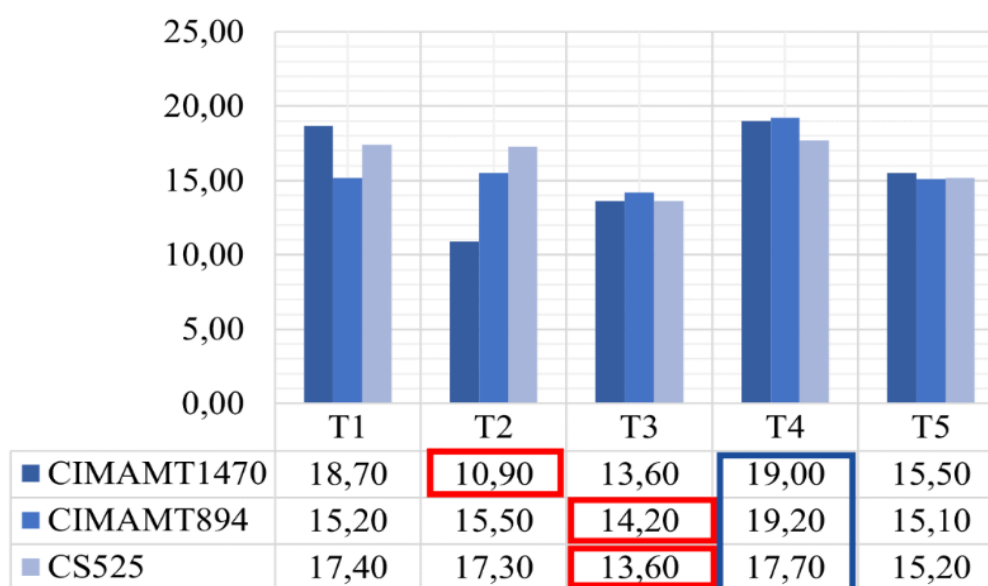
CV %	25,83					
Média geral	15,87					
Cultivares (Teste Tukey $p < 0,05$)						
Tratamentos	IMAMT1470		IMAMT894		S525	
T1	18,70	b C	15,20	c C	17,40	c C
T2	10,90	c C	15,50	c BC	17,30	c B
T3	13,60	bc C	14,20	c C	13,60	c C
T4	19,00	b C	19,20	c C	17,70	c C
T5	15,50	bc C	15,10	c C	15,20	c C
Erro padrão:	1,8339					

Nota: Médias seguidas da mesma letra minúscula nas linhas não diferem estatisticamente ($p < 0,05$), ao passo que médias seguidas da mesma letra maiúscula nas colunas não diferem estatisticamente ($p < 0,05$).

Fonte: Autoria Própria (2023).

Estatisticamente, para a variável Comprimento da Raiz (CR), baseados na Tabela 5, dentro dos resultados obtidos para as cultivares entre os tratamentos, os tratamentos T1 e T4 apresentaram diferença estatística na cultivar IMAMT170, com valores respectivos de 18,70 e 19,00 cm, e não houve diferença significativa nos tratamentos das demais cultivares. Para os resultados obtidos de tratamento entre as cultivares, na cultivar S525 o tratamento T2 apresentou diferença significativa, com valor de 17,30 cm de CR, e não houve diferença significativa nas demais cultivares.

Gráfico 6. Morfologia da planta: comprimento da raiz (CR).



Fonte: Baseado na Tabela 05 em anexo, autoria própria com auxílio do *software* Excel,

2023.

Numericamente, para a variável Comprimento da Raiz (CR), baseados no Gráfico 6, os resultados de melhor desempenho foram apresentados de acordo com o tratamento e cultivar, em ordem decrescente: T4 - IMAMT894, 19,20 cm; T4 - IMAMT1470, 19,00 cm e T4 - S525: 17,70 cm, destacando-se como melhor o T4, cultivar IMAMT894, com 19,20 cm de CR. Os resultados de pior desempenho foram apresentados de acordo com o tratamento e cultivar, em ordem crescente: T2 – IMAMT1470, 10,90; T3 - S525, 13,60 e T3 – IMAMT894, 14,20, destacando-se como pior o T2, cultivar IMAMT1470, com 10,90 cm de CR.

4.2.2 Comprimento do Caule (CC)

Tabela 6. Morfologia da planta: Comprimento do Caule (CC).

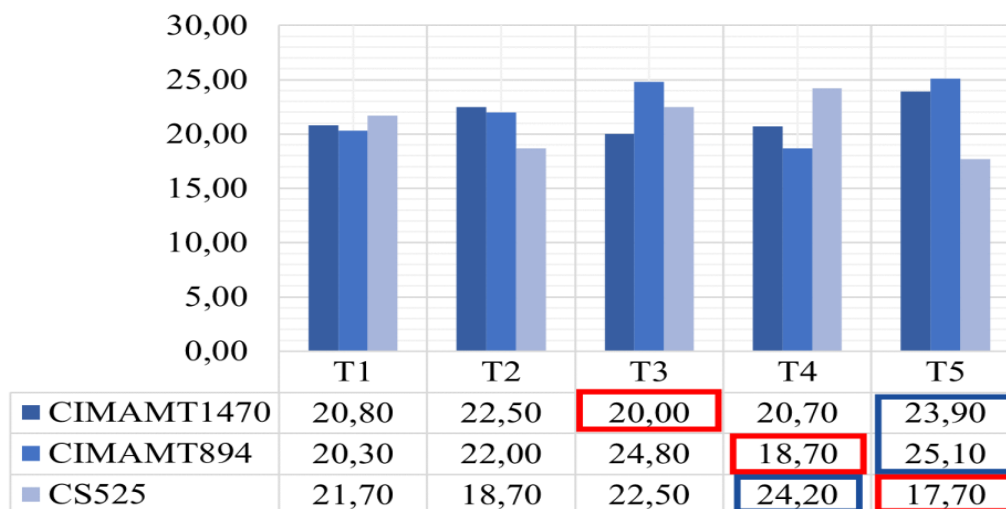
Fontes de variação	Comprimento do Caule (CC) - cm						
Probabilidade do fator diluições (T)	0,8718						
Probabilidade do fator cultivar (C)	0,6822						
Probabilidade da interação T e C	0,1275						
CV %	22,79						
Média geral	21,57						
	Cultivares (Teste Tukey $p < 0,05$)						
Tratamentos	IMAMT1470		IMAMT894		S525		
T1	20,80	a A	20,30	a A	21,70	a A	a A
T2	22,50	a A	22,00	a A	18,70	a A	a A
T3	20,00	a A	24,80	a A	22,50	a A	a A
T4	20,70	a A	18,70	a A	24,20	a A	a A
T5	23,90	a A	25,10	a A	17,70	a A	a A
Erro padrão:	2,1984						

Nota: Médias seguidas da mesma letra minúscula nas linhas não diferem estatisticamente ($p < 0,05$), ao passo que médias seguidas da mesma letra maiúscula nas colunas não diferem estatisticamente ($p < 0,05$).

Fonte: Autoria Própria (2023).

Estatisticamente, para a variável Comprimento do Caule (CC), baseados na Tabela 6, dentro dos resultados obtidos para cultivares entre os tratamentos não houve diferença significativa. Para os resultados obtidos de tratamento entre as cultivares, também não houve diferença significativa.

Gráfico 7. Morfologia da planta: Comprimento do Caule (CC).



Fonte: Baseado na Tabela 06 em anexo, S525 com auxílio do *software* Excel, 2023.

Numericamente, para a variável Comprimento do Caule (CC), baseados no Gráfico 7, os resultados de melhor desempenho foram apresentados de acordo com o tratamento e cultivar, em ordem decrescente: T5 - IMAMT894, 25,10 cm; T4 - S525, 24,20 cm e T5 - IMAMT1470, 23,90 cm, destacando-se o T4, cultivar IMAMT894, com 25,10 cm de CC. Os resultados de pior desempenho foram apresentados de acordo com o tratamento e cultivar, em ordem crescente: T5 – S525, 17,70 cm; T4 – IMAMT894, 18,10 cm e T3 – IMAMT1470, 20,00 cm, destacando-se como pior o T5, cultivar S525, com 17,70 cm de CC.

4.2 3 Diâmetro do Caule (DC)

Tabela 7. Morfologia da planta: Diâmetro do Caule (DC).

Fontes de variação	Diâmetro do caule (DC) - mm
Probabilidade do fator diluições (T)	0,7314
Probabilidade do fator cultivar (C)	0,4914
Probabilidade da interação T e C	0,1808
CV %	17,71
Média geral	2,24
Cultivares (Teste Tukey $p < 0,05$)	
Tratamentos	IMAMT1470 IMAMT894 S525

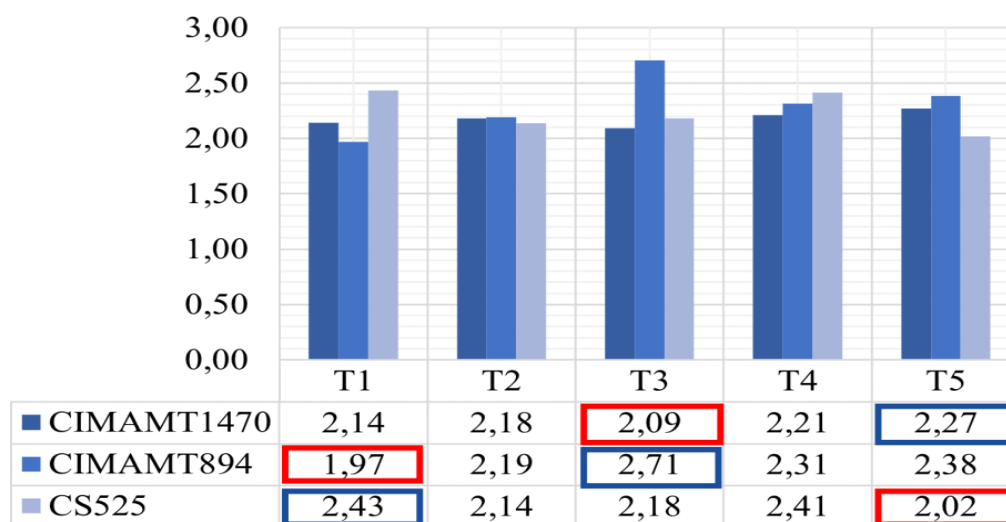
T1	2,14	a A	1,97	a A	2,43	a A
T2	2,18	a A	2,19	ab A	2,14	a A
T3	2,09	a A	2,71	b B	2,18	a AB
T4	2,21	a A	2,31	ab A	2,41	a A
T5	2,27	a A	2,38	ab A	2,02	a A
Erro padrão:			0,1776			

Nota: Médias seguidas da mesma letra minúscula nas linhas não diferem estatisticamente ($p < 0,05$), ao passo que médias seguidas da mesma letra maiúscula nas colunas não diferem estatisticamente ($p < 0,05$).

Fonte: Autoria Própria (2023).

Estatisticamente, para a variável Diâmetro do Caule (DC), baseados na Tabela 7, dentro dos resultados obtidos para cultivares entre os tratamentos, no tratamento T3 a cultivar IMAMT894 apresenta diferença significativa em relação às outras duas cultivares com 2,71 mm de DC, e não houve diferença significativa nos demais tratamentos. Para os resultados obtidos de tratamento entre as cultivares, na cultivar IMAMT894 o tratamento T3 apresentou diferença significativa, com valores de DC de 2,71 mm, e não houve diferença significativa nas demais cultivares.

Gráfico 8. Morfologia da planta: Diâmetro do Caule (DC).



Fonte: Baseado na Tabela 07 em anexo, S525 com auxílio do *software* Excel, 2023.

Numericamente, para a variável Diâmetro do Caule (DC), baseados no Gráfico 8, os resultados de melhor desempenho foram apresentados de acordo com o tratamento e cultivar, em ordem decrescente: T3 - IMAMT894, 2,71 mm; T1 - S525, 2,43 mm e T5 - IMAMT1470, 2,27 mm, destacando-se como melhor o T3, cultivar IMAMT894, com 2,71 mm de DC. Os resultados de pior desempenho foram apresentados de acordo com

o tratamento e cultivar, em ordem crescente: T1 – IMAMT894, 1,97 mm; T5 – S525, 2,02 mm e T3 – IMAMT1470, 2,09 mm, destacando-se como pior o T1, cultivar IMAMT894, com 1,97 mm de DC.

4.2.4 Número de folhas (NF)

Tabela 8. Morfologia da planta: Número de Folhas (NF).

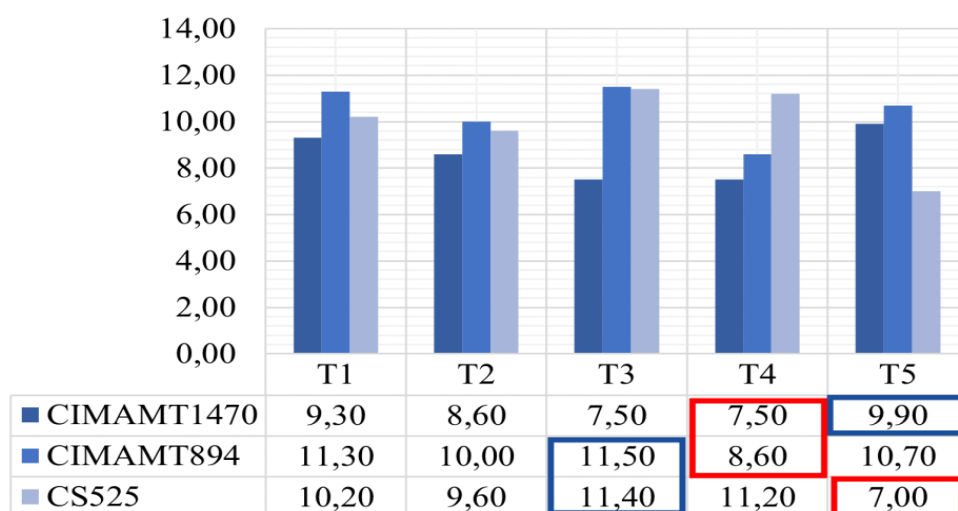
Fontes de variação	Nº de folhas (NF)					
Probabilidade do fator diluições (T)	0,6170					
Probabilidade do fator cultivar (C)	0,0382					
Probabilidade da interação T e C	0,0951					
CV %	26,72					
Média geral	9,62					
Cultivares (Teste Tukey $p < 0,05$)						
Tratamentos	IMAMT1470		IMAMT894		S525	
T1	9,30	a A	11,30	a A	10,20	a A
T2	8,60	a A	10,00	a A	9,60	a A
T3	7,50	a A	11,50	a B	11,40	a ^A B
T4	7,50	a A	8,60	a A	11,20	a A
T5	9,90	a A	10,70	a A	7,00	a A
Erro padrão:	1,1496					

Nota: Médias seguidas da mesma letra minúscula nas linhas não diferem estatisticamente ($p < 0,05$), ao passo que médias seguidas da mesma letra maiúscula nas colunas não diferem estatisticamente ($p < 0,05$).

Fonte: Autoria Própria (2023).

Estatisticamente, para a variável Número de Folhas (NF), baseados na Tabela 8, dentro dos resultados obtidos para cultivares entre os tratamentos não houve diferença significativa. Para os resultados obtidos de tratamento entre as cultivares, na cultivar IMAMT894 o tratamento T3 apresentou diferença significativa, com valores de NF de 11,50 folhas, e não houve diferença significativa nas demais cultivares.

Gráfico 9. Morfologia da planta: Número de Folhas (NF).



Fonte: Baseado na Tabela 08 em anexo, S525 com auxílio do *software* Excel, 2023.

Numericamente, para a variável Número de Folhas (NF), baseado no Gráfico 9, os resultados de melhor desempenho foram apresentados de acordo com o tratamento e cultivar, em ordem decrescente: T3 - IMAMT894, 11,50; T3 - S525, 11,40 e T5 - IMAMT1470, 9,90, destacando-se como melhor o T3, cultivar IMAMT894, com 11,50 folhas. Os resultados de pior desempenho foram apresentados de acordo com o tratamento e cultivar, em ordem crescente: T5 – S525, 7,00; T4 – IMAMT1470, 7,50 e T4 – IMAMT894, 8,60, destacando-se como pior o T5, cultivar S525, com 7,00 folhas.

4.2.5 Área foliar (AF)

Tabela 9. Morfologia da planta: Área Foliar (AF).

Fontes de variação	Área foliar (AF) - cm ²					
Probabilidade do fator diluições (T)	0,3956					
Probabilidade do fator cultivar (C)	0,0723					
Probabilidade da interação T e C	0,0398					
CV %	51,41					
Média geral	1,5517					
Cultivares (Teste Tukey p<0,05)						
Tratamentos	IMAMT1470		IMAMT894		S525	
T1	1,7183	a A	1,6224	a A	1,4478	a A
T2	1,2272	a A	1,7358	a A	1,7449	ab A
T3	0,8929	a A	2,1137	a B	1,2209	a AB

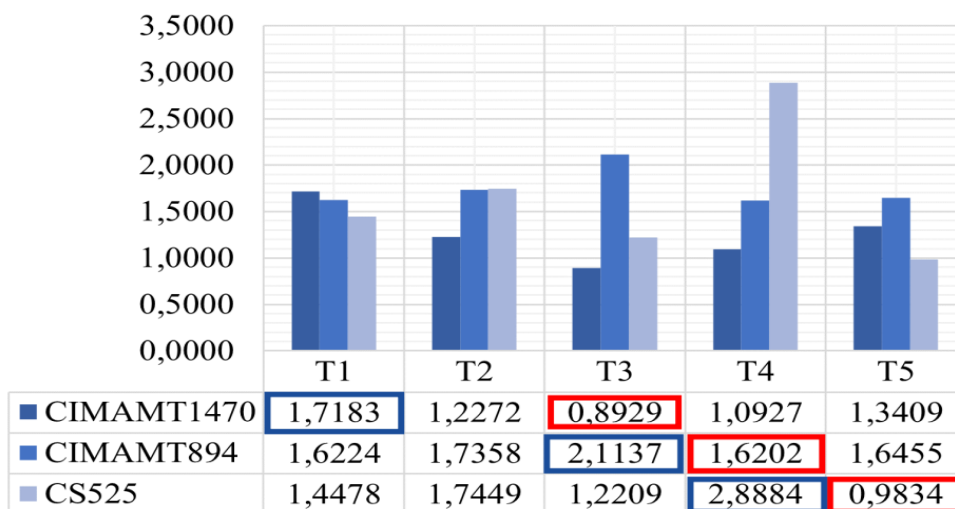
T4	1,0927	a A	1,6202	a A	2,8884	b B
T5	1,3409	a A	1,6455	a A	0,9834	a A
Erro padrão:			0,3567			

Nota: Médias seguidas da mesma letra minúscula nas linhas não diferem estatisticamente ($p < 0,05$), ao passo que médias seguidas da mesma letra maiúscula nas colunas não diferem estatisticamente ($p < 0,05$).

Fonte: Autoria Própria (2023).

Estatisticamente, para a variável Área Foliar (AF), baseados na Tabela 9, dentro dos resultados obtidos para cultivares entre os tratamentos, no tratamento T4 a cultivar S525 apresentou diferença significativa em relação às outras cultivares com 2,8884 cm² de AF, e não houve diferença significativa nos demais tratamentos. Para os resultados obtidos de tratamento entre as cultivares, na cultivar IMAMT894 o tratamento T3 apresentou diferença significativa, com valor de AF de 2,1137 cm², além da cultivar S525 no tratamento T4 também apresentar diferença significativa, com valor de 2,8884 cm² de AF, e não houve diferença significativa na cultivar IMAMT1470.

Gráfico 10. Morfologia da planta: Área Foliar (AF).



Fonte: Baseado na Tabela 09 em anexo, S525 com auxílio do *software* Excel, 2023.

Numericamente, para a variável Área Foliar (AF), baseado no Gráfico 10, os resultados de melhor desempenho foram apresentados de acordo com o tratamento e cultivar, em ordem decrescente: T4 - S525, 2,8884 cm²; T3 - IMAMT894, 2,1137 cm² e T1 - IMAMT1470, 1,7183 cm², destacando-se como melhor o T4, cultivar S525, com 2,8884 cm² de área foliar. Os resultados de pior desempenho foram apresentados de acordo com o tratamento e cultivar, em ordem crescente: T5 - IMAMT1470, 0,8929

cm²; T5 - S525, 0,9834 cm² e T4 - IMAMT894, 1,6202 cm², destacando-se como pior o T5, cultivar IMAMT1470, com 0,8929 cm² de área foliar.

4.3 VARIÁVEIS PARA ANÁLISES DESTRUTIVAS

4.3.1 Massa Fresca Raiz (MFR) e Massa Seca Raiz (MSR)

Tabela 10. Morfologia da planta: Massa Fresca da Raiz (MFR) e Massa Seca da Raiz (MSR).

Fontes de variação	Massa fresca Raiz (MFR) - g			Massa seca Raiz (MSR) - g								
Probabilidade do fator diluições (T)	0,0010			0,0003								
Probabilidade do fator cultivar (C)	0,0030			0,0046								
Probabilidade da interação T e C	0,5767			0,1785								
CV %	39,93			45,00								
Média geral	0,266			0,061								
Cultivares (Teste Tukey p<0,05)												
Tratamentos	IMAMT14 70		IMAMT89 4		S525		IMAMT14 70		IMAMT8 94		S525	
T1	0,3 31	a A	0,3 79	a A	0,3 56	a A	0,0 72	a A	0,0 81	ab A	0,0 61	ab A
T2	0,1 83	a A	0,2 79	a A	0,2 83	a A	0,0 42	a A	0,0 67	ab A	0,0 68	ab A
T3	0,1 50	a A	0,2 48	a A	0,2 27	a A	0,0 35	a A	0,0 52	a A	0,0 37	a A
T4	0,1 68	a A	0,3 95	a B	0,3 55	a B	0,0 44	a A	0,1 15	b B	0,0 94	b B
T5	0,1 97	a A	0,2 49	a A	0,1 92	a A	0,0 44	a A	0,0 55	a A	0,0 43	a A
Erro padrão:	0,0475			0,0122								

Nota: Médias seguidas da mesma letra minúscula nas linhas não diferem estatisticamente ($p < 0,05$), ao passo que médias seguidas da mesma letra maiúscula nas colunas não diferem estatisticamente ($p < 0,05$).

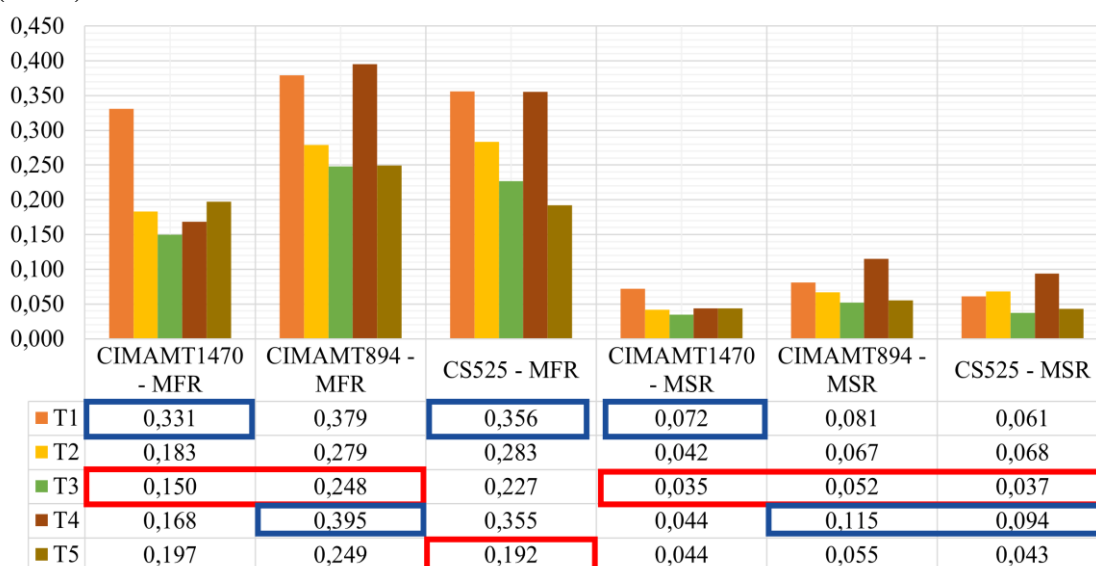
Fonte: Autoria Própria (2023).

Estatisticamente, para a variável Massa Fresca da Raiz (MFR), baseados na

Tabela 10, dentro dos resultados obtidos para cultivares entre os tratamentos não houve diferença significativa. Para os resultados obtidos de tratamento entre as cultivares, na cultivar IMAMT894 o tratamento T4 apresentara diferença significativa, com valor de MFR de 0,395 g, além da cultivar S525 no tratamento T4 também apresentar diferença significativa, com valor de 0,355 g de MFR, e não houve diferença significativa na cultivar IMAMT1470.

Estatisticamente, para a variável Massa Seca da Raiz (MSR), baseados na Tabela 10, dentro dos resultados obtidos para cultivares entre os tratamentos, na cultivar IMAMT894 o tratamento T4 apresentou diferença significativa, com valor de 0,115g de MSR, além da cultivar S525 no tratamento T4 também apresentar diferença significativa, com valor de MSR de 0,094 g, e não houve diferença significativa para a cultivar IMAMT1470. Para os resultados obtidos de tratamento entre as cultivares, na cultivar IMAMT894 no tratamento T4 apresentou diferença significativa, com valor de 0,115g de MSR, além da cultivar S525 também apresentar diferença significativa, com valor de MSR de 0,094 g, e não houve diferença significativa para a cultivar IMAMT1470.

Gráfico 11. Morfologia da planta: Massa Fresca da Raiz (MFR) e Massa Seca da Raiz (MSR).



Fonte: Baseado na Tabela 10 em anexo, S525 com auxílio do *software* Excel, 2023.

Numericamente, para as variáveis Massa Fresca Raiz (MFR) e Massa Seca Raiz (MSR), baseados no Gráfico 11, os resultados de melhor desempenho foram

apresentados de acordo com o tratamento e cultivar, em ordem decrescente e respectivamente para:

T4 - IMAMT894, 0,395 g; T1 - S525, 0,356 g e T1 - IMAMT1470, 0,331 g. Destacando-se como melhor o T4, cultivar IMAMT894, com 0,395 g de MFR.

T4 - IMAMT894, 0,115 g; T4 - S525, 0,094 g e T1 - IMAMT1470, 0,072 g. Destacando-se o T4, cultivar IMAMT894, com 0,115 g de MSR.

Os resultados de pior desempenho para MFR e MSR foram apresentados de acordo com o tratamento e cultivar, em ordem crescente e respectivamente para:

T3 - IMAMT1470, 0,150 g; T5 - S525, 0,192 g e T3 - IMAMT894, 0,248 g.

Destacando-se como pior o tratamento T3, cultivar IMAMT1470, com 0,150 g de MFR.

T3 - IMAMT1470, 0,035 g; T3 - S525, 0,037 g e T3 - IMAMT894, 0,052 g.

Destacou-se como pior o tratamento T3, cultivar IMAMT1470, com 0,035 g de MSR.

4.3.2 Massa Fresca Caule (MFC) e Massa Seca Caule (MSC)

Tabela 11. Morfologia da planta: Massa Fresca do Caule (MFC) e Massa Seca do Caule (MSC).

Fontes de variação	Massa Fresca Caule (MFC) - g			Massa Seca Caule (MSC) - g		
Probabilidade do fator diluições (T)	0,8913			0,2029		
Probabilidade do fator cultivar (C)	0,2308			0,0498		
Probabilidade da interação T e C	0,0164			0,0991		
CV %	40,99			44,63		
Média geral	0,664			0,152		
Cultivares (Teste Tukey p<0,05)						
Tratamentos	IMAMT1 470	IMAMT8 94	S525	IMAMT1 470	IMAMT8 94	S525
T1	0,6 19 a A	0,5 93 a A	0,7 88 a A	0,1 24 a A	0,1 15 a A	0,1 22 a A
T2	0,6 03 a A	0,6 23 a A	0,5 98 a A	0,1 37 a A	0,1 47 a A	0,1 36 a A
T3	0,4 77 a A	0,9 71 a B	0,6 88 a B	0,1 16 a A	0,2 20 a B	0,1 44 a B
T4	0,5 26 a A	0,5 54 a A	0,9 27 b A	0,1 51 a A	0,1 40 a A	0,2 24 a A

T5	0,7 24	a A B	0,8 58	a B	0,4 04	a A	0,0 95	a A	0,2 25	a B	0,1 88	a A B
Erro padrão:	0,1216						0,0304					

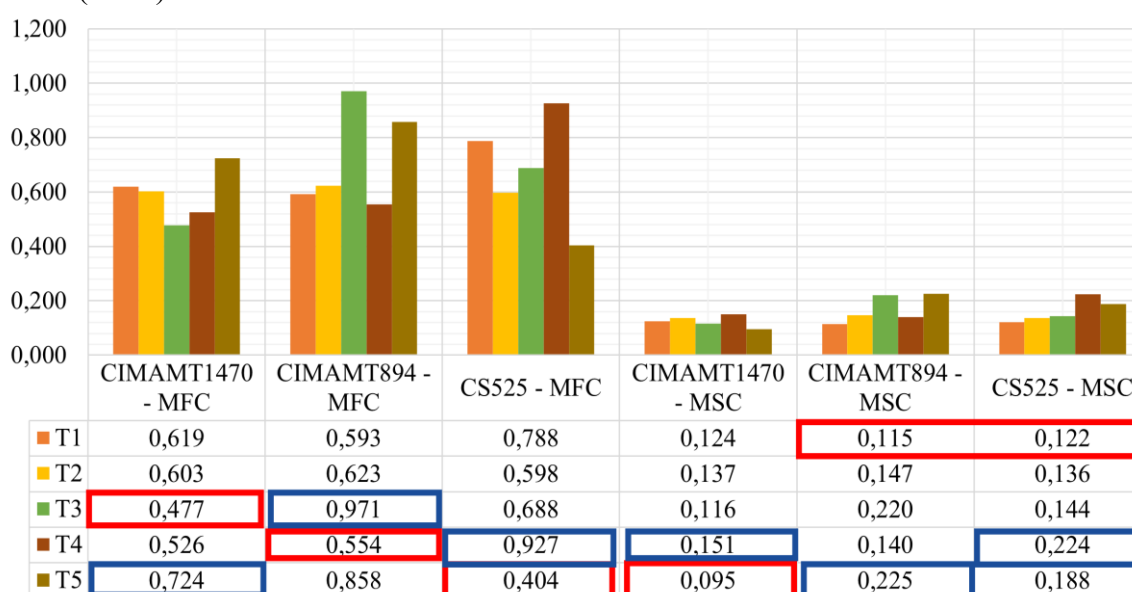
Nota: Médias seguidas da mesma letra minúscula nas linhas não diferem estatisticamente ($p < 0,05$), ao passo que médias seguidas da mesma letra maiúscula nas colunas não diferem estatisticamente ($p < 0,05$).

Fonte: Autoria Própria (2023).

Estatisticamente, para a variável Massa Fresca do Caule (MFC), baseados na Tabela 11, dentro dos resultados obtidos para cultivares entre os tratamentos, na cultivar S525 o tratamento T4 apresentou diferença significativa, com valor de MFC de 0,927 g, e não houve diferença significativa para as demais cultivares. Para os resultados obtidos de tratamento entre as cultivares, na cultivar IMAMT894 o tratamento T3 apresentou diferença significativa, com valor de MFC de 0,971 g, e não houve diferença significativa para as demais cultivares.

Estatisticamente, para a variável Massa Seca do Caule (MSC), baseados na Tabela 11, dentro dos resultados obtidos para cultivares entre os tratamentos não houve diferença significativa. Para os resultados obtidos de tratamento entre as cultivares, na cultivar IMAMT894 os tratamentos T3 e T5 apresentaram diferença significativa, com valor respectivos MSC de 0,220 E 0,225 g, e não houve diferença significativa para as demais cultivares.

Gráfico 12. Morfologia da planta: Massa Fresca do Caule (MFC) e Massa Seca do Caule (MSC).



Fonte: Baseado na Tabela 11 em anexo, S525 com auxílio do *software* Excel, 2023.

Numericamente, para as variáveis Massa Fresca Caule (MFC) e Massa Seca Caule (MSC), baseados no Gráfico 12, os resultados de melhor desempenho foram apresentados de acordo com o tratamento e cultivar, em ordem decrescente e respectivamente para:

T3 - IMAMT894, 0,971 g; T4 - S525, 0,927g e T5 - IMAMT1470, 0,724 g.

Destacando-se como melhor o T3, cultivar IMAMT894, com 0,971 g de MFC.

T5 - IMAMT894, 0,225 g; T4 - S525, 0,224 g e T4 - IMAMT1470, 0,151 g;

Destacou-se como melhor o T4, cultivar IMAMT894, com 0,225 g de MSC.

Os resultados de pior desempenho para MFC e MSC foram apresentados de acordo com o tratamento e cultivar, em ordem crescente e respectivamente para:

T5 - S525, 0,404 g; T3 - IMAMT1470, 0,477 g e T4 - IMAMT894, 0,554 g.

Destacando-se como o pior o T5, cultivar S525, com 0,404 g de MSC.

T5 - IMAMT1470, 0,095 g; T1 - IMAMT894, 0,115 g e T1 - S525, 0,122 g.

Destacou-se como o pior o T5, cultivar IMAMT1470, com 0,095 g de MFC.

4.3.3 Massa Fresca Foliar (MFF) e Massa Seca Foliar (MSF)

Tabela 12. Morfologia da planta: Massa Fresca Foliar (MFF) e Massa Seca Foliar (MSF).

Fontes de variação	Massa Fresca Foliar (MFF) - g						Massa Seca Foliar (MSF) - g					
Probabilidade do fator diluições (T)	0,1496						0,2908					
Probabilidade do fator cultivar (C)	0,0329						0,0029					
Probabilidade da interação T e C	0,1368						0,6610					
CV %	38,66						38,41					
Média geral	1,105						0,153					
Cultivares (Teste Tukey p<0,05)												
Tratamentos	IMAMT1 470		IMAMT8 94		S525		IMAMT1 470		IMAMT8 94		S525	
T1	1,086	a A	1,509	a A	1,308	a A	0,136	a A	0,183	a A	0,160	a A
T2	0,937	a A	0,958	a A	1,274	a A	0,126	a A	0,150	a A	0,180	a A
T3	0,8	a A	1,3	a A	1,0	a A	0,1	a A	0,1	a A	0,1	a A

	25		94		16	b	08		79		29	
T4	0,8 06	a A	1,1 92	a A	1,5 46	b B	0,1 30	a A	0,1 84	a A	0,2 22	a B
T5	0,9 65	a A	1,1 40	a A	0,6 22	a A	0,0 95	a A	0,1 79	a A	0,1 36	a A
Erro padrão:	0,1911			0,0263								

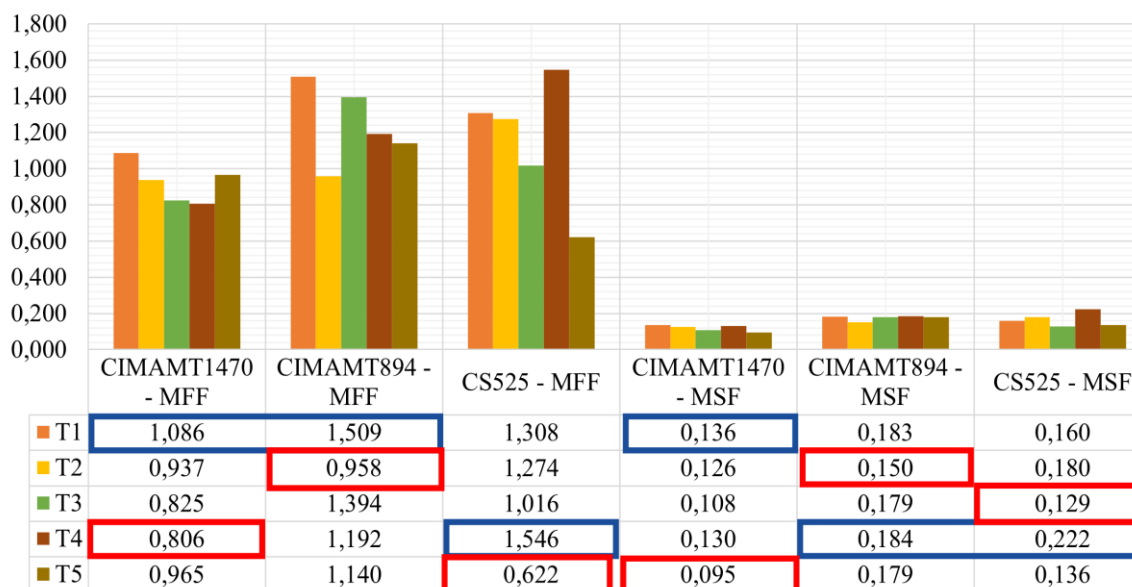
Nota: Médias seguidas da mesma letra minúscula nas linhas não diferem estatisticamente ($p < 0,05$), ao passo que médias seguidas da mesma letra maiúscula nas colunas não diferem estatisticamente ($p < 0,05$).

Fonte: Autoria Própria (2023).

Estatisticamente, para a variável Massa Fresca Foliar (MFF), baseados na Tabela 12, dentro dos resultados obtidos para cultivares entre os tratamentos, na cultivar S525 o tratamento T4 apresentou diferença significativa, com valor de MFF de 1,546 g, e não houve diferença significativa para as demais cultivares. Para os resultados obtidos de tratamento entre as cultivares, na cultivar S525 o tratamento T4 apresentou diferença significativa, com valor de MFF de 1,546 g, e não houve diferença significativa para as demais cultivares.

Estatisticamente, para a variável Massa Seca Foliar (MSF), baseados na Tabela 12, dentro dos resultados obtidos para cultivares entre os tratamentos não houve diferença significativa. Para os resultados obtidos de tratamento entre as cultivares, na cultivar S525 o tratamento T4 apresentou diferença significativa, com valor de MSF de 0,222 g, e não houve diferença significativa para as demais cultivares.

Gráfico 13. Morfologia da planta: Massa Fresca Foliar (MFF) e Massa Seca Foliar (MSF).



Fonte: Baseado na Tabela 12 em anexo, S525 com auxílio do *software* Excel, 2023.

Numericamente, para as variáveis Massa Fresca Foliar (MFF) e Massa Seca Foliar (MSF), baseados no Gráfico 13, os resultados de melhor desempenho foram apresentados de acordo com o tratamento e cultivar, em ordem decrescente e respectivamente para:

T4 - S525, 1,546 g; T1 - IMAMT894, 1,509g e T1 - IMAMT1470, 1,086g.

Destacando-se como melhor o T4, cultivar S525, com 1,546 g de MFF.

T4 - S525, 0,222 g; T4 - IMAMT894, 0,184g e T1 - IMAMT1470, 0,136g.

Destacou-se como melhor o T4, cultivar S525, com 0,222 g de MSF.

Os resultados de pior desempenho para MFF e MSF foram apresentados de acordo com o tratamento e cultivar, em ordem crescente e respectivamente para:

T5 - CS252, 0,622 g; T4 - IMAMT1470, 0,806 g e T2 - IMAMT894, 0,958 g;

Destacou-se como pior o T5, cultivar CS252, com 0,622g de MFF.

T5 - IMAMT1470, 0,095 g; T3 - S525, 0,129 g e T2 - IMAMT894, 0,150 g;

Destacou-se como pior o T5, cultivar IMAMT1470, com 0,095 g de MSF.

É importante salientar que não foram encontrados trabalhos semelhantes a este na literatura disponível, não com a cultura do cártamo irrigada com água produzida de petróleo real, cultivada na região do semiárido brasileiro, motivo pelo qual os resultados desta pesquisa serão comparados com resultados de trabalhos que utilizaram culturas similares irrigadas com água produzida de petróleo real ou mesmo trabalhos que utilizaram água de abastecimento para produção do cártamo.

O trabalho de Amurim (2022) analisou o desenvolvimento de três cultivares de *Carthamus tinctorius* L (IMAMT 894, IMAMT 946 e IMAMT 1470); quatro tratamentos em níveis de restrição hídrica em T1 (100%), T2 (75%), T3 (50%) e T4 (25%); 15,00 repetições por tratamento, distribuídos em vasos com 180,00 g de substrato e semeadura de três sementes por vaso; rega manual e método de capacidade máxima de retenção de água no solo; uso de água de abastecimento e tratamento estatístico por Teste de Tukey ($p < 0,05$), realizado na cidade de Natal/RN. Aos 44 dias de experimento, foram aferidos os dados morfológicos da planta.

A variável Número de Folhas encontrada nos resultados do experimento realizado, quando comparada com a variável similar de Amurim (2022), aponta que a cultivar IMAMT894 (em comum nas duas pesquisas) obteve 11,50 para número de folhas no tratamento T3, valor maior do que o melhor desempenho da pesquisa do

autor, 10,00 em T2. A cultivar IMAMT1470 (em comum nas duas pesquisas) teve 9,90 número de folhas em T5, resultado superior a todos os encontrados na pesquisa citada. A cultivar S525 foi comparada com a cultivar IMAMT946, onde a cultivar S525 obteve 11,40 números de folhas em T3, resultado superior a todos os encontrados para a cultivar IMAMT946 da pesquisa citada. A Tabela 13 a seguir demonstra os dados comparativos da discussão destas variáveis.

Tabela 13. Comparativos - Morfologia da planta: número de folhas. Amurim (2022).

Resultados da presente pesquisa				Resultados de Amurim (2022)			
Tratament os	IMAMT14 70	IMAMT8 94	S52 5	Tratament os	IMAMT14 70	IMAMT8 94	IMAMT9 46
T1	9,30	11,30	10,2 0	T1	8,60	9,60	10,30
T2	8,60	10,00	9,60	T2	7,60	10,00	10,60
T3	7,50	11,50	11,4 0	T3	7,30	9,00	10,60
T4	7,50	8,60	11,2 0	T4	7,60	9,60	8,30
T5	9,90	10,70	7,00	-	-	-	-

Fonte: Autoria Própria (2023). Tabela 08 e Amurim (2022).

O trabalho de Botucatu (2015) estudou o efeito da irrigação com água de abastecimento no estágio de crescimento vegetativo do *Carthamus tinctorius* L., cultivado em Argissolo arenoso B textural pouco profundo, na estação seca de inverno da cidade de Engenheiro Coelho/SP. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, fatorial 2×4, dois regimes de água, irrigado e sequeiro, e quatro cultivares de cártamo (I, II, III e IV), com quatro repetições. Tratamento estatístico por Teste de Tukey ($p < 0,05$). As variáveis avaliadas foram altura de planta, número de folhas, massa fresca de folhas e massa fresca de raízes aos 30 dias após a emergência.

A variável Altura de Planta de Botucatu (2015) será comparada com a variável Comprimento do Caule (CC) desta pesquisa, onde os resultados em regime irrigado do autor são superiores a todos os melhores resultados desta pesquisa, e os resultados do regime sequeiro são inferiores aos piores resultados desta pesquisa. A Tabela 14 a seguir demonstra os dados comparativos da discussão destas variáveis.

Tabela 14. Comparativos - Morfologia da planta: comprimento do caule semelhante à altura de planta. Botucatu (2015).

Resultados da presente pesquisa	Resultados de Botucatu (2015)
---------------------------------	-------------------------------

Tratamentos	CIMA	CIMAM	S525	Tratamentos	Regime Irrigado	Regime Sequeiro
	MT 1470	T 894				
T1	20,80	20,30	21,70	T1 - Genótipo I	27,00	15,00
T2	22,50	22,00	18,70	T2 - Genótipo II	28,20	16,20
T3	20,00	24,80	22,50	T3 - Genótipo III	32,20	16,50
T4	20,70	18,70	24,20	T4 - Genótipo IV	20,70	13,50
T5	23,90	25,10	17,70	-	-	-

Fonte: Autoria Própria (2023). Tabela 06 e Botucatu (2015).

A variável Número de Folhas desta pesquisa, quando comparada à similar de Botucatu (2015), aponta que os resultados de T1, T2 e T3 nos regimes irrigado e sequeiro são superiores aos melhores resultados desta pesquisa, o que também se verifica para T4 em regime irrigado; apenas T4 em regime de sequeiro teve um desempenho inferior no T3 das cultivares IMAMT894 e S525 desta pesquisa. A Tabela 15 a seguir demonstra os dados comparativos da discussão destas variáveis.

Tabela 15. Comparativos - Morfologia da planta: número de folhas. Botucatu (2015).

Tratamentos	Resultados da presente pesquisa			Resultados de Botucatu (2015)		
	IMAMT1470	IMAMT894	S525	Tratamentos	Regime Irrigado	Regime Sequeiro
T1	9,30	11,30	10,20	T1 - Genótipo I	27,00	22,00
T2	8,60	10,00	9,60	T2 - Genótipo II	25,70	18,00
T3	7,50	11,50	11,40	T3 - Genótipo III	26,00	17,20
T4	7,50	8,60	11,20	T4 - Genótipo IV	24,20	10,70
T5	9,90	10,70	7,00	-	-	-

Fonte: Autoria Própria (2023). Tabela 08 e Botucatu (2015).

As variáveis Massa fresca das folhas e Massa Fresca da Raíz de Botucatu (2015), quando comparadas com as variáveis similares desta pesquisa, apontam que tanto os resultados em regime irrigado quanto os de regime sequeiro foram superiores a todos os resultados desta pesquisa para todas as variáveis. As Tabelas 16 e 17 a seguir demonstram os dados comparativos da discussão destas variáveis.

Tabela 16. Comparativos - Morfologia da planta: massa fresca das folhas. Botucatu (2015).

Resultados da presente pesquisa	Resultados de Botucatu (2015)
---------------------------------	-------------------------------

Tratamentos	CIMAM T 1470	CIMAMT 894	S525	Tratamentos	Regime Irigado	Regime Sequeiro
T1	1,086	1,509	1,308	T1 - Genótipo I	19,00	5,50
T2	0,937	0,958	1,274	T2 - Genótipo II	21,50	5,50
T3	0,825	1,394	1,016	T3 - Genótipo III	26,70	5,50
T4	0,806	1,192	1,546	T4 - Genótipo IV	30,50	5,50
T5	0,965	1,140	0,622	-	-	-

Fonte: Aatoria Própria (2023). Tabela 12 e Botucatu (2015).

Tabela 17. Comparativos - Morfologia da planta: massa fresca da raiz. Botucatu (2015).

Resultados da presente pesquisa				Resultados de Botucatu (2015)		
Tratamentos	CIMAMT 1470	CIMAMT 894	S525	Tratamentos	Regime Irrigado	Regime Sequeiro
T1	0,331	0,379	0,356	T1 - Genótipo I	3,40	1,10
T2	0,183	0,279	0,283	T2 - Genótipo II	4,10	1,00
T3	0,150	0,248	0,227	T3 - Genótipo III	6,30	1,00
T4	0,168	0,395	0,355	T4 - Genótipo IV	4,20	1,00
T5	0,197	0,249	0,192	-	-	-

Fonte: Aatoria Própria (2023). Tabela 10 e Botucatu (2015).

O trabalho de Montiel *et al.* (2019) avaliou o crescimento radicular e o desenvolvimento da cultura do cártamo, sem variação de cultivar e irrigada com água de abastecimento. O experimento utilizou um Latossolo do Núcleo Experimental de Engenharia Agrícola (NEEA), os tratamentos foram determinados pela passagem de um trator Ford série 30 7630, peso de 4.000 kg e pulverizador de 600 litros de água de abastecimento. Os tratamentos foram: 0P= sem passada com o trator; 1P= uma passada com o trator; 3P= 3 passadas com o trator; 5P= 5 passadas com o trator. A faixa compactada para configurar os tratamentos foi de 5 x 3 m, nas quais foram semeadas duas fileiras de cártamo com espaçamento de 0,60 m entre linhas. Foram semeadas 33 sementes/metro linear. Na fase vegetativa, foram coletadas cinco plantas de cada tratamento e aferidos diâmetro de caule (mm) e altura de planta (cm). Na floração, realizou-se a coleta de cinco plantas de cada tratamento para as análises de comprimento da raiz (cm), massa fresca da raiz (g) e massa seca da raiz (g). O tratamento estatístico foi por ANOVA e teste de Tukey a 5 % de significância.

A variável Altura de Planta de Montiel *et al.* (2019) será comparada com a variável Comprimento do Caule (CC) desta pesquisa, onde os tratamentos T1, T2 e T4 do autor são superiores aos melhores resultados da presente pesquisa, mas o T3 se equipara com os melhores resultados desta pesquisa. Todos os resultados do autor superam os piores resultados desta pesquisa. A Tabela 18 a seguir demonstra os dados comparativos da discussão destas variáveis.

Tabela 18. Comparativos - Morfologia da planta: comprimento do caule semelhante à altura de planta. Montiel *et al.* (2019).

Resultados da presente pesquisa				Resultados de Montiel <i>et al.</i> (2019)	
Tratamentos	CIMAMT 1470	CIMAMT 894	S525	Tratamentos	Resultados
T1	20,80	20,30	21,70	T1 – 0P	60,64
T2	22,50	22,00	18,70	T2 – 1P	43,60
T3	20,00	24,80	22,50	T3 – 3P	23,60
T4	20,70	18,70	24,20	T4 – 5P	34,00
T5	23,90	25,10	17,70	-	-

Fonte: Autoria Própria (2023). Tabela 06 e Montiel *et al.* (2019).

A variável Diâmetro do Caule de Montiel *et al.* (2019) quando comparada com a variável similar desta pesquisa, apontam que todos os resultados do autor foram superiores a todos resultados desta pesquisa. A Tabela 19 a seguir demonstra os dados comparativos da discussão destas variáveis.

Tabela 19. Comparativos - Morfologia da planta: diâmetro do caule. Montiel *et al.* (2019).

Resultados da presente pesquisa				Resultados de Montiel <i>et al.</i> (2019)	
Tratamentos	CIMAMT 1470	CIMAMT 894	S525	Tratamentos	Resultados
T1	2,14	1,97	2,43	T1 – 0P	5,32
T2	2,18	2,19	2,14	T2 – 1P	4,37
T3	2,09	2,71	2,18	T3 – 3P	2,94
T4	2,21	2,31	2,41	T4 – 5P	3,89
T5	2,27	2,38	2,02	-	-

Fonte: Autoria Própria (2023). Tabela 07 e Montiel *et al.* (2019).

Por sua vez, a variável Comprimento da Raiz desta pesquisa, se comparada com similar de Montiel *et al.* (2019), aponta que os melhores resultados desta pesquisa são superiores aos melhores resultados do autor; apenas em T2, cultivar CIMAMT170, foi

obtido resultado inferior ao melhor resultado do autor. A Tabela 20 a seguir demonstra os dados comparativos da discussão destas variáveis.

Tabela 20. Comparativos - Morfologia da planta: comprimento de raiz. Montiel et al. (2019).

Resultados da presente pesquisa				Resultados de Montiel <i>et al.</i> (2019)	
Tratamentos	CIMAMT 1470	CIMAMT 894	S525	Tratamentos	Resultados
T1	18,70	15,20	17,40	T1 – 0P	11,6
T2	10,90	15,50	17,30	T2 – 1P	5,76
T3	13,60	14,20	13,60	T3 – 3P	3,54
T4	19,00	19,20	17,70	T4 – 5P	2,92
T5	15,50	15,10	15,20	-	-

Fonte: Aatoria Própria (2023). Tabela 05 e Montiel et al. (2019).

Por sua vez, as variáveis Massa Fresca da Raiz e Massa Seca da Raiz de Montiel *et al.* (2019), se comparadas com as variáveis obtidas nesta pesquisa, apontam que todos os resultados do autor são superiores aos resultados desta pesquisa. As Tabelas 21 e 22 a seguir demonstram os dados comparativos da discussão destas variáveis.

Tabela 21. Comparativos - Morfologia da planta: massa fresca da raiz. Montiel et al. (2019).

Resultados da presente pesquisa				Resultados de Montiel <i>et al.</i> (2019)	
Tratamentos	CIMAMT 1470	CIMAMT 894	S525	Tratamentos	Resultados
T1	0,331	0,379	0,356	T1 – 0P	3,06
T2	0,183	0,279	0,283	T2 – 1P	2,56
T3	0,150	0,248	0,227	T3 – 3P	3,17
T4	0,168	0,395	0,355	T4 – 5P	2,32
T5	0,197	0,249	0,192	-	-

Fonte: Aatoria Própria (2023). Tabela 10 e Montiel et al. (2019).

Tabela 22. Comparativos - Morfologia da planta: massa seca da raiz. Montiel et al. (2019).

Resultados da presente pesquisa				Resultados de Montiel <i>et al.</i> (2019)	
Tratamentos	CIMAMT 1470	CIMAMT 894	S525	Tratamentos	Resultados
T1	0,072	0,081	0,061	T1 – 0P	1,40
T2	0,042	0,067	0,068	T2 – 1P	1,32
T3	0,035	0,052	0,037	T3 – 3P	1,23
T4	0,044	0,115	0,094	T4 – 5P	0,87
T5	0,044	0,055	0,043	-	-

Fonte: Autoria Própria (2023). Tabela 10 e Montiel et al. (2019).

Em semelhante discussão, os estudos de Menegaes *et al.* (2017) avaliaram a germinação de sementes de cártamo em diferentes substratos, sem variação de cultivar e irrigada com água de abastecimento. O experimento foi conduzido no laboratório de didática e pesquisa em sementes e na casa de vegetação do Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Santa Maria. Em delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial 5x2 (substratos: areia, casca de arroz carbonizada, Carolina Soil, solo e vermiculita e lotes de sementes: 10,30 e 6,76% grau de umidade), com quatro repetições de 50 sementes. Na casa de vegetação, a semeadura foi em bandeja plástica, com avaliações aos 14 dias após a semeadura. Previamente à instalação do experimento, foi verificada a germinação dos lotes de sementes em condições laboratoriais conforme a legislação brasileira. Avaliou-se a germinação de plântulas normais, índice de velocidade e tempo de emergência. O tratamento estatístico foi por teste de Tukey a 5 % de significância.

A variável Germinação de Menegaes *et al.* (2017) será comparada com a variável similar desta pesquisa, os resultados do autor nos lotes A e B apontam para a inferioridade de todos os melhores resultados desta pesquisa, ao passo que o Lote B obteve resultado maior que T3 na cultivar IMAMT894 e T5 na cultivar S525. A Tabela 23 a seguir demonstra os dados comparativos da discussão destas variáveis.

Tabela 23. Comparativos - Porcentagem de germinação. Menegaes et al. (2017).

Tratamentos	Resultados da presente pesquisa			Resultados de Menegaes <i>et al.</i> (2017)	
	CIMAMT 1470	CIMAMT 894	S525	Lote A	Lote B
T1	0,92	0,76	0,92	0,50	0,77
T2	0,84	0,84	0,76	-	-
T3	0,92	0,72	0,84	-	-
T4	0,96	0,80	0,60	-	-
T5	0,92	0,76	0,52	-	-

Fonte: Autoria Própria (2023). Tabela 02 e Menegaes et al. (2017).

A variável Índice de Velocidade de Germinação de Menegaes *et al.* (2017), quando comparada com a variável similar desta pesquisa, mostra nos Lotes A e B resultados superiores a todos os resultados desta pesquisa. A Tabela 24 a seguir demonstra os dados comparativos da discussão destas variáveis.

Tabela 24. Comparativos - Índice de Velocidade de Germinação. Menegaes et al. (2017).

Tratamentos	Resultados da presente pesquisa			Resultados de Menegaes <i>et al.</i> (2017)	
	CIMAMT1470	CIMAMT 894	S525	Lote A	Lote B
T1	12,804	8,562	10,496	29,250	50,875
T2	12,198	9,330	9,880	-	-
T3	13,242	9,020	8,968	-	-
T4	12,338	6,982	6,116	-	-
T5	14,076	8,684	5,994	-	-

Fonte: Autoria Própria (2023). Tabela 03 e Menegaes et al. (2017).

A variável Tempo Médio de Germinação de Menegaes *et al.* (2017), quando comparada com a variável similar desta pesquisa, mostra nos Lotes A e B resultados inferiores a todos os melhores resultados desta pesquisa; apenas no T5, cultivar S525, os resultados do autor superam o desta pesquisa. A Tabela 25 a seguir demonstra os dados comparativos da discussão destas variáveis.

Tabela 25. Comparativos - Tempo Médio de Germinação. Menegaes et al. (2017).

Tratamentos	Resultados da presente pesquisa			Resultados de Menegaes <i>et al.</i> (2017)	
	CIMAMT 1470	CIMAMT 894	S525	Lote A	Lote B
T1	4,60	4,20	4,40	3,20	2,80
T2	4,60	3,80	4,20	-	-
T3	4,40	4,40	4,00	-	-
T4	4,80	4,00	3,00	-	-
T5	4,60	4,00	2,80	-	-

Fonte: Autoria Própria (2023). Tabela 04 e Menegaes et al. (2017).

Não foram encontradas literaturas com possíveis resultados para realizar comparativo para as variáveis Área Foliar (AF), Massa Fresca Caule (MFC), Massa Seca Caule (MSC) e Massa Seca Foliar (MSF) com a cultura do cártamo.

As pesquisas de Costa (2018) e Santos (2022) foram produções com a cultura do girassol irrigado com diluições de água produzida real. Os autores utilizaram os mesmos tratamentos: T1 - 100% de aplicação água de abastecimento (AA) e 0% de água produzida tratada (AP), T2 - 75% de AA e 25% de AP, T3 - 50% de AA e 50% de AP, T4 - 25% de AA e 75% de AP e T5 - 0% de AA e 100% de AP. O cultivo foi feito em

vaso com solo Argissolo Vermelho Distrófico Típico proveniente da Fazenda Experimental Rafael Fernandes em Mossoró/RN, e os experimentos duraram 90 dias e foram analisadas as variáveis de Altura de Planta e Número de folhas, para ambas as pesquisas.

As variáveis Altura de Planta e Número de Folhas de Costa (2018) e Santos (2022), quando comparadas com as variáveis Comprimento do Caule (CC) e Número de Folhas desta pesquisa, apontam que todos os resultados dos autores são superiores aos desta pesquisa, em todos os tratamentos. As Tabelas 26 e 27 abaixo demonstram os dados comparativos da discussão destas variáveis.

Tabela 26. Comparativos - Morfologia da planta: comprimento do caule semelhante à altura de planta. Costa (2018) e Santos (2022).

Resultados da presente pesquisa				Tratamentos	Resultados de Costa (2018)	Resultados de Santos (2022)
Tratamentos	CIMA MT 1470	CIMAM T 894	S525			
T1	20,80	20,30	21,70	T1	54,30	52,30
T2	22,50	22,00	18,70	T2	63,70	61,70
T3	20,00	24,80	22,50	T3	61,60	57,80
T4	20,70	18,70	24,20	T4	65,10	58,52
T5	23,90	25,10	17,70	T5	67,00	60,60

Fonte: Autoria Própria (2023). Tabela 06, Costa (2018) e Santos (2022).

Tabela 27. Comparativos - Morfologia da planta: número de folhas. Costa (2018) e Santos (2022).

Resultados da presente pesquisa				Tratamentos	Resultados de Costa (2018)	Resultados de Santos (2022)
Tratamentos	CIMA MT 1470	CIMA MT 894	S525			
T1	9,30	11,30	10,20	T1	14,60	11,40
T2	8,60	10,00	9,60	T2	15,40	11,80
T3	7,50	11,50	11,40	T3	14,00	10,20
T4	7,50	8,60	11,20	T4	14,20	10,40
T5	9,90	10,70	7,00	T5	14,40	9,60

Fonte: Autoria Própria (2023). Tabela 08, Costa (2018) e Santos (2022).

Os resultados obtidos neste estudo, quando comparados com pesquisas da literatura, apontam variações em todos os comparativos, mostrando que o estudo do cártamo é recente e ainda pouco realizado. A pouca discussão dos resultados mostra a

necessidade de mais estudos sobre a temática, assim como aprofundamento em diferentes metodologias e dados censitários sobre a cultura.

Sem dúvidas o cártamo é uma cultura com enorme potencial para produção de biocombustíveis, entrando como uma alternativa viável para o semiárido e regiões secas, onde outras culturais ainda não são adaptadas, assim como apresentam até então ótimos dados.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Para as variáveis de estudo de germinação, Porcentagem de Germinação (G) e Índice de Velocidade de Emergência (IVE), a cultivar IMAMT1470 se destacou entre os tratamentos T4 e T5, considerando G de 96,00% em T4, IVE de 14,076 em T5. Para variável de germinação Tempo Médio de Germinação (TMG), a cultivar S525 se destacou com 2,80 dias de TMG em T2.

Para as variáveis de análises não destrutivas, Comprimento da Raiz (CR), Comprimento do Caule (CC), Diâmetro do Caule (DC) e Número de Folhas, a cultivar IMAMT894 se destacou nos tratamentos T4 e T3, considerando CR de 19,20 cm em T4, CC de 25,10 cm em T4, DC de 2,71 mm em T3 e Nº de folhas de 11,50 em T3. Para a variável de análise não destrutiva Área Foliar, a cultivar destaque foi a S525 no tratamento T3, com 2,8884 cm².

Para variáveis de análises destrutivas Massa Fresca Raiz (MFR), Massa Seca Raiz (MSR), Massa Fresca Caule, (MFC) e Massa Seca do caule (MSC), a cultivar IMAMT894 se destacou nos tratamentos T3 e T4. Considerando MFR de 0,395 g e MSR de 0,115g, ambos em T4. Considerando MFC de 0,971 g em T3 e MSC de 0,225g em T5. Enquanto para as demais variáveis de análises destrutivas Massa Fresca Foliar (MFF) e Massa Seca Foliar (MSF) se destacou a variável S525 no tratamento T4. Considerando MFF de 1,546 g e MSF de 0,222 g, ambos em T4.

O ranking de resultados de melhor desempenho foi: tratamento T4, nas sequências das cultivares IMAMT894, S525 e IMAMT1470. Portanto, o tratamento mais responsivo à proposta desta pesquisa, viabilidade de cultivo da cultura do cártamo irrigada com água produzida de petróleo diluída foi o tratamento T4, 25% água de abastecimento e 75% água produzida de petróleo, e a cultivar mais responsiva foi a IMAMT894.

É fundamental ratificar que a maioria os resultados encontrados foram superior aos resultados do tratamento testemunha T1, 100% água de abastecimento e 0% água produzida de petróleo. Em outras palavras, a água produzida de petróleo em sua menor diluição testada (T4) apontou perspectivas muito favoráveis à produtividade da planta.

O objetivo da pesquisa foi cumprido, porém é imprescindível fazer autocrítica e apontar caminhos de melhorias para os próximos pesquisadores que tentarem dar continuidade ao tema, para isto sugiro: a determinação do KC da cultura; mecanização da irrigação; o cultivo em campo aberto em vasos com diferentes tipos de solo do semiárido, bem como a análise físico-química desses solos; suplementação nutritiva programada; estratégia para controle de pragas, tendo em vista que, mesmo este experimento tendo sido executado em casa de vegetação protegida com tela antiafídeos, ainda foi emergente combater pontualmente a manifestação de lagartas, gafanhotos e cochonilha; testar outras cultivares de cártamo; fazer o estudo da capacidade de fitorremediação desta planta quanto a metais pesados e quantificar todos os elementos componentes da água gerada das diluições; analisar um ciclo completo ou até dois ciclos da planta e verificar a viabilidade dessas sementes para produção de biocombustível querosene de aviação.

REFERÊNCIAS

ABUD, H.F.; GONÇALVES, N.R.; REIS, R.G.E.; GALLÃO, M.I.; INNECCO, R. Morfologia de sementes e plântulas de cártamos. **Revista Ciência Agronômica**, v. 41, p. 259-265, 2010.

ABUD, H.F.; SOUSA, A.B.O.; BARBOSA, D.; BEZERRA, F.C. **Efeito do substrato e tamanho do recipiente no crescimento inicial de plântulas de *Carthamus tinctorius* L.** 32º Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, Fortaleza, 2009.

Agência Nacional das Águas - ANA. **Manual de Usos Consuntivos da Água no Brasil**. 2019.

Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Bicomcombustível - ANP. **Anuário Estatístico**. 2003.

Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Bicomcombustível - ANP. **Anuário Estatístico Brasileiro do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis: 2023**. Número 2006, Rio de Janeiro, 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/anp/pt-br/centrais-de-conteudo/publicacoes/anuario-estatistico/arquivos-anuario-estatistico-2023/anuario-2023.pdf>. Acesso em: 21 out. 2023.

Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Bicomcombustível - ANP. **Boletim de produção de petróleo e gás natural**. Número 156, agosto de 2023a.

Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Bicomcombustível - ANP. **Produções de petróleo e de gás natural bateram recordes em 2022**. Publicado em 08/02/2023b. Disponível em: https://www.gov.br/anp/pt-br/canais_atendimento/imprensa/noticias-comunicados/producoes-de-petroleo-e-de-gas-natural-bateram-recordes-em-2022. Acesso em: 15 out. 2023.

AL-GHOUTI, M. A.; AL-KAABI, M. A.; ASHFAQ, M. Y.; DA'NA, D. A. Produced water characteristics, treatment and reuse: A review. **Journal of Water Process Engineering**, n. 28, p. 222–239, 2019.

AL-KAABI, M.; ZOUARI, N.; DA-NA, D. A.; AL-GHOUTI, M. A. Adsorptive batch and biological treatments of produced water: Recent progresses, challenges, and potentials. **Revista Journal of Environmental Management**, v. 290, 2021.

ALLEN, R. G.; PRUIT, W. O.; WRIGHT, J. L.; HOWELL, T. A.; VENTURA, F.; SNYDER, R.; ITENFISU, D.; STEDUTO, P.; BERENGENA, J. YRISARRY, J. B.; SMITH, M.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; PERRIER, A.; ALVES, I.; WALTER, I.; ELLIOTT, R. A recommendation on standardized surface resistance for hourly calculation of reference ETo by the FAO56 Penman-Monteith method. **Revista Agricultural Water Management**, v. 81, p. 1-22, 2006.

ALLEY, B.; BEEBE, A.; RODGERS-JR, J.; CASTLE, J. W. Caracterização química e física de águas produzidas a partir de recursos combustíveis fósseis convencionais e não convencionais. **Revista Quimosfera**, v. 85, n. 1, p. 74-82, 2011.

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Mapa de classificação climática de Köppen para o Brasil. **Revista Meteorologische zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.

AMURIM, Ana Isabel Lima da Costa. **Germinação de *Carthamus tinctorius* L. sob restrição hídrica e estresse térmico**. 2022. 34f. Monografia (Graduação em Ciências Biológicas) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2002.

ASMUS, H. E.; PORTO, R. Classificação das bacias sedimentares brasileiras segundo a tectônica de placas. In: **Congresso Brasileiro de Geologia**. 1972. p. 67-90.

BOTUCATU, S. P. Comportamento morfológico no período de crescimento de genótipos de *Carthamus tinctorius* L. em cultivo sob sequeiro e irrigado¹. **Revista Brasileira de Energias Renováveis**, v. 4, p. 146-167, 2015.

BRASIL. **Lei 13.576**, de 26 de dezembro de 2017. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2017/lei/L13576.htm. Acesso em: 15 out. 2023.

BRASIL. CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE - CONAMA. **RESOLUÇÃO CONAMA Nº 503, de 14 de dezembro de 2021: Define critérios e procedimentos para o reuso em sistemas de fertirrigação de efluentes provenientes de indústrias de alimentos, bebidas, laticínios, frigoríficos e graxarias.** Brasil: Diário oficial da União, 2021.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento do Governo Federal do Brasil – MAPA. Agenda de inovação para a cadeia produtiva do biodiesel, Brasília-DF, p. 1-40, 2019.

Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada – CEPEA. **PIB da cadeia da soja e do biodiesel pode crescer 20% em 2023;** e empregos e exportações também avançam. Disponível em: <https://www.cepea.esalq.usp.br/br/releases/cepea-abiove-pib-da-cadeia-da-soja-e-do-biodiesel-pode-crescer-20-em-2023-e-empregos-e-exportacoes-tambem-avancam.aspx>. Acesso em: 10 set. 2023.

Companhia Nacional de Abastecimento - CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos: 1º levantamento safra 2023/24,** v. 11, n. 1, Brasília, outubro 2023.

COSTA, F. G. B. **Produção e capacidade de fitoextração do girassol (*Heliantus annuus*) irrigado com água produzida.** 2018. 92f. Tese (Doutorado em Manejo de Solo e Água) – Universidade Federal Rural do Semi-árido, Mossoró, 2018.

COTOVICZ-JUNIOR, L. C.; SILVA, V. P. Licenciamento ambiental onshore no Rio Grande do Norte: uma análise do descarte da água produzida em relatório de controles ambientais. In: PEGADO, É. A. C.; SILVA, V. P. (org.). **Licenciamento ambiental onshore:** limites e otimização. Natal: IFRN, 2009. p. 89-114.

ECHCHELH, A.; HESS, T.; SAKRABANI, R. Reutilização da água produzida por petróleo e gás para irrigação de culturas alimentares em terras áridas. **Revista Gestão da Água Agrícola,** v. 206, p. 124-134, 2018.

EI. Statistical Review of World Energy. 72nd edition. **The Energy Institute**, 2023. Disponível em: https://www.energyinst.org/__data/assets/pdf_file/0004/1055542/EI_Stat_Review_PDF_single_3.pdf. Acesso em: 15 out. 2023.

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA. **Risco de contaminação do solo e das plantas com metais pesados devido à irrigação com água produzida na extração de petróleo**. Boletim de pesquisa e desenvolvimento. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, 2018.

FAKHRU'L-RAZI, A.; PENDASHTEH, A.; ADDULLAH, L.C.; BIAK, D. R. A.; MADAENI, S. S.; ABIDIN, Z. Z. Review of technologies for oil and gas produced water treatment. **Journal of Hazardous Materials**, 2-3, v. 170, p. 530-551, 2009.

FERREIRA, D.F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Revista Ciência e agrotecnologia**, v. 35, p. 1039-1042, 2011.

Food and Agriculture organization of United Nations – FAO. 2019. Disponível em: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>. Acesso em: 22 out. 2023.

GOMES, A. P. P. **Gestão ambiental da água produzida na indústria de petróleo: melhores práticas e experiências internacionais**. Rio de Janeiro: COPPE, 2014.

HOAGLAND, D.R.; ARNON, D.I. The water-culture method for growing plants without soil. Circular. **Revista California agricultural experiment station**, v. 347, n. 2, 1950.

Instituto Brasileiro de Petróleo e Gás – IBP. **Panorama geral do setor de petróleo e gás: uma agenda para o futuro**. 2023. Disponível em: <https://www.ibp.org.br/personalizado/uploads/2023/04/panorama-geral-do-setor-og-22-03-2023-web>. Acesso em: 16 out. 2023.

KONDASH, A. J. O impacto do uso de campos petrolíferos de baixa salinidade produziu água para irrigação na qualidade da água e do solo na Califórnia. **Revista Ciência do Meio Ambiente Total**, v. 733, 2020.

Inteligência, Mordor. **Tamanho do mercado Sementes de cártamo & Análise de participação – Tendências de crescimento e previsões (2023 – 2028)**. Disponível em: <https://www.mordorintelligence.com/pt/industry-reports/safflower-seeds-market>. Acesso em: 22 jan. 2024.

LABOURIAU, L. G.; VILADARES, M. E. B. On the germination of seeds of *Calotropis procera* (Ait.) Ait. f. **Anais**, 1976.

LICHSTON, J. E. Biodiesel de Cártamo: Por um Sertão Verde e Produtivo. 7º Congresso da Rede Brasileira de Tecnologia e Inovação de Biodiesel. **Anais**. Florianópolis, Santa Catarina, 04 a 07 de novembro de 2019.

MACEDO, V. G. K. **Influência do beneficiamento em mesa de gravidade na qualidade física, fisiológica e sanitária de sementes de cártamo (*Carthamus tinctorius* L.)**. 2018. 91f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Sementes) – Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, 2018.

MAGUIRE, J. D. Speed of germination-aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigor. **Revista Crop Sci.**, v. 2, p. 176-177, 1962.

MENEGAES, J. F.; BELLÉ, R. A.; NUNES, U. R. Produtividade de Cártamo Conduzido com Diferentes Números de Capítulos por Planta. **Revista Ensaios e Ciências Biológicas Agrárias e da Saúde**, v. 25, n. 2, p. 178-185, 2021.

MONTIEL, Caroline Beal et al. **Componentes de produção da cultura do cártamo (*Carthamus tinctorius* L.) em Latossolo argiloso sob estados de compactação**. 2019. 66 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Energia na Agricultura) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná, 2019.

MONTOYA, C. L. **El cultivo de cártamo (*Carthamus tinctorius L.*) en México**. Editorial SGI, 2010.

MOREIRA, C. C. B.; SILVA, L. B.; LIMA, A. G. P. S.; SAMPAIO, A. E. **Efluentes líquidos e sólidos gerados na estação de tratamento de água no município de Várzea Alegre–CE com ênfase na reutilização dos resíduos**. 5º Congresso Sul-Americano de Resíduos Sólidos e Sustentabilidade, 2023.

NAKAYAMA, F. S.; BUCKS, D. A. **Irrigação por gotejamento para produção agrícola: projeto, operação e manejo**. Rio de Janeiro: Elsevier, 1986.

OFORI, S. Reutilização de águas residuais tratadas para irrigação: prós e contras. **Ciência do Meio Ambiente Total**, v. 760, p. 144026, 2021.

OLIVEIRA, A.J. A cultura do *Carthamus tinctorius L.*: Principais usos e variabilidade genética. **Pesquisa, Sociedade e Desenvolvimento**, v. 10, n. 2, p. e24810212683-e24810212683, 2021.

Organização das Nações Unidas – ONU. DEPARTAMENTO DE ASSUNTOS ECONÔMICOS E SOCIAIS DAS NAÇÕES UNIDAS. **Perspectivas da população mundial 2022: Resumo dos resultados**. ONU, 2023.

PARENTE, P. F.; LANDAU, L. **Avaliação das condições de biodegradação do petróleo a partir da caracterização de parâmetros físico-químicos das águas óleos da formação açu na bacia potiguar**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2006.

PARENTE, P. F.; NETO, F. F. L.; LANDAU, L. **ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS DA ÁGUA DE FORMAÇÃO E A BIODEGRADAÇÃO DO PETRÓLEO**. 3º Congresso Brasileiro de P&D em Petróleo e Gás, 2005.

PÉREZ, Y.A.R. **Caracterização da geometria de depósitos sedimentares na borda sudoeste da Bacia Potiguar**. 2003. 91f. Dissertação (Mestrado em Geodinâmica; Geofísica) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2003.

PINTO, R. R. **Preparação e caracterização de catalisador heterogêneo sintetizado a partir da casca de ovo para produção de biodiesel**. 2021. 121f. Dissertação (Mestrado em Energias Renováveis) – Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2021.

PREDA, W. N.; ALENCAR-FILHO, M. Q.; BORBA, G. L. Características gerais dos projetos de injeção de água nos reservatórios produtores de petróleo da formação açu na bacia potiguar. **Editora Águas Subterrâneas**, 2008.

QUEIROGA, V. P.; GIRÃO, E. G.; ALBUQUERQUE, E. M. B. **Cártamo (*Carthamus tinctorius L.*): tecnologias de plantio e utilização**. Campina Grande: Revista Barriguda, 2021.

REICHARDT, K.; TIMM, L. C. **Solo, planta e atmosfera: conceitos, processos e aplicações**. Barueri: Manole, 2004.

RICHARDS, L. A. **Diagnóstico e melhoramento de solos salinos e alcalinos**. Escritório de Imprensa do Governo dos Estados Unidos, 1954.

ROBLES, R. Produccion de oleaginosas y Textiles. **Editorial Limusa**, 1991.

SAMPAIO, M.C. **Cultivo de cártamo (*Cartamos tinctorius L.*) sob variação de adubações, densidades e épocas de plantio**. 2016. Dissertação (Mestrado em Energia na Agricultura) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavél/PR, 2016.

SÁNCHEZ, G. S.; CHAMORRO, A. M. **Lino, colza y cártamo**. Libros de Cátedra, 2023.

SANTOS, L. F. **Fertirrigação da cultivar de girassol H-251 com diluições de água produzida do petróleo tratada**. 2022. Dissertação (Mestrado em Manejo de Solo e Água) – Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró, 2022.

SENA, S.F.M. **Estudos hidroquímicos da água produzida de um determinado campo de petróleo da bacia potiguar**. 2011. Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia de Petróleo) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2011.

SERVANI, M.; MOBASSER, H. R.; GANJALI, H. R. Influence of drought stress on photosynthetic, radical oxygen, respiration, assimilate partitioning, activities of enzymes, phytohormones and essential oils in crop plants. **Int. J. Biosci.**, v. 5, p. 223–236, 2014.

SILVA, A. D.; MEDEIROS, A. D. L. M.; ARAÚJO, A. B. A.; TEIXEIRA, A. D. S.; FONSECA, R. D.; NASCIMENTO, E. P. P.; MELO, J. E. P.; DANTAS, J. S.; MEDEIROS, I. E. S.; SILVA, L. C.; FERNANDES, F. G. B. C.; BATISTA, R. O. Efeitos de diluições de água produzida do petróleo no desenvolvimento do girassol cultivado em casa de vegetação. **Atena Editora**, 2018.

SILVA, C. J. **Caracterização agrônômica e divergência genética de acessos de cártamo**. 2013. 51f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agronômicas, Botucatu, 2013.

SILVA, F. C. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2009.

SILVA, J. A. B. **Produção de biodiesel e biolubrificantes: avaliação de novos catalisadores e antioxidantes naturais**. 2019. Tese (Doutorado em Química) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2019.

SILVA, M. A.; SANTOS, H. L.; FERREIRA, L. S.; SILVA, D. M. R.; SANTOS, J. C. C.; BORTOLHEIRO, F. P. A. P. Physiological Changes and Yield Components of Safflower (*Carthamus tinctorius L.*) Lines as a Function of Water Deficit and Recovery in the Flowering Phase. **Revista Agriculture**, v. 13, n. 3, p. 558, 2023.

SILVA, R. A. D. **Cultivo de diferentes genótipos de cártamo em campo e papel da mulher na agricultura familiar do semiárido nordestino**. 2020. Dissertação

(Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2020.

SILVA, R. A. D. Produtividade de sementes e teor de óleo de *Carthamus tinctorius L.* cultivado no Semiárido Nordestino. 7º Congresso da Rede Brasileira de Tecnologia e Inovação de Biodiesel. **Anais**. Florianópolis, Santa Catarina, 04 a 07 de novembro de 2019.

SOUSA, E.; SILVA, R. A. D.; MORAIS, F. C.; LIMA, E. R.; LICHSTON, J. E. Perfil dos agricultores de uma cooperativa de Apodi/RN, receptividade ao cultivo de cártamo e percepção sobre agrotóxicos e alternativas. **Revista Nature and Conservation**, v. 12, n. 3, p. 25-36, 2019.

THOMAS, J. E. **Fundamentos de Engenharia de Petróleo**. Petrobras. Rio de Janeiro: Interciência, 2004.

UNIVERSITY OF CALIFORNIA COMMITTEE OF CONSULTANTS – UCCC. **Guidelines for interpretations of water quality for irrigation**. 1974.

VIEIRA, M. G.; BATISTA, L. R.; MUNIZ, A. S.; ANTONIOSI-FILHO, N. R. **Avaliação das propriedades físico-químicas do biodiesel metílico derivado do óleo de Cártamo (*Carthamus tinctorius L.*)**. 7º Congresso da Rede Brasileira de Tecnologia e Inovação de Biodiesel. Anais. Florianópolis, Santa Catarina, 04 a 07 de novembro de 2019.

ZOZ, T. **Avaliação de genótipos de cártamo quanto ao desempenho agrônomo, divergência genética e produtividade da água**. 2015. Tese (Doutorado em Agronomia), Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Faculdade de Ciências Agrônomicas de Botucatu, 2015.